

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA
GEOLÓGICA



TESIS

**Potencial exploratorio en los volcánicos cenozoicos e intrusivos paleógenos
por depósitos de Au, Ag, Cu y Mo asociados al sistema de fallas Cuzco-
Lagunillas- Mañazo en la región Puno**

Para optar el Título Profesional de:

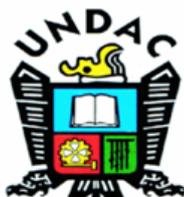
Ingeniero Geólogo

Autor: Bach. José Luis RAMOS AGUERO

Asesor: Mg. Vidal Víctor CALSINA COLQUI

Cerro de Pasco – Perú – 2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA
GEOLÓGICA



TESIS

**Potencial exploratorio en los volcánicos cenozoicos e intrusivos paleógenos
por depósitos de Au, Ag, Cu y Mo asociados al sistema de fallas Cuzco-
Lagunillas- Mañazo en la región Puno**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Magno LEDESMA VELITA
PRESIDENTE

Mg. Javier LOPEZ ALVARADO
MIEMBRO

Mg. Reynaldo MEJIA CACERES
MIEMBRO

DEDICATORIA

A Elizabeth, Kate y José que son los pilares para la investigación, Además son quienes me brindan su apoyo y fuerza día a día.

A mis Padres Liborio RAMOS y Reymunda AGUERO, además a mis hermanas Verónica y Denisse quienes a lo largo de mi carrera me brindan su apoyo incondicional

RECONOCIMIENTO

Mi reconocimiento a la Compañía de Exploraciones NEWMONT PERU SRL., por haberme permitido desarrollar la tesis **“Potencial exploratorio en los volcánicos cenozoicos e intrusivos paleógenos por depósitos de Au, Ag, Cu y Mo asociados al sistema de fallas Cuzco- Lagunillas- Mañazo en la región Puno”** con lo que llegó a cumplir uno de mis más preciados anhelos.

Mi especial agradecimiento al Ex-director de Exploraciones para Sudamérica Lewis Teal, También expreso mi gratitud al Ing. Geólogo Elmer Flores Vilca, Al Ing. Geólogo José Trujillo Salcedo y demás geólogos y amigos (Josué Delgado- Walter Lozano- Juan Pilco- Omar Palomino y Julio Córdova) que me brindaron su apoyo incondicional, respaldo y confianza para llevar a cabo de la mejor forma la presente investigación y por brindarme todos sus conocimientos y experiencias en campo.

Al Ing. Vidal Víctor Calsina Colqui, por su apoyo en el asesoramiento del desarrollo de la tesis, además de impartir sus conocimientos y experiencias brindadas en todo el tiempo de duración de la tesis.

Finalmente, Mi más sincero agradecimiento a mi alma mater Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, a la plana de docentes y a todas las personas quienes de una u otra forma han cooperado con la realización de este trabajo de investigación.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se ubica en el altiplano sur del Perú, Políticamente en el Región de Puno, a diferencia de la faja volcánica Terciaria del Norte del Perú, donde se encuentran las minas de oro más grandes tales como Yanacocha, Lagunas Norte o Pierina, la faja volcánica Terciaria del Sur del Perú no ha sido tan fructífera en términos de tamaño y número de depósitos de metales preciosos. Este hecho, lejos de desanimar la exploración por depósitos de clase mundial en el Sur, nos hace más que redoblar los esfuerzos de los geólogos por encontrar depósitos de tipos a los que no se había prestado atención antes, de los que no se sabía de su existencia o que estuvieran presentes en rocas o edades que se pensaban “no favorables” para la mineralización.

En el área se ha podido identificar algunos eventos magmáticos intrusivos entre el Oligoceno (~30 Ma) y el Mioceno (~6 Ma) emplazados entre dos sistemas regionales de fallas NO-SE: Sistema de Fallas San Gabriel- Aruntani y Sistema de Fallas Cusco-Lagunillas-Mañazo. Durante el Mioceno-Plioceno se formaron a yacimientos epitermales de Au-Ag y polimetálicos Pb-Cu-Zn.

