

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA
FACULTAD DE GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



**“PROSPECCIÓN GEOLÓGICA Y GEOQUÍMICA DEL SECTOR OESTE DE
CHALHUANCA – CONCESIONES NUEVA ALICIA 1, 2, 3 y 4
APURÍMAC – PERÚ”**

Tesis presentada por el bachiller:

Calsin Colquehuanca, Celso Aquilino

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Geólogo

Asesor: MSc. Valdivia Bustamante, Pablo Mauro

AREQUIPA – PERÚ

2023

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a mis padres: Guillermo y Juana quienes con su esfuerzo y sacrificio han permitido que esta etapa sea culminada con éxito, y gracias a mis hijas y esposa que siempre me han brindado su apoyo, a toda mi familia, a mis amigos con los que pude compartir momentos buenos y malos, experiencias y anécdotas, únicas que son parte de mis vivencias.

AGRADECIMIENTOS

El estudio “Prospección Geológica y Geoquímica del Sector Oeste de Chalhuanca – concesiones Nueva Alicia 1, 2, 3 y 4 Apurímac – Perú” ha sido posible gracias al apoyo del Ing. Víctor Salinas Velarde Gerente Exploraciones Fresnillo Perú S.A.C.

De igual manera expresar mi más sincero agradecimiento al Ing. Herbert Escobar Bocangel – Geólogo Consultor, Ex–Gerente Exploraciones de Minera ARUNTANI S.A.C. por el apoyo permanente con sus recomendaciones y compartir sus experiencias en los trabajos de campo, con su aporte científico y humano en la realización de este trabajo de investigación.

Del mismo modo mis agradecimientos al Dr. David Huamán Rodrigo. Consultor y docente de la UNJBG – Tacna asesor externo, por su apoyo en los trabajos de campo y recomendaciones, para terminar este estudio y a todos los que de una y otra forma me apoyaron para concluir este trabajo.

A mi asesor MSc. Mauro Valdivia, docente de la Universidad Nacional de San Agustín por la revisión, corrección y sugerencias para presentar esta investigación; tanto como a las autoridades y docentes de la Escuela Profesional de Geología de la Universidad Nacional de San Agustín por el apoyo brindado durante la presentación y evaluación del presente trabajo de investigación.

A mis jurados Dr. Pablo Ruben Meza Arestegui , MSc. Olga Marinez Rodriguez , MSc. Mauro Valdivia Bustamante por la revisión , observaciones y sugerencias para presentar éste trabajo de investigación.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación “Prospección Geológica y Geoquímica del sector Oeste de Chalhuanca – Concesiones Nueva Alicia 1, 2, 3 y 4”, localizado en la franja Metalogénica Andahuaylas -Yauri, donde se emplazan yacimientos tipo pórfido y skarn de Cu – Mo – Au, como Los Chancas, Antapacay, Quechuas, Las Bambas, Cotabambas.

El ámbito litológico local está conformado por rocas intrusivas, correspondientes al magmatismo del Batolito de Abancay, granodiorita, monzonita, subvolcánico, andesitas, rocas de la formación Ferrobamba, Grupo Puno, Grupo Barroso, rocas metamórficas mármol skarns y hornfels, depósitos cuaternarios fluvio-glaciares, morrénicos, Aluviales, coluviales y eluviales.

El área de estudio evaluado en la presente tesis ha sido realizado, mediante el trabajo de cartografiado geológico-estructural, análisis de ortofotos e imágenes satelitales, alteración hidrotermal, mineralización a escalas 1:10,000 y 1:25,000, e interpretación de las anomalías geoquímicas. Como resultado de los trabajos efectuados, se ha identificado un zoneamiento bien definido de un skarn, donde el Endoskarn presenta Andradita, Hedenbergíta, Clinopiroxenos, Plagioclasas alterada a Caolinita, sulfuros diseminados de Py - Cpy, óxidos y carbonatos de Cu; Exoskarn se caracteriza por el desarrollo de Andradita que predomina sobre otros minerales como la Grosularia, Calcita, Wollastonita, Clorita, Epidota y Cuarzo, relacionados a una mineralización Cu-Zn-Pb, en las zonas marmolizadas se presentan vetas de Au-Cu-Fe. La mineralización en Nueva Alicia 1, 2, 3 y 4, están asociada al emplazamiento del intrusivo granodiorítico con variación local a monzonítica; con un control estructural preferencial de rumbo andino, afectando a las calizas replegadas de la formación Ferrobamba.

Los resultados geoquímicos de las 225 muestras nos permitieron determinar dos áreas potenciales “Nueva Alicia 1 y 2” y otras dos con menor potencial “Nueva Alicia 3 y 4”, ambos asociados a ambientes tipo pórfido y skarns.

Estimación de recurso preliminar, en Exoskarn 137,600 Onz Cu, 458,669 Onz Ag; en el Endoskarn 590,241 Onz Cu, 7'378,024 Onz Ag, 1'475,604 Onz Au; en la Brecha 5,073 Onz Au, y en las vetas 49.068 Onz Au.

Palabras Clave: *Prospección Geológica, Prospección Geoquímica, Estructural, Apurímac.*

ABSTRACT

The present research work "Geological and Geochemical Prospecting of the West sector of Chalhuanca - Nueva Alicia 1, 2, 3 and 4", located in the Andahuaylas - Yauri metallogenic belt, where there are porphyry and skarn deposits of Cu - Mo - Au, such as Los Chancas, Antapacay, Quechuas, Las Bambas, Cotabambas.

The local lithological environment is conformed of intrusive rocks, corresponding to the magmatism of the Abancay Batholith, granodiorite, monzonite, subvolcanic, andesites, rocks of the Ferrobamba formation, Puno Group, Barroso Group, metamorphic rocks, marble skarns and hornfels, quaternary fluvio-glacial, morainic, alluvial, colluvial and eluvial deposits.

The study area evaluated in this thesis has revealed relevant information through geological-structural mapping, analysis of orthophotos and satellite images, hydrothermal alteration, mineralization, sampling at 1:10,000 and 1:25,000 scales, and interpretation of geochemical anomalies. As a result of the work carried out, a well-defined skarn zone has been identified, where the Endoskarn presents Andradite, Hedenbergite, Clinopyroxenes, Plagioclase altered to Kaolinite, disseminated Py-Cpy sulfides, Cu oxides and carbonates; ExoSkarn is characterized by the development of Andradite that predominates over other minerals such as Grossularia, Calcite, Wollastonite, Chlorite, Epidote and Quartz, related to a Cu-Zn-Pb mineralization, in the marbleized zones there are Au-Cu-Fe veins. The mineralization in Nueva 1, 2, 3 and 4, is associated to the emplacement of the granodioritic intrusive with local variation to monzonitic; with a preferential structural control of Andean trend, affecting the folded limestones. The geochemical results obtained from the 225 samples allowed us to determine two potential areas "Nueva Alicia 1 and 2" and other two with lower potential "Nueva Alicia 3 and 4", both associated to porphyry and skarn type environments. A preliminary potential has been estimated in the ExoSkarn with values of 137,600 Onz Cu, 458,669 Onz Ag, in the EndoSkarn 590,241 Onz Cu, 7'378,024 Onz Ag, 1'475,604 Onz Au, in the Breccia 5,073 Onz Au, and in the veins 49,068 Onz Au.

Key Word: *Geological Prospecting, Geochemical Prospecting, Structural, Apurímac.*

ÍNDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Ubicación y Accesibilidad.....	2
1.2. Estudios anteriores	4
1.3. Justificación.....	4
1.4. Formulación del problema	5
1.4.1. Definición del Problema.....	5
1.4.2. Formulación del Problema	5
1.5. Alcance y limitaciones	6
1.5.1. Alcances.....	6
1.5.2. Limitaciones.....	6
1.6. Variables e indicadores	6
1.6.1. Independientes.	6
1.6.2. Dependientes.....	6
1.6.3. Indicadores.....	6
1.7. Objetivos.....	7
1.7.1. Objetivo General.....	7
1.7.2. Objetivos Específicos.....	7
1.8. Hipótesis	7
1.8.1. Hipótesis General	7
1.8.2. Hipótesis específicas	8

CAPÍTULO II	9
MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. Antecedentes de la Investigación	9
2.2. Marco conceptual o bases teóricas.....	11
2.2.1. Evolución magmática.....	11
2.2.2. Diferenciación magmática.....	11
2.2.3. Magma calcoalcalino	12
2.2.4. Pórfido de cobre	13
2.2.5. Origen de Skarn.....	14
2.2.6. Skarn de Cu y relación con Pórfido Cu.....	14
2.2.7. Características Generales de Yacimientos en Skarn.....	15
2.2.7.1. Características de los Skarn	16
CAPITULO III	24
MATERIAL DE ESTUDIO	24
3.1. Fisiografía.....	24
3.1.1. Geomorfología	24
3.1.1.1. Montaña en roca volcánica	24
3.1.1.2. Colinas.....	25
3.1.1.3. Valle glaciar	25
3.1.1.4. Morrenas	25
3.1.1.5. Terraza indiferenciada	26
3.1.1.6. Cause del rio.....	26
3.1.2. Hidrografía	28
3.1.3. Clima y Vegetación	28
3.1.4. Flora y Fauna	28
3.1.5. Marco Socio Económico.....	29
3.2. Geología Regional.....	30

3.2.1. LitoEstratigrafía Regional	30
3.2.1.1. Mesozoico - Grupo Yura (251 a 65 Ma).....	30
3.2.1.2. Formación Mara (Ki - ma).....	31
3.2.1.3. Formación Ferrobamba (Km-Fe).....	31
3.2.2. Cenozoico (65 Ma).....	32
3.2.2.1. Grupo Puno (Ti-Gpu).....	32
3.2.2.2. Grupo Tacaza (Ts-Vta)	33
3.2.2.3. Formación Sencca (Tse)	34
3.2.2.4. Grupo Barroso (PQ-ba).....	34
3.2.2.5. Volcánico Santo Tomas (Q - vst)	35
3.2.3. Depósitos Cuaternarios.....	36
3.2.3.1. Depósitos Aluviales (Qh-al).....	36
3.2.4. Magmatismo: Batolito de Abancay	39
3.2.4.1. El Batolito Andahuaylas-Yauri (Eoceno-Oligoceno).....	39
3.2.4.2. Composición Petrológica del Batolito	41
3.2.4.3. Descripción de las rocas intrusivas.	42
3.2.4.4. Petrología asociada a la mineralización y alteraciones hidrotermales	43
3.2.4.5. Similitud con otros yacimientos	45
3.2.5. Rocas intrusivas	48
3.2.6. Rocas Metamórficas	49
3.2.6.1. Skarns.....	50
3.3. Geología estructural regional	51
3.3.1. Fase extensional (Triásico Sup. - Cretáceo Inf.).....	51
CAPITULO IV.....	52
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	52
4.1. Metodología de trabajo.....	52

4.1.1. Compilación de gabinete.....	52
4.1.2. Trabajos de campo.....	52
4.1.3. Interpretación de todos los datos y conclusión.....	53
4.1.4. Método: Cartografiado Geológico.....	53
CAPITULO V.....	54
PROSPECCIÓN GEOLÓGICA. GEOLOGÍA ECONÓMICA Y ESTIMACIÓN DE RECURSOS.....	54
5.1. Geología Local.....	54
5.1.1. LitoEstratigrafía Local.....	54
5.1.1.1. Grupo Yura.....	54
5.1.1.2. Formación Mara (Ki - ma).....	55
5.1.1.3. Formación Ferrobamba (Km-Fe).....	56
5.1.1.4. Grupo Puno (Km-Fe).....	56
5.1.1.5. Volcánico Sencca (Tse).....	57
5.1.1.6. Grupo Barroso (PQ - ba).....	58
5.1.1.7. Depósitos Cuaternarios.....	58
5.1.2. Rocas intrusivas.....	63
5.1.3. Rocas Metamórficas.....	63
5.1.3.1. Skarns.....	64
5.2. Geología Estructural.....	65
5.2.1. Estructural Regional.....	66
5.2.2. Estructural Local.....	68
5.3. Interpretación Estructural de las Concesiones Nueva Alicia 1, 2, 3 y 4....	68
5.3.1. Análisis estructural.....	68
5.4. Importancia Económica.....	72
5.4.1. Recursos Minerales.....	72
5.5. Geología Económica.....	72

5.6. Estructuras Mineralizadas.....	73
5.6.1. Cuerpos.....	73
5.6.2. Brecha.....	73
5.6.3. Vetas.....	74
5.7. Mineralización Hipógena.....	74
5.7.1. Oro.....	74
5.7.2. Calcopirita.....	75
5.7.3. Pirita.....	75
5.7.4. Malaquita y Crisocola.....	75
5.7.5. Magnetita.....	75
5.7.6. Limonitas.....	75
5.8. Alteración Metasomática.....	75
5.8.1. Alteración Prograda.....	77
5.8.2. Alteración Retrógrada.....	77
5.9. Alteración Hidrotermal.....	77
5.9.1. Alteración Propilítica.....	77
5.9.2. Alteración Argílica.....	77
5.9.3. Actinolización.....	78
5.10. Controles Geológicos de la Mineralización.....	80
5.10.1. Control Estructural.....	80
5.10.2. Control Litológico.....	80
5.11. Génesis.....	80
5.11.1. Tipo de Yacimiento.....	81
5.11.2. Alteración Metasomática.....	82
5.11.2.1. Endoskarn.....	82
5.11.2.2. Exoskarn.....	82
5.11.3. Estadios de Formación.....	83

5.12. Geoquímica	84
5.12.1. Técnicas geoquímicas.....	84
5.12.2. Control de calidad (QA/QC)	85
5.12.2.1. Muestras de control de calidad	86
5.12.3. Análisis interpretativo de muestras	92
5.12.3.1. Coeficiente de correlación.....	92
5.12.4. Análisis de correlación de Elementos Guías.....	94
5.12.5. Cálculo de anomalías geoquímicas	94
5.12.6. Diagramas Scatter	97
5.13. Estimación de recursos	99
CAPÍTULO VI.....	104
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	104
6.1. Prospección Geológica	104
6.2. Prospección geoquímica.....	106
6.2.1. Geoquímica regional.....	107
6.2.2. Geoquímica local.....	107
6.2.2.1. Histograma de anomalías de Nueva Alicia 1, 2, 3 y 4.....	108
6.3. Potencial prospectivo preliminar	111
6.3.1.1. Franja de Pórfidos – Skarn.....	112
CONCLUSIONES.....	114
RECOMENDACIONES.....	116
BIBLIOGRAFÍA	117
ANEXOS	120

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas del área de estudio.....	2
Tabla 2. Magmatismo volcánico del sur del Perú	46
Tabla 3. Cálculo de recursos en Exoskarn y Endoskarn.....	99
Tabla 4. Cálculo de recursos en Brechas	99
Tabla 5. Cálculo de recursos en Vetas	99
Tabla 6. Resumen de Recursos	99
Tabla 7. Resumen de Recursos	115
Tabla 8. Anomalías Geoquímicas de Alicia 1, 2, 3 y 4.....	120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.	3
Figura 2. Modelo de pórfido de cobre.	13
Figura 3. Sección Idealizada mostrando las partes de un Sistema de Pórfido.	15
Figura 4. Corte esquemático de un skarn.	23
Figura 5. Modelo de depósito tipo Skarn.	23
Figura 6. Mapa geomorfológico del área de estudio.	27
Figura 7. Fauna Silvestre.	29
Figura 8. Mapa geológico Regional del área de estudio.	37
Figura 9. Columna estratigráfica regional.	38
Figura 10. Marco tectónico y magmático durante el Paleoceno-Eoceno.	47
Figura 11. Mapa geológico local del área de estudio.	61
Figura 12. Columna estratigráfica local. zona de estudio.	62
Figura 13. Mapa estructural regional.	67
Figura 14. Mapa estructural local.	71
Figura 15. Mapa de alteraciones hidrotermales.	79
Figura 16. Esquema de Endoskarn y Exoskarn.	82
Figura 17. Imagen zona de muestreo.	87
Figura 18. Mapa de anomalías geoquímicas.	88
Figura 19. Mapa de anomalías geoquímicas de Au.	89
Figura 20. Mapa de anomalías geoquímicas de Cu.	90
Figura 21. Mapa de anomalías geoquímicas de Mo.	91
Figura 22. Diagrama de correlación de Pearson.	93
Figura 23. Gráficos de Anomalía Geoquímica del Cobre.	95
Figura 24. Gráficos de Anomalía Geoquímica del Molibdeno.	95
Figura 25. Gráficos de Anomalía Geoquímica del Plomo.	96
Figura 26. Gráficos de Anomalía Geoquímica del Zinc.	96
Figura 27. Gráficos de Anomalía Geoquímica del Au.	97
Figura 28. Diagramas Scatter de Cu vs Pb y Cu vs Zn.	98
Figura 29. Diagramas Scatter de Cu vs Au y Cu vs Mo.	98
Figura 30. Sección geológica A-A' de la veta de Au.	100
Figura 31. Sección geológica B-B' de la veta de Au.	101

Figura 32. Seccion geológica C-C´ de la veta de Au	102
Figura 33. Seccion geológica D - D´ de la veta de Au.	103
Figura 34. Los valores analizados de Au.	108
Figura 35. Los valores analizados de Cu.....	108
Figura 36. Los valores analizados de As	109
Figura 37. Los valores analizados de Ba.....	109
Figura 38. Los valores analizados de Mo	110
Figura 39. Los valores analizados de Zn	110
Figura 40. Mapa geológico regional.....	112
Figura 41. Sección geológica litoestructura.	113

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1. Intrusivo granodiorítico con textura granular.....	49
Foto 2. Skarn de Piroxenos granates verdes con diss. fina de Py.....	50
Foto 3. Calizas Ferrobamba, Nódulos y Chert.....	56
Foto 4. Conglomerado Grupo Puno.....	57
Foto 5. Morrenas Sañayca.....	59
Foto 6. Estructura con fuerte erosión.....	60
Foto 7. Intrusivo granodiorítico con textura granular a micro granular	63
Foto 8. Skarn de Piroxenos granates verdes con diss. fina de Py.....	64
Foto 9. Vista panorámica mirando al SE Sinclinal simétrico en las calizas.....	69
Foto 10 Brecha intrusiva con clastos sub redondeados de calizas areniscas .	74
Foto 11. Vista panorámica mirando al NO del área de Alicia 1.....	76
Foto 12. Vista panorámica del sector Alicia 2.....	76
Foto 13. Tipos de muestreo rock chip y canales.....	85

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Las concesiones de Nueva Alicia 1, 2, 3 y 4, con un total de 3,170 hectáreas, ubicadas dentro de la comunidad campesina de Sañayca, propiedad de Rosa Ernestina Quijandria Tataje

Políticamente ubicado en el distrito de Chalhuanca, provincia de Aymaraes, departamento de Apurímac, se encuentran en la franja de yacimientos de Pórfidos Cu, Mo + (Au – Zn), Skarns de Fe – Cu – Au, y vetas auríferas, ubicados en la región Apurímac, parte central del sur del Perú (Nueva Franja de Pórfidos del Eoceno Superior a Oligoceno Inferior), donde se ubican Tintaya - Antapacay - Corocohuayco - Quechua, Katanga, Constancia, Las Bambas (Ferrobamba, Chalcobamba, Charcas, Azul Ccasa), Haqira, Cotabambas, Trapiche.

El área de estudio se caracteriza por la presencia de magmatismo calcoalcalino, asociado a márgenes de subducción del tipo andino y con estrecha relación entre la mineralización y las facies de un Batolito emplazado en niveles sedimentarios y volcánicos, Franja Metalogenética del Cinturón Andahuaylas – Yauri, Pórfidos de Cu – Au - Mo y Skarns de Fe – Cu - Au. Relacionados a intrusivos del Eoceno – Oligoceno.

1.1. Ubicación y Accesibilidad

El área de estudio, se encuentra ubicado al Oeste de la ciudad Chalhuanca, Carta Nacional 29-p, departamento de Apurímac, provincia de Aymaraes, distrito de Chalhuanca, a 49 Km del Proyecto Cuprífero los Chancas, a 4000 m.s.n.m; Zona 18 - L, y está delimitada por las siguientes coordenadas UTM (WGS 84).

Tabla 1. Coordenadas del área de estudio.

COORDENADAS		
Nro	ESTE	NORTE
1	672000	8420000
2	672000	8413000
3	680000	8420000
4	680000	8413000

Fuente: Elaboración propia.

El área de estudio se encuentra a una distancia de 820 Km, en línea recta desde la ciudad de Lima, y es accesible por carretera asfaltada hasta Chalhuanca y desde allí al proyecto por trocha carrozable. (Figura 1 pag.3).

Ruta 1

Lima – Nazca Carretera Asfaltada 450 km (7 horas)

Nazca – Chalhuanca Carretera Asfaltada 335 Km (6 horas)

Chalhuanca – Prospecto Carretera Afirmada 35 km (1 hora con 30 minutos)

Ruta 2

Lima - Cusco Via aérea (1 hora)

Cusco - Chalhuanca Carretera Asfaltada 320 km (5 horas)

Chalhuanca – Prospecto Carretera Afirmada 35 km (1 hora con 30 minutos)

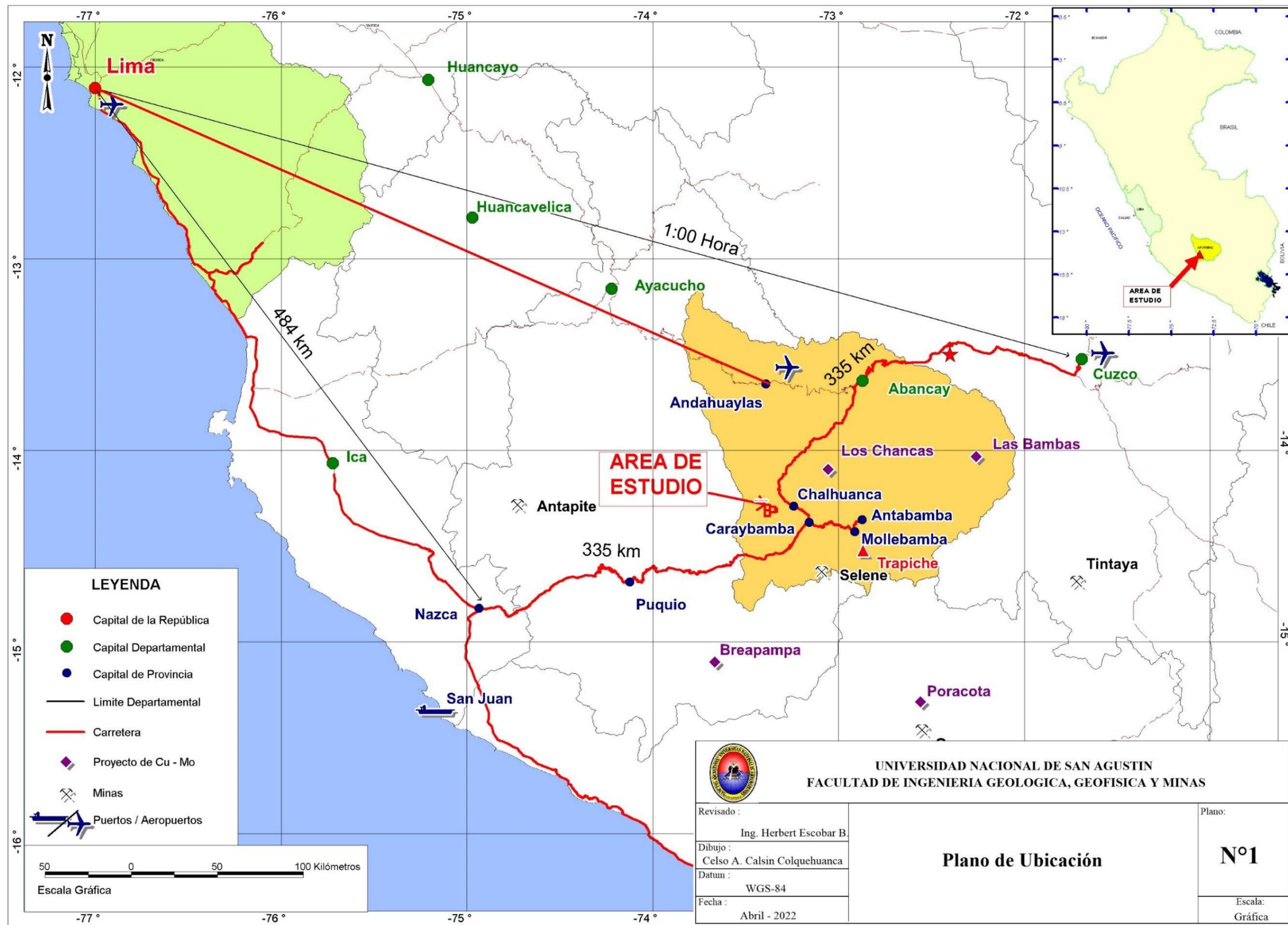


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio. Fuente: Elaboración propia, con base en imágenes satelitales de BingMaps.

1.2. Estudios anteriores

En el área de estudio según base de datos del INGEMMET se indica lo siguiente:

- Minera Britannia Gold.Corp (1995) realizó campaña de perforaciones de (DDH) de 04 taladros con un total de 543.2 metros; con interceptos entre 1.0 a 4.0 metros de mineralización con valores de Au entre 1 – 4 g/Tn.
- Minera Peñoles de Perú S.A. (1997) toma el denuncia Nueva Alicia I y II y acredita pago de derecho de vigencia, sin información geológica.
- Minera Britannia (1997 – 1999) acredita pago de derecho de vigencia ,sin información geológica.
- Rio Algom Explora (2000 – 2002) acredita constancia de pago de derecho de vigencia, sin información geológica.
- Compañía las Dunas de Oro S.A.C. (2006) sin información geológica.
- Minera Apu S.A.C. (2009) Acredita pago de derecho de vigencia y penalidad, sin información geológica.
- Minera Fresnillo Perú S,A,C, (2013) Trabajos de prospección sin, información geológica
- Minera Mpsa S.A. (2013 – 2016) acredita pago de vigencia y penalidad, sin información geológica.

1.3. Justificación

El desarrollo de las investigaciones en el campo de la exploración de recursos minerales se dirige constantemente a la búsqueda de nuevos depósitos y el entendimiento de los procesos que dieron origen a dichos depósitos, además con la finalidad de mejorar el conocimiento de las características geológicas y mineralógicas de los afloramientos presentes en el área de evaluación, los cuales corresponden a un Pórfido de Cu – Au - Mo y a un Skarn de Fe – Cu - Au, y también para realizar trabajos de identificación de texturas ,ensambles de mineralización, entre otros aspectos y con ello definir targets de exploración avanzada.

Por lo tanto, el análisis geoquímico y estructural que se realice en esta etapa de exploración, nos permitirá definir mejor el modelo geológico y a su

vez, nos ayudará a direccionar los futuros programas de perforación en los targets definidos en este trabajo.

Desde el punto de vista regional, el presente trabajo nos permitirá conocer un poco más la franja Metalogénica Andahuaylas – Yauri , donde se emplazan yacimientos tipo porfido y skarn de Cu, Mo, Au, en el sur del Perú.

1.4. Formulación del problema

1.4.1. Definición del Problema

Los Petitorios Nueva Alicia 1, 2, 3 y 4 no cuentan con información de campo y/o, no se han efectuado estudios detallados de las características litológicas, de alteración, estructural y mineralización que permitan tener una información más exacta acerca de los procesos geológicos que se han desarrollado en el área, el presente trabajo trata de resolver el tema de prospección ,

El estudio, está dirigido para comprobar la existencia de un Pórfido de Cu – Au – Mo y Skarn de Fe – Cu – Au , con potencial económico en el área de investigación.

1.4.2. Formulación del Problema

Con este trabajo se pretende obtener información que permita caracterizar geológicamente la zona de estudios de exploración respecto a la litología, estructural, alteraciones y mineralización, que servirá para definir el Pórfido Cu-Au-Mo y Skarn de Fe – Cu – Au con potencial económico.

Mediante el muestreo geoquímico, nos permitirá establecer su correlación y determinación si el recurso es prospectable, debemos resaltar también que la investigación se ha centrado en los tres tipos de mineralización (skarn, brechas y vetas).

1.5. Alcance y limitaciones

1.5.1. Alcances

Se pretende lograr:

- Mapeo de detalle a escalas (1/25,000 y 1/10,000) tanto litológico , estructural y de alteración, de sitios de nuestro cuadro de resultados de anomalías geoquímicas.
- Considerando el estudio geológico del área, se propone definir targets de interés económico, mediante trabajos de exploración al detalle y selectivo en zonas anómalas.

1.5.2. Limitaciones

- La asignación presupuestal (autofinanciamiento).
- Accesibilidad.
- Aspecto social (comunicación).
- Comunicación escasa con las comunidades.
- Las condiciones climatológicas típicas de la región andina.

1.6. Variables e indicadores

1.6.1. Independientes.

- Unidades Litológicas
- Aspectos estructurales del área de evaluación

1.6.2. Dependientes.

- Tecnicas de prospección (geoquímicas de las muestras) de las concesiones Nueva Alicia 1, 2, 3 y 4.

1.6.3. Indicadores.

- Mapeo litológico, estructural ,alteraciones y muestreo geoquímico.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo General

Realizar la prospección geológica y geoquímica para determinar blancos de exploración de las concesiones Nueva Alicia 1, 2, 3 y 4 , Apurímac.

1.7.2. Objetivos Específicos

- Realizar el mapeo litológico para definir la geología y unidades litológicas del área de interés.
- Realizar el mapeo estructural para establecer su relación geológica con las anomalías geoquímicas.
- Realizar el mapeo de alteraciones hidrotermales para determinar zonas asociadas a mineralización anómala.
- Analizar geoquímicamente las muestras de campo en laboratorios certificados (ALS CHEMEX, SGS, CERTIMIN) y posteriormente interpretarlos mediante mapas isovalóricos , diagrama de pearson , secciones geológicas.
- Realizar una estimación de recursos inferidos de las áreas evaluadas basadas preliminarmente en evaluación de campo.
- Obtener el título profesional de Ingeniero Geólogo

1.8. Hipótesis

1.8.1. Hipótesis General

El estudio geológico y geoquímico , por medio del mapeo y de análisis de muestras permite determinar el potencial prospectable, razón por lo que este estudio geológico y su interpretación del área evaluada traerá una mejor definición y caracterización de depósitos minerales relacionados a Pórfido Cu - Au - Mo y Skarn Fe - Cu - Au.

1.8.2. Hipótesis específicas

- La elaboración de mapas litológicos, estructural y de alteraciones permite conocer la repartición areal y sus relaciones con el cuerpo mineralizado.
- Los resultados del análisis geoquímico de la toma de muestras en las concesiones Nueva Alicia 1, 2, 3, y 4 permite la determinación del tipo de cuerpo mineral, específicamente del pórfido Cu – Au – Mo y a la vez del Skarn Fe - Cu – Au.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

Según Perelló J., Carlotto V., Zárata et al. (2003), "Porphyry copper style alteración and mineralization of the middle eocene to early oligocene Andahuaylas Yauri Belt", la presencia de los Pórfidos de Cobre en el Batolito, están controlados por sistemas de fallas asociadas a enjambres de diques que aparecen en las fases finales del pulso magmático. La litología varía desde un gabro hasta un granito, los que presentan geometrías irregulares, y se pueden reconocer fácilmente en el campo.

La fase terminal, está representado por intrusiones subvolcánicas de rocas que litológicamente varían desde una tonalita hasta una dacita, que se encuentran rodeando al Batolito. Dataciones de K-Ar los ubican en el Eoceno a Oligoceno (~ 48-32 Ma). Para las rocas máficas de la fase inicial, los autores señalan edades entre los 48-43 Ma y para las rocas intermedias etapa 40-32 Ma.

Según Petersen, U. (1999), "Magmatic and metallogenic evolution of the central andes", la diversidad Metalogenética, de la franja de Pórfidos del Batolito Andahuaylas – Yauri, la zona fue explorada durante la década de los 90 y se confirmó la alteración y la mineralización tipo pórfido por diferentes geólogos que visitaron la zona. Esto dio lugar a reafirmar el potencial de los Pórfidos de Cobre como Antapacay, Los Chancas y Cotabambas.

La franja del Batolito Andahuaylas – Yauri, se ha emplazado entre los 50 y 30 Ma., en dos etapas, una principal con gabros - dioritas y otra menor con pórfidos, separadas en tiempo por el inicio de la deformación andina, hace 43 Ma. (Carlotto, 1998). Mientras que los intrusivos intermedios a ácidos han generado la mineralización Cu - Mo + Au, y en el contacto con calizas del Albiano – Turoniano, desarrollan una mineralización Skarn de Cu - Zn.

Del Eoceno medio al Oligoceno inferior, el Cinturón de Andahuaylas - Yauri, situada en el sureste de Perú, es una rápida aparición de la provincia de Pórfidos de Cobre. La mineralización de Cu – Au – Mo, se asocian a magmas calco-alkalina.

Perelló et al. (2003), “Porphyry copper Metallogeny of the middle Eocene early oligocene arc of western south américa”: sostiene que el emplazamiento del Batolito se llevó a cabo en 3 etapas, la fase inicial se caracteriza por magmas de tipo calco-alkalinas (gabro, gabro olivino, diorita), que cristalizó en el fondo de la cámara magmática con temperaturas superficiales hasta 1000 ° C y una presión de 2-3 bar.

En la siguiente etapa, las rocas intermedias (monzodiorita, cuarzo diorita, granodiorita y cuarzo monzodiorita) dominó el emplazamiento. Aquí predomina el color gris claro, cuyos componentes minerales presentan grano grueso y texturas que parecen ser equi-granular a porfídica.

Existen dos poblaciones de minerales con fenocristales en la matriz del Pórfido. Por un lado, biotita, anfíboles y ferromagnesianos forman los fenocristales más frecuentes y la plagioclasa (30% a 65% vol.) con cristales de cuarzo subordinado y ortoclasa con ~ 10% vol. cada población de fenocristales importante (Perelló et al., 2003).

La asociación genética de la mayor parte de la mineralización, con una sola fase de la intrusión parece estar presente en la mayoría de los depósitos. Además, existen yacimientos como Los Chancas y Lahuani con dos fases reconocibles y en Antapacay hasta seis fases han sido descritas (Jones et al., 2000).

Stefani Weise, “El cinturón de Andahuaylas Yauri del sureste de Perú y su extensión a los Pórfidos de cobre de Chile”, sostiene que las características geológicas del Cinturón Andahuaylas – Yauri, permiten afirmar que se trata de una provincia metalogenética con alto contenido de

Cu – Mo – Au. El Batolito Andahuaylas – Yauri, está formado por magmas calco alcalinos, que se emplazan sobre rocas carbonatadas y sedimentos clásticos del Cretáceo inferior. Se le asigna una edad entre el Eoceno medio a oligoceno (32 y 48 m.a.).

2.2. Marco conceptual o bases teóricas

2.2.1. Evolución magmática

La mayoría de los magmas, no llegan directamente a la superficie desde su zona de generación, sino que se alojan en una cámara magmática relativamente superficial (1-5 km). En esta cámara el magma experimenta una serie de procesos que cambian su composición química.

La asimilación y contaminación magmática, se refiere a los procesos en los que el magma funde porciones de las rocas encajonantes, estas rocas pueden quedar englobadas dentro del magma y ser asimiladas por él, total o parcialmente. (Perelló, y Carlotto, 2003).

La mezcla de magmas, se produce cuando a una cámara ocupada por un magma ya diferenciado llega desde la misma fuente un magma primario; en estos casos el nuevo magma más caliente y más fluido tiende a desalojar al diferenciado del techo de la cámara. (Benavides-Cáceres, V. 1999).

Todas las rocas ígneas se originan de un magma basáltico primario, el cual al evolucionar se va convirtiendo cada vez en un magma ácido o silíceo hasta llegar al granito.

2.2.2. Diferenciación magmática

Se refiere básicamente a una cristalización fraccionada, debido a que, en un momento de la consolidación del magma, coexisten una fracción sólida y una fracción líquida.

“La fracción consolidada o sólida, está formada por minerales más densos y menos polimerizados y la fracción residual aún fundida, es muy diferente a la primitiva y mucho más ácida. Los minerales primeramente formados al ser más densos se concentran en la parte más profunda de la cámara magmática” (Maksaev 2003).

Si por un proceso de compresión o por otra causa, asciende el magma a zonas más superficiales, ascenderá primeramente el residuo aun fundido de composición más ácida. Por este proceso y a partir de un magma único, pueden formarse rocas muy diferentes entre sí, es decir, a partir de un magma inicialmente básico pueden formarse rocas ácidas graníticas que son las más abundantes de la corteza.

Si el proceso de cristalización se interrumpe en distintos momentos, obtenemos magmas de composiciones muy variados, intermedias entre la basáltica y la granítica (Hedenquist y Richards, 1998).

2.2.3. Magma calcoalcalino

Los magmas calco-alcalinos, incluyen rocas volcánicas como el basalto, la andesita, dacita, riolita, así como sus equivalentes intrusivos (gabro, diorita, granodiorita y granito).

Los magmas básicos, tienen una temperatura mayor a los 1000°C, con contenido de SiO₂ en menos del 50% y da lugar al gabro y basalto. Los magmas ácidos tienen una temperatura menor a los 900°C, con SiO₂ en más de un 50% y dan lugar a los granitos y riolitas. Si se oxida lo suficiente, entonces se precipitarán grandes cantidades de magnetita, óxido de hierro.

Estos magmas ocurren en las zonas de Subducción, en los Arcos magmáticos de los arcos insulares maduros y en los márgenes continentales.

Las rocas calco alcalinas están representadas por:

- a. Las rocas plutónicas desde el gabro hasta el granito, pasando por la granodiorita y diorita.
- b. Las rocas volcánicas, en los arcos insulares, siendo la andesita con (59% SiO₂, K) y elementos como: rubidio, estroncio, bario, zircón y uranio.
- c. Las rocas más silíceas, en los márgenes continentales, como; la dacita y riolitas (61% y 62% SiO₂), con concentraciones de K y elementos como; rubidio, estroncio, bario, zircón, torio, uranio, etc., dentro de este tipo de magma se enmarca el Batolito Andahuaylas – Yauri.

2.2.4. Pórfido de cobre

El término Pórfido, se refiere a una textura de rocas ígneas, que tiene grandes cristales en una matriz relativamente de grano fino, que contienen minerales de cobre y otros, que en muchos casos son económicos. Son depósitos que contienen grandes cantidades de mineral, con un promedio de una fracción del 1% de cobre en peso, aunque de calidad inferior, los depósitos son importantes porque se puede trabajar a gran escala a bajo costo.

Los Pórfidos cupríferos, son yacimientos de gran tonelaje (110 - 1,200 millones de TM) y bajas leyes de Cu (0.2% - 2% Cu). Aparte del Cu, estos yacimientos pueden presentar cantidades variables de Mo y/o metales preciosos como Au y Ag, que pueden ser recuperados económicamente (Sillitoe, 2010) (Figura 2 ,pag 13).