El descubrimiento del depósito de Chucapaca (San Gabriel) en el sector SW del estudio, la ocurrencia de Pinaya en el sector Norte, Aruntani en el sector Sur y otras ocurrencias hicieron para delinear de esta franja una de las más importantes en aspecto estructural y mineralización, las cuales están asociada a complejos de brechas que cortan a los sedimentos Jurásicos-Cretácicos del Grupo Yura/Lagunillas en el primer caso y las rocas volcánicas Terciarias e intrusivos paleógenos en el segundo y tercer caso.

El análisis de la data obtenida en los diferentes trabajos anteriores de INGEMMET y compañía Privada (Rocas, Suelos, Sedimentos y Drenaje) nos permitió ubicar blancos específicos de exploración dentro del sistema de Fallas Cuzco Lagunillas Mañazo y como resultado del tratamiento estadístico se llegó a definir áreas de mucho interés para su exploración en Au, Ag, Cu y Mo.

Palabras claves: Potencial exploratorio, volcánicos cenozoicos e intrusivos paleógenos, sistema de fallas.

ABSTRACT

The present research work is located in the southern highlands of Peru, Politically in the Puno Region, a difference of the Tertiary volcanic force of Northern Peru, where the largest gold mines are found such as Yanacocha, Lagunas Norte or Pierina The Volcanic Belt has not been as fruitful in terms of size and number of precious metal deposits. This fact, far from the search for the deposits of the world class in the south, makes us more than redouble the efforts of geologists to find the types of those that have not been paid attention before, of which we do not know about their "not favorable" for mineralization.

In the area, some intrusive magmatic events can be identified between the Oligocene (~ 30 Ma) and the Miocene (~ 6 Ma) located between two NO-SE fault systems: San Gabriel-Aruntani Fault System and Cusco-Lagunillas Fault System - Mañazo. During the Miocene-Pliocene epithermal deposits of Au-Ag and polymetallic Pb-Cu-Zn were formed.

The discovery of the deposit of Chucapaca (San Gabriel) in the sector SW of the study, the occurrence of Pinaya in the North sector, Aruntani in the South sector and other occurrences to delineate this strip one of the most important in the structural aspect and mineralization. What are the associated relationships? What are the results?

The analysis of the information is based on the different works of INGEMMET and the private company (Rocks, Soils, Sediments and Drainage). Areas of great interest for exploration in Au, Ag, Cu and Mo.

Keywords: Exploratory potential; Cenozoic volcanic and paleogenous intrusive, fault system.

INTRODUCCIÓN

La investigación **Potencial exploratorio en los volcánicos cenozoicos e intrusivos paleógenos por depósitos de Au, Ag, Cu y Mo asociados al sistema de fallas Cuzco- Lagunillas- Mañazo en la región Puno**, tiene como objetivo principal Identificar y Describir la relación que existe entre los volcánicos cenozoicos e intrusivos paleógenos para explorar por depósitos de Au, Ag, Cu y Mo asociados al sistema de fallas cuzco- lagunillas- mañazo.

Las rocas aflorantes en la zona de estudio están constituidas principalmente por rocas volcánicas e intrusivos sub-volcánicos cenozoicos. Las rocas volcánicas composicionalmente varían desde andesitas basálticas a riolitas. Presentan una afinidad geoquímica calco alcalina con alto potasio y posiblemente depositadas entre los 30-17 Ma y 14-3 Ma; En el área de estudio se ha identificado el Sistema de Fallas Cusco-Lagunillas-Mañazo la cual son estructuras heredadas del Permo-Triásico que se encuentran entre Puno y Cusco. En el Mesozoico se comportaron como sistemas transcurrentes normales, en el Paleógeno-Neógeno fueron sistemas transcurrentes inversos y en el Cuaternario muestran una configuración en escalera. Finalmente el análisis de los datos en factores de ocurrencias de mineral, geoquímica, geología, estructuras y geofísica nos llevaron a delinear zonas de interés exploratorio por los elementos de Au, Ag, Cu y Mo; las cuales se ha definido tres sectores importantes; la parte norte corresponde a depósitos ricos en Au, Ag, Cu relacionados a depósitos porfiríticos y alta sulfuración; en el sector central sur las anomalías de Cu y Mo incrementan la cual probablemente están asociados a depósitos porfiríticos, skarn e híbridos y también se muestra anomalías de Au y Ag la cual están referidos a sistemas de intermedio sulfuración.

En el sector Sur Oeste se aprecia claramente un corredor altamente prospectivo por sistemas de alta sulfuración y intermedia ya que tenemos las evidencias de Tassa (Ag), San Gabriel (Au- Ag- Cu) y Aruntani (Au- Ag).

INDICE

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO.....	III
RESUMEN.....	IV
ABSTRACT.....	VI
INTRODUCCIÓN.....	VII
ÍNDICE.....	IX
ANEXOS DE PLANOS.....	XIII

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Identificación y determinación del problema... ..	1
1.2 Delimitación de la investigación	2
1.3 Formulación del problema.....	2
1.3.1 Problema general	2
1.3.1 Problemas específicos.....	2
1.4 Formulación de objetivos	3
1.4.1 Objetivo general.....	3
1.4.2 Objetivos específicos	3
1.5 Justificación de la Investigación.....	3
1.6 Limitaciones de la investigación	4

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de estudio.....	5
2.2 Bases teóricas- científicas.....	10
2.3 Definición de términos básicos:.....	25

2.4	Formulación de hipótesis	27
2.4.1	Hipótesis general	27
2.4.2	Hipótesis específicas.....	27
2.5	Identificación de variables	28
2.6	Definición Operacional de variables e indicadores	29

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TECNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1	Tipo de investigación.....	30
3.2	Métodos de investigación	30
3.3	Diseño de investigación	31
3.4	Población y muestra.....	31
3.5	Técnicas e instrumentos de recolección de datos... ..	31
3.6	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	32
3.7	Tratamiento estadístico	32
3.8	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación	32
3.9	Orientación ética	32

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Descripción de trabajo de campo.....	33
4.1.1	Ubicación	33
4.1.2	Accesibilidad	34
4.1.3	Clima y vegetación	34
4.1.4	Geomorfología	37

4.1.5 Geología regional.....	37
4.1.5.1 Mesozoica	41
4.1.5.2 Cenozoica.....	43
4.1.5.3 Cuaternario(Q)	46
4.1.5.4 Intrusivos.....	47
4.1.5.5 Tectónica y Evolución Orogénica.....	50
4.1.5.6 Metalogénia en la Región.....	52
4.1.5 Principales ocurrencias de depósitos minerales en el área de estudio .	55
4.1.6.1 Pinaya	55
4.1.6.2 Santa bárbara	60
4.1.6.3 Santa catalina.....	62
4.1.6.4 Berenguela.....	64
4.1.6.5 San Gabriel	65
4.1.6.6 Tucari- Santa Rosa	67
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados	70
4.2.1 El vulcanismo cenozoico e intrusivos paleógenos asociados a depósitos de Au, Ag, Cu y Mo en el corredor de sistema de fallas cuzco-lagunillas- mañazo	70
4.2.1.1 Análisis de los Volcánicos cenozoicos e Intrusivos paleógenos....	71
4.2.1.2 Análisis de la Geoquímica del Au, Ag, Cu y Mo del área de Estudio	72
4.2.1.3 Análisis de las Ocurrencias de depósitos de Au, Ag, Cu y Mo asociados al sistema de fallas cuzco lagunillas- mañazo.....	81
4.2.1.4 Análisis estructural del Sistema de fallas Cuzco- Lagunillas-	

Mañazo.....	81
4.2.1.6 Geofísica regional del área de estudio.....	82
4.3 Prueba de hipótesis.....	85
4.3.1 Potencial exploratorio por depositos de Au, Ag, Cu y Mo en el sistema de fallas cuzco- lagunillas mañazo.....	85
4.4 Discusión de Resultados	85