Modelo pórfido Cu

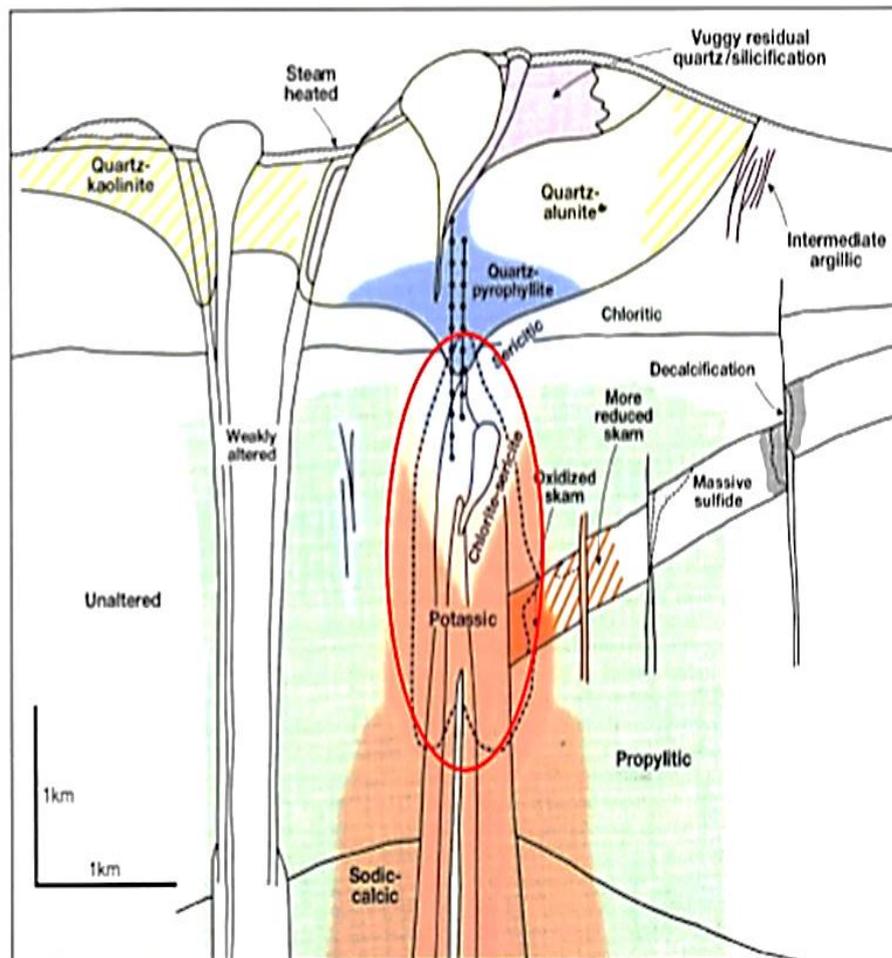


Figura 2. Modelo de pórfido de cobre. Fuente: Sillitoe (2010).

En la figura 2 se observa una sección idealizada que muestra la zonación de alteración de Pórfidos Cu en el mundo, basado en la geología y los tipos de depósito. Nótese que la alteración se superpone a medida que profundiza, se debe tener en cuenta que las zonas de los diferentes tipos de alteración varían de depósito en depósito. La alteración sericitica tiende a ser más abundante en Pórfidos de Cu - Mo, en tanto que la clorita - sericita se desarrolla en Pórfidos de Cu-Au (Sillitoe, 2009).

2.2.5. Origen de Skarn

Formado principalmente en rocas calcáreas ya que pueden disolverse o reemplazarse más fácilmente por los fluidos hidrotermales.

Se tiene un ascenso del magma formando una aureola de metamorfismo de contacto en las rocas de caja. Los fluidos hidrotermales que reaccionan con la roca caja iniciando la formación de un Skarn de alta temperatura (700-600°C), y en la fase de enfriamiento (450-300°C) donde se precipitan los sulfuros y algunos óxidos.

Por percolación de aguas meteóricas se puede producir alteración en algunos minerales (fase de enriquecimiento supergénico).

El Exoskarn se forma en las rocas sedimentarias calcáreas y el Endoskarn en los intrusivos (Burt y Peterson, 1974).

2.2.6. Skarn de Cu y relación con Pórfido Cu

En el caso de Skarn de Cu asociado a un sistema del tipo Pórfido cuprífero, existe relación entre los eventos de alteración metasomática de Skarn y la evolución de alteración del Pórfido.

La alteración prógrada del Skarn se relaciona con la alteración potásica y está zonada con respecto al núcleo potásico.

En las etapas más avanzadas de la evolución del sistema de Pórfido cuprífero, ocurre el colapso del sistema hidrotermal, dándose alteración filica en el Pórfido, y alteración retrógrada en el Skarn.

Esta alteración retrógrada se superpone a la prograda, siendo muy destructiva (Burt y Peterson, 1974). (Fig. 3 ,Pag 15).

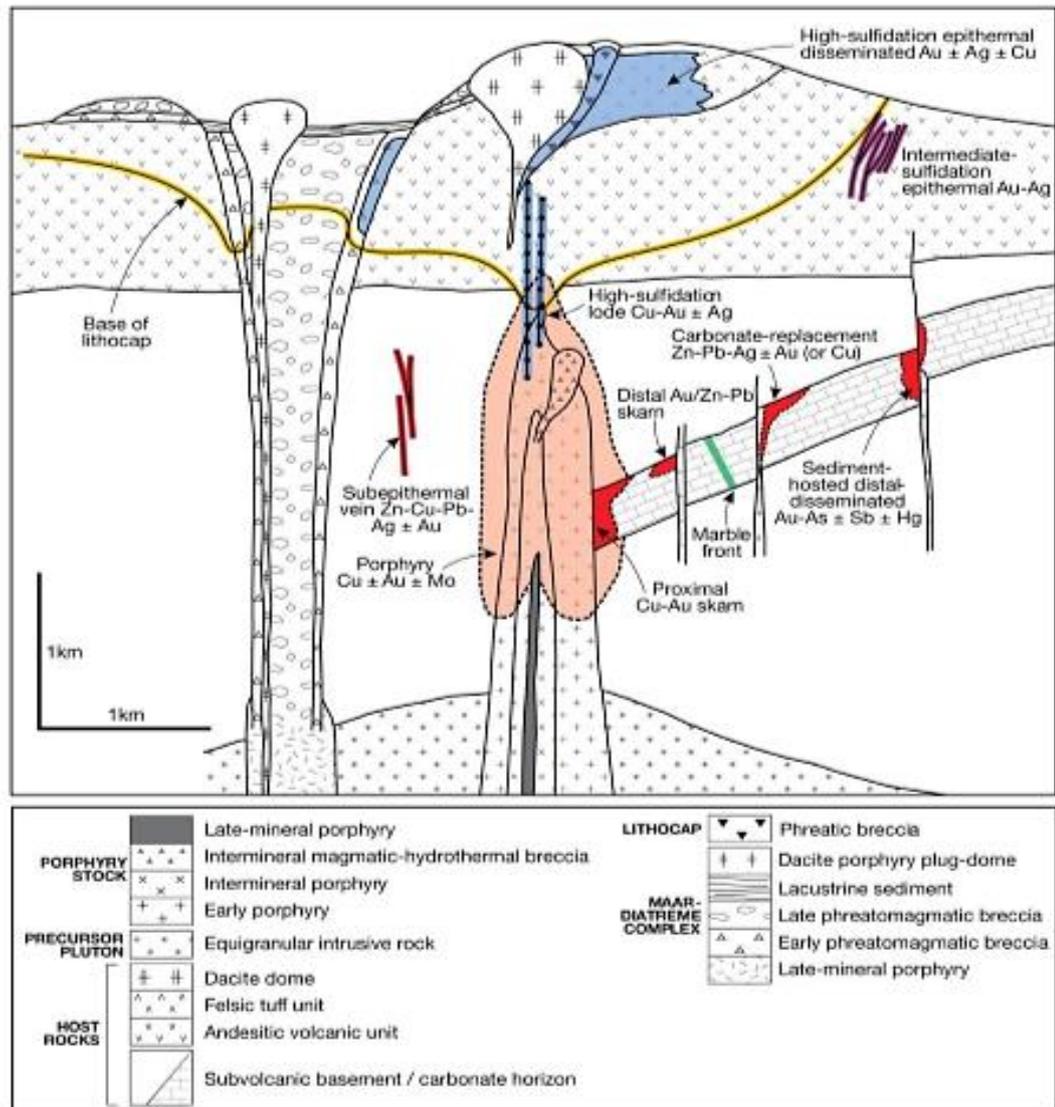


Figura 3. Sección Idealizada mostrando las partes de un Sistema de Pórfido, la interrelación especial de Pórfido de Cu - Mo, ubicado en la zona central de un yacimiento de Pórfido multifásico y roca encajonante para el Au - Ag - Mo.

Skarn proximal y distal, remplazamiento de carbonato en sedimentos, depositos epitermales de Alta y Baja Sulfuración. Fuente :Sillitoe (2010).

2.2.7. Características Generales de Yacimientos en Skarn

Según Burt y Peterson (1974) los yacimientos minerales en Skarn presentan características bien definidas que desarrollaremos a continuación, pero previamente trataremos de las características que presentan los Skarn.

2.2.7.1. **Características de los Skarn**

a. **Origen de los Skarn**

Es una roca originada por metamorfismo de contacto generado entre un intrusivo y una secuencia de rocas calcáreas. fueron los mineros de Persberg (Suecia) los que denominaron así a estas rocas.

b. **Composición**

Los Skarn están compuestos típicamente por una mezcla de cristales relativamente grandes de silicatos anhidros e hidratados de los elementos Ca, Mg, Fe, Al, y Mn formados por remplazamiento metasomático de la roca encajonante original que es una caliza.

c. **Clasificación de los Skarn**

Los Skarn pueden clasificarse, en dos Grupos químicos:

- **Skarn de Mg – Sí.-** Formados por remplazamiento de dolomías, en los cuales predominan los silicatos magnesianos tales como la forsterita y la serpentina (con el Fe generalmente en forma de magnetita).
- **Skarn de Ca – Fe - Sí.-** Formados por reemplazo de calizas relativamente puras, en los cuales predominan minerales ricos en Ca - Fe, como el granate y/o el piroxeno hedenbergítico. En este Grupo también pueden asumir importancia Al, Mg y el Mn, especialmente si la caliza original era al mismo tiempo arcillosa y dolomítica.

d. **Tipos de Skarn**

Los Skarn se pueden clasificar, según su relación en:

- **EndoSkarn.** – Skarn formado en el intrusivo.
- **ExoSkarn.** – Skarn formado en la roca calcárea.

En algunos depósitos hay una transición completa entre ambas zonas y es casi imposible de marcar un límite preciso entre ellas. En otros depósitos el Endoskarn falta por completo y el intrusivo parece fresco o solo ligeramente alterado hidrotermalmente.

Cuando están presentes los dos, los Endoskarn tienden a ser más ricos en Al que los Exoskarn y comúnmente se caracterizan por tener solo un mineral como por ejemplo epidota o granate.

En general, los Exoskarn son cuantitativamente más importantes y contienen los minerales económicos (Burt y Peterson, 1974).

La expresión "Skarn de reacción" (Turner y Verhoogen, 1969, pp.571-572) ha sido aplicada a ciertas rocas con silicatos cálcicos, formados por metamorfismo regional en los contactos entre caliza o dolomía y una roca muy distinta como, por ejemplo una lutita o rocas volcánicas; estos Skarn son pequeños y se deben a difusión muy local. Normalmente no tienen asociación con yacimientos minerales económicos.

Otro tipo de Skarn de reacción, denominado "Skarn primario" (Titley, 1951), "Skarn secundarios", "Skarn de reemplazamiento" o "Skarns mineralizados" (Watanabe, 1960, pág. 950).

Korzhinski (1959, 1964, 1965) Goldschmidt (1911) y muchos autores han explicado las diversas características distintivas de los Skarn:

- **Primera característica: su grano grueso.** - Durante su formación los Skarns están impregnados de fluidos a alta temperatura, de manera que existe una tendencia a formar cristales grandes. En este sentido se parecen a las pegmatitas, pues los cristales en los Skarn rara vez exceden de los 30 centímetros de largo.
- **Segunda característica: Su composición química,** - Los silicatos cálcicos de los Skarn tienen generalmente colores oscuros ya que contienen Fe y Mn. En los Skarn formados a partir de calizas puras los granates cálcicos tienden a ser andradita ($\text{Ca}_3\text{Fe}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$) en lugar de grosularita ($\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$) y los piroxenos son hedenbergita

(CaFeSi₂O₆) o johansenita (CaMnSiO) en lugar de diópsido (CaMgSi₂O₆).

- **Tercera característica: La distribución espacial de los minerales.** - El control principal para la distribución de los silicatos que forman los Skarns son los conductos que canalizan las soluciones (el contacto ígneo y otras zonas de debilidad). Alrededor de la fuente o del canal seguido por las soluciones hay típicamente un bandeamiento más o menos definido de diversas zonas silicatadas, en las cuales el número de minerales es bastante reducido. los límites entre estas zonas especialmente los bordes externos con la caliza fresca pueden ser muy precisos y pueden cruzar la estratificación.

e. Relaciones estructurales de los Skarns

Los Skarns guardan relaciones estructurales con los intrusivos, que pueden ser de tres tipos:

- **Skarns alrededor de los intrusivos.** - Es el caso más común, el intrusivo que invade a las calizas queda rodeado de Skarns localizados a lo largo del contacto y especialmente siguiendo determinadas zonas favorables. A menudo los sedimentos circundantes han sido levantados, formando un domo o plegados y fallados por el emplazamiento del intrusivo. Esto es particularmente evidente en Magistral y Antamina en el Perú (observaciones personales).
- **Intrusivo alrededor del Skarn.** - Esta segunda configuración estructural es menos común y consiste en cuerpos de Skarn completamente rodeados por el intrusivo, en otras palabras, la caliza es un bloque caído dentro de los intrusivos, que ha sido reemplazado parcial o totalmente por Skarns.

Dos distritos de Cu, donde el Skarn se ha desarrollado en bloques de caliza dentro de un intrusivo son Tintaya, Ferrobamba, Chalcobamba y Charcas, en el Perú.

- **Skarns sin intrusivo expuesto.** - No es raro observar Skarns típicos sin relación alguna a un intrusivo visible (superficie o en galerías y sondajes diamantinos), sino más bien desarrollados a lo largo de fracturas y/o contactos sedimentarios.

Entre los yacimientos visitados en el Perú, tenemos el proyecto Chupa, donde una zona de fracturas cruza un contacto de calizas con cuarcita, y el yacimiento de Cobriza donde hay un intrusivo granítico en las cercanías, pero este no parece tener una relación genética con el yacimiento.

f. Reacciones retrogradadas en los Skarns

Una de las características de los Skarns de Ca – Fe - Si mineralizados que los distingue de rocas metamórficas ordinarias, es el grado de alteración retrograda que han experimentado, excepto a lo largo de zonas de fallas, las rocas metamórficas parecen haber pasado por un máximo de metamorfismo y luego haber sido aislados, no han vuelto a ser hidratados o recarbonatadas.

Por otro lado, los Skarns que han permitido el paso de fluidos hidrotermales, desarrollan una alteración de regresión o “metamorfismo regresivo”.

Los estudios texturales de los minerales retrógrados, en Skarns a menudo revelan asociaciones con pocos “grados de libertad”. Estas asociaciones dentro de una muestra de mano o sección delgada, pueden proporcionar la misma información sobre las relaciones de estabilidad de minerales que se podría obtener haciendo un estudio cuidadoso de un extenso terreno de metamorfismo regional. Por consiguiente, el estudio del Skarn puede resultar en un mecanismo sencillo para construir diagramas de fases para silicatos de calcio, por ejemplo, en los Skarn de wollastonita, casi siempre se encuentra alterada

regresivamente a calcita más cuarzo ($6\text{CaSiO}_3 \text{H}_2\text{O}$), lo cual nos da descarbonatación y deshidratación, que producen wollastonita en los sistemas de cuatro componentes: Ca - SiO₂ - CO₂ - H₂O.

Al respecto se ha comentado a menudo que las reacciones progresivas en Skarn y rocas metamórficas de contacto comprenden una descarbonatación, mientras que las reacciones retrogradadas generalmente parecen ser de hidratación, este hecho también es una ventaja para construir diagramas de fases con asociaciones hidratados que no podrían verse fácilmente de otra manera, excepto experimentalmente.

g. Facies de Skarns

Los diferentes tipos de intrusivos a los cuales están asociados a diversos Skarns de Ca – Fe – Si, probablemente fueron emplazados y cristalizados a distintas temperaturas. De manera similar, deben de haber variado los tiempos entre la cristalización del magma y la llegada de las soluciones que forman los Skarns además de estos factores, tenemos la profundidad de emplazamiento, la presencia o ausencia de fracturas para permitir el escape de CO₂, el contenido de materia orgánica de la caliza y el estado de oxidación del intrusivo y de las soluciones que forman el Skarn.

Todos estos factores, implican diferentes facies de Skarn posibles, definidas en términos de temperatura y presión total, fugacidad (o presión parcial) de CO₂ y/o O₂, etc. Así por ejemplo Goldschmidt (1912), clasifico al Skarn como de alta o baja “ley” según la abundancia de wollastonita y Mueller (1961, págs. 469 - 470) los describió como oxidados o “reducidos” según la abundancia de minerales ferrosos, tales como clinopiroxeno y hedenbergita.

En vista de que la historia de las definiciones de los Skarns de Ca – Fe - Si, ha sido larga y complicada, es de suponer que el concepto de facies sea menos aplicable a los Skarn. Como ya mencionamos anteriormente, una misma muestra de mano de

Skarn puede mostrar asociaciones de minerales correspondientes a varias facies diferentes.

Eventos posteriores

En cualquier momento, durante o después de la depositación de las menas, pueden ocurrir brechación, fracturación, emplazamiento de diques en el Skarn. La zona puede ser cubierta por rocas volcánicas. Evidentemente, el último evento es la exposición de parte del depósito por la erosión. Por ejemplo, en Antamina y Magistral, el último evento consistió en la erosión de parte de los glaciares de valle. Vale la pena mencionar aquí que en muchos depósitos de Skarn granatítico, no se observa mucha lixiviación superficial ni enriquecimiento secundario, probablemente debido al efecto neutralizante de la caliza circundante y porque los Skarn a menudo son muy densos.

Otros Aspectos. Estimación de temperatura y presión

La discusión anterior no define cuantitativamente, el régimen de temperaturas y presiones imperantes durante la formación de depósitos minerales en Skarns de Ca – Fe – Si. Sin entrar en los detalles de los argumentos, podemos decir que el análisis de la estratigrafía y geología regional, generalmente se concluye en que las profundidades son relativamente pequeñas, aproximadamente del orden de un kilómetro. Esto significa que la presión total fue del orden de algunos cientos de atmosferas. La fugacidad (o presión parcial) del dióxido de carbono en el fluido acuoso que forma el Skarn, tendría que haber sido menos (quizá mucho menor). Diversos autores han hecho estimaciones de temperatura para distintos estadios de formación de yacimientos en Skarns, utilizando criterios tales como puntos de fusión, flujos de calor, fraccionamiento de isotopos de oxígeno, equilibrios de fases silicatadas y sulfuros e inclusiones fluidas, obteniendo límites relativamente amplios.

Para un Skarn mineralizado típico alrededor de un cuerpo de granodiorita o de monzonita cuarcífera, las temperaturas para las diversas estadias serian aproximadamente como sigue:

700°C – 900°C Solidificación del intrusivo

500°C – 700°C Metamorfismo de contacto

400°C – 600°C Formación del Skarn

300°C – 500°C Superposición de óxidos y sulfuros

200°C – 400°C Estadío hidrotermal tardío

Estas estimaciones están basadas en los estudios recientes de la mina Yaguki en Japón (Shimazaqui 1969), de la mina Concepción del Oro en México (Kerler 1968) mina Christinas en Arizona (Perry.1969) las estimaciones anteriores de temperaturas más altas se basan, en las temperaturas de fusión de granitos “secos” (región de Cristianias en Noruega, Goldschmidt 1911, pp. 110) en temperatura a la que los granates zonados pierden su birrefringencia (península Kassar, Alaska: Wright, 1915, pág. 108; Mina Buvambic, New México: Allen y Fahey, 1957, pág. 894).

EndoSkarn y ExoSkarn

- El metamorfismo de contacto afecta a las rocas de caja, pero es frecuente que la intrusión también sufra efectos metasomáticos.
- Esto resulta en una zonación:
- EndoSkarn: Minerales calcosilicatados dentro del intrusivo.
- ExoSkarn: Skarn en las rocas calcáreas. (Figura 4 y 5 , pag.23).

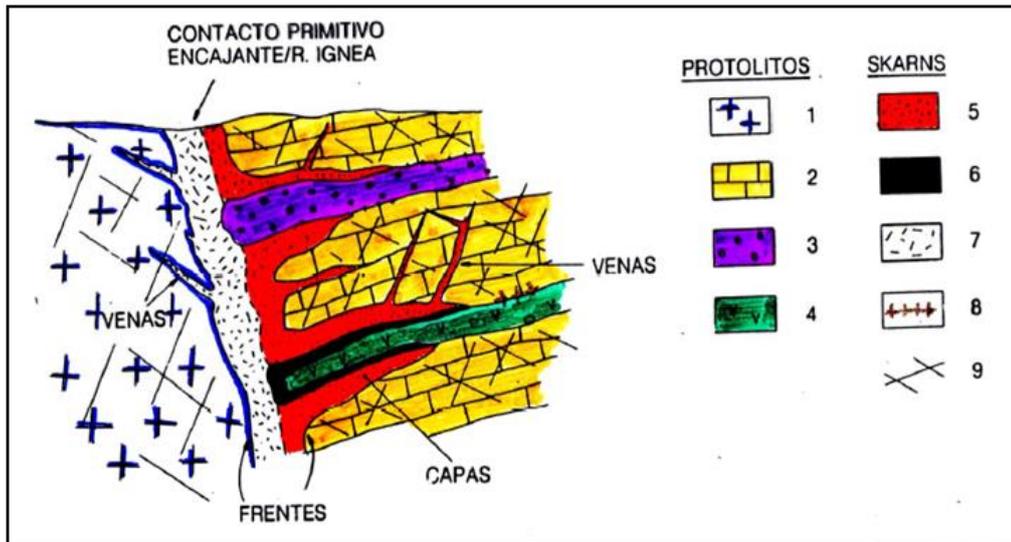


Figura 4. Corte esquemático de un skarn 1) Roca plutónica, 2) Rocas carbontadas, 3) Capas detríticas, 4) Intercalaciones volcánicas básicas, 5) Exoskarn sobre marmoles, 6) Exoskarn de tipo periskarn, 7) Endoskarn, 8) Skarn tipo difusional o bimetasomático, 9) Red de fracturas
Fuente: Magdalena Rodas Gonzales UCM – 2014).

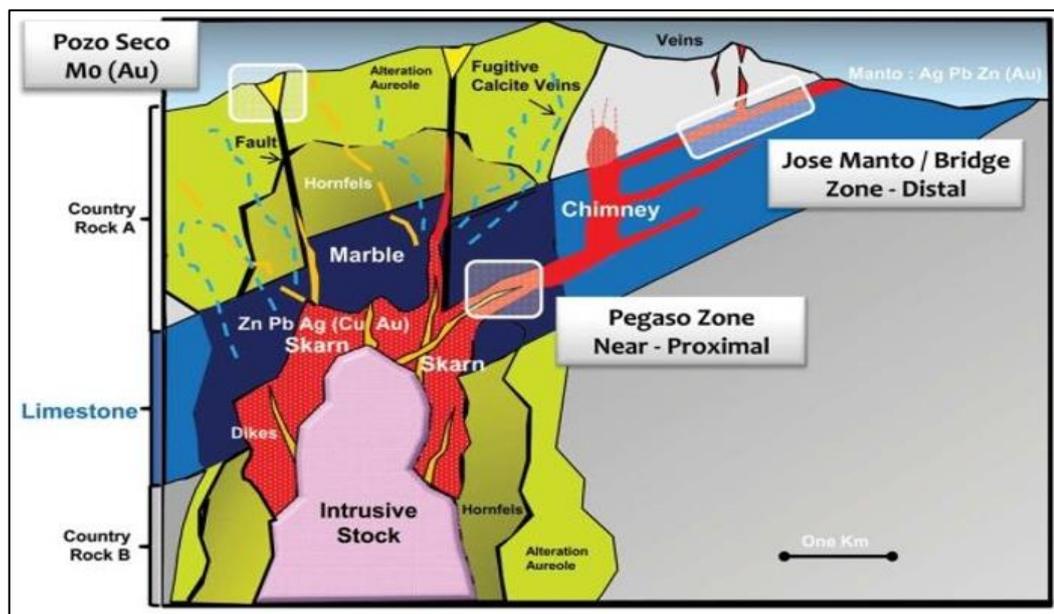


Figura 5. Modelo de depósito tipo Skarn. Fuente: Durán y Tapia (2015).

CAPITULO III

MATERIAL DE ESTUDIO

3.1. Fisiografía

El área de estudio se localiza en la Cordillera Oriental de los Andes Peruanos, al este de la divisoria continental, localmente denominada Cordillera de Huanzo, cuya red hídrica desemboca en el Océano Atlántico.

3.1.1. Geomorfología

Los rasgos geomorfológicos fueron cartografiados en la última versión nacional por el INGEMMET en el 2016, diferenciando geoformas según los agentes geológicos modeladores y a la topografía (Figura 6, pag 26). Entre estas geoformas tenemos:

3.1.1.1. *Montaña en roca volcánica*

Esta unidad geomorfológica, constituye las partes más altas del área de estudio, está formado por cadenas de cerros y nevados alineados según el curso general de los Andes, que emerge por encima de una superficie levemente horizontal, ubicada entre los 4,000 y 4,600 m.s.n.m. Esta zona montañosa que en algunos casos superan los 5000 m.s.n.m. se encuentra en los mismos alineamientos de algunos nevados, los afloramientos están en las cumbres con farallones de cuarcita de 150 a 200 metros y pequeños intrusivos. (Escobedo, 2014) (Figura 6, pag 27).

3.1.1.2. Colinas

Esta unidad geomorfológica la constituye las estribaciones superiores de la Cordillera Occidental, que se caracteriza por presentar un relieve definido por las cadenas de cerros de diversas formas, con declives que hace que el sector disminuya progresivamente de altura y que se encuentran por arriba de los 4700 msnm. (Medina, 2014) (Figura 6, pag 27). Según INGEMMET-2016, se diferencian colinas según el tipo de roca, como son:

Colinas en roca volcánica

Colinas en cuerpos intrusivos o subvolcánicos

Colina en roca sedimentaria

Colina en roca Volcano-sedimentaria

3.1.1.3. Valle glaciar

Esta unidad geomorfológica la constituye las superficies de erosión glaciar, como producto del trabajo de los glaciares que ha estado sujeta el área durante el Pleistoceno; se caracteriza por presentar una sección transversal en forma de una "U" con laderas asimétricas y con el fondo parcialmente escalonado; en la cabecera del valle glaciar Chanquillo, inicialmente se encontraban emplazadas hasta tres cubetas con lagunas. Otras características de los valles glaciares son las huellas de abrasión y sobreexcavación provocada por la fricción del hielo y el arrastre de material, existencia de canales de aludes, fondos planos con alternancia de umbrales y cubetas, vertientes muy verticales labradas que dan lugar a una ruptura de pendiente en hombrera y a la formación de valles colgados o suspendidos (Medina, 2014).

3.1.1.4. Morrenas

Esta unidad geomorfológica está referida a los materiales morrénicos que han sido previamente transportados por las aguas a partir de antiguos depósitos glaciares. Actualmente, se encuentran erosionados, resaltando formas discontinuas en las vertientes de laderas moderadamente empinadas.

3.1.1.5. *Terraza indiferenciada*

Esta unidad geomorfológica la constituyen superficies también de erosión y se encuentran formando parte de los cerros y lomadas, con variado declive y contorno, en su gran extensión modelados en rocas volcánicas, parcialmente cubiertas por los depósitos de cobertura.

3.1.1.6. *Cause del rio*

Esta unidad geomorfológica la constituyen depresiones de erosión fluvio-deluvial, por donde drenan las aguas de las lagunas cercanas y de diversas escorrentías, presentan secciones transversales en forma de "V", generalmente de pendientes muy variables con depósitos inconsolidados en el fondo. Estas geoformas bisectan las laderas de los cerros en diferentes lugares y generalmente sus formas, tamaños y pendientes son muy variables (Medina, 2014).

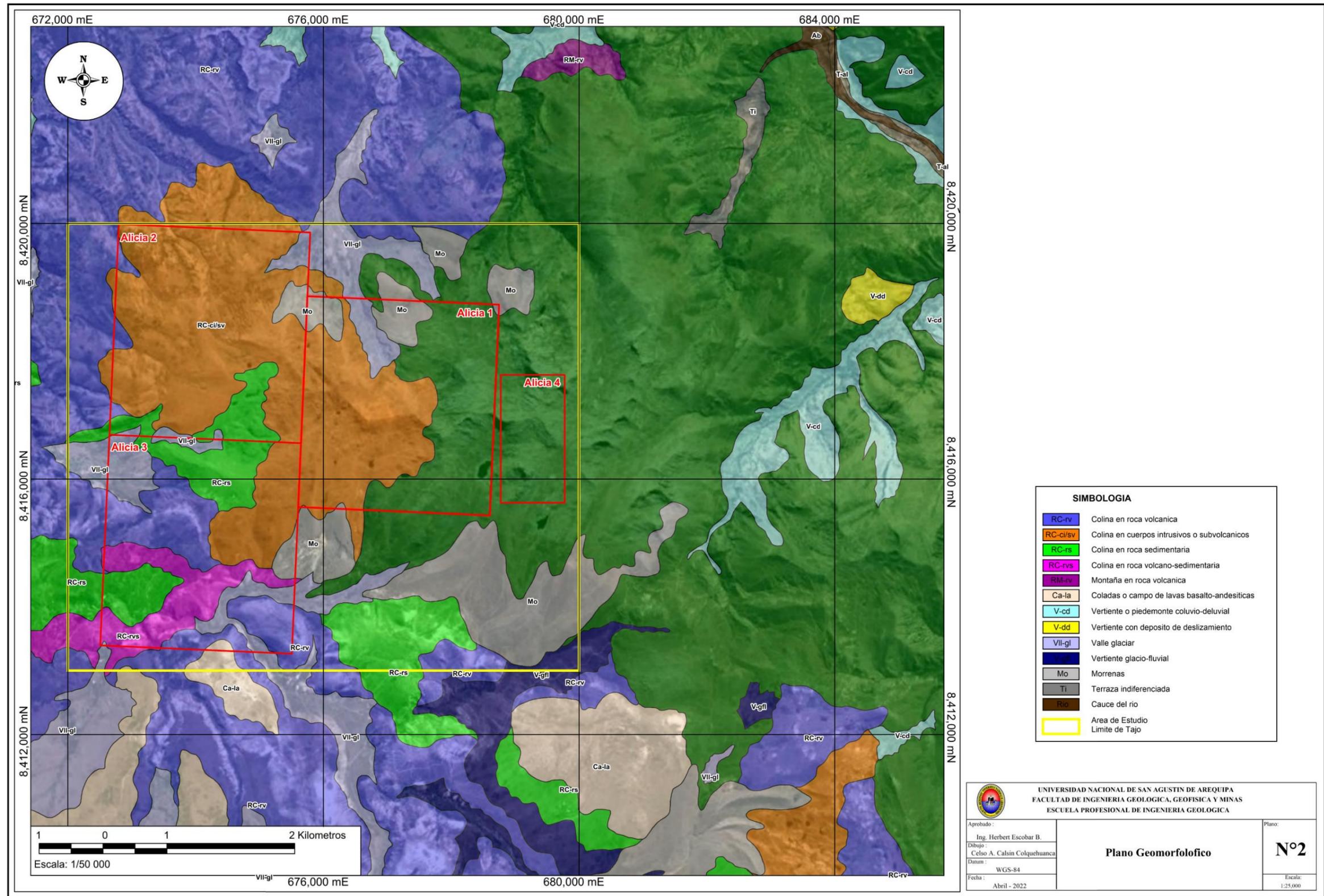


Figura 6. Mapa geomorfológico del área de estudio. Fuente: Adaptado del mapa geomorfológico nacional del INGEMMET, 2016.

3.1.2. Hidrografía

La red hídrica que presenta el área de estudio, es del tipo rectangular, sub paralelo y dendrítico controlado por factores estructurales desarrollado por las fallas Mollebamba y Chalhuanca, sus cambios de curso son en ángulo recto, por el control tectónico, el drenaje principal es el río Chalhuanca, que nace de la confluencia de los ríos Cotaruse y Caraybamba, en la cuenca hidrográfica cordillera Huanzo que es de régimen permanente, con rumbo noreste a noroeste; con vertientes y colinas moderadamente empinadas (Pecho, 1981).

3.1.3. Clima y Vegetación

La sierra del Perú, presenta dos estaciones climáticas bien diferenciadas: una de estío (abril a octubre), caracterizada por presentar días soleados y noches muy frías (heladas), con ausencia de lluvias; y la otra estación lluviosa (noviembre a marzo), con precipitaciones frecuentes.

La provincia debido a su conformación topográfica, presenta un clima variado de acuerdo a los pisos altitudinales, cálido y húmedo en los valles profundos, templados y secos en las altitudes medias, frío y seco en las punas.

En el área de estudio, la temperatura llega hasta los 25°C durante el día y en la noche desciende por debajo de 0°C. La gran diferencia de altura entre una y otra zona (de 1,500 m.s.n.m. hasta 5,000 m.s.n.m) determina que encontremos especies vegetales muy variadas escalonadas en función de la altitud (Pecho, 1981).

3.1.4. Flora y Fauna

Dentro de la biodiversidad, se pueden distinguir: Especies arbóreas, arbustivas y herbáceas, entre ellos se han identificado plantas como eucaliptos, molles, saucos, también destacan las retamas, carrizos, cactus de tunas, ichu entre otros, Gran variedad de cultivos con valor nutricional como la papa, el olluco, la oca, el maíz, cereales, y árboles frutales.

Entre la diversidad de animales silvestres se tienen cóndores, gavilanes, halcones, jilgueros, venados, ciervos, vizcachas, entre otros las especies domesticas que destacan vacunos, ovinos, porcinos, camélidos

sudamericanos, aves de corral y animales menores (Pecho, 1981). (Figura 7 , pag.29).



Figura 7. Fauna Silvestre, A) Agricultura zonas altas Sañayca, B) Cóndor Andino C) Caballo Salvajes Pampas de Sañayca, D) Vizcacha Chalhuanca – Apurímac. Fuente :Elaboración propia.

3.1.5. Marco Socio Económico

La dinámica económica de la región Apurímac involucra a la agricultura, la que incluye ahora a la papa ecológica y páprika, ganadería, minería, turismo, pesca artesanal, industria y comercio, siendo la agricultura intensiva la que mantiene ocupada la mayor parte de la mano de obra de sus pobladores; y este rubro va asociado a la producción de carne (fresca y seca), fibras de camélidos, producción de lácteos, desarrollo de la apicultura, además de la incorporación de la crianza de gusanos de seda (Pecho, 1981).

Actualmente, la piscicultura es otra de las actividades de mayor potencial en la región, debido a la abundancia de ríos y lagunas, aptos para la crianza de truchas y otras especies. También se tiene fuentes de aguas termales, asociado al turismo ecológico – vivencial.

3.2. Geología Regional

3.2.1. LitoEstratigrafía Regional

3.2.1.1. *Mesozoico - Grupo Yura (251 a 65 Ma)*

Esta denominación fue establecida por Jenks W. (1948) y ratificada por Benavides V. (1962) quién elevó a la categoría de Grupo, el mismo que esta presente en la zona de estudio, se han reconocido las siguientes 5 formaciones

El marco regional está conformada por un basamento de rocas sedimentarias de edad Jurásico superior - Cretáceo inferior cuya secuencia desde la mas antigua es la formación Piste, formación Chuquibambilla, formación Soraya, formación Mara y formación Ferrobamba.

3.2.1.1.1. *Formación Piste (Js - pi)*

Aflora aproximadamente a 15 km al noroeste de la zona de estudio, secuencia de lutitas negras, lutitas grises con niveles carbonosas, intercaladas con areniscas de grano fino con estratificación delgada, en la parte inferior de esta unidad se observan estratos de caliza negra, y en la parte superior presenta estratos de caliza bituminosa recristalizada a consecuencia del tectonismo esta formación es intruida por estructuras de diorita y granodiorita.

El contacto superior de esta formación es concordante con la formación Chuquibambilla, el contacto inferior no se observa debido a que la base no aflora en esta región.

Mediante estudios de fósiles le asignan una edad del Jurásico superior, esta formación se le correlaciona con la formación Puente del Grupo Yura – Arequipa (Romero, s.f.).

3.2.1.1.2. *Formación Chuquibambilla (Js / ki - chu)*

Se caracteriza por la predominancia de areniscas de grano fino a grueso, con algunos niveles de calizas negras y gris claras, a veces bastante arenosas y forman una serie de anticlinales y sinclinales. Sus contactos en el piso como en el techo de esta formación son concordantes y según (Benavides V y Vargas L. 1970) la formación

Chuquibambilla por su posición estratigráfica la correlacionan con el Labra del Grupo Yura.

3.2.1.1.3. Formación Soraya (Ki - so)

Esta secuencia sedimentaria es de edad Neocomiano (Cretáceo inferior) se le correlaciona con la formación Hualhuani del Grupo Yura. (Vargas L. 1970).

Litológicamente la formación Soraya está constituida por una secuencia de cuarcitas y areniscas cuarzosas de grano fino a medio, el color varía de gris blanquecino en la base a rosado al tope, presenta buena estratificación en bancos medianos a gruesos, se intercalan con lutitas negras de estratificación delgada y areniscas grises.

Esta suprayace concordantemente sobre la formación Chuquibambilla, el contacto superior con la formación Mara es concordante, pero en ciertas zonas se observa una suave discordancia erosional.

3.2.1.2. Formación Mara (Ki - ma)

Esta Formación es de edad Aptiana y se le correlaciona con la Formación Murco del Grupo Yura (Ingemmet), consiste de estratos de areniscas lutáceas y lutitas rojizas, por su amplia extensión constituye un buen nivel guía para la interpretación estratigráfica (estrato guía y de polaridad) y estructural para exploración geológica.

Litológicamente la Formación Mara se puede distinguir tres miembros: El inferior se caracteriza por la predominancia de areniscas intermedio de lutitas, con algunas intercalaciones de areniscas y conglomerados con clastos de cuarcitas.

El superior, está constituido por areniscas, lutitas abigarradas y algunas calizas terrosas amarillentas.

3.2.1.3. Formación Ferrobamba (Km-Fe)

En la región de Abancay, Marocco R. (1975) y Pecho V. (1981) emplean el término Ferrobamba para esta secuencia calcárea, posteriormente Valdivia W, y Latorre O. (2003) reclasifican y

correlacionan esta con la Formación Arcurquina (Grupo Yura) y le asignan una edad Albiano - Cenomaniano como parte de la revisión y actualización del cuadrángulo de Chalhuanca. (Ingemmet).