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS DE PLANOS

- Figura N° 23: Ubicación del área de Estudio..... 36
- Figura N° 24: Ecosistema y Geomorfología del área de estudio.....40
- Figura N° 25: Columna Estratigráfica Regional del área de estudio.....48
- Figura N° 26: Geología 100K –Ingemmet del área de estudio..... 49
- Figura N° 29. Mapa metalogenético del área de estudio- Ingemmet.54
- Figura N° 35. Mapa geológico donde se está mostrando los volcánicos cenozoicos cortados por intrusiones paleógenos..... 74
- Figura N° 36. Mapa geocronológico mostrado en periodos..... 75
- Figura N° 37. Mapa donde se muestran las áreas anómalas en oro.77
- Figura N° 38. Mapa donde se muestran las áreas anómalas de plata....78
- Figura N° 39. Mapa donde se muestran las áreas anómalas en cobre..... 79
- Figura N° 40. Mapa donde se muestran las áreas anómalas en molibdeno.....80
- Figura N° 41. Mapa donde se muestran las ocurrencias más importantes del área de estudio..... 83
- Figura N° 42. Mapa Estructural del área de estudio y una interpretación preliminar de un modelo regional tipo sigmoidal..... 84
- Figura N° 43. Mapa Magnético proveniente de un Levantamiento Aéreo.....86
- Figura N° 44. Mapa del potencial exploratorio en el área de estudio...87

CAPTITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Identificación y determinación del problema

Nuestro país de acuerdo a la ubicación geográfica evidencia importantes rasgos geológicos que han dado lugar a la concentración de yacimientos minerales, a diferencia de la faja volcánica Terciaria del Norte del Perú, donde se encuentran las minas de oro más grandes tales como Yanacocha y Lagunas Norte, la faja volcánica Terciaria del Sur del Perú no ha sido tan fructífera en términos de tamaño y número de depósitos de metales preciosos. Este hecho, lejos de desanimar la exploración por depósitos de clase mundial en el Sur, no hace más que redoblar los esfuerzos de los geólogos por encontrar depósitos de tipos a los que no se había prestado atención antes, de los que no se sabía de su existencia o que estuvieran presentes en rocas o edades que se pensaban “no favorables” para la mineralización.

Muchos de las ocurrencias es probable no esté albergada en las rocas volcánicas Terciarias sino en las rocas sedimentarias Jurásicas, pues estos al alterarse no generan un halo de alteración visiblemente obvio como el que aparece en los volcánicos adyacentes.

De lo descrito anteriormente, se complementara con la investigación actual desde un marco regional la relación de la tectónica con el vulcanismo y unidades favorables, mediante datos del INGEMMET la cual nos ayudara a identificar y describir zonas prospectables para su exploración por depósitos de Au, Ag, Cu y Mo.

1.2 Delimitación de la investigación

La delimitación de la investigación está basada principalmente en generación de targets regionales y/o áreas prospectables, las cuales una vez identificadas serán un potencial exploratorio para futuros hallazgos de carácter geo-económico.

1.3 Formulación del problema

1.3.1 Problema General

- ¿Cuál es la relación existe entre en los volcánicos cenozoicos e intrusivos paleógenos para explorar por depósitos de Au, Ag, Cu y Mo asociados al sistema de fallas cuzco- lagunillas?

1.3.2 Problemas Específicos

- ¿Qué Unidades volcánicas e intrusivos paleógenos serian favorables para explorar por depósitos de Au, Ag, Cu y Mo?
- ¿Qué modelo estructural se debe usar para la exploración por depósitos

de Au, Ag, Cu y Mo?

- ¿Qué anomalías geoquímicas serían favorables para prospectar adyacentes al sistema de fallas?

1.4 Formulación de objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Identificar y describir la relación que existe entre los volcánicos cenozoicos e intrusivos paleógenos para explorar por depósitos de Au, Ag, Cu y Mo asociados al sistema de fallas cuzco- lagunillas- mañazo.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Describir las diferentes unidades volcánicas e intrusivos paleógenos con datos geo cronológicos para explorar por depósitos de Au, Ag, Cu y Mo.
- Analizar la relación que existe el sistema de fallas cuzco- lagunillas- mañazo y la geofísica Regional.
- Determinar las ocurrencias geoquímicas de Au, Ag, Cu y Mo adyacente al sistema de fallas cuzco- lagunillas- mañazo.