Litológicamente, secuencia de calizas marinas de color negras a gris oscuras, aunque en ciertos niveles presentan bancos calcáreos color amarillento. En el tope, generalmente se observan calizas arenosas con tintes rojizos y en la base presenta niveles de lutitas carbonosas con nódulos de chert, sobreyace concordante sobre la Formación Mara, y en ciertos lugares sobreyace a las cuarcitas de la Formación Soraya de origen marino e infrayace a las rocas sedimentarias continentales de la Formación Anta, con discordancia paralela y el contacto con los conglomerados del Grupo Puno es con discordancia angular.

En diversas zonas la Formación Ferrobamba, se han emplazado intrusivos que han metamorfizado y recristalizado las calizas, originando zonas de mármoles y granates (Skarn), los que presentan zonas mineralizadas de Cu – Fe – Au, y Ag – Pb - Zn.

La Formación Ferrobamba, es considerada como metalotecto litológico con fines de exploración geológica, y el proyecto Sañayca motivo de este estudio se emplaza en este metalotecto.

3.2.2. Cenozoico (65 Ma)

Las rocas volcánicas (flujos y piroclastos) cenozoicas félsicas, como tobas de cristales y líticas riodacíticas, con intercalaciones de flujos andesíticos porfiríticos.

También se presentan sedimentos detríticos, no consolidados o semiconsolidados de origen aluvial y subordinadamente coluvial, compuestos por gravas con clastos angulosos, arenas y limos.

3.2.2.1. Grupo Puno (Ti-Gpu)

Fue definida por Cabrera, La Rosa y Petersen (1936) posteriormente fue estudiada por Newell (1945) y Heinz (1947).

Estratigráficamente presenta tres zonas:

La parte inferior, está caracterizada por presentar, areniscas de color gris claro y marrón rojizo con estratificación cruzada intercaladas con limoarcillitas y conglomerados.

La parte media, consiste principalmente de areniscas arcósicas de color gris claro, que se intercalan con lutitas rojizas y conglomerados con clastos de cuarcita y areniscas.

La parte superior, se presentan areniscas de color marrón y gris, con niveles de areniscas tobáceas de color blanco amarillento con fenocristales y se encuentra afectado por rocas intrusivas.

La edad de estos depósitos continentales (Marocco R., 1971 refiere que Mattauer y Chanove encontraron Carofitas que indican una edad Oligocena), se le correlaciona con la formación Huanca del Grupo Yura.

3.2.2.2. Grupo Tacaza (Ts-Vta)

Bellon y Lefevre (1976), describen a las rocas del Tacaza como rocas calcoalcalinas ricas en K, Sanderman et al (1995), interpreto que estas rocas eran derivadas del Manto, con mínima interacción de la corteza (Wasteneys, 1990); y está asociado con cuerpos subvolcánicos, domos diques que se emplazan a lo largo del margen oeste del altiplano (Benavides, 1999).

Este Grupo presenta la siguiente litología:

A la base, consiste de cuarcitas y calizas que alcanzan hasta un diámetro de 3 mts.

Le sobryace, una secuencia de areniscas de grano medio a grueso de color gris verdoso a rojizo, que se intercalan con estratos delgados de lutitas, tobas y brechas con clastos de cuarcitas, areniscas, calizas con una matriz areno tobácea.

Al tope, se presentan estratos gruesos de conglomerados, con elementos subredondeados de cuarcitas y areniscas con matriz tobácea, en toda la secuencia se intercalan con flujos de andesitas y brechas tobáceas.

El Grupo Tacaza, sobryace en discordancia angular a las rocas del Grupo Puno, así también en el área de estudio, sobryace a la

formación Ferrobamba (Ingemmet), y se le asigna una edad del Oligoceno-Mioceno.

3.2.2.3. Formación Sencca (Tse)

Esta unidad volcánica fue estudiada por S. Mendivil (1965), en el área de estudio aflora en la parte Este, cubriendo casi horizontalmente a rocas del Grupo Puno y de la Formación Ferrobamba.

Litológicamente, el volcánico Sencca está constituido principalmente por riolíticas y riodacíticas (cristales de cuarzo – prismas y láminas de biotita - fragmentos de vidrio) de color blanquecino amarillento, aunque existen ciertos niveles de composición dacítica brechoides lenticulares edad Plioceno medio a superior (Mendivil, 1965).

3.2.2.4. Grupo Barroso (PQ-ba)

Nombre designado por S. Mendivil (1965), En la hoja de Santo Tomás, son secuencias de rocas volcánicas, formado por flujos y piroclastos, de naturaleza andesítica y traquiandesítica.

En el cuadrángulo de Chalhuanca, las rocas del Grupo Barroso se presentan en las partes más elevadas, con un buzamiento subhorizontal.

El Grupo Barroso ha sido dividido en dos unidades:

a. Volcánico Malmanya

Este volcánico, aflora en los cuadrángulos Santo Tomas y Antabamba, y su mayor desarrollo se encuentra en el nevado Malmanya.

Litológicamente, está constituido por flujos de andesitas, dacitas, traquiandesitas y riodacitas. En el tercio superior de esta unidad, se intercalan bancos de brechas y conglomerados tobaceos con matriz variada. Los estratos varían entre 20 a 30 cms de potencia.

b. Volcánico Vilcarani (Npli - vi)

Su nombre proviene de las pampas de Vilcarani, ubicadas al oeste del poblado de Santo Tomas. Está constituido por una secuencia de piroclastos y flujos. La secuencia piroclástica está

representada, por tobas, brechas, aglomerados y cenizas de composición andesítica, riodacítica y riolítica.

Los flujos de andesitas y dacitas, se extienden en forma de capas levemente inclinadas constituyendo los conos volcánicos de la región.

La parte superior de esta formación es casi exclusivamente piroclástica.

c. Morrenas (Qpl - mo)

Regionalmente se han diferenciado, dos etapas de acumulación morrénica como producto de la actividad glaciaria cuaternaria, en la etapa más antigua las morrenas se presentan bastante erosionadas apenas reconocibles y sus relictos muestran que la parte frontal llegaba hasta los 3600 m.s.n.m., estas antiguas morrenas están constituidas por bloques y gravas angulosas de diferentes litologías, englobados en una matriz arenosa.

Los depósitos morrenicos más recientes, se encuentran bien expuestos desde los 4,200 m.s.n.m., hasta los 5,000 m.s.n.m., como se puede verse en los nevados Malmanya (Santo Tomas) y Suparausa (Chalhuanca).

d. Fluvioglaciares (Qh-fg)

Regionalmente, existen morrenas que son productos de la actividad Cuaternaria y contienen gravas angulosas y subangulosas, de diferentes litologías, englobados en una matriz areno tobácea, estas morrenas se presentan mineralizadas cuando están al pie de un depósito mineral.

3.2.2.5. Volcánico Santo Tomas (Q - vst)

En los alrededores del pueblo de Santo Tomas y en la parte noroccidental del cuadrángulo de Chalhuanca, existen afloramientos de tobas y cenizas andesíticas a dacíticas, producto de la actividad volcánica reciente, a los cuales se les denomina volcánico Santo Tomas.

Este volcánico, está representado por flujo de lavas andesíticas con textura porfirítica. La parte media consiste de lavas basálticas

vesiculares y la parte superior consiste de tobas blanquecino amarillentos.

En las localidades de Santa Cruz, Cuplla de Ojopata y cerro Huito, los afloramientos son de ignimbritas con disyunción columnar y tobas de color blanquecino a rosado.

Su edad aún no se precisado con dataciones radiométricas, pero desde que suprayacen a depósitos modernos, se le considera del Holoceno.

3.2.3. Depósitos Cuaternarios.

3.2.3.1. Depósitos Aluviales (Qh-al)

Los depósitos aluviales, se ubican en los cauces antiguos y recientes, formando terrazas y conos aluviales, ejemplo de estas terrazas se ven en el rio Chalhuanca a la altura de su confluencia con el rio Aparaya, donde se ubica la hacienda San Francisco y en el rio Vilcabamba cerca a la desembocadura del rio Chuquibambilla.

Los depósitos están constituidos por gravas y cantos rodados redondeados a angulosos, dentro de una matriz areno arcillosa; presentan una pobre estratificación y sus espesores varían desde unos cuantos metros a más de 15 metros. (Figura 8 pag.35) y (Figura 9 , pag 37).

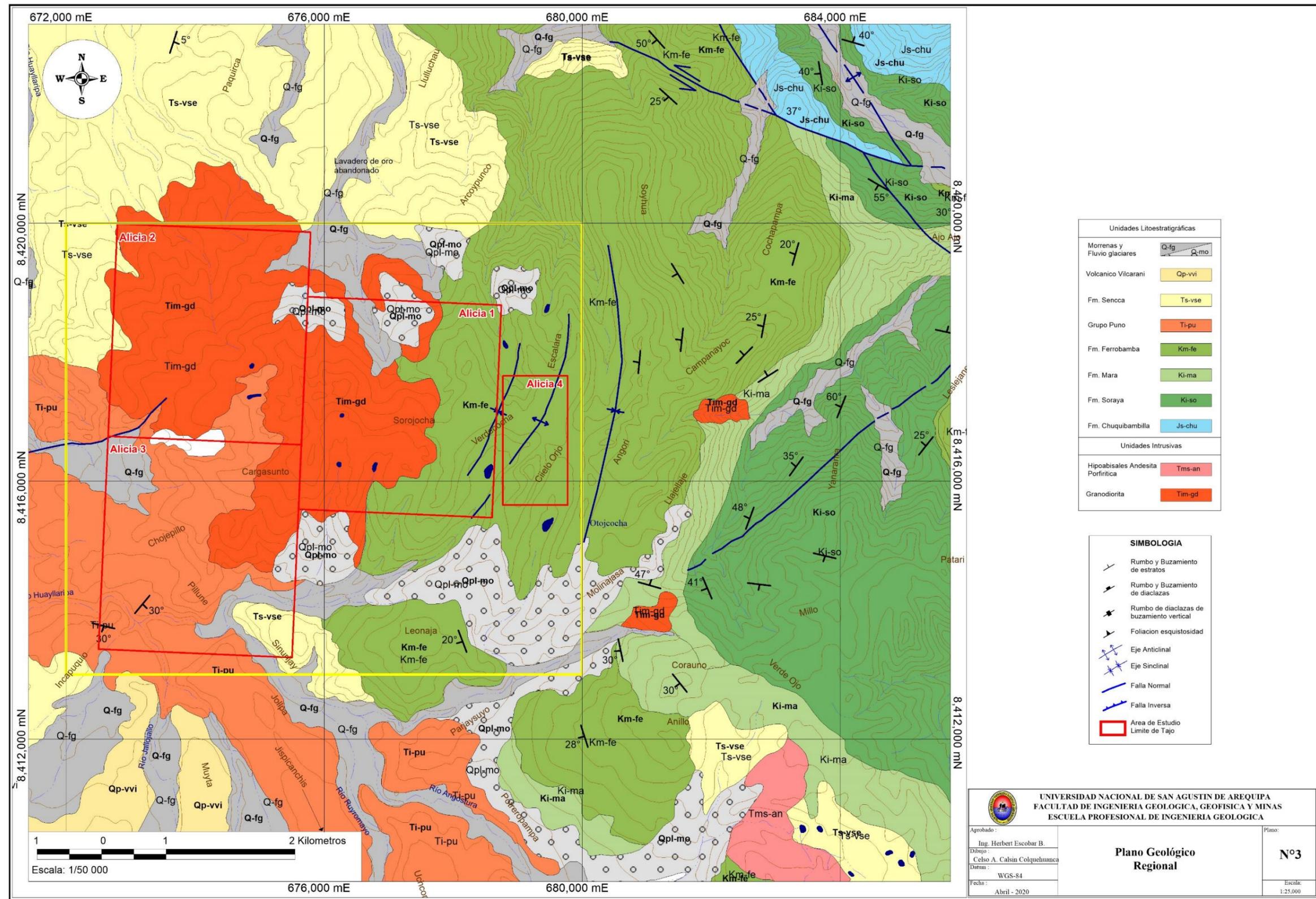


Figura 8. Mapa geológico Regional del área de estudio. Fuente: Adaptado del boletín 35 A-Carta geológica nacional de INGEMMET, 1983.

COLUMNA ESTRATIGRAFICA REGIONAL					
Era	Sistema	Serie	Unidad Litoestratigráfica	Descripción	
CENOZOICO	CUATERNARIO	Holoceno	Depositos Aluviales	Cantos, clastos, gravas areno limosas.	
			Volcánico Santo Tomas	Tufos, andesíticos basálticos cenizas	
			Fluvioglaciares	Conglomerados inconsolidados con cantos redondeados i matriz areno limosa.	
			Morrenas	Bloques i cantos angulares i sub angulares en matriz arenosa	
	TERCIARIO	Pleistoceno	Grupo Barroso	Volcánico Vilcarani	Tufos brechosos aglomerados i derrames andesíticos.
			Superior	Fm. Senca	Tufos dacíticos i riolíticos compactos.
		Grupo Tacaza		Areniscas i lutitas en la base derrames andesíticos.	
		Inferior		Grupo Puno	Areniscas i limolitas areniscas tufáceas en el tope.
				CRETASICO	Superior
		Inferior	Fm. Mara		Areniscas intercaladas con lutitas. En el tope calizas arenosas.
Fm. Soraya	Granodiorita Hipoabisales Andesíticos				
MESOZOICO	JURASICO	Superior	Grupo Yura	Fm. Chuquibambilla	Areniscas gris oscuro i estratos delgados de lutitas negras
			Fm. Piste	Lutitas negras intercaladas con areniscas gris oscuro	

Figura 9. Columna estratigráfica regional. Fuente: Modificado de INGEMMET.

Elaboración Propia .2020.

3.2.4. Magmatismo: Batolito de Abancay

Este Batolito, se localiza al Sur de Abancay y aflora sobre una superficie de cerca de 250 km², constituido por ortogneis cuarzo-diorítico. Está limitado por falla por el lado norte con la Cordillera Oriental, mientras que por el sur está cubierto por depósitos sedimentarios metamorfizados y estos en contacto por falla con las series del Mesozoico. La composición mineralógica del macizo tectonizado de Abancay varía entre una facies cuarzo-diorítica a una granodiorita, químicamente más sódicas y se parecen a las rocas intrusivas Eohercinianas.

Según los análisis mineralógicos, se observa micro deformación por fractura, lo que indica que se trata de una deformación en frío, por tanto, no se está frente a un granitoide sincinemático; la deformación se habría producido posteriormente al emplazamiento de la cuarzo-diorita.

Al norte de este Batolito se encuentra emplazado el Batolito de Abancay compuesto por meta-granodiorita, meta-tonalita y ortogneis. El Batolito de Abancay, se halla en el traza de la falla Abancay, y dataciones recientes U/Pb en circones dan edades de 216±1.3 Ma a 224±0.92 Ma (Lipa, 2005).

De acuerdo a observaciones estructurales y petrográficas, en el Batolito de Abancay se ha identificado dos zonas de deformación y metamorfismo. Una zona deformada caracterizada por foliaciones y pliegues asimétricos en el ortogneis, mientras que la zona poco deformada presenta texturas más ígneas preservadas. Las condiciones generales de la deformación sugieren que el Batolito de Abancay fue afectado al menos por dos fases de deformación, la primera en el Triásico superior, que generó la foliación S1 y la segunda fase de deformación, en el Cenozoico que generó pliegues sobre la foliación principal a diferentes escalas (Lipa et al., 2005).

3.2.4.1. El Batolito Andahuaylas-Yauri (Eoceno-Oligoceno)

Está constituido por: gabros, dioritas, tonalita, monzonita, cuarzo diorita y granodiorita.

La geología de la región está dominada por un conjunto de plutones cenozoicos denominados Batolito Andahuaylas-Yauri (Carlotto, 1988)

que intruyen una secuencia sedimentaria marina mesozoica constituida por rocas clásticas del Grupo Yura (Jurásico), horizontes carbonatados de la formación Ferrobamba (Cretácico) y en menor proporción rocas sedimentarias predominantemente lacustres de las formaciones Quilque y Chilca (Paleoceno-Eoceno). Hacia el norte la geología se encuentra dominada principalmente por varias secuencias volcánicas y vulcano-sedimentario (Formación Anta; Eoceno medio-Oligoceno inferior) y sedimentarias continentales incluyendo las capas rojas del Grupo San Jerónimo (Eoceno inferior- Oligoceno Inferior) Es un cuerpo plutónico de gran tamaño y de forma irregular con dimensiones de 300 x 15km. En un área de 25000 km² aprox., reconocidos desde Andahuaylas hasta Yauri, comprende los departamentos de Ayacucho, Ayacucho, Apurímac y Cuzco; su emplazamiento habría sido controlado por fallas longitudinales. Su extremo Norte se extiende a las áreas de mayor plegamiento, mientras que hacia el límite Sur se encuentra limitado por la faja volcánica cenozoica (Cerca del llamado Geosinclinal de Caylloma). En el borde Noroeste fue reconocido y presenta un conjunto de cuerpos elongados de rocas intrusivas, la cual fue denominada como Batolito de Andahuaylas-Yauri, y es también conocida como Batolito de Abancay San Miguel, Batolito de Apurímac. Este Batolito está compuesto de varias intrusiones discontinuas emplazadas a lo largo de 300 km. Entre las ciudades de Andahuaylas al Noroeste y Yauri al Sureste.

3.2.4.1.1. Franja de Pórfidos-Skarns de Cu-Mo (Au, Zn) y Fe relacionados con intrusivos del Eoceno- Oligoceno

La franja Andahuaylas-Yauri situada en el borde norte de la Cordillera Occidental del sur del Perú y al límite con el Altiplano, ha sido originalmente considerada por tener una mineralización de Skarn Fe - Cu (Noble et al., 1984a), sin embargo, recientemente ha emergido rápidamente como una provincia importante de pórfido de Cu (Carlotto, 1998; Perelló et al., 2003a). Los principales yacimientos y prospectos son Tintaya, Antapacay, Corocohuayco, Quechua, Katanga, Las Bambas (Ferrobamba, Sulfobamba y

Chalcobamba), Los Chancas, Cotabambas, Trapiche, Lahuani, Antilla, Morosayhuas, entre otros.

La mineralización en este cinturón está asociada espacial y temporalmente al Batolito Andahuaylas Yauri de composición calco alcalina y de edad Eoceno-Oligoceno inferior (~48-30 Ma; Carlotto, 1998). Este Batolito se ha emplazado en el borde norte de la antigua cuenca occidental mesozoica sur peruano y al límite con el alto estructural Cusco-Puno, en una zona de fallas que corresponde al sistema Cusco – Lagunillas - Mañazo y su prolongación denominada Abancay – Andahuaylas - Totos (Figs. 2 y 1). Este sistema controló la sedimentación mesozoica, separando el alto de la cuenca y actuando como fallas normales, sin embargo, durante el Eoceno inferior jugó como de rumbo dextral creando la cuenca Kayra y en el Eoceno superior-Oligoceno inferior como inversa desarrollando la cuenca sinorogénica Soncco, además, controlando el emplazamiento del Batolito y el desarrollo de cuenca Anta (Carlotto et al., 2005).

3.2.4.2. Composición Petrológica del Batolito

El Batolito está compuesto por cuerpos intrusivos que afloran en un área extensa de ~300 km x 130 km y emplazado dentro de rocas sedimentarias clásticas del Grupo Yura (Jurásico-Cretácico), la Formación Mara (Aptiano) y las calizas Ferrobamba del Albiano – Turoniano.

El Batolito incluye una primera etapa de rocas máficas caracterizadas por gabros y dioritas emplazadas entre 48 y 43 Ma, las que están instruidas a su vez (segunda etapa) por pulsos de granodiorita y cuarzomonzodiorita entre ~42 y ~30 Ma (Carlotto, 1998; 2002), lo que indica un fuerte levantamiento en el Eoceno medio-Oligoceno inferior. Contemporáneamente a esta segunda etapa, se depositan rocas volcánicas de la Formación Anta (Eoceno medio-Oligoceno inferior) constituidas por más de 1000 m de flujos de lavas de andesitas y flujos piroclásticos de dacitas, intercalados con conglomerados volcano-clásticos (Carlotto, 1998, 2002; Carlotto et al., 2005).

Las rocas volcánicas y sedimentarias se han depositado en cuencas sinorogénicas, transtensionales del Eoceno inferior y compresionales del Eoceno superior-Oligoceno inferior.

Las dataciones radiométricas k/Ar y Re - Os muestran que la mayor parte de la alteración y mineralización del tipo pórfido, a lo largo de esta franja, tomó lugar entre el Eoceno medio y el Oligoceno (~42 a ~30 Ma).

3.2.4.3. Descripción de las rocas intrusivas.

En el contexto regional las rocas intrusivas son de composición calco-alcalina y consisten de un stock granodiorítico precursor de edad Oligoceno Inferior , a partir del cual evolucionan los pórfidos monzoníticos de edad eoceno – oligoceno responsables de la alteración y mineralización porfirítica de cobre.

a. Diorita

Grandes cuerpos de diorita afloran en el cuadrángulo de Santo Tomas, y otros más pequeños en los cuadrángulos de Chalhuanca y Antabamba. En el área de Santo Tomas el intrusivo diorítico aflora en gran parte en la margen derecha del Rio Santo Tomas. Otros afloramientos menores se encuentran alrededor de la granodiorita cortando a una serie de estructuras de rocas sedimentarias, especialmente a lo largo del anticlinal Mara. En las áreas de Tintaya y quechuas se observan intrusivos dioríticos y microdioritcos (Foto 1 , pag 46).

b. Tonalita

Los principales cuerpos de tonalita afloran en Huancaray y Ancobamba (Chalhuanca), San Antonio (Antabamba) y Haquira (Santo Tomas). Estos afloramientos tienen una parecido bastante notable en sus características petrográficas, especialmente entre los de Haquira y San Antonio. Los cuerpos de tonalita están intruidos por numerosos diques de diversa composición y que se entrecruzan. Sus grosores son variables, desde 1 cm. Hasta 20 cm. (Excepcionalmente mayores de 50 cm.). En cuanto a sus longitudes pueden ser de varios centímetros.

c. Granodiorita

Se encuentran aflorando casi en toda el área, notándose grandes cuerpos al sureste del cuadrángulo de Chalhuanca; al suroeste del cuadrángulo de Antabamba, al Norte del cuadrángulo de Santo Tomas; y otros menores se encuentran en Mollebamba- Vitor. las granodioritas presentan casi las mismas características que las tonalitas. Mineralógicamente son casi uniformes, aunque en ciertas áreas microscópicamente presenta variación de feldespato potásico, en algunos casos pasan a adamelitas. En general las granodioritas son de textura fanerítica de grano medio a grueso, varían de leucocráticas a mesocráticas, aunque predominan las de color gris claro. (Foto 1 , pag 49).

d. Monzonita

Roca intrusiva muy importante las cuales se relacionan con la mineralización de diferentes yacimientos de Skarn de toda esta área, en los yacimientos de Tintaya, Atalaya, Corocchohuayco, Chalcobamba, entre otras se pueden diferenciar variación de monzonitas:

Monzonita de textura granular obliterated, con biotita y cristales de cuarzo, fenocristales .

Monzonita de textura granular con cristales de plagioclasa subhedrales a euhedrales, prismas de biotita, cristales de cuarzo en menor proporción que la anterior.

3.2.4.4. *Petrología asociada a la mineralización y alteraciones hidrotermales*

Los stocks de pórfidos de Cu están dominados por intrusiones calco alcalinas de composición granodiorítica, conteniendo biotita y anfíbolita. Sin embargo, localmente ocurren stock de monzogranitos, monzonitas, cuarzo monzonitas y monzodioritas. La alteración hidrotermal incluye Sericita - clorita, cuarzo sericítica y alteración potásica, así como ensamble propilítico. Asociaciones de alteraciones cálcica - potásica y argílica avanzada están localmente representadas,

y ensambles de calco silicato con mineralización tipo Skarn ocurren donde predominan las calizas como rocas de caja (Perelló et al., 2003). Los depósitos y prospectos de pórfidos de Cu de esta franja van desde ricos en Au y pobres en Mo como Cotabambas (Perelló et al., 2003a; Perelló et al., 2004), hasta depósitos conteniendo ambos, es decir Au y Mo como Tintaya o los Chancas, hasta relativamente ricos en Mo y pobres en Au como Lahuani. Sistemas porfiríticos de Au también están representados, como en Morosayhuas (Perelló et al., 2003). Los sistemas de pórfidos de Cu ricos en Au, lo son también en magnetita hidrotermal y muestran una correlación positiva entre el Cu y Au en la zona de alteración potásica. Sin embargo, esta magnetita debe ser diferenciada de los cuerpos de Skarn de magnetita formados por metasomatismo de contacto entre los gabros y dioritas con las calizas Ferrobamba, en las primeras etapas de emplazamiento del Batolito, es decir entre 48 y 44 Ma (Carlier et al., 1989; Carlotto, 1998).

Mineralización

Los minerales de mena de los pórfidos, son principalmente la calcopirita y la bornita, relacionados con las etapas tempranas de la alteración potásica, que en algunos depósitos y prospectos son variables y está sobreimpuesta por la alteración de sericita - clorita con Cu empobrecido (Perelló et al., 2003). La mayor parte de los sistemas pórfidos de la franja registran escasos niveles de enriquecimiento supérgeno, debido al bajo contenido de pirita, al desarrollo restringido de alteración cuarzo - sericita, la alta capacidad de neutralización de las zonas de alteración potásica y las rocas de caja regionales carbonatadas, así como a factores geomorfológicos (Perelló et al., 2003). Las capas de lixiviación son irregulares, típicamente de goetita, conteniendo óxidos de Cu. Stocks de pórfidos conteniendo Cu emplazados en estratos clásticos del Grupo Yura y ciertas fases del Batolito Andahuaylas-Yauri, pueden desarrollar apreciable enriquecimiento supérgeno con calcosita, en zonas estructurales y litológicas favorables (Perelló et al., 2003).

Génesis

Un modelo regional propuesto por Perelló et al. (2003), sugiere que los magmas calcoalcalinos del Batolito Andahuaylas - Yauri y la subsecuente mineralización tipo pórfido fueron generados durante un evento de subducción horizontal, el que originó el acortamiento cortical, la tectónica compresiva y el levantamiento sincrónico, que se relaciona con el evento tectónico Inca del Eoceno medio.

Es posible que en este periodo también se haya producido una delaminación litosférica (Carlotto et al., 1999b).

El acortamiento de la parte superior de la corteza habría impedido el rápido ascenso de magma, favoreciendo el almacenamiento de fluidos en grandes cámaras magmáticas, que, a una adecuada profundidad de la corteza más superior, permitió el emplazamiento a gran escala de pórfidos de Cu en regímenes compresivos.

Otro aspecto que resalta en esta franja, es que se sitúa en plena deflexión de Abancay, donde la dirección de las estructuras andinas NO-SE cambia a E-O. Estudios recientes muestran que esta deflexión, también se habría formado en relación al evento tectónico Inca que se inicia en 43 Ma, y que la rotación antihoraria, que es la causa del cambio de dirección, ha estado controlada por grandes estructuras antiguas como los sistemas de fallas Cusco – Lagunillas - Mañazo y Urcos – Sicuani - Ayaviri.

3.2.4.5. Similitud con otros yacimientos

Esta franja tiene características geológicas fuertemente similares con la franja de pórfidos de Cu del Eoceno superior - Oligoceno inferior del norte de Chile, donde son conocidos los yacimientos gigantes de Chuquicamata y la Escondida. En efecto, en esta región se pone también en evidencia una cercana relación entre la formación de los pórfidos de Cu y la compresión Inca que se inicia en 43 Ma, el acortamiento cortical y la exhumación sincrónica a lo largo de la Cordillera de Domeyko (Maksaev y Zentilli, 1999), todo relacionado a un proceso de subducción horizontal.

Magmatismo Volcánico del Sur del Perú

Es importante dar a conocer sobre la actividad volcánica del Sur del Perú (ver Tabla 2 , pag.46), se caracteriza por tres ciclos de vulcanismo. En este caso sobre sus fases de extrusión, las dataciones radiométricas por el método K-Ar permiten precisar los ciclos de vulcanismo y definir los tres grandes periodos de la actividad volcánica. La duración de las fases volcánicas en el tiempo a falta de dataciones geocronológicas, dificulta precisar los ciclos volcánicos.

Tabla 2. Magmatismo volcánico del sur del Perú

VULCANISMO	GRUPO (FORMACION)	FORMACION
Fin- Cretaceo a Paleoceno	Volcanico Toquepala (59±3Ma)	
Mioceno Inferior a Mioceno Medio	1. Grupo Tacaza (21,7± 16,1±0,3Ma). 2. Volcanico Huilacollo (22±1,2Ma) 3. Formacion Huaylillas (18,35a18.40±0,5Ma)	Volcánico Pichu Formacion Tacaza
Plio - cuaternario	1. Vulcanismo Ignimbrítico	Sillar de Arequipa (3,4 Ma) Ignimbrita Sencca (2,5 Ma)
	2. Vulcanismo Efusivo	Formacion Barroso (4,45±0,3Ma) Formacion Sillapaca (5,7±0,3Ma) *Ma = Ma.

Fuente: Dr. David Huaman (1985).

El vulcanismo del cenozoico se pone en relación con el régimen de subducción de la placa oceánica bajo la placa sudamericana, y la edad del magmatismo disminuye a medida que se aleja de la fosa oceánica. En cuanto a las relaciones volcánico – tectónico, la actividad volcánica solo está presente entre la costa y el borde oeste del Altiplano, se conoce estudios de datación realizadas en la región de Puquio que han arrojado edades entre 17.1Ma a 8.3 Ma, en Castrovirreyna con 13.9 Ma a 10.5 Ma. El dominio del altiplano en la región de Ayacucho (vulcanismo Molinoyuc) es de fase compresiva y tiene edades de 8 Ma y 7 Ma para el vulcanismo andesítico. Si se extiende más al Sur del Perú, las dataciones se sitúan entre 11 Ma a 6 Ma, esta fase corresponde al Mioceno superior.

En resumen, se considera como el primer ciclo volcánico del Cretáceo superior - Paleoceno. Durante el final del Eoceno no sucede vulcanismo de importancia, así el Oligoceno se destaca por ser un periodo de calma tectónica, periodo de tiempo en que la actividad intrusiva en la zona de interés es bastante activa e importante por la mineralización que se desarrolla.

El vulcanismo del Mioceno, según las dataciones geocronológico la actividad volcánica tiene relación con la fase extensional.

El vulcanismo sub - actual y Plio - Cuaternario del Perú meridional, su relación tectónica reciente es esencialmente extensional.

Los depósitos, de sistemas hidrotermales tipo pórfido cuprífero, están relacionados con regiones caracterizadas por la presencia de abundante magmatismo de origen Calco-alcalino, asociado a márgenes de subducción de tipo andino.

Además, se ha observado que existe una estrecha relación entre la mineralización y la presencia de fases tardías de textura porfirítica, que fueron emplazados en niveles subvolcánico de la corteza terrestre durante el enfriamiento de cuerpos graníticos mayores (Batolito de Abancay).

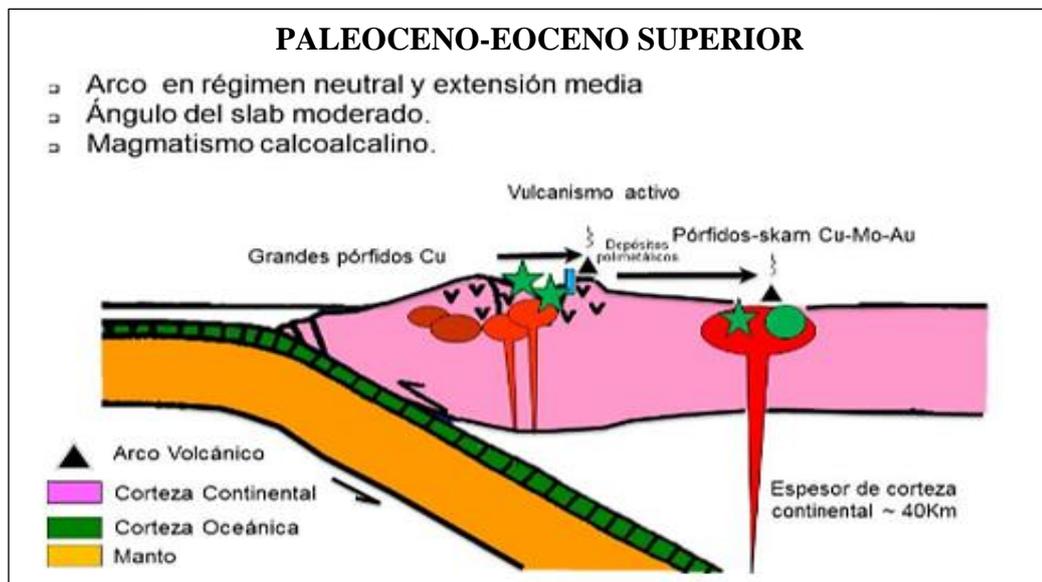


Figura 10. Marco tectónico y magmático durante el Paleoceno-Eoceno superior en el Sur del Perú El arco magmático se encontraba en un régimen neutral a extensión media, con ángulo moderado del slab y un magmatismo calcoalcalino. Fuente: Sillitoe y Perello (2005).

Los depósitos de tipo Skarn ocurren en distintos marcos geotectónicos, con la presencia de secuencias calcáreas y de intrusiones.

La mineralización asociada dependerá de la composición de los magmas relacionados a cada ambiente geotectónico particular.

El ambiente de formación de los Skarn está referido a un arco magmático, donde los intrusivos de composición media – ácida entran en contacto con rocas sedimentarias del tipo calizas y dolomitas y de esta interacción suceden fenómenos de metamorfismo de contacto y que posteriormente con el enfriamiento del intrusivo se liberan fluidos que reaccionan con las calizas y mármol sucede el fenómeno de metasomatismo (Meinert, 1983).

3.2.5. Rocas intrusivas

En la zona del presente trabajo, aflora un stock de granodiorita y dos stocks andesíticos más pequeños, estos cuerpos intrusivos han originado Skarns y hornfels, a lo largo del contacto con las calizas de la formación Ferrobamba.

La edad de las rocas ígneas, se ha inferido a partir de las unidades que han intruido, siendo el Grupo Puno (Oligoceno) la última unidad intruida, por lo que se le considera como del Oligoceno Superior.



Foto 1. A) Intrusivo granodiorítico con textura granular a micro granular porfirítica con patinas rojas debido a la alteración en sectores B) Granodiorita al borde de la brecha intrusiva con patinas de malaquita y azurita. C) Intrusivo sub volcánico de composición monzonítica con textura porfirítica D) Diorita sericitizada con venillas de cuarzo y sericita de grano fino (Alicia 1).

Fuente:Elaboración propia.

3.2.6. Rocas Metamórficas

En la zona del presente trabajo, aflora un stock de granodiorita y dos stocks andesíticos más pequeños, estos cuerpos intrusivos han originado Skarns y hornfels, a lo largo del contacto con las calizas de la formación Ferrobamba.

La edad de las rocas ígneas, se ha inferido a partir de las unidades que han intruido, siendo el Grupo Puno (Oligoceno) la última unidad intruida, por lo que se le considera como del Oligoceno Superior.

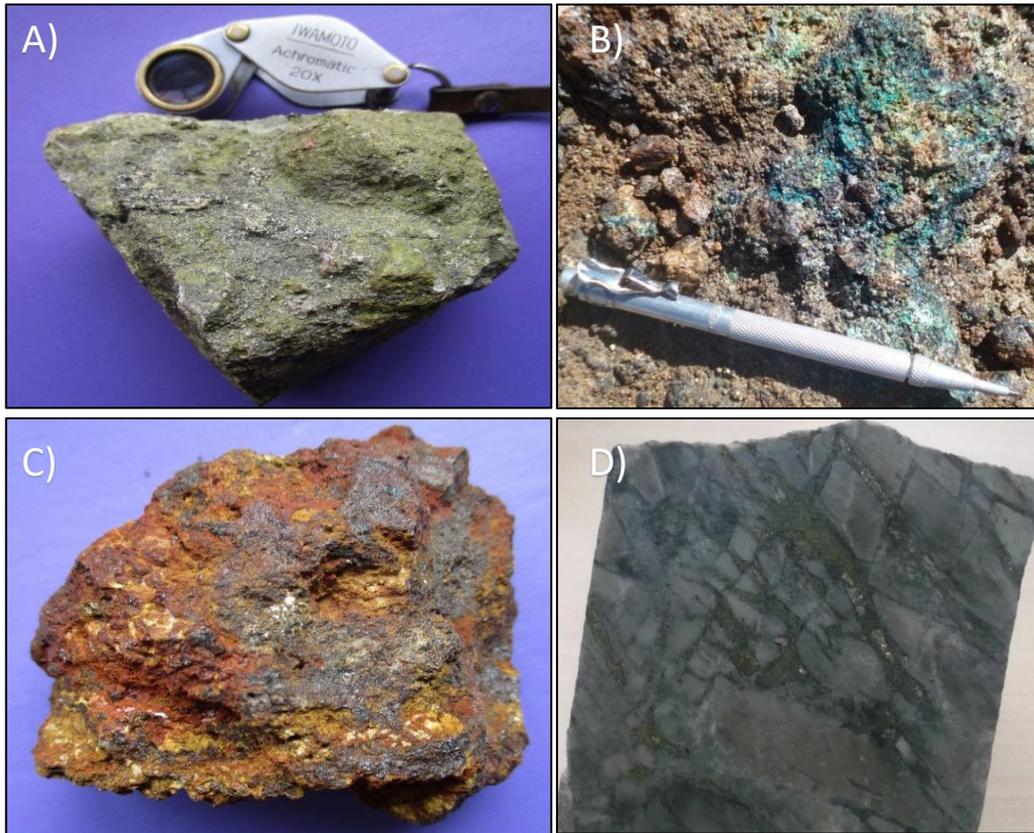


Foto 2. A) Skarn de Piroxenos granates verdes con diss. fina de Py, Cpy pirrotita con valores anómalos de Au. B) Skarn de granates marrones o acaramelado con patinas de malaquita crisocola con valores de Cu. C) Skarn de magnetita con presencia de óxidos de Fe, limonitas hematita jarosita con valores de Au. D) Hornfels brechado y mineralizado con Py Cpy. Fuente: *Elaboración propia.*

3.2.6.1. Skarns

Los Skarns presentes son los dos tipos: Endoskarn y Exoskarn.

3.2.6.1.1. Endoskarn

Se caracteriza por estar desarrollado en el intrusivo, y está presente el granate marrón (andradita) cristalizado y también masivo, constituyendo la mayor proporción del Endoskarn; lo acompaña la Hedenbergita (clinopiroxeno), y cristales de plagioclasas alteradas a caolín.

También están presentes los granates verdes (grosularia), sulfuros diseminados y en venillas (pirita y calcopirita), además de óxidos y carbonatos de Cu.

3.2.6.1.2. *Exoskarn*

En el área de evaluación, se caracteriza por estar desarrollado en la roca calcárea y sus límites no son muy definidos. Está constituido por granates (andradita), predominante a los clinopiroxenos, grosularia (granates verdes), calcita, wollastonita, clorita, epidota y cuarzo. Todo el Endoskarn, presenta diseminación de pirita, pirrotita y calcopirita.