1.5 Justificación de la investigación

El área de investigación que se propone históricamente está asociada a la falla regional del Cuzco- Lagunillas- Mañazo la cual es un sistema estructural profunda con múltiples eventos; Las rocas aflorantes en la zona de estudio están constituidas principalmente por rocas volcánicas e intrusivos sub-volcánicos

cenozoicos. Las rocas volcánicas composicionalmente varían desde andesitas basálticas a riolitas. Por el momento en el área se ha descrito que la mineralización principalmente esta obedecida a yacimientos epitermales de Au-Ag y polimetálicos con superposición epitermal. (Ingemmet 2005) El estudio de la relación que existe entre el vulcanismo e intrusivos paleógenos para su exploración por depósitos de Au, Ag, Cu y Mo será fundamental para determinar áreas prospectables de marco regional usando herramientas como la geocronología, anomalías de los elementos publicadas por INGEMMET y trabajos previos realizados por otros autores. En ese sentido el desarrollo de la investigación se ha enfocado principalmente en la generación de Targets Regionales prospectables, mediante las cuales se prevee futuros programas de exploración e inversiones en la región y un crecimiento socio económico sostenible.

1.6 Limitaciones de la investigación

Las limitaciones más frecuentes para la realización de la siguiente investigación son los siguientes:

- Datos de dataciones y geocronológicos que las empresas privadas que no accedieron a publicar.
- Programas y/o Software de uso exploratorio (IOGAS) por ser de un costo bastante alto.

Los resultados del presente estudio solo se aplican para la zona de estudio, sirviendo como fuente de información para similares estudios en otras regiones.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de estudio

CÓRDOVA, J.(2011), realiza una investigación Regional la cual le denomina “**DELINEACIÓN Y DEFINICIÓN DE UNA FRANJA DE EXPLORACIÓN REGIONAL EN EL CORREDOR ARASI-CHUCAPACA-JAPUOCO-MAZOCRUZ Y SU PROSPECCIÓN POR DEPÓSITOS DE Au-Ag-Cu EN PUNO, PERÚ**” UNI, el resumen concluye que a diferencia de la faja volcánica Terciaria del Norte del Perú, donde se encuentran las minas de oro más grandes tales como Yanacocha, Lagunas Norte o Pierina, la faja volcánica Terciaria del Sur del Perú no ha sido tan fructífera en términos de tamaño y número de depósitos de metales preciosos. Este hecho, lejos de desanimar la

exploración por depósitos de clase mundial en el Sur, no hace más que redoblar los esfuerzos de los geólogos por encontrar depósitos de tipos a los que no se había prestado atención antes, de los que no se sabía de su existencia o que estuvieran presentes en rocas o edades que se pensaban “no favorables” para la mineralización. El descubrimiento del depósito de Chucapaca (o Canahuire) y de Japuoco fue el fruto de ese esfuerzo inicial. En esa línea de pensamiento y rompiendo los “tabúes” es que a inicios del año 2010 se pensó en definir y delinear una franja para exploración regional en el sur del Perú, específicamente en el departamento de Puno y parte de Moquegua, que comprendiera tanto la faja volcánica Terciaria como el basamento sedimentario Jurásico-Cretáceo, entre la mina Arasi y el prospecto Mazocruz para la prospección por yacimientos de clase mundial de Au, Ag y Cu del tipo Epitermal (alta, baja o intermedia), IOCG, Skarn, Carlin o Pórfidos.

El delineamiento de esta franja regional se basó en la ocurrencia de los depósitos/minas antes mencionados: la mina Arasi (Aruntani, ex La Rescatada - 2.5 MozAu) al extremo NW, las minas Tucari y Santa Rosa (Aruntani – 3 MozAu) al SW y el prospecto Mazocruz en el extremo SE cerca de la frontera con Bolivia, todos definidos como sistemas epitermales de alta sulfuración hospedados en rocas volcánicas del Oligoceno-Mioceno (Grupos Tacaza y Barroso); y al descubrimiento de Chucapaca (o Canahuire – 5.6 MozAuEquiv) por Buenaventura/Goldfields y de Japuoco por Newmont, cuyas definiciones como sistema aún no están claras pero en los que la mineralización está asociada a complejos de brechas que cortan a los sedimentos Jurásicos-Cretácicos del Grupo Yura/Lagunillas en el primer caso y a las rocas volcánicas Terciarias del Grupo

Tacaza en el segundo.