3.2.6.1.3. *Mármol*

El mármol es una roca producto del metamorfismo de contacto, se presenta aflorando adyacente al Exoskarn y se caracteriza por su color blanco a blanco a gris blanquecino.

3.2.6.1.4. *Hornfels*

Se presentan cuerpos hornfels lenticulares y tabulares, de grano muy fino por su mayor contenido de arcilla que está acompañada por actinolita y diseminación de pirita-calcopirita + presencia de galena. (Foto 2,pag 50).

3.3. Geología estructural regional

3.3.1. Fase extensional (Triásico Sup. - Cretáceo Inf.)

Los estudios paleogeográficos del mesozoico (Megard, Laubacher Dalmayrac, Marocco, 1975), del Sur del Perú, muestran la existencia de una cuenca marina intracontinental, con un “alto estructural” denominado umbral Cuzco - Puno, que separa en cuenca occidental y cuenca oriental, a esta cuenca marina intracontinental. La cuenca occidental (cuenca de Arequipa), quedo limitada por fallas normales: al NE por el sistema de fallas “Cincha - Lluta – Incapuquio”, con un alto estructural denominado Condoroma – Mollebamba.

La cuenca oriental (cuenca de Putina), quedó delimitada por el NE por el sistema de fallas “Mollebamba, Chalhuanca, Vilcabamba”, y por el SO quedo delimitada por el sistema de fallas normales que delimitan esta cuenca intracontinental, estas fallas se originaron en un régimen tectónico distensivo o extensional.

CAPITULO IV

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Metodología de trabajo

Para la realización de este trabajo, se desarrolló el siguiente procedimiento:

4.1.1. Compilación de gabinete

- Interpretación de imágenes satelitales y fotografías aéreas para definir anomalías de color, reconocer fallas y lineamientos estructurales.
- Recopilación de información geológica y minera del área de estudio, e interpretación de los mismos.
- Clasificación y determinación de los tipos de mineralización y alteración que puedan existir, para determinar en qué parte del sistema estaríamos.

4.1.2. Trabajos de campo

- Cartografiado superficial a escala 1/10,000 y 1/ 25,000.

- Muestreo superficial (Geoquímica), que muestre la mineralización del área de estudio.

4.1.3. Interpretación de todos los datos y conclusión

- Interpretación global de los datos obtenidos durante el presente estudio.
- Conclusiones y recomendaciones, como resultado de la evaluación geológica del área de estudio.
- Seguidamente se detallará los métodos usados en los trabajos realizados en Campo.

4.1.4. Método: Cartografiado Geológico

Fundamento: Analizar procesos geológicos inherentes en el área de estudio, los cuales son: Descripción litológica, descripción estructural y descripción de alteraciones hidrotermales.

Procedimientos: Para las tres descripciones; adquisición de datos en campo (mediciones de rumbo, buzamiento, delimitaciones de afloramientos, reconocimiento macroscópico litológico alteraciones hidrotermales), plasmar estos en un plano, interpretación en gabinete y proponer en base a estos trabajos previos de interpretación zonas de interés "Targets".

Método: Análisis Geoquímico. Multielementos 34 PREP-31A, Au ICP 22.

Fundamento: Análisis geoestadístico de elementos guía.

Procedimientos: Extracción de muestras en forma aleatoria de los afloramientos en campo; previa limpieza del área a muestrear, según sea el tipo de muestreo (rock chip, canal selectivo, panel); se usa la técnica del cuarteo para garantizar la homogeneidad del muestreo; en todo momento con orden y limpieza para evitar contaminación de las muestras; finalmente con los resultados del análisis geoquímico se realizan cálculos, análisis e interpretación

CAPITULO V

PROSPECCIÓN GEOLÓGICA. GEOLOGÍA ECONÓMICA Y ESTIMACIÓN DE RECURSOS

5.1. Geología Local

5.1.1. LitoEstratigrafía Local

5.1.1.1. Grupo Yura

Este Grupo, está presente en la zona de estudio con afloramientos ubicados al sureste del prospecto Alicia, los geólogos del Ingemmet, han identificado tres formaciones: Piste, Chuquibambilla y Soraya, de las cuales, la formación Piste no está presente en la zona de estudio, razón por la cual solo describiremos a las dos últimas.

5.1.1.1.1. Formación Chuquibambilla (*Jski - chu*)

El nombre de esta formación, se debe a que sus principales afloramientos se encuentran en los alrededores del pueblo de Chuquibambilla, conformado por areniscas de grano fino a grueso y colores gris oscuro, gris claro y rojizos. Al tope de la formación se presentan, areniscas intercalado con calizas negras y gris claro.

Sobreyace concordante a la formación Piste, e infrayace concordante a la formación Soraya.

No es posible datarlo por la ausencia de fósiles guía, pero por su posición estratigráfica, nos permite ubicarlo en el Berrasiano y el Hauteriviano inferior.

5.1.1.1.2. Formación Soraya (Ki - so)

El nombre de esta formación, se debe a que sus afloramientos se encuentran en las cercanías del pueblo de Soraya, ubicado a unos 12 kilómetros al noreste del prospecto.

Conformado por areniscas cuarzosas de grano fino a medio, con colores que varían del blanquecino al rosado, con estratos medianos a gruesos, y que destacan a manera de crestones en el relieve de los cerros.

La edad de esta formación, se ha establecido en base a sus relaciones estratigráficas, sobreyace a la formación Chuquibambilla de edad Berrasiano – Hauteriviano e infrayace a la formación Mara de edad Barremiano Superior – Aptiano, por lo que su edad sería Hauteriviano superior – Barremiano inferior.

5.1.1.2. Formación Mara (Ki - ma)

Fue William Jenks (1951), quien denominó así a los afloramientos presentes en las cercanías del pueblo de Mara. Consiste de una secuencia de estratos de areniscas lutáceas y lutitas de color rojo.

En la zona de estudio, los afloramientos de esta formación se extienden de sur a norte entre las formaciones del grupo Yura y la formación Ferrobamba como una franja de color rojo.

La edad de esta formación se ha inferido en base a sus relaciones estratigráficas ya que sobreyace a la formación Soraya, de edad Hauteriviano Superior – Barremiano inferior e infrayace a la formación Ferrobamba de edad Albiano superior – Cenomaniano, por lo que sería del Aptiano.

5.1.1.3. Formación Ferrobamba (Km-Fe)

Fue Jenks, W. (1951) quien llamó así a la secuencia litológica que aflora en el área del proyecto minero Ferrobamba, ubicado a 16 kilómetros del pueblo de Haquira, en el cuadrángulo de Santo Tomas, y está constituida por una potente secuencia de calizas negras gris oscuro y en menor proporción gris amarillento, formada por estratos delgados entre 0.30 y los 2.0 metros.

Hacia el tope de la formación se intercala con estratos delgados de areniscas, lutitas negras y calizas con módulos de chert y fósiles.

La formación Ferrobamba, ha sido intruida por rocas del Batolito e hipabisales, y sus afloramientos se extienden de sur a norte, y al este del prospecto Alicia.

La edad de esta formación se ha establecido por su contenido paleontológico y se le ubica en el Albiano superior – Cenomaniano. (Foto 3 , pag 56).



Foto 3. Calizas Ferrobamba, Nódulos y Chert. Fuente: Elaboración propia.

5.1.1.4. Grupo Puno (Km-Fe)

Cabrera y Petersen (1936), dieron el nombre a este Grupo, al describir una secuencia clástica con niveles volcánicos que sobreyacen discordantemente a las formaciones mesozoicas.

Los afloramientos de este Grupo, se extienden al sur del prospecto, como una franja alargada con orientación N – S. La secuencia inicia con lutitas y areniscas abigarradas, areniscas arcósicas, lutitas y conglomerados con clastos de arenisca cuarzosa y caliza con estratos gruesos, hacia el tope se observan dos niveles de areniscas tobáceas. (Foto 4 , pag. 57).

Su edad fue establecida por Mattauer y Chanove, en afloramientos cercanos al lago Titicaca, donde encontraron carofitas que indican una edad Oligocena.

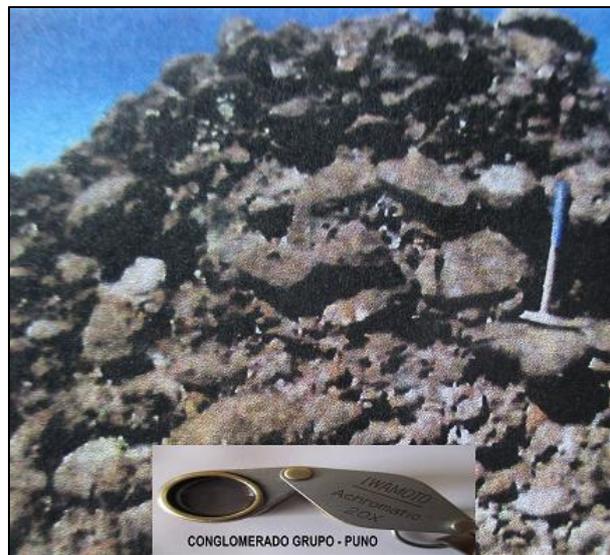


Foto 4. Conglomerado Grupo Puno. Fuente: Elaboración propia.

5.1.1.5. Volcánico Sencca (Tse)

Fue Mendivil, S (1965), quien denominó así a una secuencia de rocas piroclásticas en la zona de Maure (región de Tacna). Esta unidad litológica, aflora con mayor amplitud en la parte oeste de la zona de estudio, cubriendo a las formaciones más antiguas.

Está constituida por tobas soldadas e inconsolidadas dacíticas, riódacíticas y riolíticas, cuyos colores varían entre el gris blanquecino amarillento, amarillo grisáceo y rosado.

La edad de los volcánicos Sencca, establecido con dataciones radiométricas, entre 3.6 Ma a 2.58 Ma, correspondiendo al Plioceno medio a superior.

5.1.1.6. Grupo Barroso (PQ - ba)

Salvador Mendivil (1965), definió con este nombre a un conjunto de rocas volcánicas (flujos y piroclastos) que conforman el llamado “Arco volcánico del Barroso”, que se extiende desde Tacna hasta Arequipa y Apurímac.

En el área de estudio, los geólogos del Ingemmet han identificado dos unidades: una unidad inferior denominada volcánico Malmanya (no aflora en la zona de estudio) y otra unidad superior denominada volcánico Vilcarani que describimos a continuación.

5.1.1.6.1. Volcánico Vilcarani (Npli - vi)

Esta unidad está constituida por piroclastos y flujos volcánicos, predominando las tobas ignimbritas soldadas e inconsolidadas andesíticas, riódacíticas y riolíticas, localmente se tienen aglomerados y cenizas. Los flujos volcánicos andesíticos y dacíticos, generaron los conos volcánicos presentes en la región, este volcánico aflora cubriendo pequeñas áreas en la parte SO del cuadrángulo.

Regionalmente el Grupo Barroso, sobreyace al volcánico Sencca, al Grupo Tacaza y en otros lugares como en este caso, cubre pequeñas áreas de las rocas intrusivas y a la formación Ferrobamba.

La edad del Grupo Barroso, se ubica entre el Plioceno Superior hasta el Pleistoceno Inferior a medio (2,5 Ma a 0.78 Ma).

5.1.1.7. Depósitos Cuaternarios

Son las unidades litológicas más jóvenes y por lo tanto son las formaciones inconsolidadas que cubren las crestas y laderas de la cordillera, fondo de los valles y quebradas de la región.

5.1.1.7.1. Depósitos Glaciares (Q-gl)

Son las morrenas que se ubican circunscritas a las partes altas de los valles de origen glaciario. Estas morrenas están constituidas por bloques y gravas de distintos tipos de roca, englobados en una matriz limo – arcillosa. (Foto 5, pag 59).

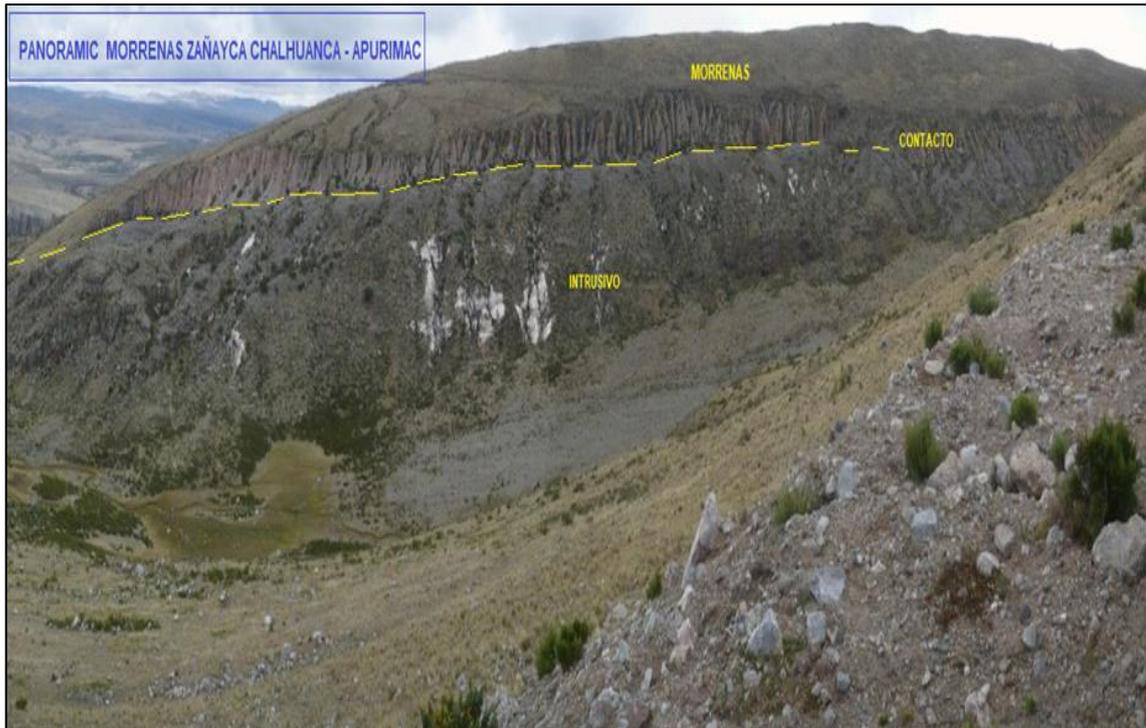


Foto 5. Morrenas Sañayca. - Son depósitos glaciares, se observa el contacto volcánico y las morrenas, existen zonas de trabajos españolas que es un buen indicativo de la mineralización económica ya que ellos realizaban minería de extracción de oro de alta ley en vetas , el agua traían desde la laguna Sañayca. Fuente: Elaboración propia.

5.1.1.7.2. Depósitos fluvioglaciares (Qh - fg)

Estos depósitos clásticos se presentan ocupando los fondos de los valles y grandes quebradas que en esta zona han tenido un origen glaciar. Estos materiales clásticos están constituidos por gravas, limos y arcillas en variadas proporciones.

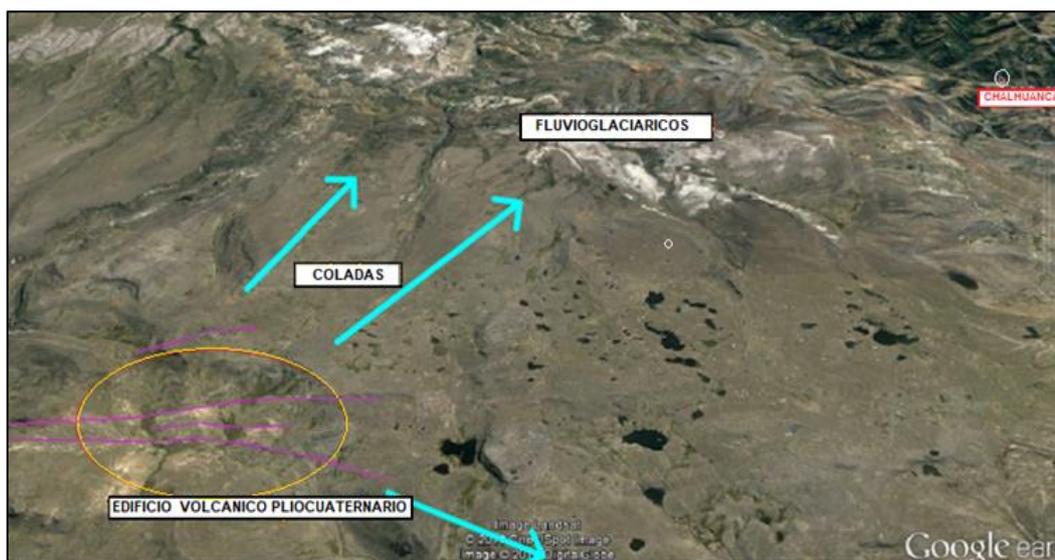


Foto 6. Estructura con fuerte erosión, se observa el antiguo cráter con intensa alteración hidrotermal, se presentan fracturas y/o fallas E-W, que son una prolongación de una falla regional, que pasa al sur de Andamarca y Chontapampa, afloran flujos andesíticos y más hacia Sañayca y Chahuanca se observan los depósitos fluvioglaciares, con niveles de conglomerados andesíticos gris oscuros con fuerte alteración, goetita - hematita – jarosita en fracturas con mineralización de oro nativo. Fuente: Elaboración propia.

5.1.1.7.3. Depósitos Eluviales. (Q - el)

Estos depósitos, se hallan en las partes altas de la zona de estudio, cubriendo los afloramientos del Batolito, metamórficas y sedimentarias, se caracterizan por estar constituidos por arenas limo arcillosas que engloban fragmentos líticos del tamaño de la gravilla y grava. El espesor de estos depósitos varía desde los 0.5 centímetros hasta los 15 centímetros.

5.1.1.7.4. Depositos Fluviales (Q - fl).

Los depósitos fluviales se encuentran restringidos al fondo de los valles y están compuestos principalmente por gravas y arenas estratificadas con limos y arcillas lenticulares. Su grosor es variable y la naturaleza de sus elementos es muy heterogénea. (Figura 11, pag 61) (Figura 12,pag 62).

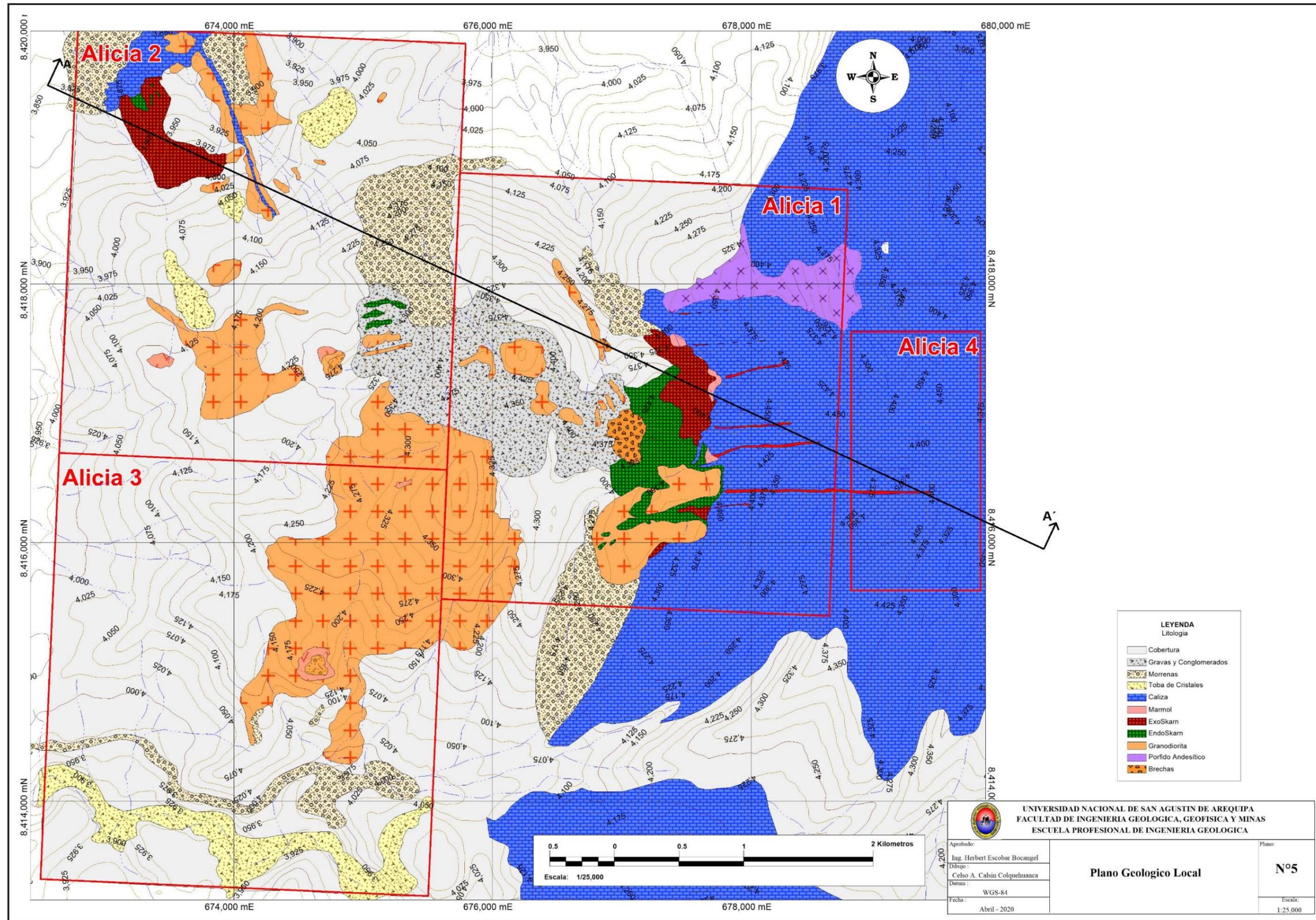


Figura 11. Mapa geológico local del área de estudio. Fuente: Elaboración propia.

COLUMNA ESTRATIGRAFICA LOCAL

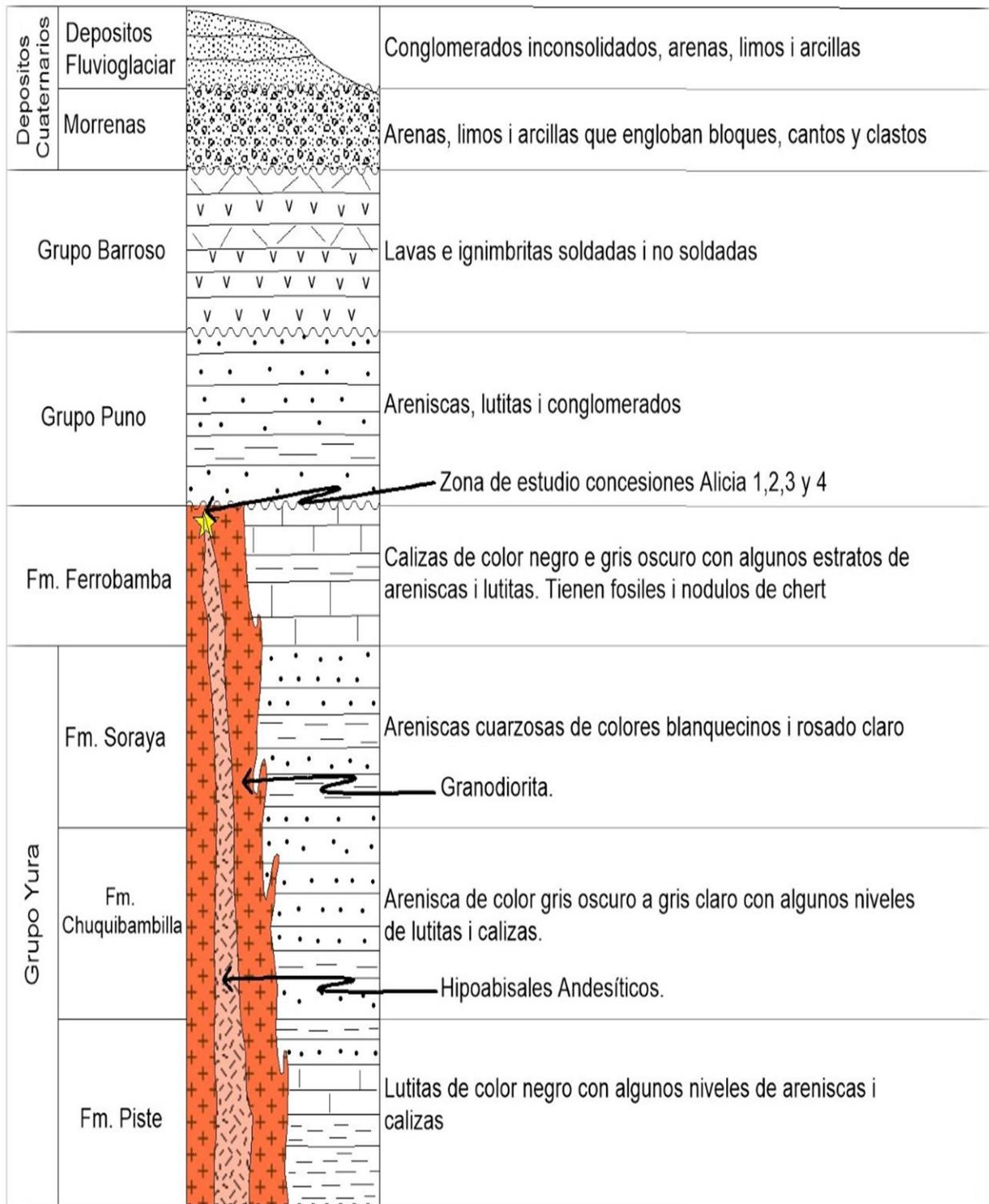


Figura 12. Columna estratigráfica local. zona de estudio, Fuente: Modificado de Ingemmet.(2020).

5.1.2. Rocas intrusivas

En la zona del presente trabajo aflora un stock de granodiorita y dos stocks andesíticos más pequeños, estos cuerpos intrusivos han originado Skarns y hornfels a lo largo del contacto con las calizas de la formación Ferrobamba.

La edad de las rocas ígneas, se ha inferido a partir de las unidades que han intruido, siendo el Grupo Puno (Oligoceno) la última unidad intruida, por lo que se le considera como del Oligoceno Superior. (Foto 7 , pag 63).

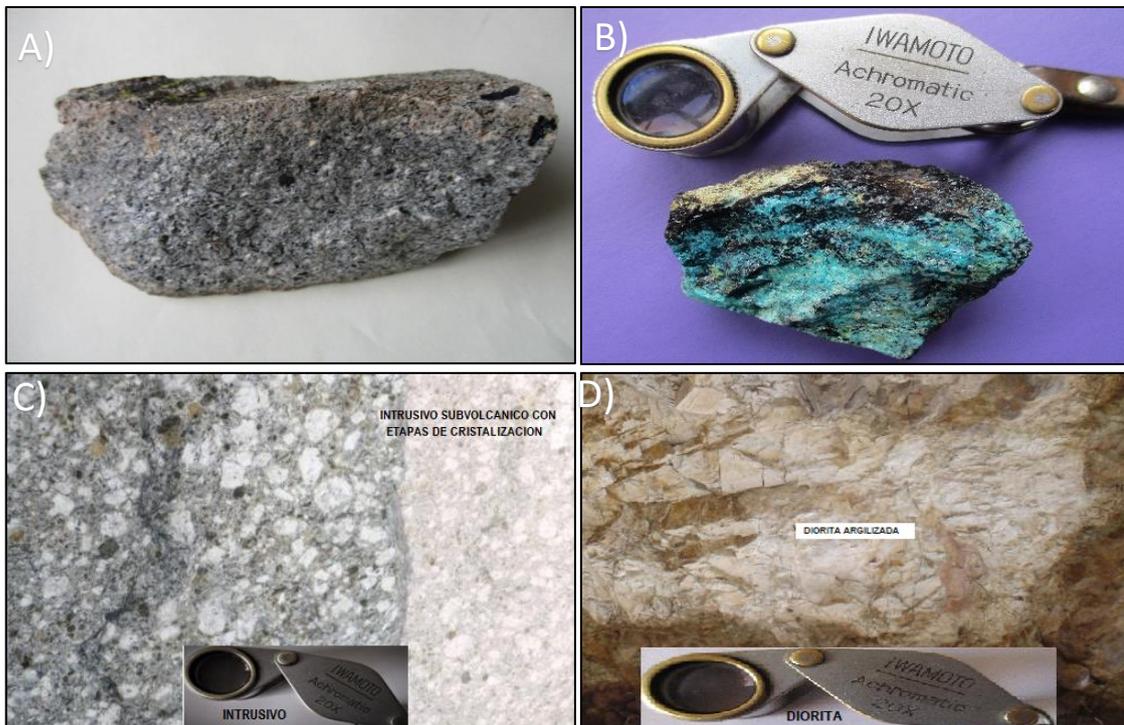


Foto 7. A) Intrusivo granodiorítico con textura granular a micro granular porfirítica con patinas rojas debido a la alteración en sectores B) Granodiorita al borde de la brecha intrusiva con patinas de malaquita y azurita. C) Intrusivo sub volcánico de composición monzonítica con textura porfirítica D) Diorita sericitizada con venillas de cuarzo y sericita de grano fino (Alicia 1). Fuente: Elaboración propia.

5.1.3. Rocas Metamórficas

Las rocas metamórficas presentes en la zona de estudio afloran a lo largo del borde este del stock de granodiorita que está en contacto con las

calizas de la formación Ferrobamba, y están constituidos por afloramientos de Skarn, Mármol, Hornfels, Calizas y Areniscas. (Foto 8 , pag 64).

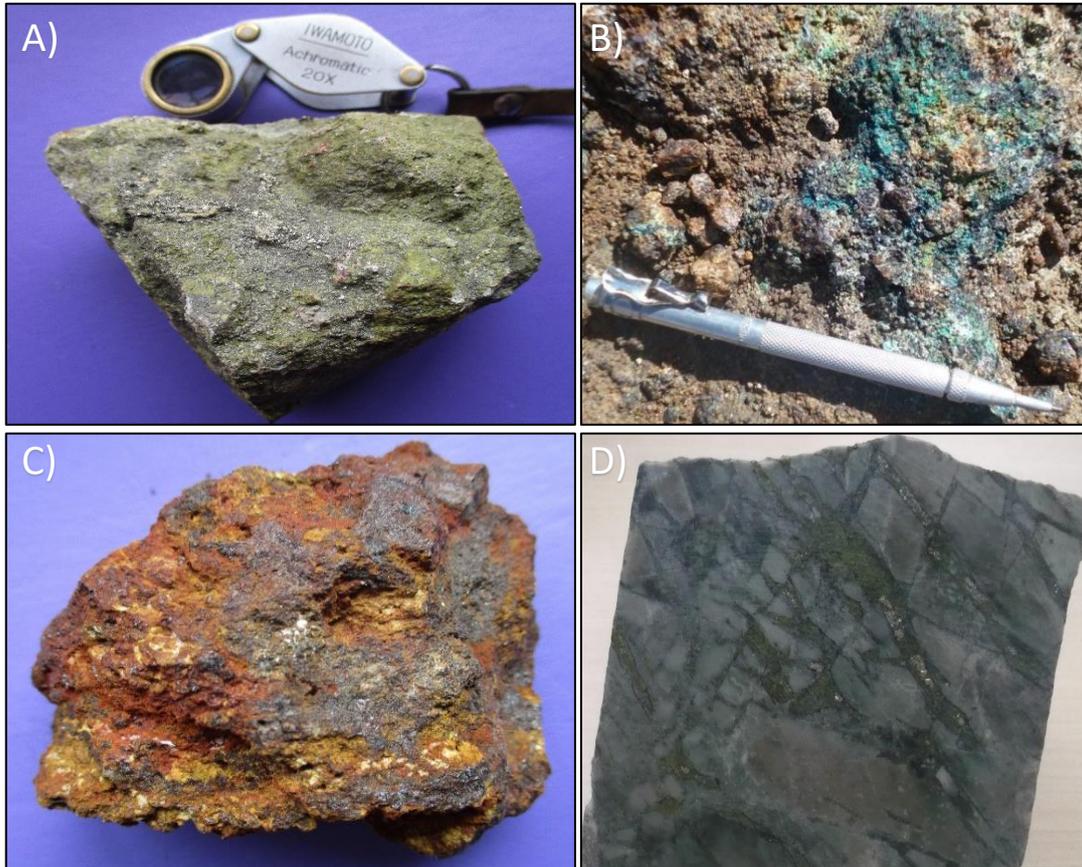


Foto 8. A) Skarn de Piroxenos granates verdes con diss. fina de Py, Cpy pirrotita con valores anómalos de Au. B) Skarn de granates marrones o acaramelado con patinas de malaquita crisocola con valores de Cu. C) Skarn de magnetita con presencia de óxidos de Fe, limonitas hematita jarosita con valores de Au. D) Hornfels brechado y mineralizado con Py Cpy. Fuente: *Elaboración propia.*

5.1.3.1. Skarns

Los Skarns presentes son los dos tipos: Endoskarn y Exoskarn.

5.1.3.1.1. Endoskarn.

Se caracteriza por estar desarrollado en el intrusivo, y está presente el granate marrón (andradita) cristalizado y también masivo, constituyendo la mayor proporción del Endoskarn; lo

acompaña la Hedenbergíta (clinopiroxeno), y cristales de plagioclasas alteradas a caolín.

También están presentes los granates verdes (grosularia), sulfuros diseminados y en venillas (pirita y calcopirita), además de óxidos y carbonatos de Cu.

5.1.3.1.2. Exoskarn

En el área de evaluación, se caracteriza por estar desarrollado en la roca calcárea y sus límites no son muy definidos. Está constituido por granates (andradita), predominante a los clinopiroxenos, grosularia (granates verdes), calcita, wollastonita, clorita, epidota y cuarzo. Todo el Endoskarn, presenta diseminación de pirita, pirrotita y calcopirita.

5.1.3.1.3. Mármol

El mármol es una roca producto del metamorfismo de contacto, se presenta aflorando adyacente al Exoskarn y se caracteriza por su color blanco a blanco a gris blanquecino.

5.1.3.1.4. Hornfels

Se presentan cuerpos hornfels lenticulares y tabulares, de grano muy fino por su mayor contenido de arcilla que está acompañada por actinolita y diseminación de pirita - calcopirita + presencia de galena.

5.2. Geología Estructural

Estudios estructurales en la región del Batolito de Andahuaylas-Yauri y su entorno fueron realizados por investigadores como Marocco (1975); Pecho (1981); Cabrera et al. (1991); Carlotto et al. (1996); Carlotto (1998) y Perelló et al. (2002); abordando y elaborando mapas estructurales regionales. La tectónica y el desarrollo del estilo estructural en la región y a escala local, están asociadas genéticamente a la evolución tectono-estructural de la deflexión de Abancay, lo que genera una estructura macroscópica regional importante e influyente, denominada Cola de Caballo formada al sur de la Deflexión de Abancay, lugar donde se emplaza el

Batolito Andahuaylas- Yauri y los diversos yacimientos económicos existentes.

Los principales rasgos estructurales regionales se reflejan en el ámbito local (fallas y pliegues) y están asociadas a las fases Inca del Eoceno-Oligoceno temprano y Quechua de Oligoceno a Mioceno (Perelló et al., 2002). Localmente se observan las evidencias de regímenes compresivos, distensivos y transtensivos; los que generan sistemas de fallas NO-SE de poco movimiento que permitieron el emplazamiento de diversos tipos de plutones monzoníticos y la mineralización consecuente asociados a la evolución de los Andes en la región, asociado a la deformación estructural y erosión poscretácea. Los lineamientos estructurales regionales, locales (fallas y pliegues) son detectables a través de reconocimiento de campo, ortofotos y de las imágenes satelitales (figura 13, pag 67).

5.2.1. Estructural Regional

Regionalmente las estructuras formadas están asociadas al desarrollo de un régimen contraccional y transtensional, el cual viene ocurriendo desde el Eoceno-Oligoceno (concurrente con el emplazamiento del batolito Andahuaylas-Yauri), resultando en la formación de depósitos dentro de las secuencias clásticas sedimentaria rojizas (grupo puno) que afloran producto de la fuerte erosión durante el levantamiento orogénico andino (exhumación), la cual se acumuló en cuencas sinorogénicas andinas (Rosenbaum et al., 2005); asociado a esta tectónica se encuentra el emplazamiento de plutones mayormente monzoníticos en zonas de dilatación local. Otras estructuras reconocidas localmente son las fallas, los anticlinales y sinclinales, los que tienen una orientación NO-SE y NNO-SSE respectivamente.(Figura 13, pag 67)

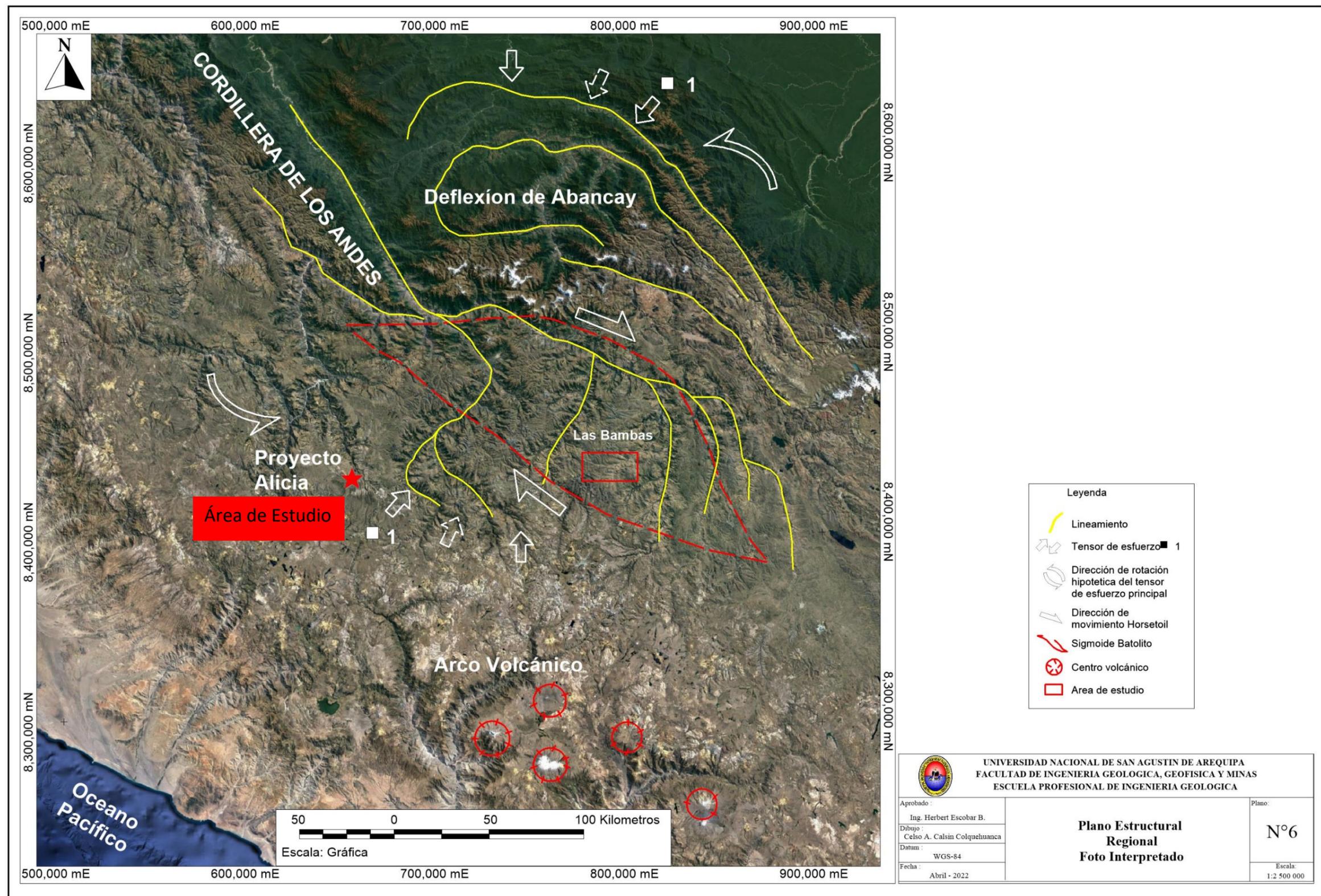


Figura 13. Mapa estructural regional. Fuente: Elaboración propia, con base en imágenes satelitales de BingMaps.

5.2.2. Estructural Local

Localmente el análisis nos ha permitido reconocer tres Sistemas de fallas principales:

- Sistema NO-SE y ONO-ESE, es un sistema mayor (fallas que forman cabalgamiento y/o Anticlinales - Sinclinales), que presentan las mayores longitudes y densidades de lineamientos en la zona de estudio.
- Sistema E-O, representan los lineamientos cortos y localizados en los bordes del sistema anterior. y puede interpretarse cinemáticamente como un sistema de fallas de cizalla siniestral. Estos los lineamientos E-O están asociadas a la mineralización.
- Sistema NE-SO, es la segunda en importancia, y están relacionadas a las estructuras de lazos sigmoides que albergan mineralización relacionadas a vetas anchas.

5.3. Interpretación Estructural de las Concesiones Nueva Alicia 1, 2, 3 y 4

La interpretación y análisis estructural local se ha realizado analizando ortofotos e imágenes satelitales de la zona de interés, en la que se incluyó las observaciones de campo. En ella se reconoció varias estructuras tectónicas como fallas, pliegues, etc. Las cuales se encuentran afectando a rocas intrusivas y sedimentarias.

5.3.1. Análisis estructural.

En las concesiones Nueva Alicia 1, 2, 3 y 4 según el control de campo, así como el análisis de ortofotos e imágenes satelitales, se han diferenciado varios tipos de estructuras, tales como fallas, lineamientos y pliegues, desarrollados en secuencias carbonatadas correspondientes a la formación Ferrobamba. En los alrededores y al NNE del área evaluada tenemos la falla principal de dirección NO-SE, la que inicialmente se desarrolló como una falla inversa asociada a regímenes compresivos NE-SO durante la tectónica Inca, luego evolucionó a un régimen transtractivo-normal por una cinemática regional activa, probablemente durante la tectónica Inca y Quechua.

Los pliegues de las concesiones de Nueva Alicia 1, 2, 3 y 4 están representados por dos sinclinales y un anticlinal simétrico mayor compuesto por gruesas secuencias de capas de calizas ubicadas la concesión Alicia 4 (Foto 9 , pag 69).



Foto 9. Vista panorámica mirando al SE Sinclinal simétrico en las calizas Ferrobamba cortada por vetas con tendencia EO – SE y Bz. sub vertical con tendencia al NE.zona (Alicia 1). Fuente: Elaboración propia.

Estructuralmente Nueva Alicia I se ubica en una zona de falla inversa, donde conjugan dos sistemas principales NO – NE, con sistemas secundarios N-S y E-O formando zonas de cizallamiento , esta estructura extensional ha favorecido de la actividad hidrotermal y el emplazamiento del intrusivo granodiorítico el que genero un intenso metamorfismo de contacto dando lugar a minerales calcosilicatados.

- Pliegues

En la zona de estudio y alrededores se evidencia secuencias sedimentarias correspondientes al Grupo Yura y a la formación Ferrobamba, las cuales fueron afectadas por una tectónica que generó la formación de anticlinales y sinclinales con sus ejes orientados al NO – SE y NE – SO.

En la zona de estudio se presenta el sistema NE – SO , conformada por dos sinclinales y un anticlinal .Estas estructuras plegadas en las

zonas próximas al intrusivo presentan una variación de la dirección de sus ejes hacia el NO – SE , N . S y NE – SO.

- Fallas

Estas estructuras o lineamientos son mayormente regionales; en el área de estudio tenemos fallas con orientación preferencial andinas y fallas complementarias antiandinas.

- Sistema NO – SE.

Son dos fallas transcurrentes que están presentes en la zona NO del área de estudio.

- Sistema NE – SO .

Son principalmente fallas normales con orientación antiandina.

En conclusión, la mineralización en el área evaluada esta asociada al emplazamiento de intrusivos monzoníticos , tal como se puede constatar en las concesiones de Nueva Alicia 1, 2, 3 y 4, las cuales están sujetos a un importante control estructural y litológico , con estructuras de dirección andina preferenciales (Nueva Alicia 1, 2, 3,y 4) y a las extensas secuencias de calizas fuertemente replegadas (Fm. Ferrobamba) ubicado en las inmediaciones de Alicia 4. (Figura 14 , pag 71).

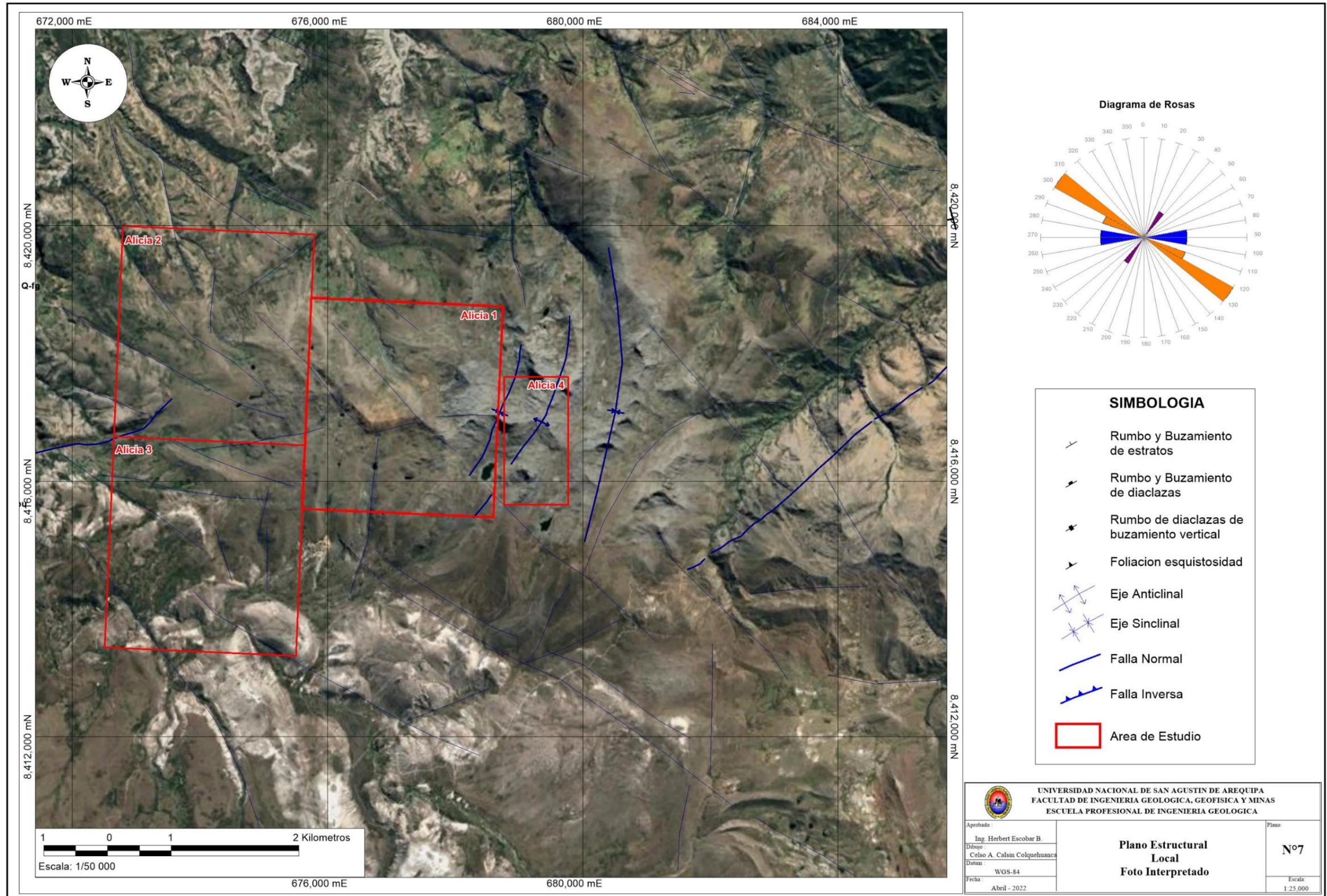


Figura 14. Mapa estructural local. Fuente: Elaboración propia, con base en imagenes satelitales de BingMaps.

Las observaciones litológicas y estructurales que presentan anomalías mineralizadas nos permiten ver su dispositivo prospectivo, por ejemplo, las calizas de la formación Ferrobamba y el intrusivo granodiorítico se relacionan con la mineralización de tipo pórfido y skarn.

5.4. Importancia Económica

Según la bibliografía Rusa llama “Prospección y Exploración” a la búsqueda de anomalías minerales, hasta la evaluación de reservas y su factibilidad de aprovechamiento económico en el depósito mineral descubierto; se prospecta una región para encontrar yacimientos y se explora un yacimiento para definir su explotabilidad (Kreifer 1968).

El objetivo de la prospección es el reconocimiento general de un yacimiento mineral económicamente valioso, la exploración está enfocada en un reconocimiento detallado del depósito mineral Hartman (1987).

5.4.1. Recursos Minerales

Según la Economía, cualquier bien capaz de proporcionar alguna utilidad o beneficio constituye un recurso. Cualquier recurso que se puede renovar en un periodo de tiempo adecuado a nuestra expectativa de vida recibe el nombre de recurso renovable. Los recursos minerales son no renovables porque los ciclos geológicos que se forman se expresan en millones de años.

5.5. Geología Económica

Realizado la prospección en el área de estudio, concesiones Nueva Alicia 1, 2, 3 y 4 del sector Oeste de Chalhuanca, se puede definir como un blanco de prospección y exploración importante los resultados geoquímicos obtenidos, que permitieron determinar dos áreas potenciales en Nueva Alicia 1 y 2 y otras dos áreas con menor potencial Nueva Alicia 3 y 4 ,cabe mencionar que los valores mas altos en Au estan estan ligados a vetas, en el presente estudio se ha puesto en evidencia información relevante mediante trabajos de cartografiado geológico, estructurales ,alteraciones hidrotermales y mineralización a diferentes escalas, en esta etapa se emplearon las escalas 1:10,000 y 1:25,000 lo que permitió identificar targets

y las unidades litológicas presentes y definir la mineralización mediante el muestreo. La cual es una fase de vital importancia en la evaluación de un depósito mineral, debido a que sobre ella se apoya el estudio de viabilidad técnico – económico (M. Rossi, s.f.), pues, si la toma de muestras no es representativa la estimación no será correcta.

La utilización de la exploración geoquímica en la búsqueda de yacimientos se basa en la premisa fundamental de que la composición de los materiales próximos a un yacimiento es diferente de cuando el yacimiento no existe.

Las acciones físicas y químicas externas y posteriores a la formación del yacimiento originan removilizaciones de los elementos que componen el yacimiento. La fijación posterior de estos da lugar a contenidos anómalos, cuya detección puede contribuir a localizar su origen mediante el muestreo de rocas, este tipo de muestreo incluye las rocas superficiales materiales de filones y capas y trabajos subterráneos.

5.6. Estructuras Mineralizadas

Las estructuras mineralizadas que se identificaron en el área de estudio fueron de tres tipos:

5.6.1. Cuerpos

Los cuerpos mineralizados reconocidos corresponden a zonas del Endoskarn, Exoskarn y en menor proporción hornfels, en los cuales se presentan disseminación de sulfuros (pirita, calcopirita) y óxidos - carbonatos (magnetita, goetita, hematita, malaquita, crisocola).

5.6.2. Brecha

Se han identificado zonas de brechas intrusivas e hidrotermales, las cuales se caracterizan por presentar fragmentos angulosos y sub angulosos de Skarn, caliza, magnetita, granodiorita, granates y disseminación de pirita y calcopirita. (Foto 10 , pag 74).

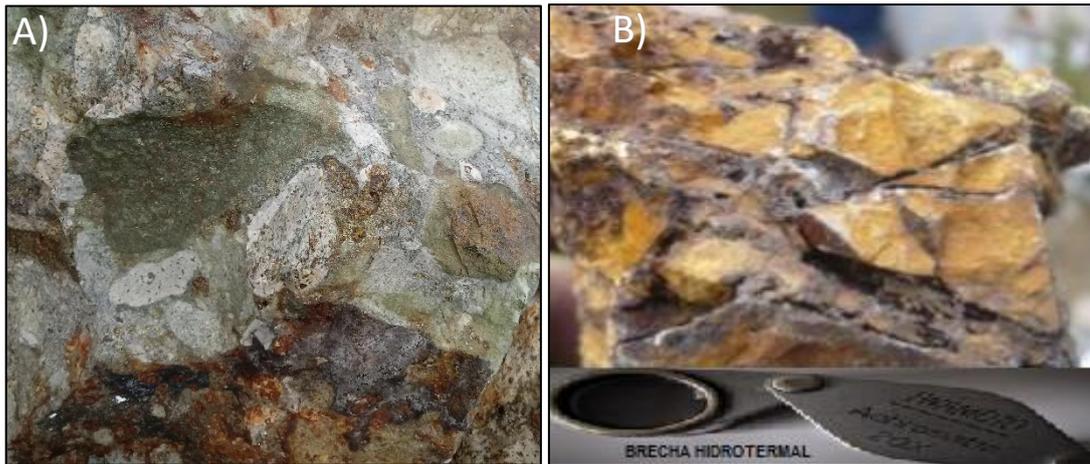


Foto 10. A) Brecha intrusiva con clastos sub redondeados de calizas areniscas silicificadas, se observa clastos de granates reemplazados por pirita el cual indica un ambiente de alta temperatura y presión típica de una skarnificación. B) Brecha Hidrotermal con clastos angulosos y óxidos, hematita, jarosita en vetas zona (Alicia 1). Fuente: Elaboración propia.

5.6.3. Vetas.

Se han cartografiado 04 vetas de cuarzo con trazas de Au, diseminación de sulfuros (pirita) y presencia de óxidos (goetita, hematita, jarosita). Estas vetas presentan afloramientos longitudes de 450,600 ,500 variables, estas vetas cortan a los Skarns y a las calizas con un rumbo general E-O. En el presente trabajo de investigación solo se consideró las vetas que tienen resultados geoquímicos los cuales se puede apreciar en las secciones (ver figura 33).

5.7. Mineralización Hipógena

Los minerales hipógenos que se han identificado en el prospecto, son los siguientes:

5.7.1. Oro.

Como mineral nativo, y guía dentro de la pirita, en trazas dentro de los Skarn y en las vetas de cuarzo.

5.7.2. Calcopirita.

Se encuentra en la matriz de granate marrón, y en la matriz silíceas de las brechas intrusivas.

5.7.3. Pirita

Se encuentra diseminada en los Skarn y dentro de las vetas de cuarzo, acompañando a los minerales hipógenos como, malaquita, crisocola, y óxidos.

5.7.4. Malaquita y Crisocola

Se encuentra relleno de fracturas en los Skarn, se las identifica rápidamente por sus colores característicos (verde malaquita).

5.7.5. Magnetita

Se encuentra formando cuerpos masivos y diseminados en los Skarns.

5.7.6. Limonitas

Tanto la goetita como la jarosita están presentes en todas las estructuras mineralizadas, impregnadas en ellas con colores característicos, rojo oscuro, rojo concho de vino y amarillo.

5.8. Alteración Metasomática

Goldschmidt (1922), definió la alteración metasomática, de la siguiente manera; “el metasomatismo es un proceso de alteración, que implica el enriquecimiento de la roca por nuevas sustancias aportadas del exterior, enriquecimiento que tiene lugar mediante reacciones químicas definidas entre los minerales originales y las sustancias enriquecedoras”.

El metamorfismo de contacto, provocado por la intrusión de la granodiorita en las calizas de la formación Ferrobamba, generó el desarrollo de zonas con mármol, las cuales fueron afectadas por el desarrollo de una alteración metasomática progradada y retrógrada. (Foto 11 y 12, pag 76).

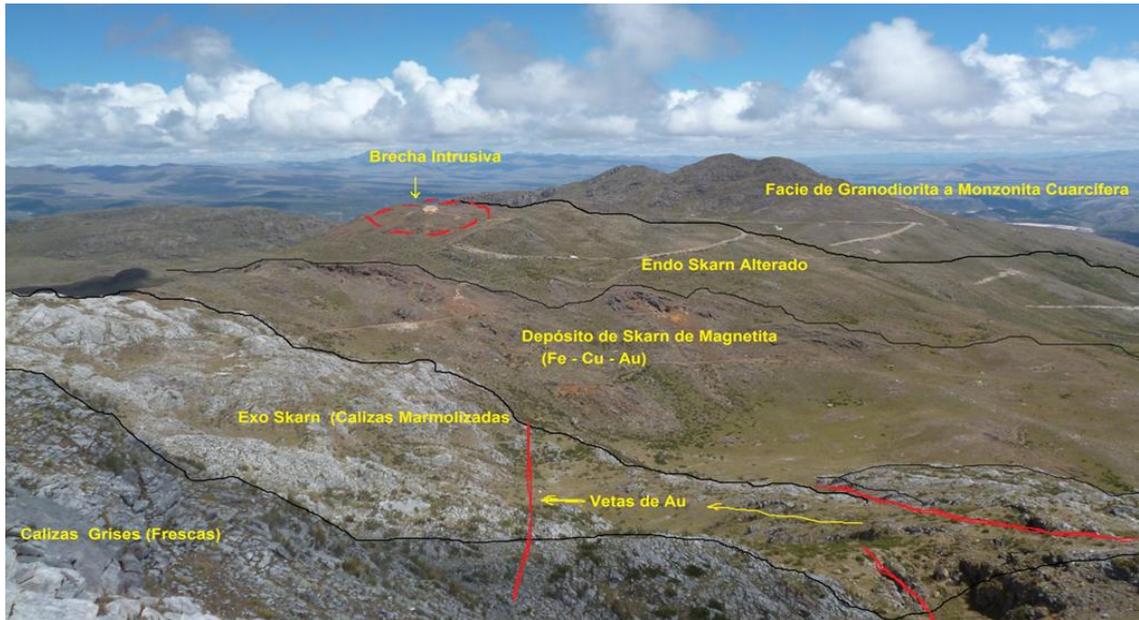


Foto 11. Vista panorámica mirando al NO del área de Alicia 1, del área 2x2 km², aproximadamente. Notese el zoneamiento del Skarn desde la zona de alta temperatura (Endoskarn, Exoskarn) hasta la zona de baja temperatura (marmoles calizas), asimismo la generación de brechas tectónica mineralizadas vetas, con mineralización de Au-Cu Fe en zonas distales zona (Alicia 1).

Fuente: Elaboración propia.

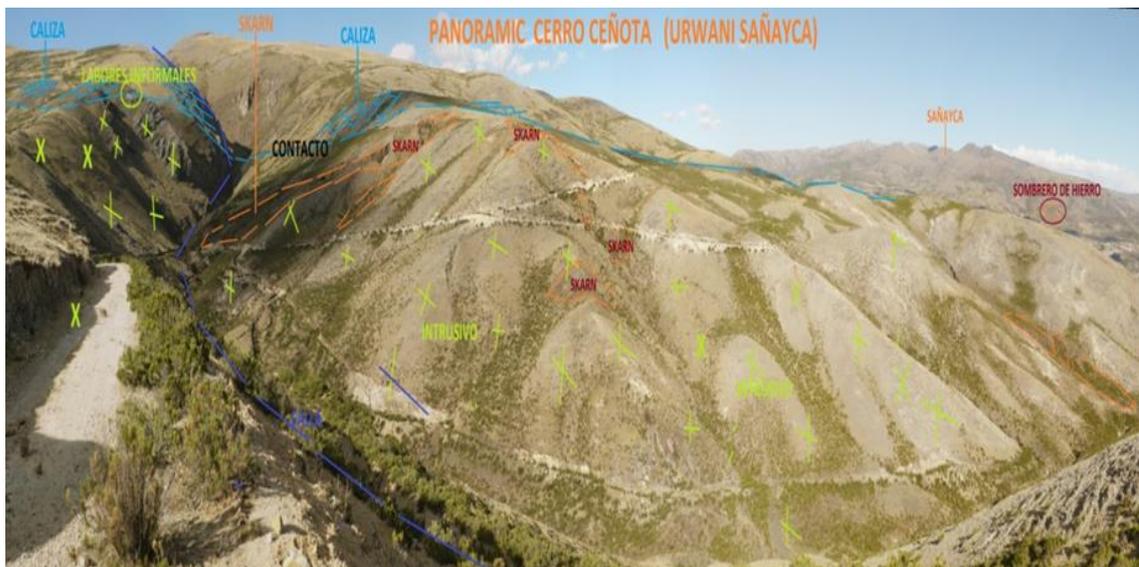


Foto 12. Vista panorámica del sector Alicia 2, mirando al NO Intrusivo granodiorítico formando aureolas de skarn zonificado con mineralización Py, Cpy, malaquita, crisocola. Fuente: Elaboración propia.

5.8.1. Alteración Prograda

Las soluciones hidrotermales calientes, desprendidas en la etapa final de la cristalización del magma que formó la granodiorita, impregnaron el mármol y generaron la formación de silicatos anhídros, como los granates (andradita y grosularia), piroxenos (diópsido - hedenbergita) que forman los Skarn.

5.8.2. Alteración Retrógrada

Las soluciones hidrotermales tardías, más frías que las primeras soluciones que provocaron la alteración prograda, generan una reacción fisicoquímica con los silicatos anhídros del Skarn, transformando de manera moderada a débil, a los minerales anhídros en minerales hidratados como la clorita, epidota y tremolita más cuarzo y calcita.

5.9. Alteración Hidrotermal

Simultáneamente al proceso de alteración metasomática se produjo la alteración hidrotermal de los silicatos de la granodiorita. Las soluciones hidrotermales desprendidas en la etapa final de cristalización del magma que forman las rocas hipabisales, han circulado a lo largo de las zonas de contacto intrusivo – Skarn, fallas y fracturas que afectan a las rocas intrusivas originando cambios sustanciales en los silicatos. (Figura 15 , pag 79).

Este proceso de transformación, de los minerales de las rocas se ha denominado “Alteración Hidrotermal”.

En la zona de estudio se ha identificado los siguientes tipos de alteración:

5.9.1. Alteración Propilítica

Esta alteración se presenta en la zona de contacto intrusivo –Skarn y epidota, se forma debido a la transformación de los feldespatos y especialmente de las plagioclasas (epidotización).

5.9.2. Alteración Argílica

Esta alteración se presenta en la zona de contacto, ya que son también las plagioclasas del intrusivo las que se transforman en arcillas como la caolinita (Argilización).

5.9.3. Actinolización

Esta alteración se presenta en los Skarn y hornfels, por el remplazamiento del magnesio presente en la roca y el ion férrico de las soluciones hidrotermales formándose magnetita y actinolita en dichas rocas.

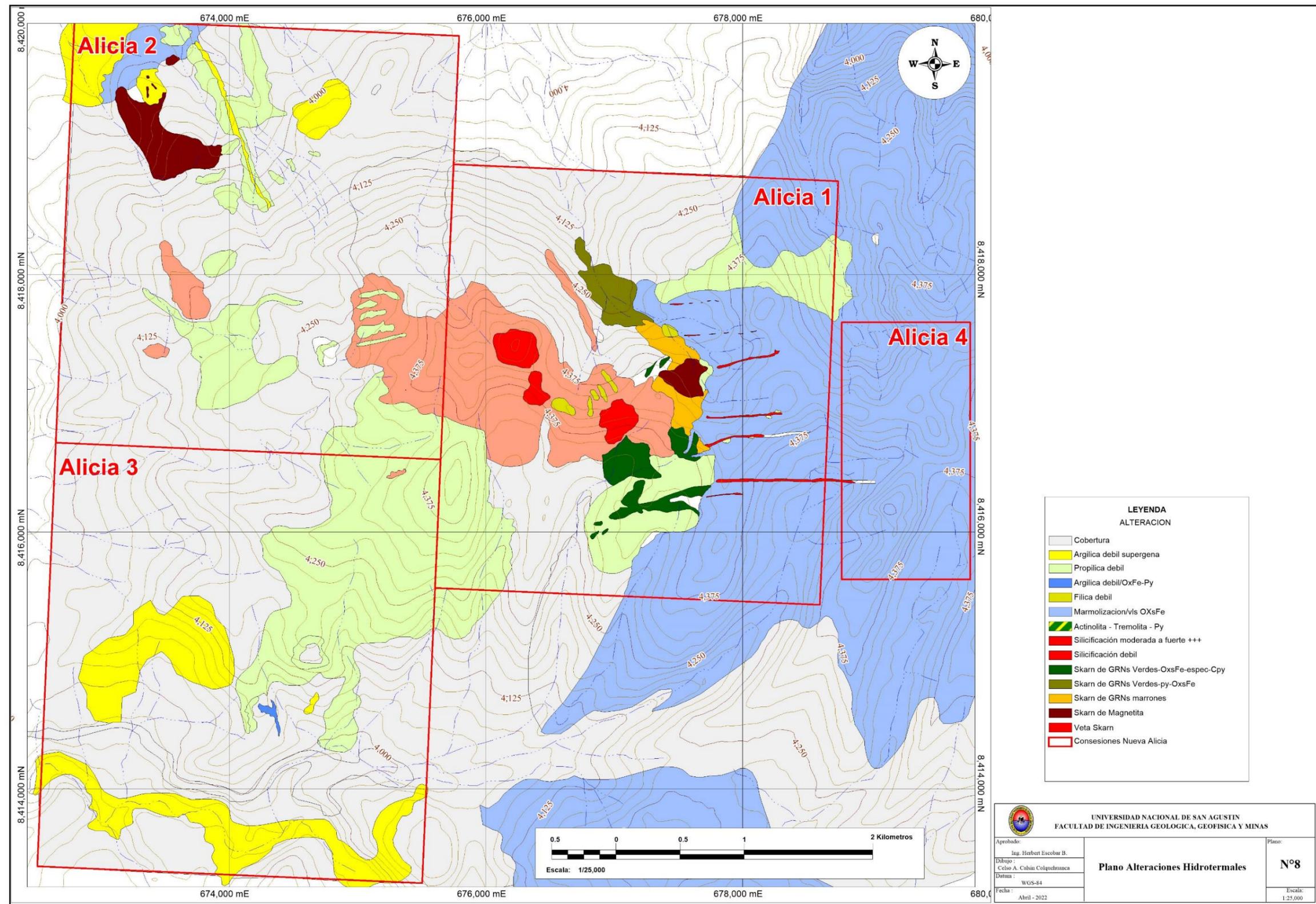


Figura 15. Mapa de alteraciones hidrotermales. Fuente: Elaboración propia.

5.10. Controles Geológicos de la Mineralización

El mapeo geológico de los ensambles minerales: Alteración Hidrotermal – Óxidos – Sulfuros, nos permite definir los controles para el desarrollo de alteración hidrotermal y los otros procesos.

De manera preliminar señalaremos los siguientes controles:

5.10.1. Control Estructural

Las soluciones hidrotermales mineralizantes ascendentes han sido guiadas por los diversos sistemas de fallas y fracturas que afectan a las rocas que generan los Skarn. Asimismo, los planos de contacto intrusivo – Skarn, permitieron la circulación de los fluidos hidrotermales mineralizantes.

5.10.2. Control Litológico

Luego de los estudios realizados en el área y las concesiones “Nueva Alicia 1, 2, 3 y 4”, se ha establecido que el principal control de la mineralización es el litológico, pues, la mineralización está alojada en los Skarn, brechas y vetas emplazados en las rocas calcáreas.

5.11. Génesis

La génesis del Skarn ubicada en la zona de estudio se entenderá mejor a través de los estadios de formación propuestos por Burt y Petersen en su trabajo “Características generales de los yacimientos en Skarn” anteriormente descrito.

El origen del Skarn emplazado en el área de estudio “Nueva Alicia 1, 2, 3 y 4”, se relaciona a la evolución del Batolito de Andahuaylas, el que se formó en el Eoceno Inferior (48 Ma), y que en su primera etapa de emplazamiento estaba constituido por gabros y dioritas controlados por un contexto estructural regional de transtensión relacionados a fallas regionales.

La intrusión del Batolito mencionado es producto de las diferentes etapas tectónicas principalmente de la fase Inca 1, que causa deformación regional plegando las rocas de la formación Ferrobamba y reactivando fallas antiguas, y se produce intrusión del segundo evento magmático que corta a gabros y dioritas ocurridas a nivel regional del área del proyecto. En la zona

de estudio, asociado a este evento tectónico se produce el emplazamiento del Intrusivo Granodiorítico, tanto el antiguo como con la relacionada a la mineralización que corresponde al segundo evento, estos intrusivos se emplazan siguiendo las estructuras principales y en el caso del proyecto Nueva Alicia 1, 2, 3 y 4, son de dirección NE-SO.

Localmente los intrusivos, tienen cierta diferenciación magmática, es así que presentan en la base granodiorita/diorita y en la cúpula del intrusivo un aparente stock subvolcánico de grano medio a fino, probablemente se trate de una monzonita cuarcífera.

El intrusivo al entrar en contacto con las rocas calcáreas de la formación Ferrobamba inicia el proceso de formación del sistema Skarn, produciendo en la fase inicial una alteración térmica y genera “calcosilicatos de alta temperatura”, como granates marrones, verdes, piroxenos y mármoles.

El magma se cristaliza y libera una fase fluida “fluidos hidrotermales”, que hace que los calcosilicatos se alteren mediante un proceso metasomático y se forman “minerales anhidros”, luego se produce la alteración retrógrada por enfriamiento del intrusivo y la circulación de aguas de temperatura más baja formándose “minerales hidratados”, en el prospecto se observa la presencia de la epidota, actinolita, clorita, el proceso hidrotermal es el que deposita los minerales de Cu - Au - Fe.

Posteriormente, la mineralización Aurífera también se desarrolló en vetas, debido a que los fluidos hidrotermales se transportaron por fallas, canales y/o fracturas, precipitando minerales de menor temperatura como Au – Ag – Zn – Pb, como se observa en las rocas calcáreas, presentes al Este de la zona de estudio (Nueva Alicia 1, 2, 3 y 4).

5.11.1. Tipo de Yacimiento

En base a las características geológicas y mineralógicas, podemos decir que se trata de un yacimiento epigenético “Skarn”, desarrollado en la zona de contacto entre la granodiorita del Batolito de Andahuaylas - Yauri y las calizas de la formación Ferrobamba.

Por el estilo de mineralización y alteración, este prospecto mineral se puede clasificar como un depósito tipo pórfido Cu - Cu, y Skarn de Cu - Au - Fe, es decir, un sistema mineralizado de baja ley y de moderado tonelaje,

sin embargo, debido a sus valores de oro tan altos hace que se vuelva más importante.

5.11.2. Alteración Metasomática

5.11.2.1. Endoskarn

Formado por remplazamiento, ocurre principalmente en la periferia de los plutones donde el flujo de fluidos fue hacia adentro del Plutón o paralelo al contacto de este, la mineralización en el interior del intrusivo tiende a ser más rica en Al que los Exoskarn y comúnmente se caracteriza por tener un mineral predominante (granate o epidota).

5.11.2.2. Exoskarn

Formado por remplazamiento, usualmente están ausentes en las intrusiones con mineralización de tipo pórfido debido a que domina el flujo ascendente de los fluidos provenientes del Plutón, la mineralización de las rocas calcáreas cuantitativamente son más importantes y contienen la mayor cantidad de volumen mineral de interés económico.

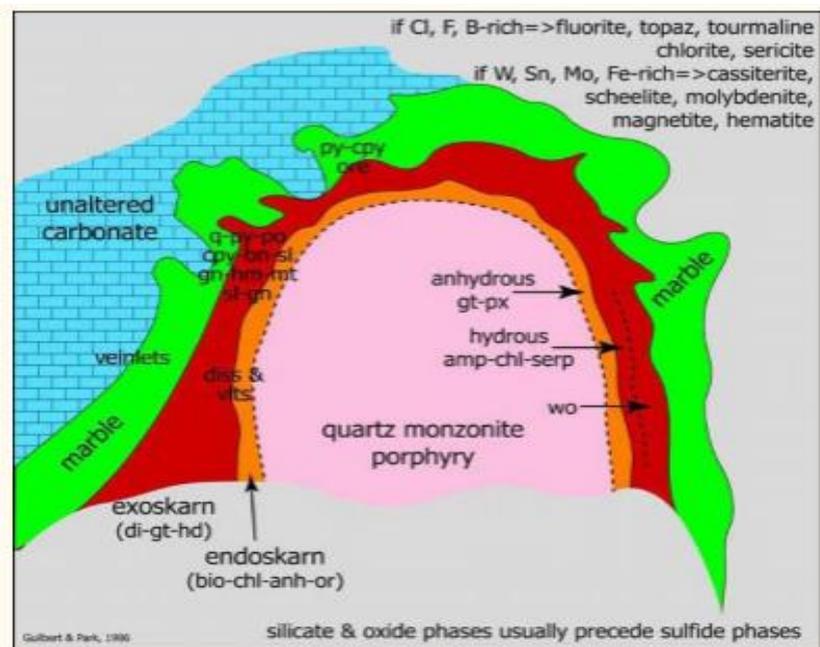


Figura 16. Esquema de Endoskarn y Exoskarn. Fuente: Geología.Wed (S.f.).

5.11.3. Estadíos de Formación

I.-Intrusión (700°C - 900°C), el magma que formó a la granodiorita, intruye a las rocas calcáreas de la formación Ferrobamba. El intrusivo puede reaccionar leve o intensamente con la caliza, y esto determina la formación de un Skarn pequeño o extenso endoskarn.

II.- Metamorfismo. (500°C - 700°C), el segundo estadio de contacto, relacionado a la alta temperatura del intrusivo, por lo que las rocas encajonantes calcáreas desarrollan la recristalización de la calcita y se origina zonas de recristalización y de marmolización en toda la zona de contacto, forma silicatos y se volatiliza el CO₂ con H₂O, el escape de estos volátiles causa una pérdida de volumen y aumenta la porosidad y permeabilidad de las zonas recristalizadas y marmolizadas preparando terreno para el emplazamiento de los fluidos mineralizantes.

Durante este periodo, se emplazan los diques y brechas "Pre-mineral", y probablemente también "Pre Skarn"; mientras que el intrusivo principal se está recristalizando.

III.- Metasomatismo. (400°C - 600°C), se da la formación del Skarn, a partir de la circulación de los "fluidos hidrotermales" que ascienden a través de las fallas y/o fracturas del intrusivo, por lo menos en la costra externa que se ha solidificado, porque el intrusivo ha comenzado a enfriarse y reacciona con la calcita del mármol y se desarrollan los Skarn, formándose los granates, los piroxenos y la wollastonita.

IV.- Depositación de óxidos y sulfuros. (300°C - 500°C), el cuarto estadio es la depositación de la mineralización, empieza antes que termine la formación del Skarn, los fluidos hidrotermales circulantes continúan enfriándose y cambiando de composición, pudiendo depositar grandes cantidades de magnetita "cuerpos", óxidos y sulfuros como la calcopirita, pirrotita, pirita, esfalerita y galena, así como también Au, reemplazando o adicionando minerales al Skarn o más raramente, reemplazando a las calizas distales del Skarn.

V.-Estadio Hidrotermal tardío. (200°C - 400°C), las soluciones hidrotermales tardías llegan a tener temperaturas cada vez más bajas y los silicatos anhidros de los Skarn sufren numerosas reacciones retrogradadas y se alteran a minerales hidratados, tal como a actinolita, clorita, serpentina

y aun a zeolitas. Sin embargo, para entonces las velocidades de reacción y difusión han disminuido a tal punto que los minerales hidratados retrógrados, rara vez logran reemplazar completamente a los silicatos anhidros anteriores del Skarn. En algunos Skarn, este estadio se caracteriza por una abundancia de halógenos y boratos, formando minerales tales como fluorita, escapolita, datolita y en muchos casos por una abundancia de calcita y cuarzo tardío. Los minerales ferrosos como la hedenbergíta comúnmente se oxidan y se observa la presencia de especularita accesoria en granatitas.

El estadio “hidrotermal tardío”, a menudo consiste de varios sub-estadios, los que a medida que los fluidos hidrotermales cambian de composición, y en cierto momento durante la depositación de las menas, este fluido tiene que pasar del estado supercrítico a un líquido o gas subcrítico.

5.12. Geoquímica

El uso de la Geoquímica para la búsqueda de recursos minerales y energéticos en diferentes partes del mundo ha tenido éxito, las técnicas utilizadas en la aplicación , localización y delimitación de ocurrencia de minerales metálicos y delimitación áreas (Geología Aplicada) comprende desde la búsqueda de manifestaciones minerales en áreas de gran extensión (Prospección) desconocidas geológicamente, hasta áreas de pequeña extensión (Exploración) donde se pueden realizar trabajos e investigaciones en detalle para delimitar y caracterizar un depósito mineral conocido.

5.12.1. Técnicas geoquímicas

La utilización de la exploración geoquímica en la búsqueda de yacimientos, se basa en la premisa fundamental de que la composición de los materiales próximos a un yacimiento, son diferentes de cuando el yacimiento no existe. Las acciones físicas y químicas externas y posteriores a la formación del yacimiento originan removilizaciones de los elementos que componen el yacimiento. La fijación posterior de estos da lugar a contenidos anómalos, cuya detección puede contribuir a localizar su origen, es decir, el propio yacimiento.

a.- Muestreo Geoquímico.

En el área de estudio se recolectaron 225 muestras y se usaron 2 tipos de muestreo rock chip y canales se hizo en vetas cada 2 metros en forma aleatoria, se realizaron en zonas de silicificación y alteración y roca caja equidistante, para lo cual se limpio la superficie del afloramiento; por lo menos 10 cm.de profundidad de la superficie inicial con el objetivo de que la meteorización no afecte la muestra ; luego se realiza el cuarteo para que la muestra sea representativa ; y se coloca en una bolsa codificada y su tiket correspondiente en el interior , con un peso aproximado de 3 kilos para su análisis geoquímico, con los resultados obtenidos mediante estas técnicas se confeccionan mapas de isovalores (isoconcentraciones) e histogramas, que permiten discriminar entre zonas de anomalías geoquímicas y zonas de “background” (valores de fondo regional).