La ocurrencia de dichos depósitos/minas y de otros prospectos (como los depósitos de Ag-Cu-Mn Berenguela y Limón Verde) nos permitió identificar las unidades litológicas favorables (Metalotectos) y su contexto dentro de la columna estratigráfica regional: Los sedimentos pelíticos-calcareos del Grupo Yura-Lagunillas (especialmente las formaciones Cachíos, Labra y Gramadal), las calizas Ayavacas del Cretáceo, los volcánicos Tacaza y la base del Grupo Barroso. La presencia de intrusivos, diques y/o domos riolíticos-riodacíticos fue otro aspecto a tomar en cuenta.

Además, el análisis de las imágenes de los Sensores Remoto (Aster, Landsat 321 & 741) y de Google Earth, unidos a la interpretación de la Magnetometría aérea nos permitió visualizar e identificar en gabinete las áreas de alteración visibles, afloramiento de intrusivos, domos, así como las estructuras y lineamientos principales.

INGEMMET (Acosta et al, 2011) y la Dirección de Recursos Minerales y Energéticos, en su misión de difundir y fomentar la inversión minera, presentaron una información de la geología económica, recursos minerales; “MINAS Y PROYECTOS DE LA REGIÓN PUNO”, (Proyecto GR-33), en la cual indican que pretende ser un medio de consulta ligera donde se integran datos actualizados, que ponga al alcance de los gobernantes, inversionistas, comunidad científica e interesados, la información detallada del estado y perspectivas de cada uno de los principales proyectos mineros metálicos.

El presente estudio proporciona información completa, veraz y actualizada sobre el detalle de las operaciones mineras y proyectos que comprende la región Puno.

Para cada operación minera, proyecto y prospectos, se he compilado y registrado la información de ubicación geográfica, coordenadas geográficas, aspectos geológicos como estratigrafía, mineralización, alteración, reservas y potencial minero con sus respectivas leyes y nivel de producción.

INGEMMET (Acosta y Huanacune, 2008) Presentan un informe “INFORME SOBRE LA RELACIÓN DEL VOLCANISMO MIO-PLIOCENO CON LA FRANJA DE DEPÓSITOS EPITERMALES DE AU-AG EN LA CORDILLERA OCCIDENTAL DEL SUR DEL PERÚ (AREQUIPA-PUNO” (Proyecto GR-13) en la cual destacan lo siguiente: En la Cordillera Occidental y Altiplano se ha identificado cuatro eventos magmáticos intrusivos entre el Oligoceno (~30 Ma) y el Mioceno (~6 Ma) emplazados entre cuatro sistemas regionales de fallas NO-SE: Sistema de Fallas Cincha- LLuta, Sistema de Fallas Icapuquio, Sistema de Fallas Caylloma-Condorama, Sistema de Fallas Cusco-Lagunillas-Mañazo y el Sistema de Fallas Urcos-Sicuani-Ayaviri.

Durante el Mioceno-Plioceno se formaron a yacimientos epitermales de Au-Ag y polimetálicos Pb-Cu-Zn en un marco tectónico compresivo debido a una subducción plana (Sillitoe & Perelló, 2005), donde la corteza continental tenía un espesor mayor que 40 Km.

Los depósitos metálicos en la cordillera occidental del sur del Perú están distribuidos espacialmente dentro de dominios geotectónicos, los cuales están delimitados por sistemas de fallas regionales que han controlado el tipo de mineralización en épocas particulares, definiendo tres franjas metalogénicas:

- **Franja de epitermales de Au-Ag del Mioceno** Se extiende en el dominio volcánico y está relacionada con actividad magmática Mioceno. Sus

controles estructurales son fallas NO-SE de los sistemas de fallas Condorama- Caylloma y Cusco-Lagunillas-Mañazo, así como fallas menores E-O. Las edades de mineralización de esta franja se registran entre 18 y 5 Ma, constituida por epitermales de Au-Ag de alta sulfuración como Arasi, depósitos de Ag-Au de baja sulfuración como Arcata y Ares (5.4 Ma, Candiotti et al., 1990) y depósitos de Pb-Zn-Ag de intermedia sulfuración: Caylloma (18.4 Ma, Echevarría, 2006) y Recuperada de (6.4 Ma, Noble & McKee, 1999).

Se les puede sub-dividir en dos épocas metalogénicas de 18-13 Ma y 12-8 Ma. En la parte NO de esta se encuentra el depósito de Au-Ag de alta sulfuración como Arasi. Mas al S y SE, esta franja está superpuesta a yacimientos polimetálicos.