Foto 13. Tipos de muestreo rock chip y canales Fuente: Elaboración propia

5.12.2. Control de calidad (QA/QC)

Obtenida la muestra, se coloca en bolsas estándares de polietileno, cada muestra de 3 kilos aproximadamente, es descrita macroscópicamente, luego se codifica y etiqueta, para luego colocarlas (05 muestras) en sacos con sus respectivos códigos de envío para el control del laboratorio. Finalmente se pasa esta información en la base de datos (Excel).

El objetivo principal del aseguramiento y control de calidad relacionada con la exploración geológica y minera, es la prevención con énfasis en el muestreo, la preparación y análisis de las muestras para construir una base

de datos con el mínimo error posible. Controlando también al laboratorio (QA) para evitar posibles errores por contaminantes.

5.12.2.1. Muestras de control de calidad

a) Muestra Estándar: Muestras certificadas con valores conocidos de elementos determinados, permiten evaluar la exactitud.

b) Muestra Duplicado: Son muestras repetidas de un mismo lugar, esto permite evaluar la precisión, cada 20 muestras, tiene como objeto controlar al laboratorio.

c) Muestra Blanco: Son muestras estériles, permiten evaluar la contaminación, y desplazamiento durante el proceso de identificación y preparación de muestras (Figura 17, 18,19,20 y 21).

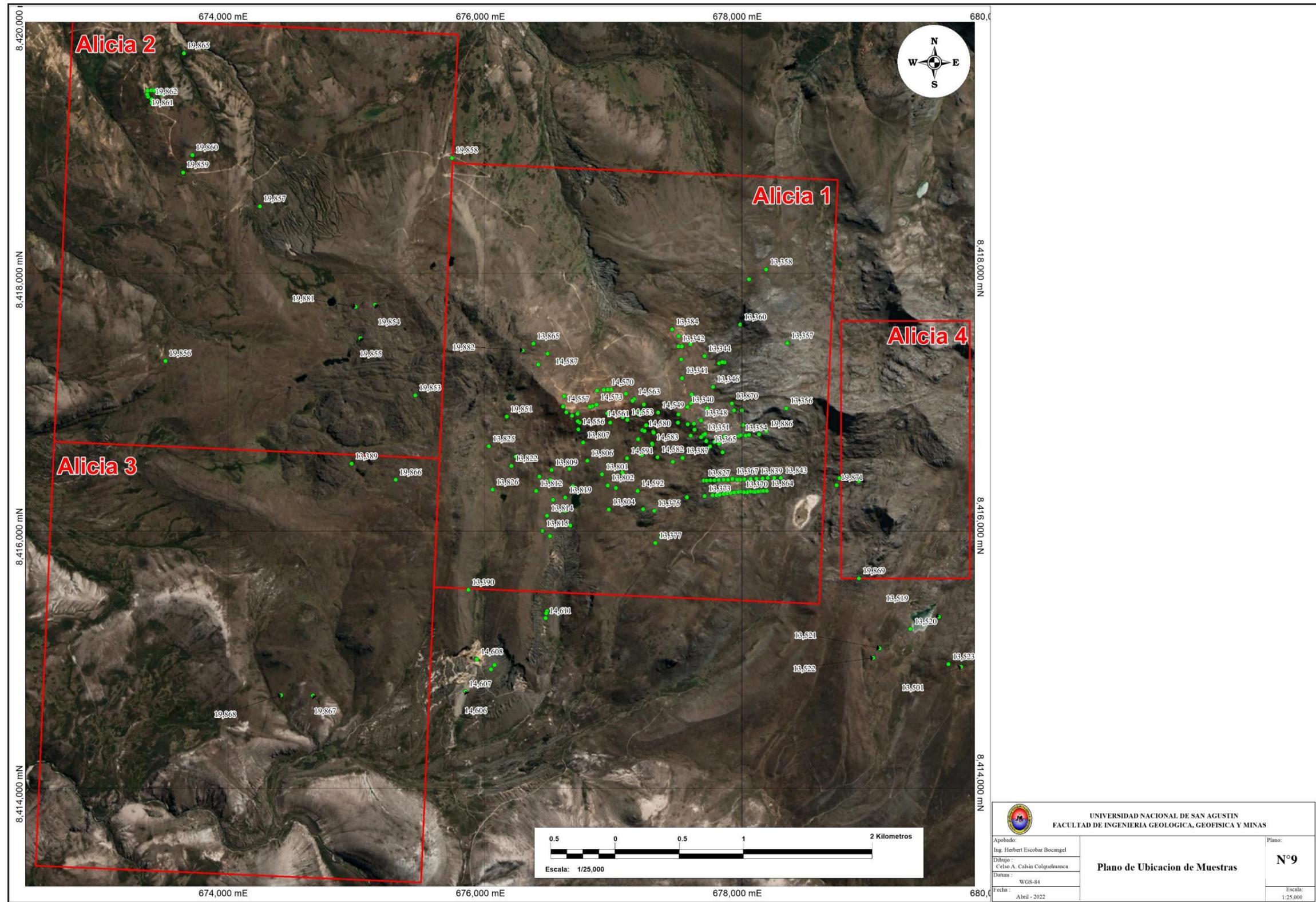


Figura 17. Imagen zona de muestreo. Fuente: Elaboración propia, con base en imágenes satelitales de BingMaps.

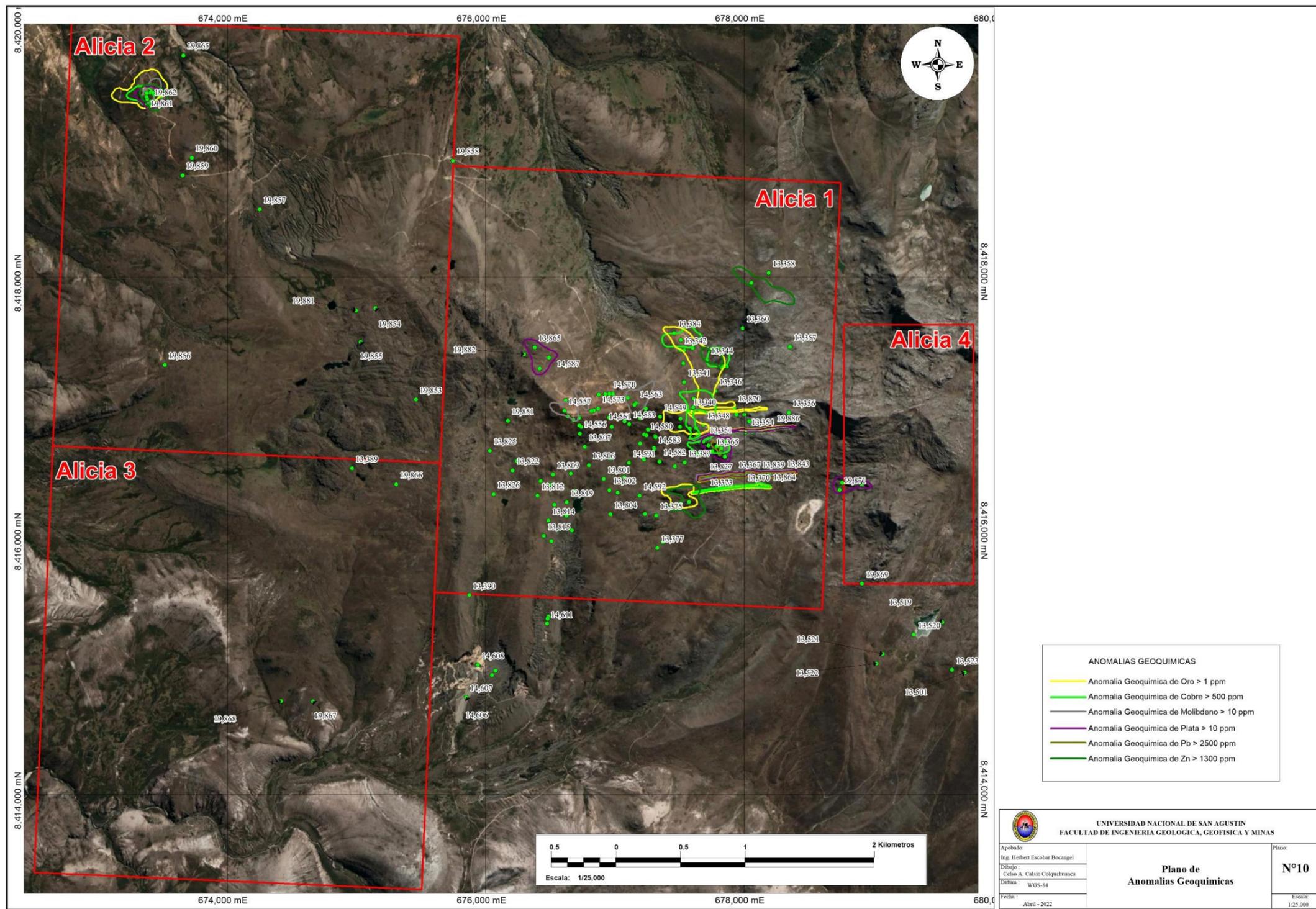


Figura 18. Mapa de anomalías geoquímicas. Fuente: Elaboración propia, con base en imágenes satelitales de BingMaps.

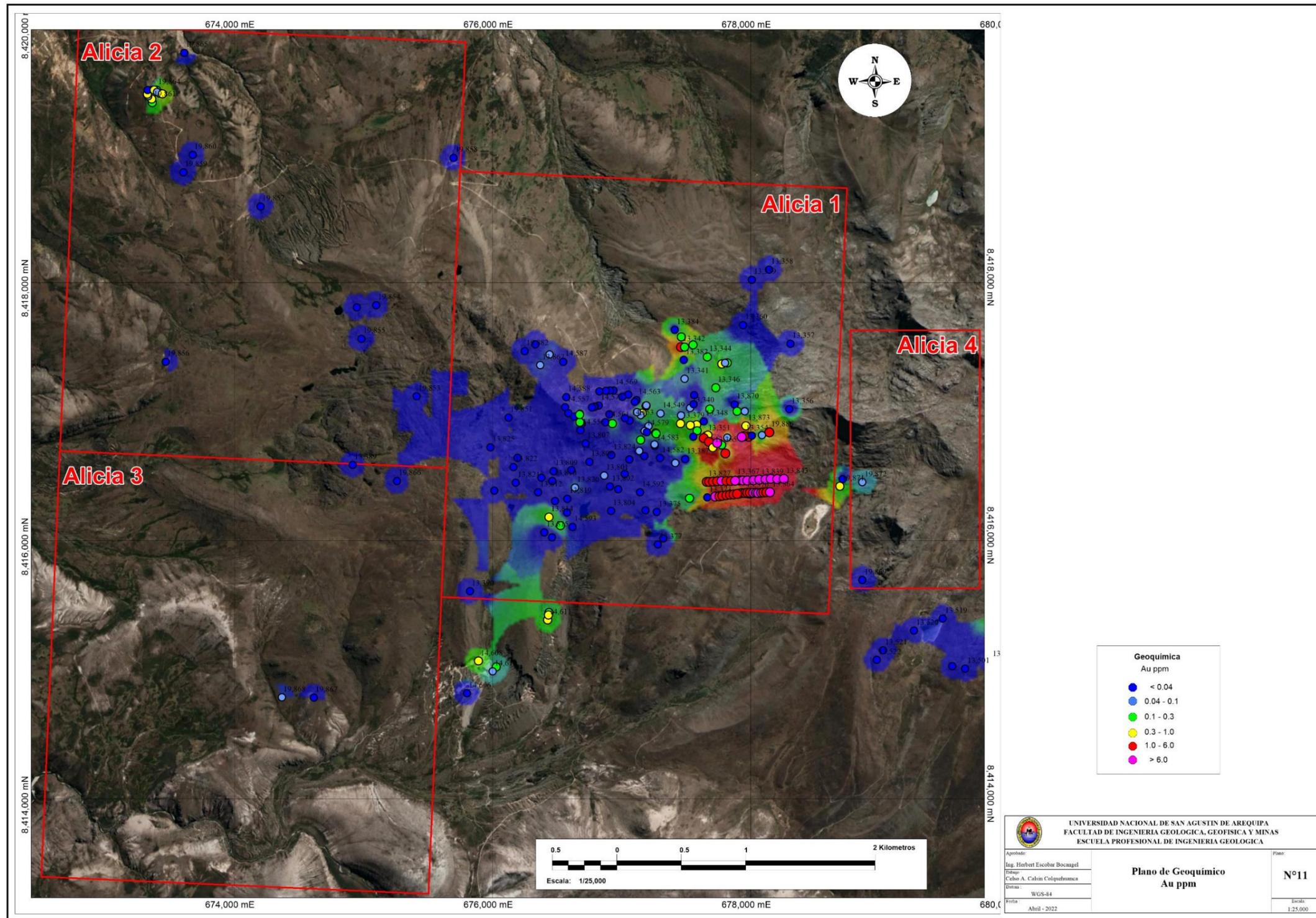


Figura 19. Mapa de anomalías geoquímicas de Au. Distribución de los puntos de muestreo geoquímico por Au sobre el fondo de imagen satelital. Muestra los valores encontrados en ppm, destaca los puntos de color rojo y color magenta, los cuales expresan valores altos y su influencia zonal. En color azul muestra valores bajos no importantes para la exploración. Fuente: Elaboración propia, con base en imagenes satelitales de BingMaps.

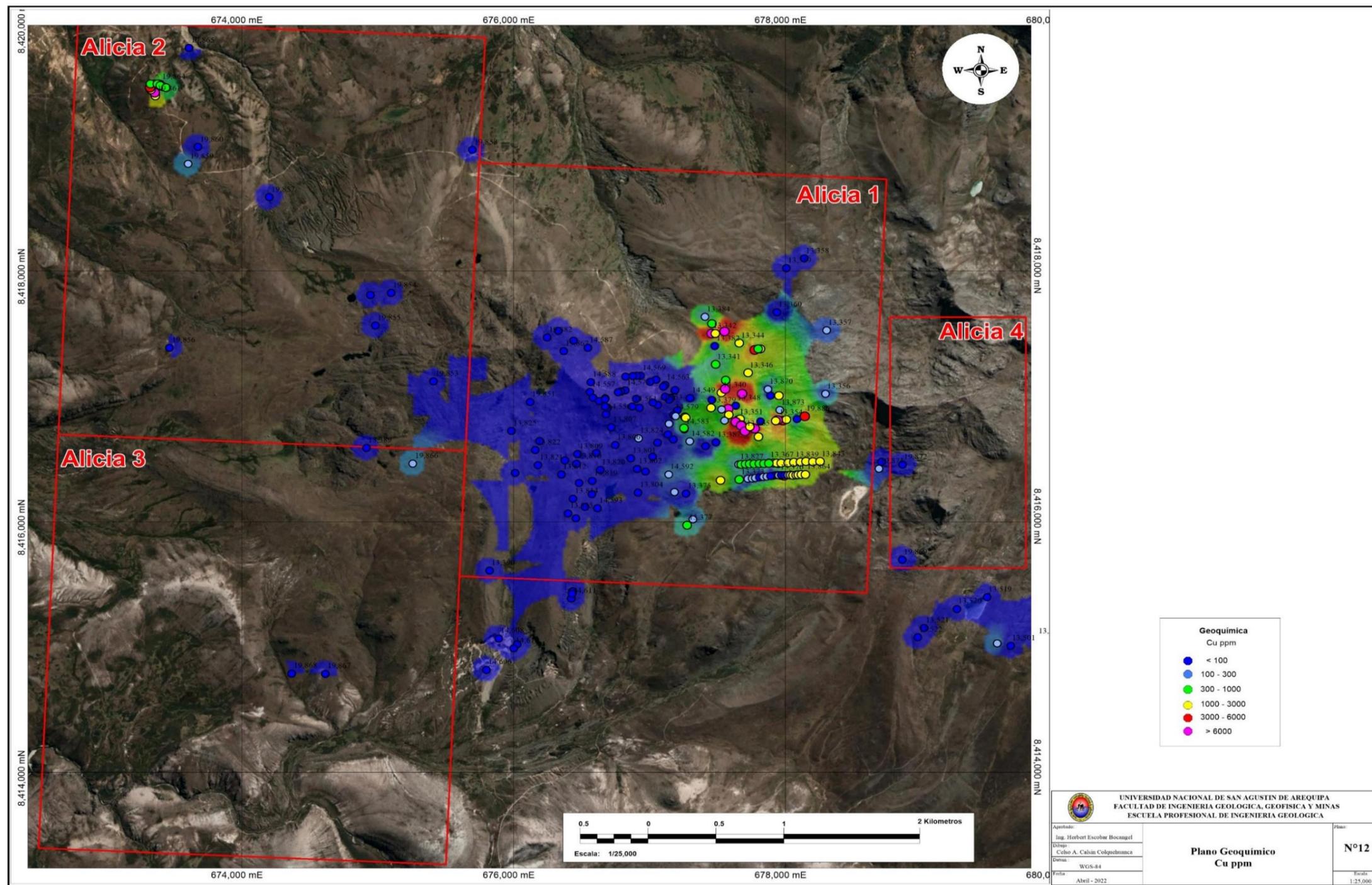


Figura 20. Mapa de anomalías geoquímicas de Cu. Distribución de los puntos de muestreo geoquímico por Cu sobre el fondo satelital. Muestran valores en ppm, destaca los puntos de color rojo y magenta, los cuales expresan valores altos y su influencia zonal. En color azul muestra valores bajos no importantes para la exploración. Fuente: Elaboración propia, con base en imágenes satelitales de BingMaps.

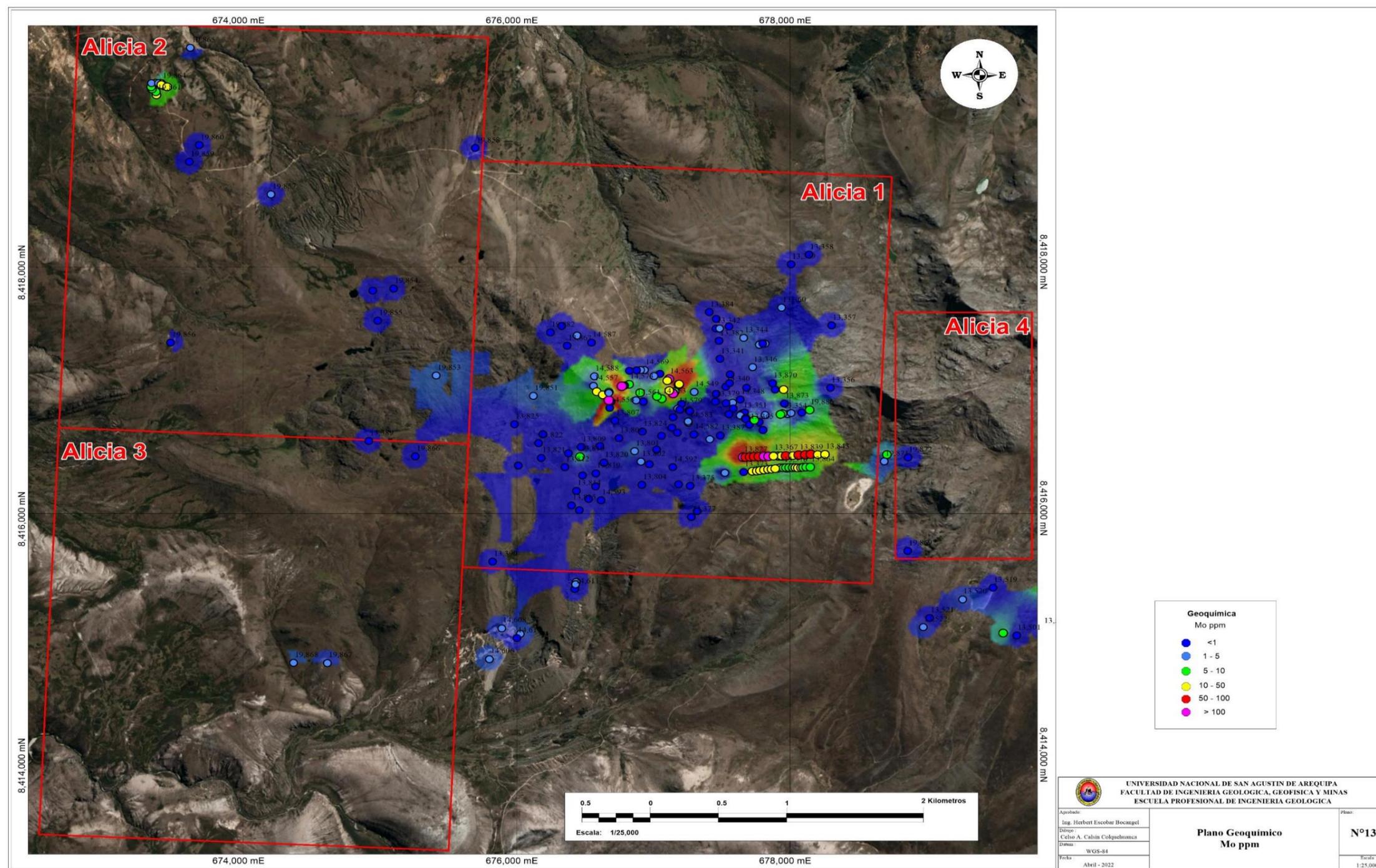


Figura 21. Mapa de anomalías geoquímicas de Mo. Distribución de los puntos de muestreo geoquímico por Mo sobre el fondo satelital. Muestran valores en ppm, destaca los puntos de color rojo y magenta, los cuales expresan valores altos y su influencia zonal. En color azul muestra valores bajos no importantes para la exploración. Fuente: Elaboración propia, con base en imágenes satelitales de BingMaps.

5.12.3. Análisis interpretativo de muestras

En la geología, la geoquímica es una herramienta cuantitativa que nos ayuda a determinar la cantidad de un elemento que hay en una muestra; las unidades en que nos dan los resultados los laboratorios son: porcentajes, partes por millón y partes por billón.

En el caso del presente estudio tenemos dos métodos de análisis: por multielementos (ICP) y elementos mayores.

5.12.3.1. Coeficiente de correlación

Es una medida de variación relativa de los datos y puede ser calculado por:

$$CV = \frac{S_x}{|\bar{X}|}$$

X: variable sobre la que se pretenden calcular la varianza

S_x: Desviación típica de la variable X.

/ \bar{x} /: Es la media de la variable X en valor absoluto con $\bar{x} \neq 0$

CV : Coeficiente de variación

y en porcentaje se multiplica por 100 como:

$$CV = \frac{S_x}{|\bar{X}|}$$

Proporciona una comparación entre la variación de altos valores y la variación de bajos valores. Para los valores entre 1.00 – 0.75 consideramos como una correlación buena, valores entre 0.75 – 0.50 consideramos como una correlación media, valores entre 0.50 – 0.25 y consideramos como una correlación baja; para valores menores a 0.25 consideramos como datos que no tienen ninguna relación entre ellos; dentro de los resultados pueden salir valores negativos estos nos indican que esos dos elementos son de diferentes orígenes.

Para calcular la correspondencia entre dos o más minerales se elabora un cuadro de correlación, en base a este cuadro se puede determinar las asociaciones de elementos, vale decir, que sucede con otros elementos cuando el oro varía su porcentaje en la muestra. (Figura 22, pag 93).

ANÁLISIS DE CORRELACIÓN DE ELEMENTOS GUIAS

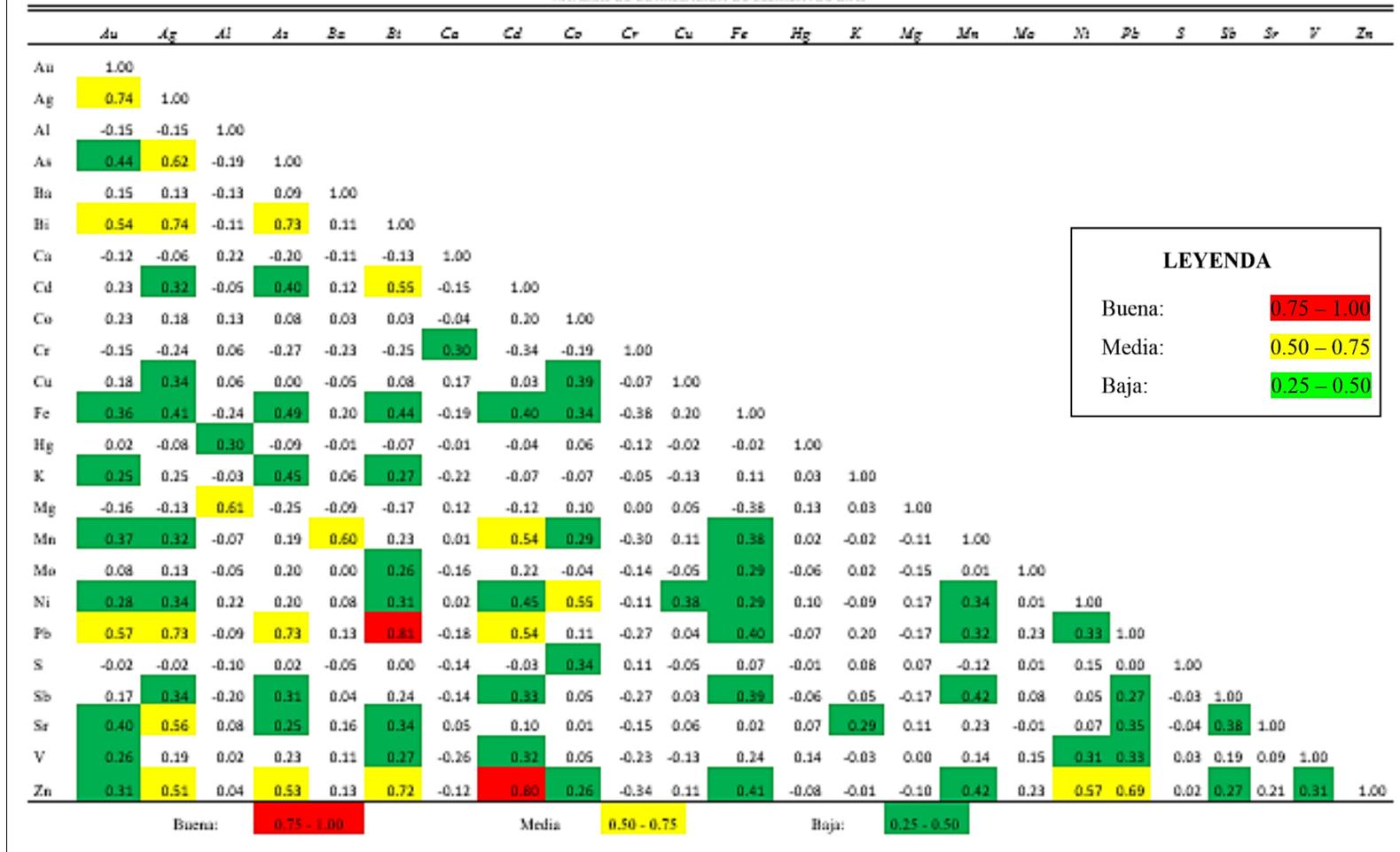


Figura 22. Diagrama de correlación de Pearson. Fuente: Elaboración propia.

5.12.4. Análisis de correlación de Elementos Guías

Del cuadro podemos deducir las siguientes correlaciones entre elementos

Buena: Bi (Pb), Cd (Zn).

Media: Au (Ag), Au (Bi), Au (Pb), Ag (As), Ag (Bi), Ag (Pb), Ag (Sr), Ag (Zn), Al (Mg), As (Bi), As (Pb), As (Zn), Ba (Mn), Bi (Cd), Bi (Zn), Cd (Mn), Cd (Pb), Co (Ni), Ni (Zn), Pb (Zn).

Baja: Au (As), Au (Fe), Au (K), Au (Mn), Au (Ni), Au (Sr), Au (V), Au (Zn), Ag (Cd), Ag (Cu), Ag (Fe), Ag (Mn), Ag (Ni), Ag (Sb), Al (Hg), As (Cd), As (Fe), As (K), As (Sb), As (Sr), Bi (Fe), Bi(K), Bi (Mo), Bi (Ni), Bi (Sr), Bi(V), Ca (Cr), Cd (Fe), Cd (Ni), Cd (Sb), Cd(V), Co (Cu), Co (Fe), Co (Mn), Co(S), Co (Zn), Cu (Ni), Fe (Mn), Fe (Mo), Fe (Ni), Fe (Pb), Fe (Sb), Fe (Zn), k(Sr), Mn (Ni), Mn (Pb), Mn (Sb), Mn (Zn), Ni (Pb), Ni(V), Pb (Sb), Pb (Sr), Pb(V), Sb (Sr), Sb (Zn), V(Zn).

5.12.5. Cálculo de anomalías geoquímicas

Para el cálculo de las anomalías geoquímicas se usaron métodos estadísticos, estos consisten en emplear fórmulas para el background, threshold y anomalías geoquímicas.

$$BG = \frac{X + Med}{2}$$

Donde

BG: Background

X: Media

Med: Mediana

TH: Threshold

DS: Desviación Estándar

$$1ra\ Anomalia = BG + DS = TH$$

$$2da\ Anomalia = BG + 2DS$$

$$3ra\ Anomalia = BG + 3DS$$

Dentro de los resultados de la 1ra, 2da y 3ra anomalía, no cabe valores decimales de tres a más dígitos, por esto se redondea por exceso o por defecto hasta que los valores sean normales; en algunos casos cuando se tiene una data que va desde el límite de detección hasta valores muy elevados se cambian las desviaciones estándar por 1, 3 y 5. Este cálculo es netamente estadístico por eso está sujeto a modificaciones en el resultado de acuerdo al tipo de yacimiento que se está analizando.

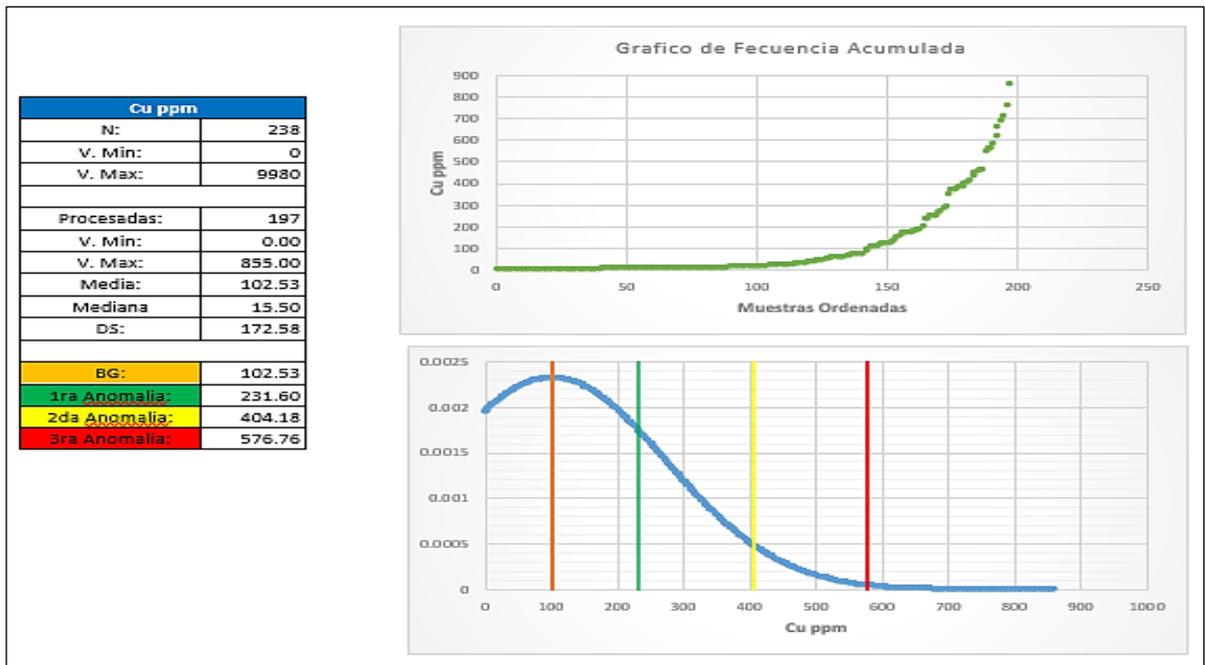


Figura 23. Gráficos de Anomalía Geoquímica del Cobre: Histograma de frecuencia acumulada y diagrama de probabilidad Log normal. Fuente: Elaboración propia.

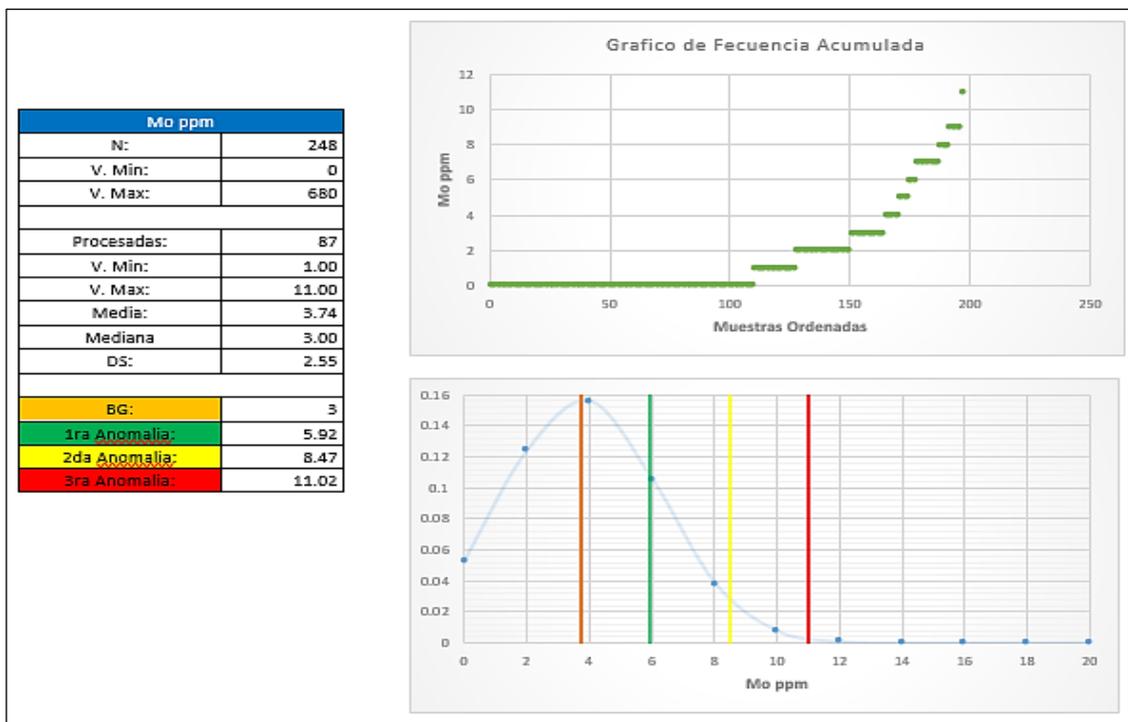


Figura 24. Gráficos de Anomalía Geoquímica del Molibdeno: Histograma de frecuencia acumulada y diagrama de probabilidad Log normal. Fuente: Elaboración propia.

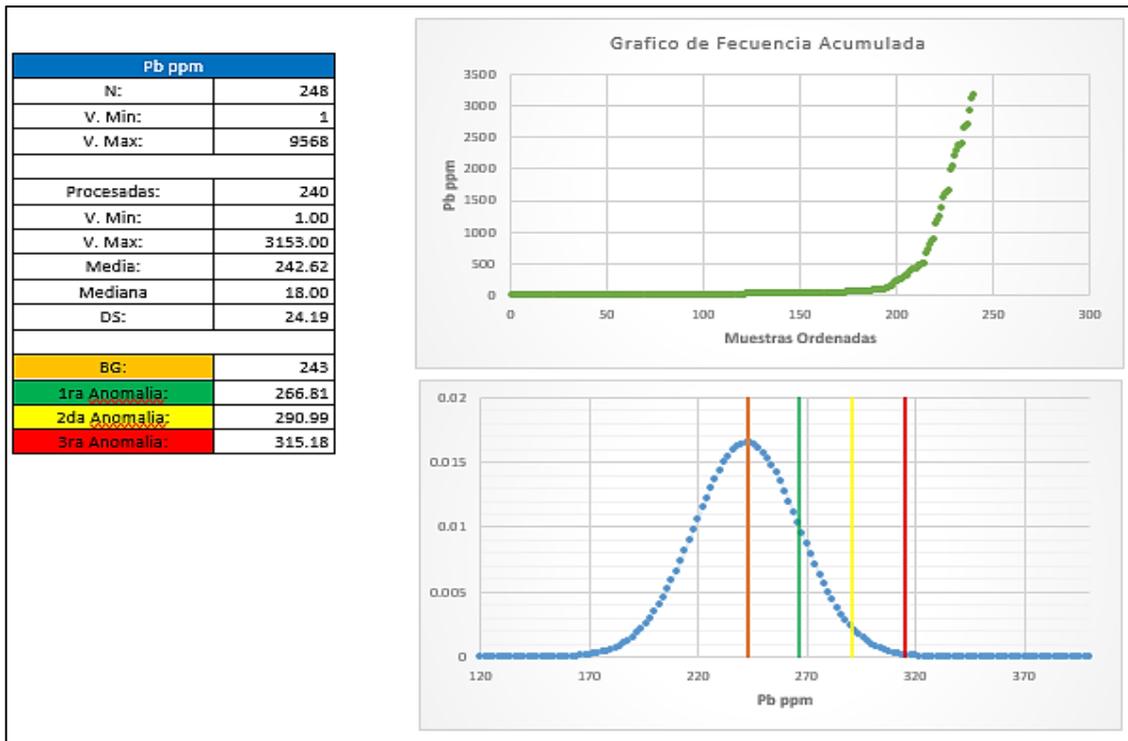


Figura 25. Gráficos de Anomalia Geoquímica del Plomo: Histograma de frecuencia acumulada y diagrama de probabilidad Log normal. Fuente: Elaboración propia.

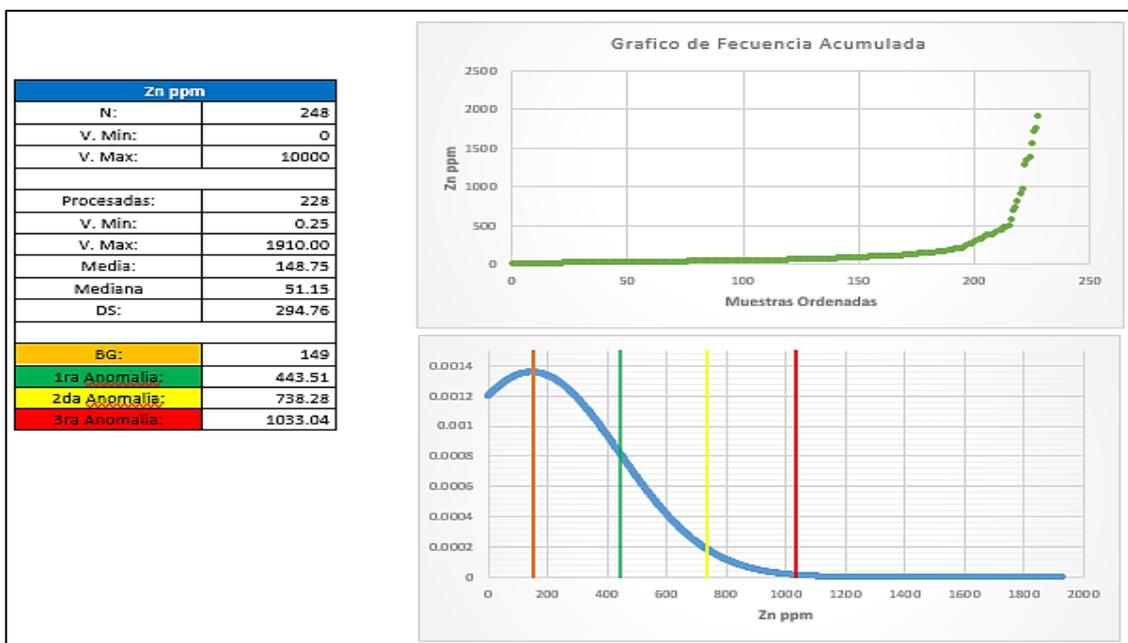


Figura 26. Gráficos de Anomalia Geoquímica del Zinc ppm : Histograma de frecuencia acumulada y diagrama de probabilidad Log normal. Fuente: Elaboración propia.

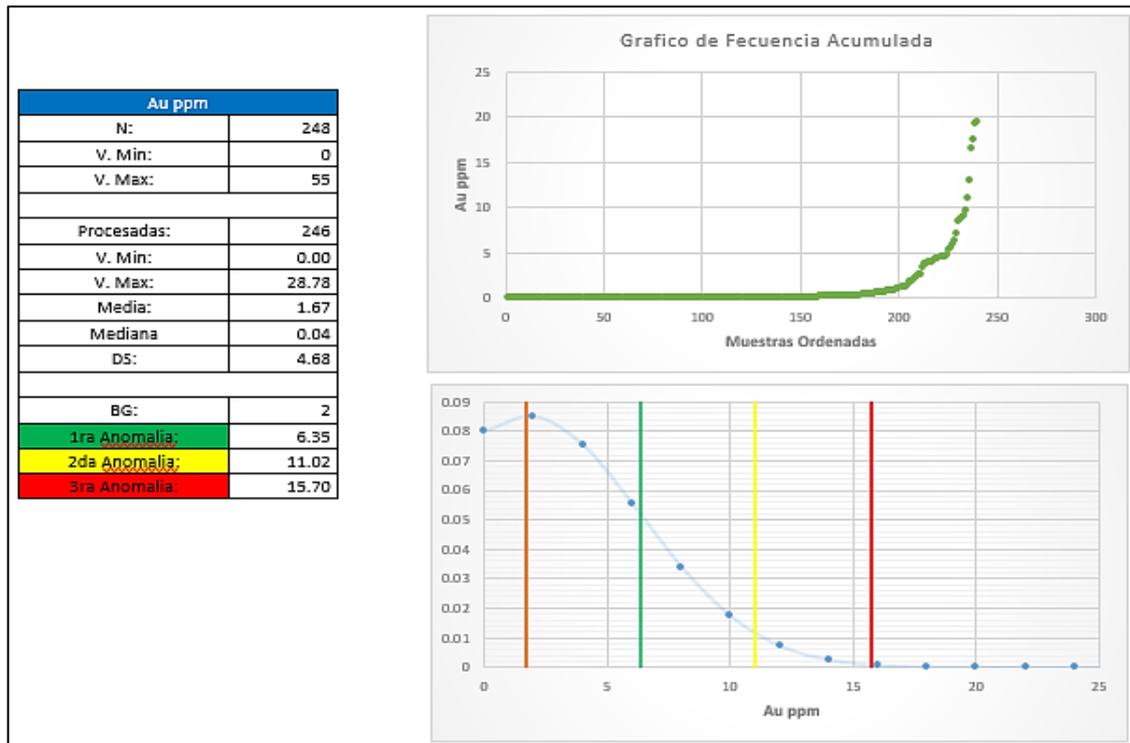


Figura 27. Gráficos de Anomalia Geoquimica del Au ppm: Histograma de frecuencia acumulada y diagrama de probabilidad Log normal. Fuente: Elaboración propia.

5.12.6. Diagramas Scatter

Los diagramas Scatter se emplean para ver la correspondencia entre elementos de forma gráfica (coeficiente de correlación), estas nubes de puntos forman poblaciones que tienen bases geológicas comunes. Por lo general, se usa estos gráficos para verificar resultados de dos laboratorios en un mismo elemento.

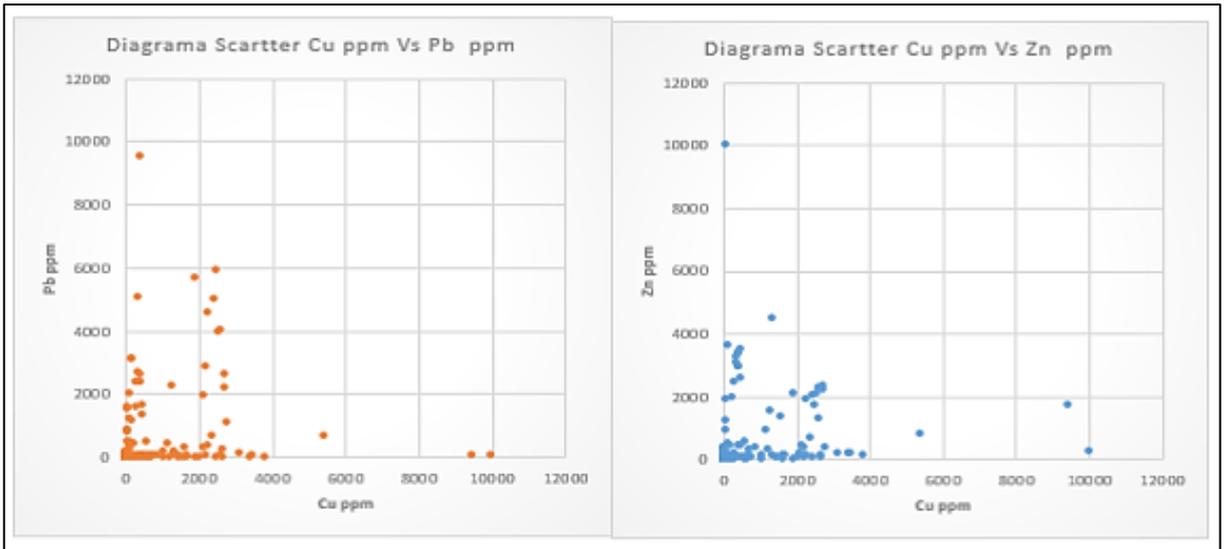


Figura 28. Diagramas Scatter de Cu vs Pb y Cu vs Zn. Fuente: Elaboración propia.

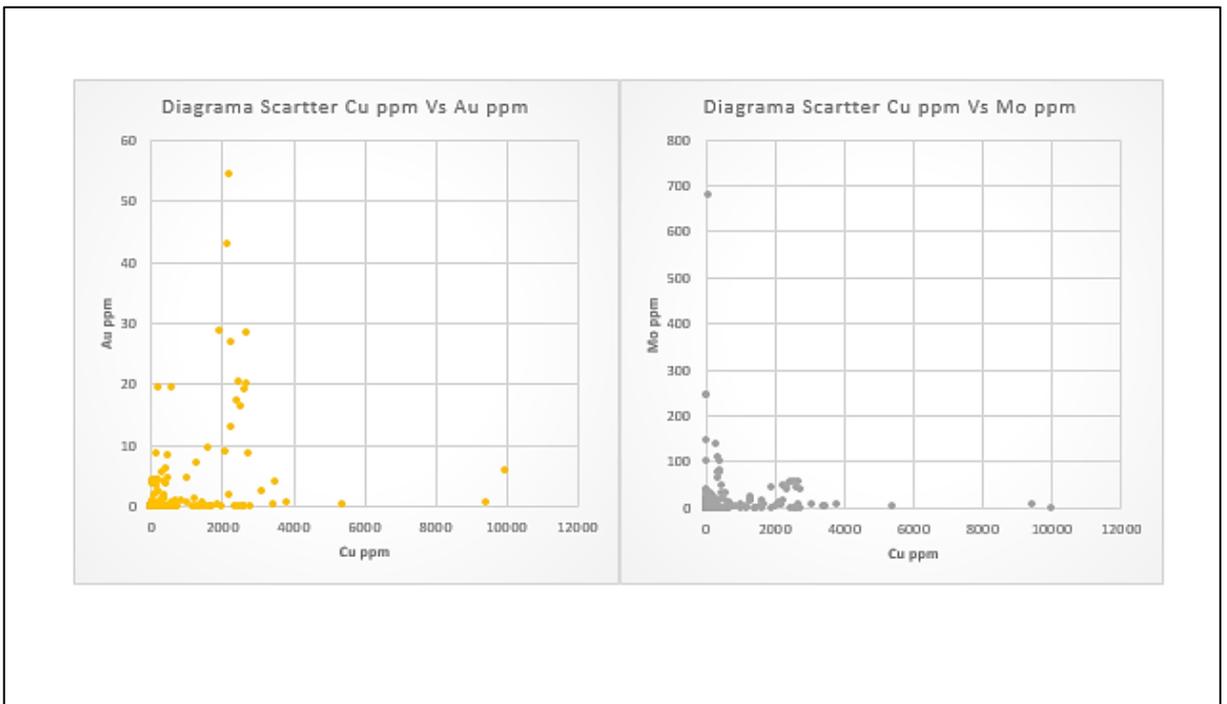


Figura 29. Diagramas Scatter de Cu vs Au y Cu vs Mo. Fuente: Elaboración propia.

5.13. Estimación de recursos

Es una estimación de recursos inferidos según mi evaluación de campo basados en Litología, Alteración, muestras geoquímicas, estructural, el recurso prospectivo en el área Nueva Alicia 1, 2, 3 y 4 esta relacionado a cuerpos de Skarn mineralizados con leyes económicas de Cu, Au, Ag, el muestreo se realizo en un nivel de lixiviación – oxidación; por esta razón se asume la continuidad de la mineralización lo cual incrementara el recurso inferido económico. (tabla 3, tabla 4, tabla 5 y tabla 6).

Tabla 3. Cálculo de recursos en Exoskarn y Endoskarn

Ocurrencia	Area m ²	Profundidad	Volumen	Tonelaje	Cu %	Ag (g/T)	Au (g/T)	Recursos Cu (Oz)	Recursos Ag (Oz)	Recursos Au (Oz)
ExoSkarn	227,500.00	25	5,687,500.00	14,218,750.00	0.3	1		137,600.81	458,669.35	-
EndoSkarn	731,900.00	25	18,297,500.00	45,743,750.00	0.4	5	1	590,241.94	7,378,024.19	1,475,604.84
TOTAL								727,842.74	7,836,693.55	1,475,604.84

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Cálculo de recursos en Brechas

Ocurrencia	Area m ²	Profundidad	Potencia	Volumen	Tonelaje	Au (g/T)	Recursos Au	Recursos Au (Oz)
Brecha	68,000.00	25.00	1.00	1,700,000.00	4,250,000.00	0.037	157,250.00	5,072.58

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Cálculo de recursos en Vetas

Ocurrencia	Longitud (m)	Profundidad	Potencia	Volumen	Tonelaje	Au (g/T)	Recursos Au	Recursos Au (Oz)
Vetas	1,545.00	25	1	38,625.00	96,562.50	15.75243	1,521,093.73	49,067.54

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Resumen de Recursos

Ocurrencia	Tonelaje	Cu %	Ag (g/T)	Au (g/T)	Recursos Cu (Oz)	Recursos Ag (Oz)	Recursos Au (Oz)
ExoSkarn	14,218,750.00	0.3	1		137,600.81	458,669.35	
EndoSkarn	45,743,750.00	0.4	5	1	590,241.94	7,378,024.19	1,475,604.84
Brecha	4,250,000.00			0.037			5,072.58
Vetas	96,562.50			15.752427			49,067.54
TOTAL					727,842.74	7,836,693.54	1,529,744.96

Fuente: Elaboración propia.

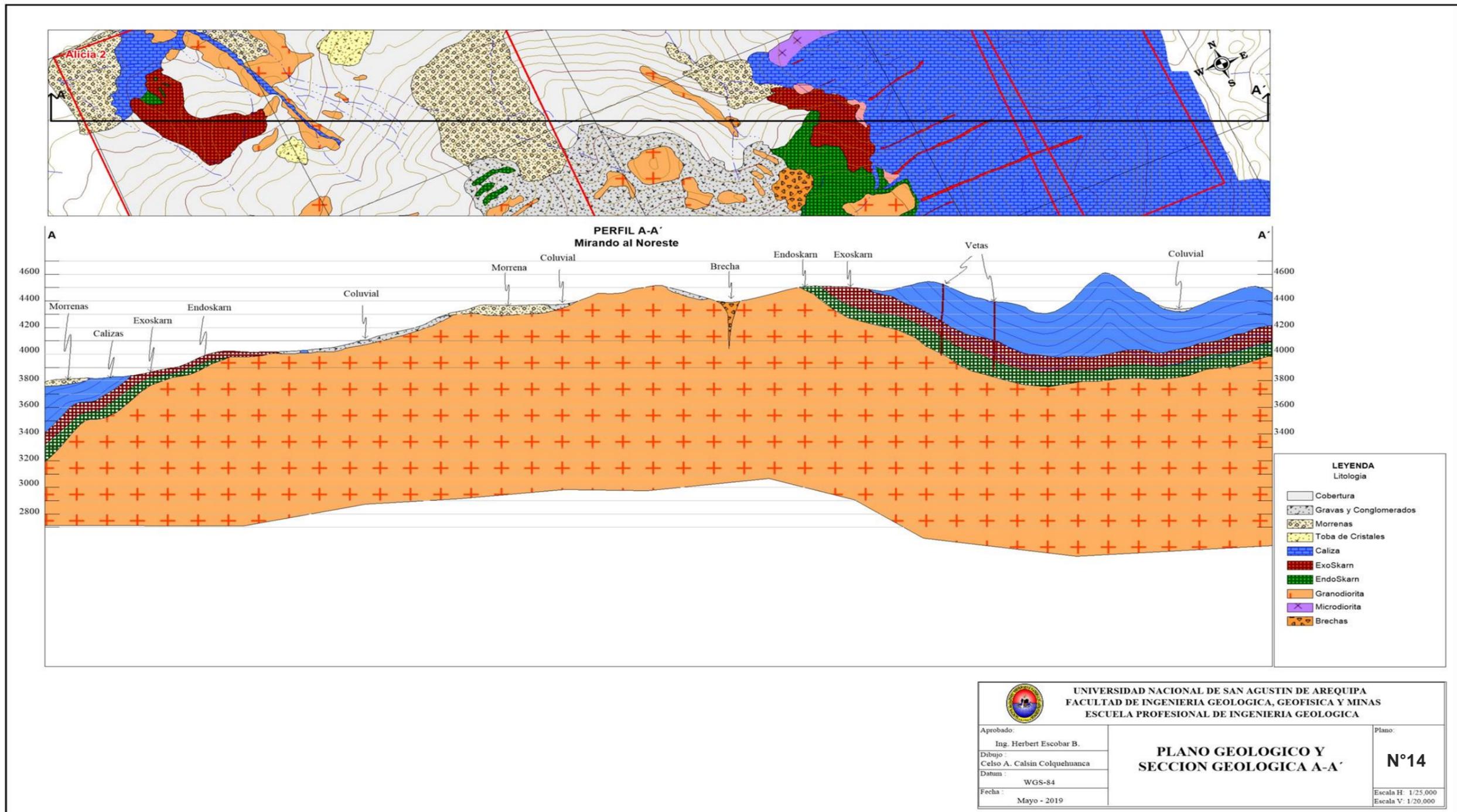


Figura 30. Sección geológica A-A' de la veta de Au ppm. se observa el sistema de skarn, alteraciones del endo skarn. Exo skarn ,asi mismo el sistema de brechas hidrotermales. Fuente: Elaboración propia.

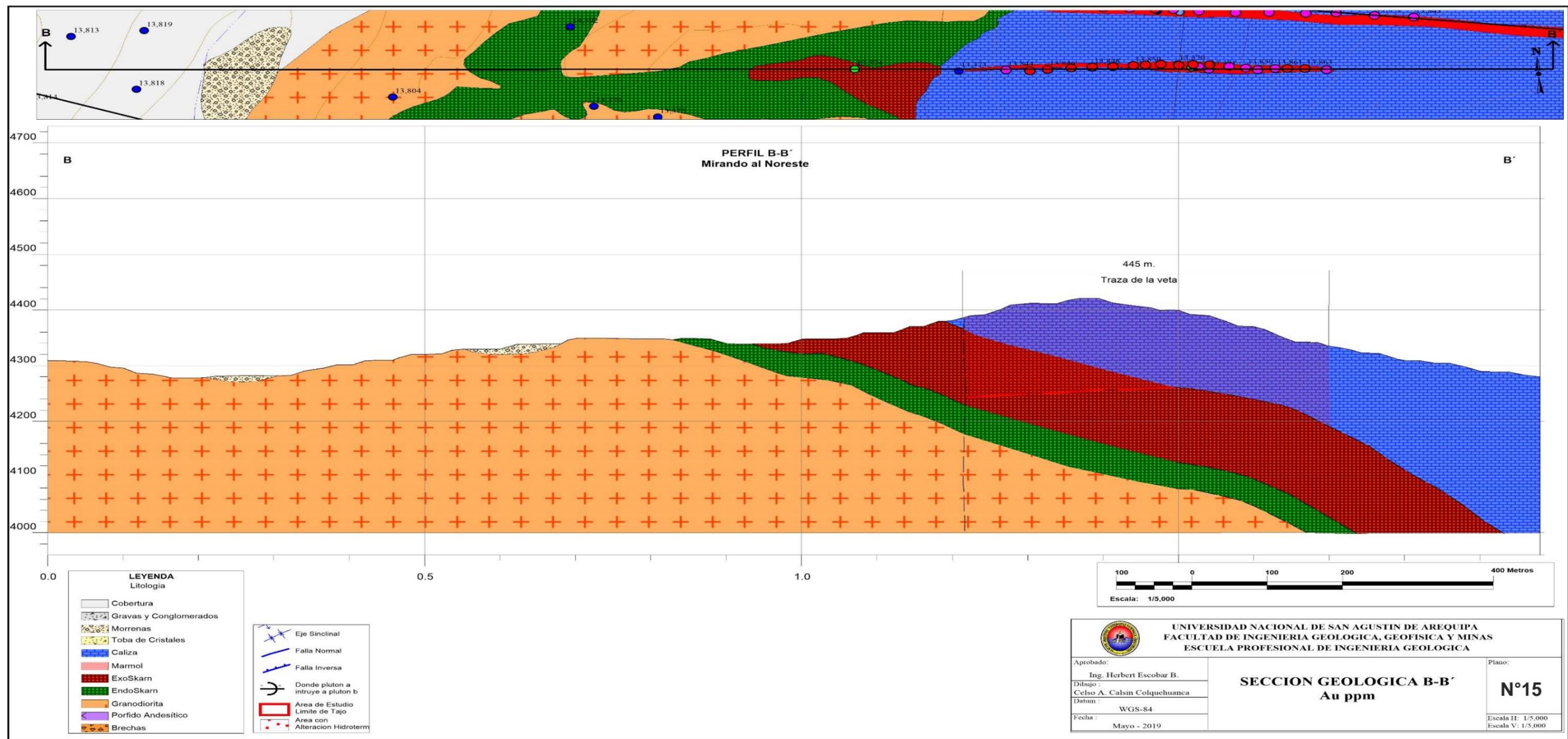


Figura 31. Seccion geológica B-B' de la veta de Au.ppm, con longitud de 445 mts zona exoskarn en calizas ferrobamba : Fuente: Elaboración propia.

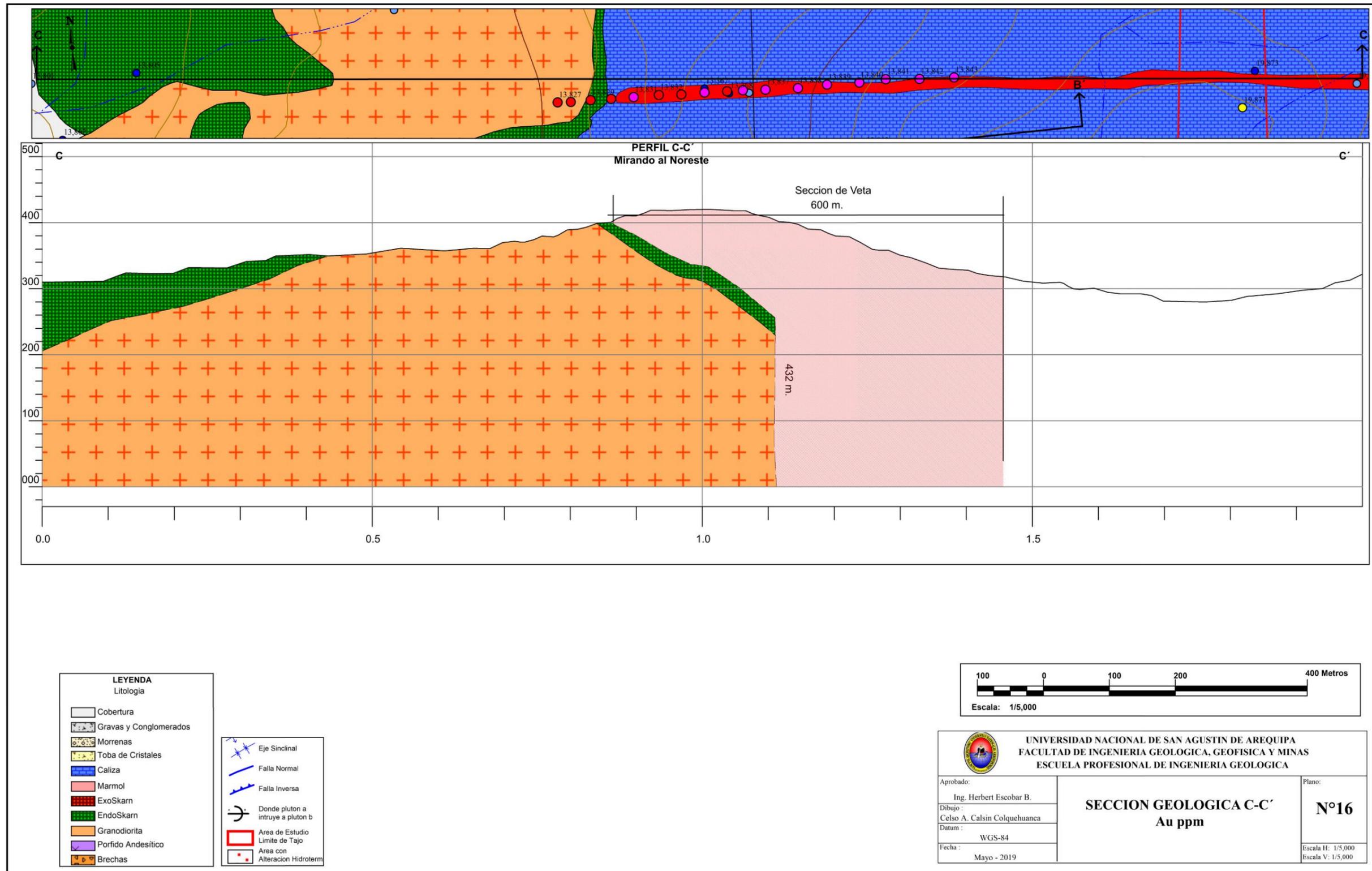


Figura 32. Seccion geológica C-C' de la veta de Au ppm, con longitud de 600 mts zona exoskarn en calizas Ferrobamba.

Fuente: Elaboración propia.

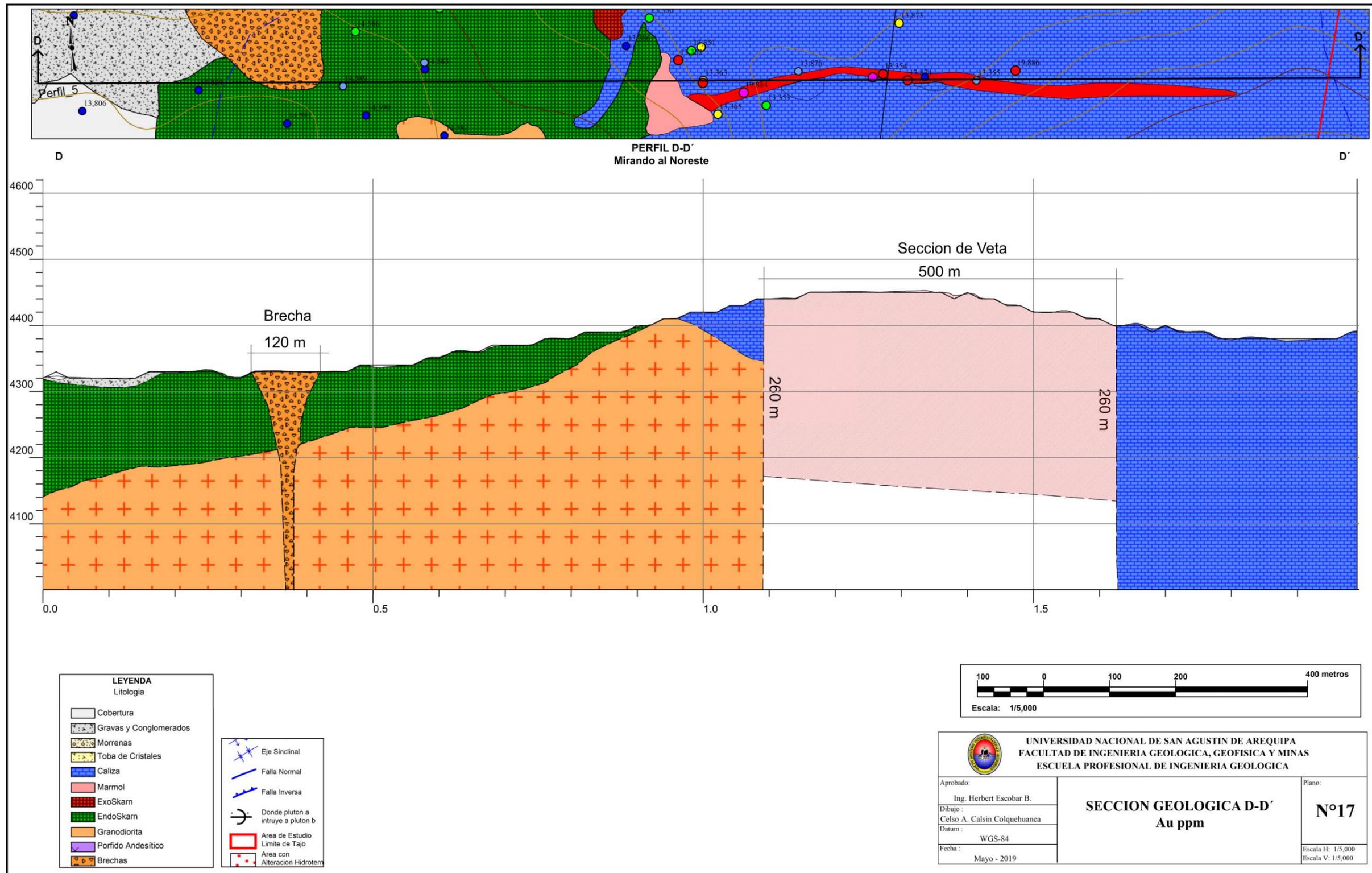


Figura 33. Seccion geológica D - D' de la veta de Au.ppm, con longitud de 500 mts zona exoskarn en calizas Ferrobamba.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Prospección Geológica

4.1.1-Litología

Regionalmente el área de interés esta enmarcado dentro del ámbito de la deflexión de Abancay (Marocco 1977), asi como dentro del Batolito de Andahuaylas-Yauri. Según los estudios realizados por los geólogos del Ingemmet, Marocco y otros, se sabe que el Batolito de Andahuaylas–Yauri, se caracteriza por estar integrado por numerosos intrusivos los que, por su naturaleza van desde una composicion básica a acida, es decir desde gabros y dioritas hasta granodioritas y monzonitas cuarcíferas, las que a su vez intruidas son intruidas por stoscks hipabisales andesíticos y/o dacíticos como resultados finales de una evolución magmática en este sector; estos últimos intrusivos estarian relacionados con la formación de mineralización metálica de ambiente pórfido.

Autores como Carlier, et al (1996), Bollomme y Carlín (1990), han logrado realizar dataciones radiométricas para estos intrusivos, los que van desde el Eoceno (Bartoniano) con 41Ma, hasta el Oligoceno (Diego Catteano) con

23.03 Ma; estas dataciones confirman la ocurrencia de diferentes pulsos magmáticos durante un período de tiempo de +- 18 Ma.

Localmente, la geología del área estudiada está conformada principalmente por rocas intrusivas, correspondientes al Batolito de Abancay, tales como granodiorita, monzonita, subvolcánicos, andesitas las que se encuentran intruyendo a las rocas sedimentarias calcareas de la formación Ferrobamba y rocas detríticas del Grupo Puno, con la consecuente generación de rocas metamórficas tales como mármoles, skarns y hornfels.

Durante las exploraciones, se han cartografiado un stock de granodiorita y un pórfido andesítico en la concesiones de Nueva Alicia 1, 2, 3 y 4, de las cuales Alicia 3 y 4 son las áreas con mayores evidencias de mineralización económica de Cu asociada al Skarn de Fe denotando en consecuencia una mineralización de ambiente tipo pórfido de Cu-Mo-Au.

Como depósitos recientes en el área de estudio se tiene depósitos cuaternarios fluvio-glaciares, morrénicos, Aluviales, coluviales y eluviales.

4.1.2-Estructural

El área de estudio es parte integrante de dos grandes megaestructura en esta parte de los Andes Peruanos denominada “Deflexión de Abancay” y “Cola de caballo”; estas estructuras tienen significativa importancia porque representan una zona transcurrente, que marca el límite norte de la zona volcánica en el Perú, el límite de exposición del basamento neoproterozoico y la extensión continental de la dorsal de Nazca (Petford et al., 1995). En esta zona el trend de la Cordillera de los Andes Peruanos varia de NW-SE a E-W por mas de 200 km. y se reconoce a superposición de los ciclos orogénicos Herciniano y Andino (Marocco, 1977).

Segun nuestra concepción hipotética el arreglo estructural que presenta estas megaestructuras evidencian una evolución tectono-estructural secuencial; es decir se da una interacción de regímenes tectónicos iniciales de carácter compresivo migrando a regímenes transcurrentes (transtensión) asociados a distensiones locales “dilatación”.

Las concesiones evaluadas “Nueva Alicia 1, 2, 3 y 4” están situadas en el extremo Sur de la Deflexión de Abancay y Cola de Caballo, estan emplazadas geológicamente dentro de una secuencia de rocas

sedimentarias de naturaleza calcárea (Fm. Ferrobamba) de edad Cretáceo medio, intruidas por rocas de composición monzonítica y granodiorítica de edad Eoceno medio-Oligoceno temprano (Perelló et al., 2003). La evolución estructural y cinemática de la estructura “Cola de Caballo” a través del tiempo posibilita en el área de estudio y posiblemente en otras áreas de la megaestructura el desarrollo aparentemente de distensiones locales “local opening” dentro de una gran zona aparentemente de transcurrencia favoreciendo el emplazamiento de plutones correspondientes al Batolito de Andahuaylas-Yauri y entre ellos los plutones que caracterizan los blancos de exploración “Nueva Alicia 1, 2, 3 y 4” los cuales se encuentran hipotéticamente dispuestos dentro de un alineamiento estructural de regímenes trancurrentes (trantensivos) y consecuentemente generaría estructuras tectónicas alineadas de tipo “jog ó bend” (Cimoides ondulados) con ejes de tendencia subvertical que facilitarían el emplazamiento de plutones pequeños monzoníticos e hopovolcanicos durante la actividad tectónica asociados probablemente a la mineralización económica. La actividad tectono-magmática en la zona del batolito de Andahuaylas-Yauri y en blancos “Nueva Alicia 1, 2, 3 y 4” fueron generados desde Cretáceo tardío al Plioceno y con un evento tectónico compresivo principal de dirección NE-SW ocurrido durante la Orogenia Incaica en el Eoceno-Oligoceno temprano (Bonhome & Carlier, 1990).

En nuestra área evaluada, específicamente se evidencian fallas inversas, y resaltan los sistemas NO - SE y NE - SO, quedando casi desaparecidos los sistemas E-O y N-S. Los dos primeros sistemas están directamente relacionados a la mineralización metálica (Ver figura 13 14, pag 61 y pag 65).

6.2. Prospección geoquímica

En la zona de estudio, los resultados geoquímicos de las 225 muestras han permitido determinar en primer lugar, que los cuerpos Batolito y los hipabisales corresponden a rocas calcoalcalinas (granodioritas y Pórfidos andesíticos) con alteraciones hidrotermales, argílica, propilitica y filica, asociadas a una interacción de alteración metamórfica y metasomática con desarrollo de Endoskarn, Exoskarn y marmolización (Foto 11, pag 70). Es en

este ambiente de alteración hidrotermal, donde se ha hecho presente la mineralización metálica con magnetita, calcopirita, pirrotita, pirita y oro.

6.2.1. Geoquímica regional

Según los geólogos del Ingemmet y Huamán (2018), la geoquímica de los magmas del Batolito Andahuaylas –Yauri es de composición calco – alcalina y sus características son las siguientes:

- Abundancia de magmas de composición intermedia.
- Saturación en sílice con presencia de cuarzo de 4% a 26%.
- Correlación positiva entre $K_2O - SiO_2$.
- Aumento en las ratios de K_2O/Na_2O con los tenores de sílice.
- Los tenores de TO_2 son bajas.
- La evolución de las rocas calcoalcalinas, lo que se traduce en el enriquecimiento de hierro.

6.2.2. Geoquímica local

Para el presente estudio, se utilizaron los resultados geoquímicos de 225 muestras representativas, extraídas del área de interés, el análisis de los datos obtenidos de la geoquímica de multielementos nos permite determinar que existe una presencia significativa de valores anómalos de varios elementos (Au, As, Ag, Pb, Zn, Ba, Bi, Co, Cr, Mn, Sb, V, Mo, W).

Donde se aprecia una correlación débil a moderado del Au - As – Ba – Cu – Mo, Zn ,como se aprecia en la data geoquímica de Isovalóricas (Fig 18, 19, 20,)

Donde se aprecia en los histogramas (Fig.34, 35, 36, 37, 38, 39,)

6.2.2.1. Histograma de anomalías geoquímicas de Nueva Alicia 1, 2, 3 y 4

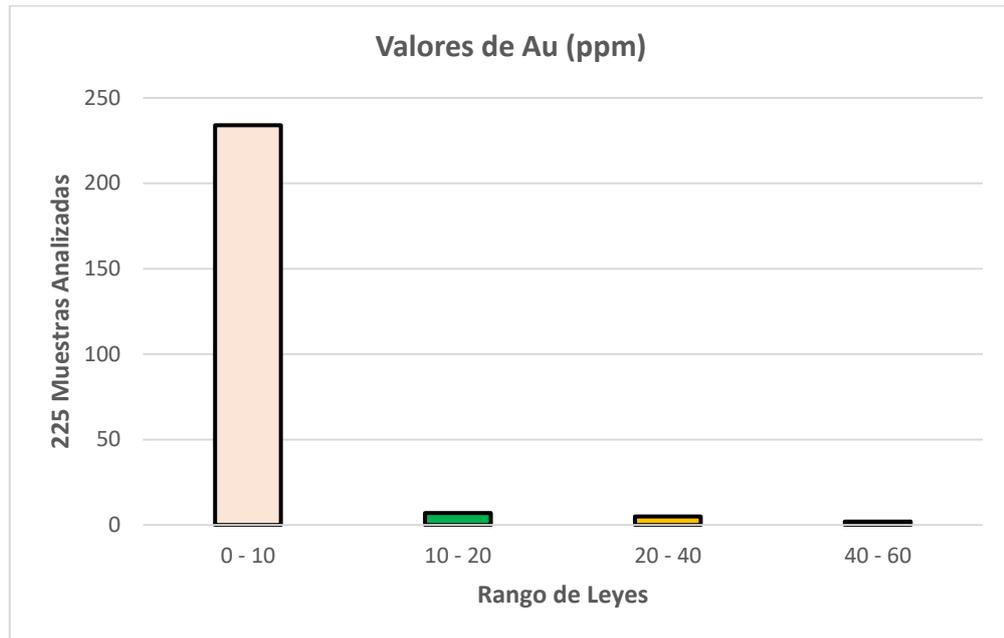


Figura 34. Los valores analizados de Au hasta los 10 ppm representan el 90 %; mientras que los valores entre los 10 y los 60 ppm representan el 10% de los valores asociados a zonas con mineralización mas definida. Fuente: *Elaboración propia.*

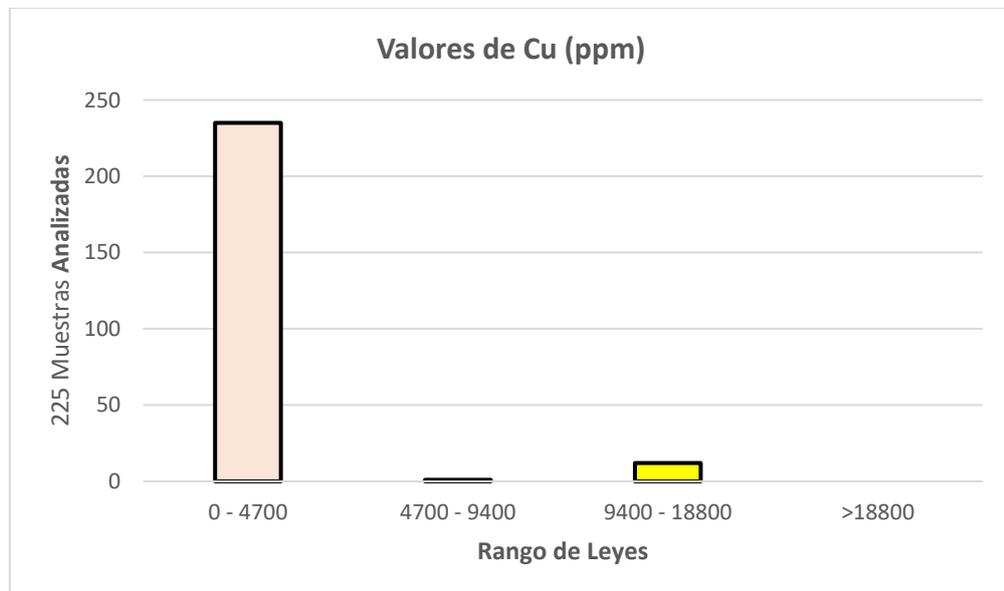


Figura 35. Los valores analizados de Cu hasta los 4700 ppm representan el 90 %; mientras que los valores entre los 4700 y > 18800 ppm representan el 10% de los valores asociados a zonas con mineralización mas definida. Fuente: *Elaboración propia.*

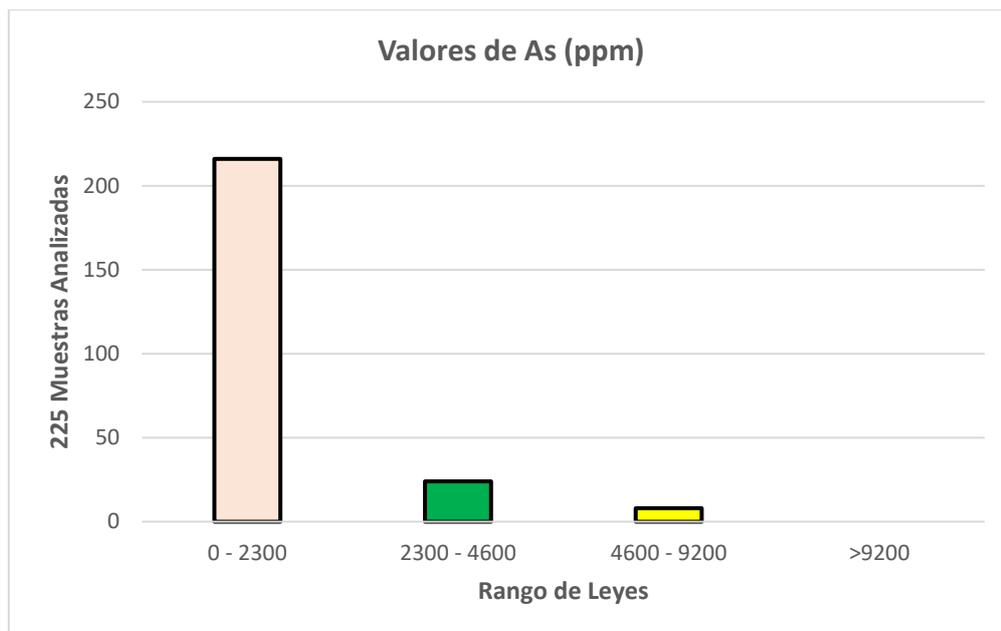


Figura 36. Los valores analizados de As hasta los 2300 ppm representan el 90 %; mientras que los valores entre los 2300 y > 9200 ppm representan el 10% de los valores asociados a zonas con mineralización mas definida. Fuente: *Elaboración propia.*

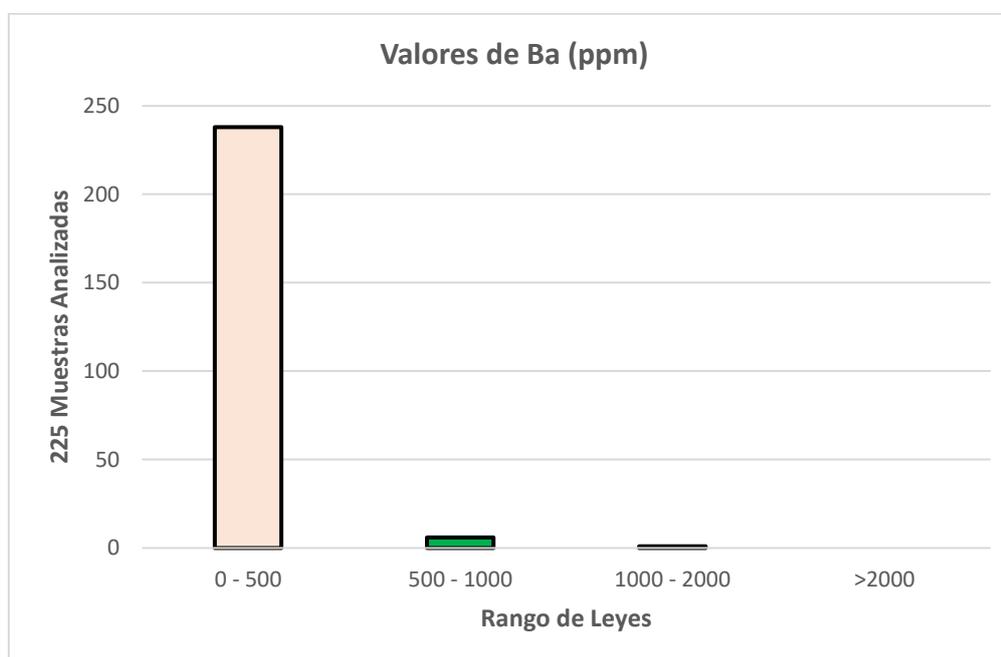


Figura 37. Los valores analizados de Ba hasta los 500 ppm representan el 90 %; mientras que los valores entre los 500 y > 2000 ppm representan el 10% de los valores asociados a zonas con mineralización mas definida. Fuente: *Elaboración propia.*

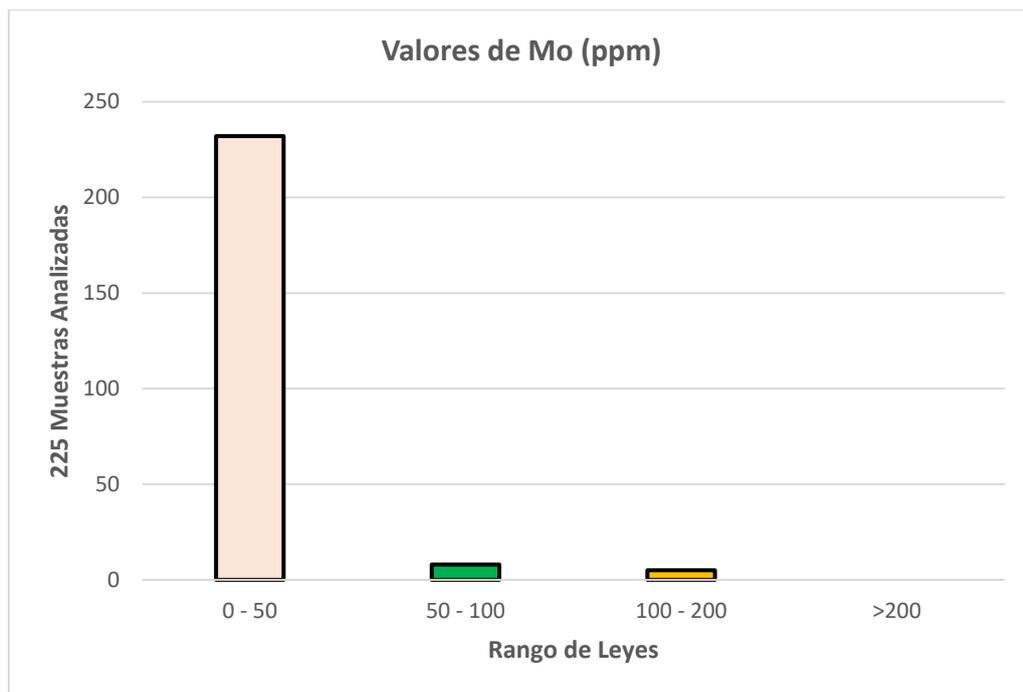


Figura 38. Los valores analizados de Mo hasta los 50 ppm representan el 90 %; mientras que los valores entre los 50 y > 200 ppm representan el 10% de los valores asociados a zonas con mineralización mas definida. Fuente: *Elaboración propia.*

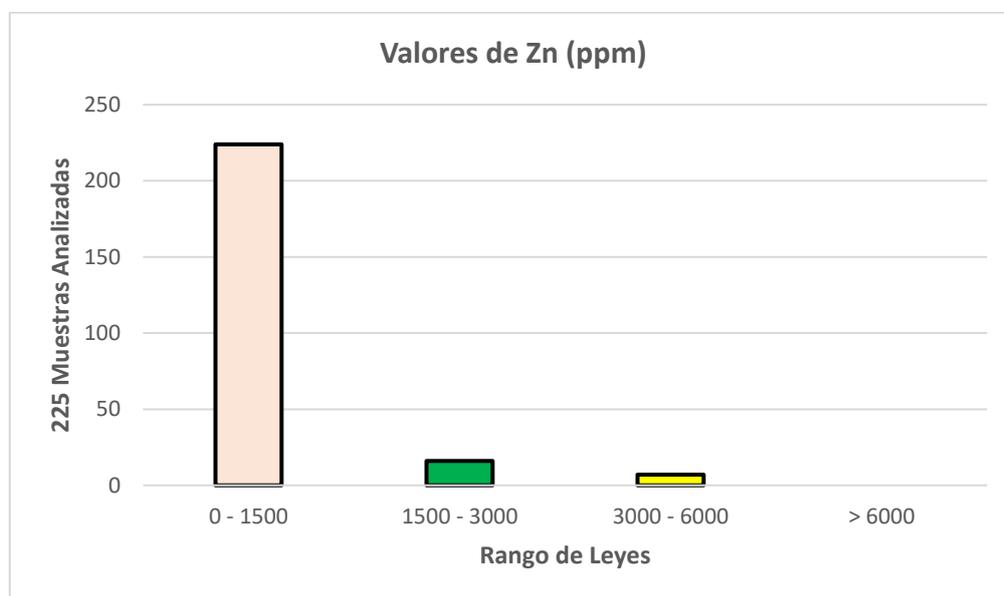


Figura 39. Los valores analizados de Zn hasta los 1500 ppm representan el 90 %; mientras que los valores entre los 1500 y > 6000 ppm representan el 10% de los valores asociados a zonas con mineralización mas definida. Fuente: *Elaboración propia.*

6.3. Potencial prospectivo preliminar

El análisis geoquímico de 225 muestras de la zona evaluada, nos ha permitido definir zonas con anomalías geoquímicas de Cu, Au y Mo asociados a ambientes tipo Pórfido y Skarn; y se ha definido blancos de exploración (targets). Se ha estimado un potencial preliminar con los valores, en el Exoskarn 137,600 Onz Cu, 458,669 Onz Ag, en el Endoskarn 590,241 Onz Cu, 7'378,024 Onz Ag, 1'475,604 Onz Au, en la Brecha 5,073 Onz Au, y en las vetas 49.068 Onz Au.(ver tabla 3, 4, 5, pag.99).

Resumen de Recursos. 727,842.74 Cu (Oz), 7,836,693.54 Ag (Oz), 1,529 744.96 Au(Oz) (ver tabla 6 pag.99).

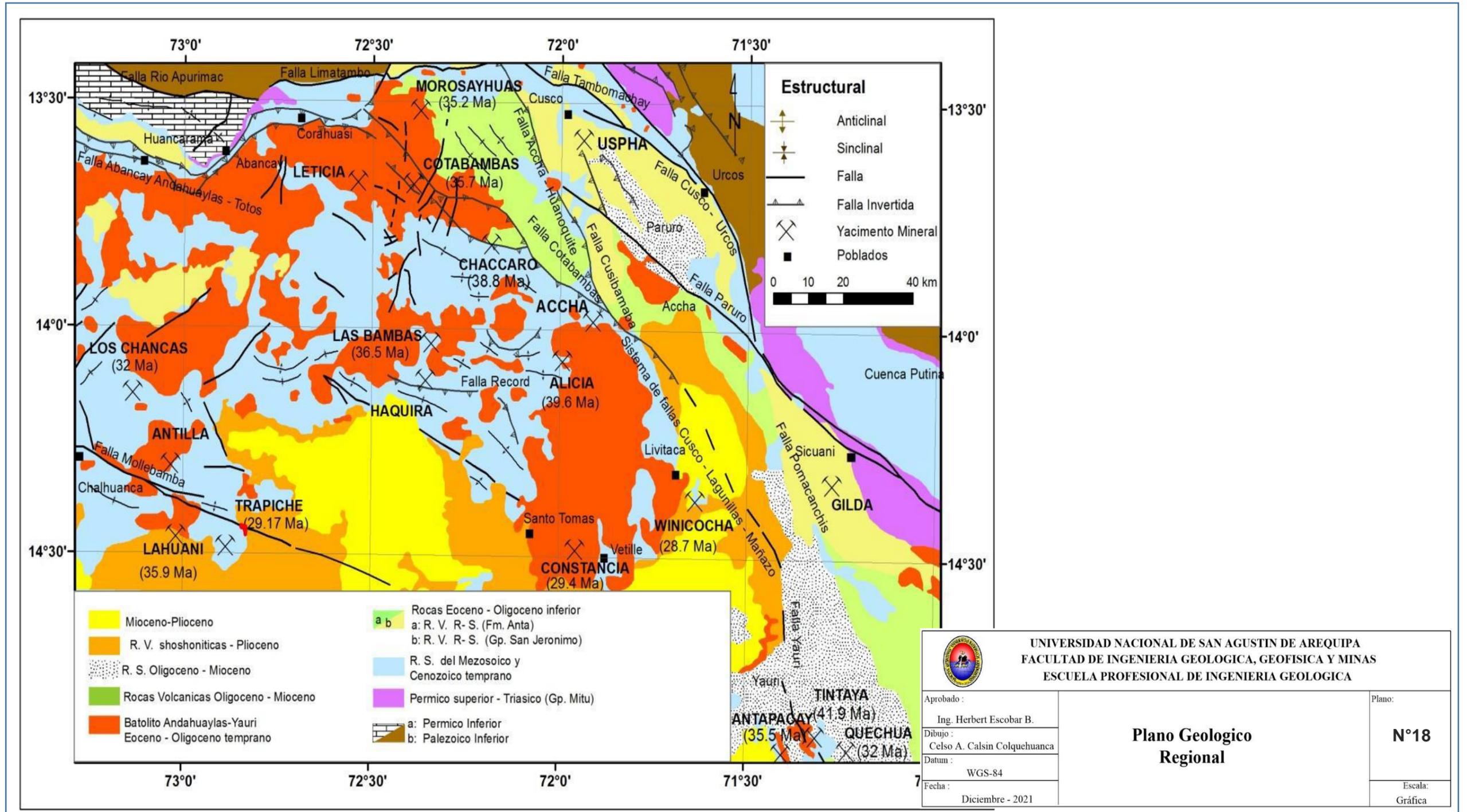


Figura 40. Mapa geológico regional, principales yacimientos de la franja de Pórfidos – Skarn de Cu Mo (Au, Zn) y Fe relaciones con intrusivos del Eoceno – Oligoceno del Batolito Andahuaylas Yauri. Fuente: Perelló et al, (2003).

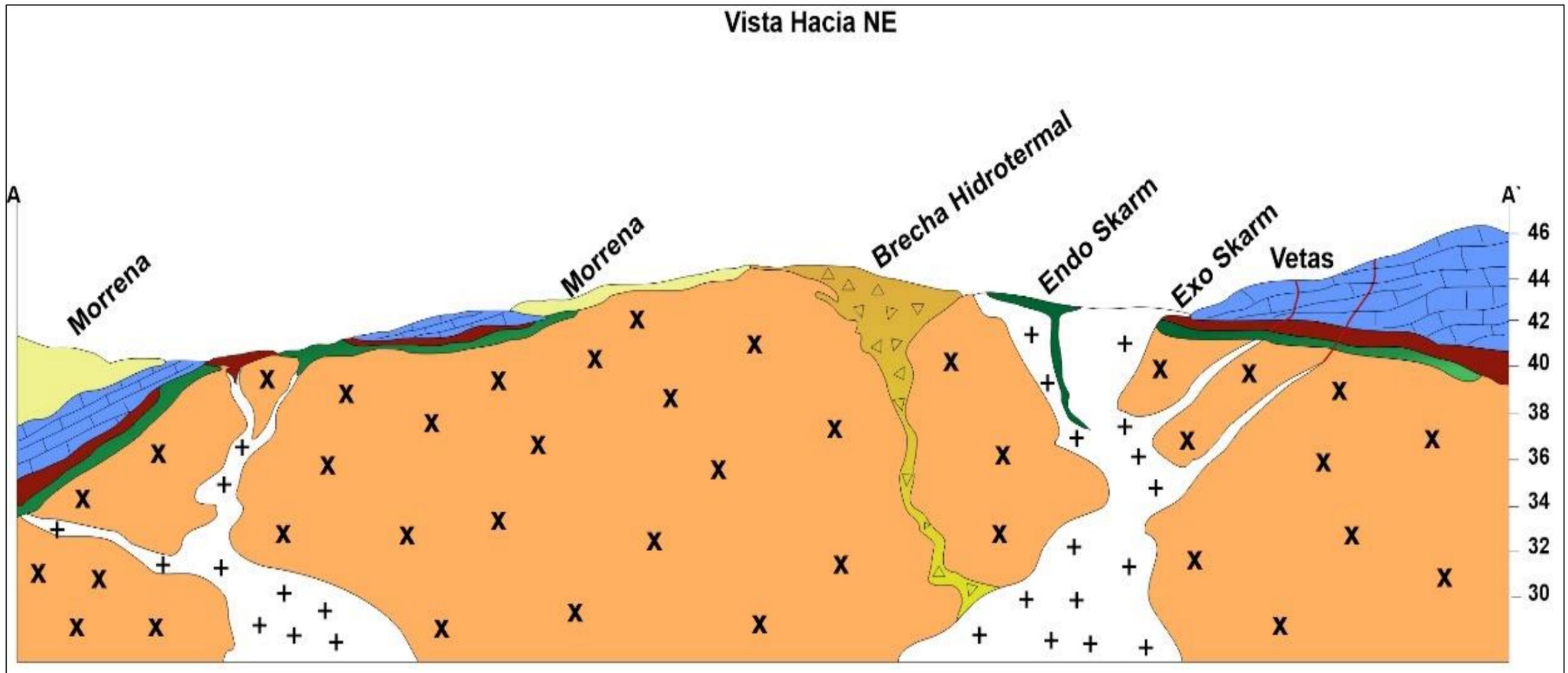


Figura 41. Sección geológica litoestructural. Se presenta una sección geológica lito-estructural, en la cual se muestran diferentes eventos de intrusión, en rojo granodiorita; esta intrusión de edad paleógeno, que es afectada por pequeñas intrusiones (en blanco), de composición andesítica. Estas últimas son responsables de la mineralización, como es de entender las zonas más externas debido a la intrusión, han desarrollado igualmente una fracturación con relleno de vetas; algunos casos con brechamiento y mineralización. Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

- 1.- En la prospección geológica se han determinado diversas unidades litológicas están conformadas por rocas intrusivas como la granodiorita, la monzonita y subvolcánicos andesíticos; por rocas sedimentarias tenemos las calizas de la fm. Ferrobamba, Conglomerado del grupo Puno, todas estas unidades se encuentran cubiertas por depósitos recientes (Fluvioglaciares, Eluviales Coluviales y Aluviales).
- 2.- Durante la prospección geológica se han identificado dos pulsos magmáticos:
 - Primer pulso magmático que permitió el emplazamiento de la granodiorita, datado entre el Eoceno (41 Ma.) y el Oligoceno (23.03 Ma.); con estas dataciones se confirma la ocurrencia de diferentes pulsos magmáticos (± 18 Ma.). La intrusión de la granodiorita, está relacionada a la formación del mármol y hornfels .en algunos niveles de las calizas Ferrobamba. Las soluciones hidrotermales residuales, generaron la formación de los skarn al reaccionar con la roca encajonante carbonatadas de la Fm. Ferrobamba.
 - Segundo pulso magmático, permitió el emplazamiento del pórfido andesítico (sub volcánico) cuyas soluciones hidrotermales cargados con sulfuros primarios (Py, Cpy y Au) mineralizaron el skarn.
- 3.- Los procesos de metamorfismo, metasomatismo y alteración hidrotermal involucran cambios mineralógicos por procesos isoquímicos a través de calor y presión y esfuerzos tectónicos forman mármol, hornfels y skarn, además se presentan depósitos recientes fluvioglaciares, morrénicos, aluviales y coluviales; afectadas por sistemas de fallas con rumbos NO-SE y NE-SO.

El desarrollo de la alteración hidrotermal relacionada a la granodiorita y el sub volcánico andesítico; ha permitido formar una gran zona con desarrollo y concentración de mineral metálico “pórfido de Fe, Cu, Au”.

Como resultado de la actividad de los fluidos hidrotermales, se observó zonas con alteración argílica, propilítica y filica; con mineralización metálica (magnetita, pirrotita, calcopirita, piritita y oro), diseminada y

vetillas en el intrusivo, en los skarn, las brechas y rellenando los espacios abiertos y fracturas (vetas).

- 4.-Estructuralmente en la zona de estudio los yacimientos y mineralización presentes en el área , están asociados genéticamente a la evolución tectono - estructural de una megaestructura denominada “Cola de Caballo” la cual está localizada al sur de la “Deflexión de Abancay”. Esta megaestructura basado en su cinemática y dinámica representa un ambiente de dilatación debido a la liberación de presión litostatica y emplazamiento del batolito Andahuaylas -Yauri y también regionalmente los yacimientos mineros como Las Bambas, Tintaya, Antapacay, Corocohuayco, Quechua, Katanga, Los chancas, Cotabambas, Trapiche, Lahuani, Antilla y Morosayhuas entre otros.
- 5.-La prospección Geoquímica y estructuras nos ha permitido determinar blancos de exploración como Nueva Alicia 1, 2, 3 y 4 , nos ha permitido determinar dos blancos de exploración de Cu y Au, Nueva Alicia 1 , Nueva Alicia 2 y otras dos áreas con menor potencial Nueva Alicia 3 y Nueva Alicia 4 las cuales se ubican al sur del corredor estructural y pertenecen al sistema de fallas “cola de caballo” o zonas de dilatación (Fallas de rumbo).
- 6.- La estimación de recursos es un fin de cada etapa de los trabajos de prospección y exploración .El recurso prospectivo inferido preliminar nos arroja los siguientes valores: (ver tabla 7).

Ocurrencia	Tonelaje	Cu %	Ag (g/T)	Au (g/T)	Recursos Cu (Oz)	Recursos Ag (Oz)	Recursos Au (Oz)
ExoSkarn	14,218,750.00	0.3	1		137,600.81	458,669.35	
EndoSkarn	45,743,750.00	0.4	5	1	590,241.94	7,378,024.19	1,475,604.84
Brecha	4,250,000.00			0.037			5,072.58
Vetas	96,562.50			15.752427			49,067.54
TOTAL					727,842.74	7,836,693.54	1,529,744.96

Tabla 7. Resumen de Recursos Fuente: Elaboración propia

RECOMENDACIONES

- 1.-Realizar trabajos geofísicos y cartografiar estructuras o unidades litológicas no aflorantes y precisar la geometría de los objetivos ” con métodos de Polarización Inducida (IP) y magnetometría, ” y dimensionar la mineralización presente en el área de estudio y determinar cuales son las mas prospectables.
- 2.-Considerar la información estructural de la región correspondiente al Sur de la Deflexión de Abancay (Cola de Caballo) por estar relacionado a yacimientos de ambiente porfido skarn.
- 3.-Evaluar y caracterizar los arcos volcánicos en la región ya que como sabemos estos se relacionan con la actividad hidrotermal asociados a mineralización económica.
- 4.-Realizar trabajos complementarios de mapeo al detalle y muestreo geoquímico en cortes, accesos trochas, calicatas y remapeo del plano base para posteriormente realizar un programa de perforación diamantina.

BIBLIOGRAFÍA

1. Acosta, J. (2013). Depósitos Tipo Skarn. Lima.
2. Bonhomme, M.G., y Carlier, G. (1990). Relations entre magmatisme et mineralisations dans le Batholite d'Andahuyalas-Yauri (Sud Perou): Donnees geochronologiques. Simposio Internacional Geodinámica Andina, Grenoble, Francia, pag. 329-331.
3. Bustamante, A. (2008). Geocronología, petrografía, alteraciones e isótopos de Pb y Sr del complejo porfirítico de (Cu – Au) Utupara, Aplicaciones a la exploración minera, Antabamba – Apurímac – Perú. Tesis de maestría, 126 pág.
4. Carrascal, R. (2016). Principales Tipos de Yacimientos Minerales Metálicos. Lima.
5. Cerpa, L., et al. (s.f.). Evolución Sedimentaria y Tectónica de la Formación Ferrobamba (Albiano Turoniano) de la región Cotabambas –Apurímac. INGEMMET.
6. Chirre, A. (octubre 2016). Skarn Pórfidos (Cu – Mo) Batolito Andahuaylas Yauri. SEG.UNMSM.
7. David. Burt y U Peterson (1974) “Características Generales de yacimientos en Skarn”.
8. Dislike Share Save (2017). Depositos Mineral 101 Parte 3, Porfirias, Skarns e IOCG.
9. Durán, P. y Tapia, J. (2015). Depósitos tipo Skarn.
10. Escobedo, A. (2014). Estudio geológico del proyecto Consuelo. Tesis de título. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Perú.
11. Lipa, V. (2006). Analisis Estructural del Plutón Abancay, Sur del Perú XIII. Congreso Peruano de Geología, Lima Perú.
12. Llosa, F., Valencia, R. (2002). Resultados campaña de exploraciones 2002 Proyecto Trapiche. Informe CEDIMIN.
13. Marocco, R. (1977). Un segment E-W de la chaine des Andes peruvienes: La deflexión d'Abancay. Tesis Doctorado, Universidad de Languedoc, Francia, 141p
14. Marocco, R. (1978). Estudio geológico de la Cordillera de Vilcabamba. INGEMMET.

15. Marocco, R. (1978). Estudio geológico de la Cordillera de Vilcabamba En: Boletín. Serie D: Estudios Especiales, vol. 4, 157 p., 1978.
16. Marocco, R. (1997). Géologie des Andes Péruviennes; un segment EW de la chaîne des Andes péruviennes: la déflexion d'Abancay-Etude géologique de la Cordillere Orientale et des hauts plateaux entre Cuzco et San Miguel (Sud du Pérou). Docteur d'Etat mention Sciences. Université Des Sciences Et Techniques Du. Académie. De Montpellier . 141 pág.
17. Medina, R, (2014). Caracterización geomecánica del proyecto de exploración minera Chanca provincia Cajatambo-Departamento de Lima.
18. Mendoza, J., Miranda, C., Cuba, C., Aranda, A. (1978). Algunos Aspectos Petrológicos de Yacimientos Metasomáticos peruanos. Bol.Soc. Geológica del Perú tomo G1. Lima –Perú.
19. Mermert, L. (2019). Skarn and Skarn Deposits Skarn Au.
20. Moreno, M. (2020). Skarn de Au. Deposito tipo Oir Oxidezen Intrusion. UIS
21. Noble, D. Mckee, E.; Eyzaguirre V., Marocco, R. (1984). Age and regional tectonic and metallogenetic implications of igneous activity and mineralization in the Andahuaylas-Yauri belt of southern Perú. En: Economic Geology, vol. 79, n. 1, pp. 172-176.
22. Pecho, V.(1983). Geología de los cuadrángulos Chalhuanca (29-p), Antabamba (29q), y Santo Tomás (29r). Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Serie A: Carta Geológica Nacional, 35A, 1983, 94pp.
23. Perelló et al., (2003). Porphyry-style alteration and mineralization of the Middle Eocene to early Oligocene Andahuaylas-Yauri belt, Cuzco region, Peru. En: Economic Geology, vol. 98, n. 8, pág. 1575-1605.
24. Perello J., Carlotto V.; Zarate et al (2003). “Porphyry style alteration and mineralization of the middle Eocene to early Andahuaylas Yauri Belt”.
25. Petersen U. (1999). “Magmatic and metallogenic evolution of the central Andes”
26. Rivera, R., et al. (2011). Metalogenia del Batolito Andahuaylas – Yauri y sus implicancias en la Exploración de Pórfidos Cu – Au. INGEMMET. Lima - Perú.
27. Rivera, R., Santiesteban, A. (2009). Evaluación del Potencial de los Depósitos Minerales en el Batolito Andahuaylas –Yauri. Proyecto GE-24. INGEMMET. Lima – Perú.

28. Santa Cruz, S., Guerrero, T., Castilla, F., Caro, E. y Candiotti, H. (1978). Geología de yacimientos de cobre en "Skarn" en la Región Sur Oriental del Perú Bol. Soc. Geológica del Perú – Tomo 59.
29. Sillitoe, R. (2010). Yacimientos Tipo Skarn Cupríferos, Modelo yacimientos Skarn Cu, Distribución Pórfidos y Skarn. Tomado bajo permiso de la SEG, 2010.
30. Sociedad Geológica del Perú (1974). "Características Generales de Yacimientos de Skarn".

ANEXOS

Tabla 8. Anomalías Geoquímicas de Alicia 1, 2, 3 y 4

"GEOQUIMICA DE LAS MUESTRAS DE ALICIA 1, 2, 3 y 4"						
MUESTRA	Au ppm	As ppm	Ba ppm	Cu ppm	Mo ppm	Zn ppm
13340	0.049	71	6	2630	1	55
13341	0.093	25	4	463	1	91
13342	5.868	51	1	9980	1	270
13343	0.263	106	51	10000	1	239
13344	0.149	124	33	1550	3	1370
13345	0.171	71	138	2760	1	403
13346	0.188	143	12	2000	2	90
13347	0.120	92	3	10000	1	170
13348	0.003	7	34	77	1	84
13349	0.793	236	4	10000	4	123
13350	0.124	24	4	2450	1	54
13351	0.133	15	5	580	1	106
13352	0.769	198	5	1460	1	80
13353	0.246	13	13	10000	1	122
13354	4.783	21	43	10000	7	47
13355	0.053	16	71	28	1	77
13356	0.003	19	2692	174	1	41
13357	0.003	4	179	172	1	136
13358	0.003	2	141	37	1	52
13359	0.024	13	441	77	1	1270
13360	0.017	114	32	25	1	146
13361	0.472	14	4	125	1	31
13362	5.280	30	24	10000	1	292
13363	0.442	472	1	3410	5	201
13364	2.455	165	1	10000	1	128
13365	0.740	28	29	10000	1	726
13366	1.190	39	76	1200	1	323
13367	0.003	17	85	129	2	66
13368	0.012	20	576	71	8	1950
13369	0.050	444	715	1310	16	4510
13370	0.080	132	79	184	1	46
13371	11.010	71	24	10000	4	330
13372	0.215	90	16	17	1	17
13373	0.039	30	66	428	1	62

13374	0.191	128	7	2580	1	1330
13375	0.003	8	38	29	1	149
13376	0.021	11	37	149	1	136
13377	0.007	107	10	406	1	52
13378	0.003	50	8	183	1	33
13379	0.469	23	2	1880	1	31
13380	0.015	9	1	10000	1	185
13381	0.012	15	2	619	1	36
13382	0.010	49	3	17	1	100
13383	0.170	126	5	1420	1	110
13384	0.003	8	106	252	1	71
13385	0.234	66	5	383	1	81
13386	0.029	30	7	253	1	51
13387	0.005	2	35	51	1	32
13388	0.040	11	35	10	1	71
13389	0.003	8	16	11	1	103
13390	0.003	11	38	8	1	25
13801	0.040	12	26	7	3	20
13802	0.003	6	25	4	1	40
13803	0.003	5	47	4	1	46
13804	0.003	5	26	4	1	17
13805	0.003	4	64	4	1	20
13806	0.006	23	43	5	1	54
13807	0.010	21	33	8	1	68
13808	0.015	15	14	1	1	78
13809	0.003	11	21	5	1	61
13810	0.003	23	27	5	5	39
13811	0.003	12	19	4	1	42
13812	0.006	15	33	6	1	32
13813	0.003	17	32	3	1	39
13814	0.344	47	50	9	1	32
13815	0.003	5	13	7	1	16
13816	0.003	6	37	3	1	27
13817	0.219	15	29	1	1	46
13818	0.003	2	25	3	1	52
13819	0.006	14	46	2	1	52
13820	0.068	16	60	3	1	30
13821	0.009	5	54	3	1	43
13822	0.003	12	9	4	1	22
13823	0.007	23	12	1	1	46
13824	0.021	2	225	112	1	39
13825	0.003	20	9	1	1	48
13826	0.008	29	19	3	1	54
13827	1.174	4655	166	292	137	2490

13828	1.212	2803	222	366	66	3300
13829	1.940	2569	300	353	77	3100
13830	1.397	2727	249	381	79	2970
13831	6.379	2671	230	398	75	2940
13832	4.225	3008	337	371	108	3390
13833	3.746	2900	316	417	103	3400
13834	8.401	1213	413	452	47	3510
13835	4.581	982	328	453	33	2610
13836	28.780	3174	729	1900	45	2080
13837	20.430	3845	482	2470	56	1740
13838	26.960	3859	465	2240	49	1910
13839	16.510	3517	333	2540	55	2120
13840	17.440	3570	413	2410	54	2030
13841	28.410	3272	324	2700	55	2240
13842	8.661	3106	353	2720	42	2350
13843	19.200	3559	481	2610	44	2270
13844	19.480	4628	148	180	27	478
13845	4.269	4934	137	121	22	501
13846	5.509	4885	252	285	18	228
13847	3.977	4858	90	58	12	249
13848	3.380	2784	106	127	19	105
13849	4.487	2628	116	181	13	104
13850	3.820	2848	71	25	21	53
13851	2.647	2573	172	176	23	137
13852	4.362	2981	120	46	40	52
13853	2.115	4070	81	123	9	45
13854	3.898	2307	85	66	8	90
13855	1.787	3150	118	93	7	43
13856	8.768	3028	199	157	7	108
13859	9.559	738	141	1610	15	166
13860	9.046	973	104	2100	13	195
13861	12.950	663	234	2260	15	172
13862	4.591	462	225	1030	7	141
13863	1.866	194	57	2190	6	96
13864	20.280	521	134	2670	9	172
14548	0.051	7	25	46	1	116
14549	0.099	68	10	34	3	27
14550	0.267	40	3	15	246	12
14551	0.580	115	9	28	9	18
14552	0.095	241	142	0	148	0
14553	0.011	11	41	8	5	9
14554	0.015	13	32	2	8	10
14555	0.114	24	21	4	1	42

14556	0.024	9	102	3	1	20
14557	0.020	10	33	0	1	9
14558	0.007	15	17	2	15	56
14559	0.013	8	70	3	14	6
14560	0.007	20	473	4	1	3
14561	0.008	26	26	11	2	101
14562	0.003	24	57	4	7	12
14563	0.012	20	10	0	100	13
14564	0.023	67	51	4	16	4
14565	0.003	6	11	12	1	45
14566	0.063	7	8	5	19	80
14567	0.061	52	39	5	34	10
14568	0.030	34	40	4	2	7
14569	0.015	15	56	8	1	13
14570	0.007	8	43	4	2	4
14571	0.003	9	14	3	1	44
14572	0.003	6	16	10	1	85
14573	0.015	8	52	16	8	26
14574	0.003	12	38	2	1	74
14575	0.003	9	115	3	1	22
14576	0.010	91	36	8	245	93
14577	0.015	11	44	9	7	8
14578	0.050	157	8	19	1	13
14579	0.062	59	9	13	2	27
14580	0.020	52	10	139	1	28
14581	0.588	58	10	1030	1	26
14582	0.031	32	12	270	1	58
14583	0.026	14	27	91	2	25
14584	0.078	174	9	548	1	24
14585	0.222	52	9	1640	1	33
14586	0.102	21	32	115	1	55
14587	0.013	12	25	37	1	38
14588	0.009	4	13	32	4	13
14589	0.040	35	16	28	1	17
14590	0.007	39	31	45	1	43
14591	0.003	8	68	58	1	55
14592	0.015	19	35	231	1	45
14593	0.003	2	33	13	1	27
19851	0.006	10	30	4	3	9
19852	0.141	63	8	55	680	13
19853	0.035	20	29	4	3	31
19854	0.003	5	72	1	1	38
19855	0.009	21	16	3	1	99
19856	0.003	2	105	21	1	41
19857	0.003	4	84	1	1	28

19858	0.003	2	18	62	1	22
19859	0.036	44	25	262	1	6
19860	0.008	12	30	74	1	11
19861	0.156	818	48	1270	24	1560
19862	0.565	856	68	9430	9	1710
19863	0.794	513	153	557	31	579
19864	0.155	582	91	374	11	436
19865	0.003	8	56	16	1	10
19866	0.003	9	76	253	1	117
19867	0.003	4	52	2	2	31
19868	0.056	2	249	32	3	34
19869	0.003	6	19	6	1	14
19870	0.003	9	28	15	1	56
19871	0.410	201	5033	176	2	83
19872	0.088	69	1828	47	1	47
19873	0.003	166	4069	11	5	26
19874	0.088	103	68	1680	7	144
19875	0.590	21	123	3800	9	145
19876	0.012	128	26	755	2	91
19877	0.037	48	58	662	7	156
19878	0.943	220	23	855	4	373
19879	0.091	757	95	464	18	467
19880	0.899	606	590	705	13	347
19881	0.007	11	26	8	1	53
19882	0.003	40	16	8	1	114
19883	0.149	22	31	50	3	19
19884	54.500	255	854	2200	7	408
19885	42.900	187	636	2140	6	434
19886	2.526	1007	15	3090	7	193
13857	19.480	983	110	563	17	97
13858	7.188	544	154	1300	14	165
13865	0.030	28	4	14	1	14
13866	0.060	22	10	21	1	28
13867	0.057	16	17	15	1	35
13868	0.509	277	124	5380	3	800
13869	0.043	64	76	687	1	159
13870	0.018	28	9	111	1	27
13871	0.174	75	16	17	1	36
13872	0.070	318	189	2370	40	688
13873	0.718	11	30	200	1	106
13874	4.048	204	110	3470	2	200
13875	0.027	143	1	1170	3	912
13876	0.050	45	9	64	1	51
13519	0.003	5	0	2	1	54

13520	0.003	10	0	4	2	32
13521	0.003	2	0	69	1	30
13522	0.003	2	0	4	2	15
13523	0.006	536	0	238	6	1990
14606	0.016	2	0	21	3	32
14607	0.026	19	0	33	2	34
14608	0.480	20	0	57	2	36
14609	0.117	25	0	15	3	39
14610	0.081	36	0	15	1	37
14611	0.319	15	0	18	1	55
14612	0.308	2	0	15	1	54
14613	0.178	20	0	14	1	40
14614	0.121	28	0	14	1	36
14615	0.072	54	0	14	1	40
14616	0.642	32	0	23	2	44

Au (ppm)		
<T:	0 - 10	FONDO
>T:	10 - 20	DEBIL
>2T:	20 - 40	MODERADO
>4T:	40	FUERTE

Cu (ppm)		
<T:	0 - 4700	FONDO
>T:	4700 - 9400	DEBIL
>2T:	9400 - 18800	MODERADO
>4T:	< 18800	FUERTE

As (ppm)		
<T:	0 - 2300	FONDO
>T:	2300 - 4600	DEBIL
>2T:	4600 - 9200	MODERADO
>4T:	> 9200	FUERTE

Ba (ppm)		
<T:	0 - 500	FONDO
>T:	500 - 1000	DEBIL
>2T:	1000 - 2000	MODERADO
>4T:	< 2000	FUERTE

Mo (ppm)		
<T:	0 - 50	FONDO
>T:	50 - 100	DEBIL
>2T:	100 - 200	MODERADO
>4T:	< 200	FUERTE

Zn (ppm)		
<T:	0 - 1500	FONDO
>T:	1500 - 3000	DEBIL
>2T:	3000 - 6000	MODERADO
>4T:	< 6000	FUERTE