- **Franja de depósitos polimetálicos con superposición epitermal del Mioceno;** Esta franja se encuentra en la parte sur de la región Puno. Las rocas hospedantes están formadas por el Gpo. Tacaza de edad miocénica y la mineralización corresponde a vetas de Pb-Ag-Cu, Pb-Cu-Ag y Cu-Pb-Ag. Más al Sur, (16° y 17°S) la mineralización se encuentra entre dos corredores formados por los sistemas de fallas y Cusco-Lagunillas-Mañazo. Las rocas hospedantes pertenecen al Gpo Tacaza, Gpo. Maure y calizas de la Fm. Ayavacas. La mineralización es de tipo Cu-Pb-Zn y los yacimientos más importantes son Santa Bárbara, Berenguela, Pinaya, San Antonio de Esquilache entre otros. La edad de mineralización está asociada a intrusivos de edades comprendidas entre 22 y 19 Ma (Quispe, 2004; Acosta & Santisteban, 2007; Acosta 2008).

- **Franja epitermal de Au-Ag del Mio-Plioceno;** Se encuentra en el Corredor Puquio Caylloma formado por los sistemas de fallas Cincha-Lluta, Incapuquio y Condoroma Caylloma. La mineralización se encuentra en rocas volcánicas de los Grupos Tacaza y Barroso. Localmente está controlada por fallas E-O (centros efusivos e hidrotermales) que corresponden a yacimientos epitermales de Au de alta sulfuración como Tucari (7.16 Ma; UBC, 2004 en Barreda et al., 2004, Santa Rosa (4.64 Ma; UBC, 2004 en Barreda et al., 2004), depósitos epitermales de Ag en Cacachara y Pavico. y los proyectos Mazo Cruz, Baños del Indio, Pucamarca. La edad de mineralización de esta faja se encuentra entre 7y 5 Ma.

2.2 Bases teóricas- científicas

2.2.1 Características Generales sobre los depósitos Minerales

Yacimientos epitermales: Estos depósitos epitermales han sido generados a partir de fluidos hidrotermales calientes - ácidos, entre un rango de temperatura de 100°C hasta unos 320°C; la mineralización ocurrió dentro de 1 a 2 Km de profundidad desde la superficie terrestre. La denominación de los términos alta sulfuración y baja sulfuración fue propuesta por Hedenquist (1987) en base al estado de oxidación reducción (o sulfuración) del azufre en los fluidos de sistemas geotérmicos actuales (Figura N° 1).

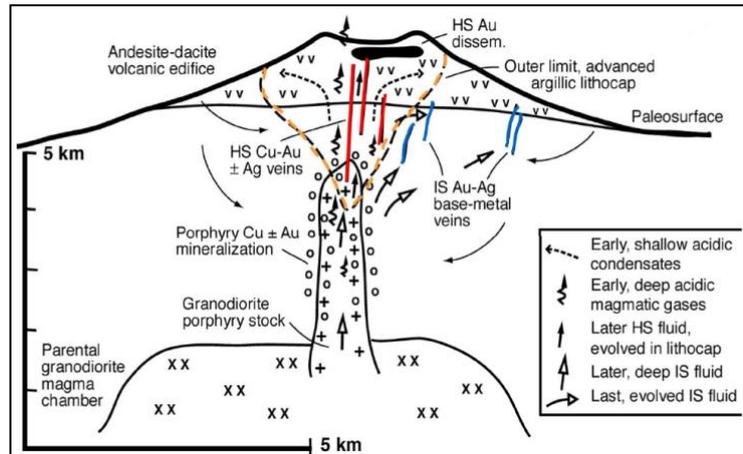


Figura N°1 Relación Esquemática entre Depósitos Epitermales (Alta Sulfuración e Intermedia Sulfuración), alteración Argílico Avanzado (Lithocap) (Sillitoe and Hedenquist, 2003)

Una primera división de los depósitos epitermales en alta sulfuración (AS) y baja sulfuración (BS), basada en alteración y mineralogía, se ha aceptado ampliamente (Hedenquist, 1987; Bonham, 1986; Helad y otros, 1987; Sillitoe, 1993; Corbett y leach, 1998).

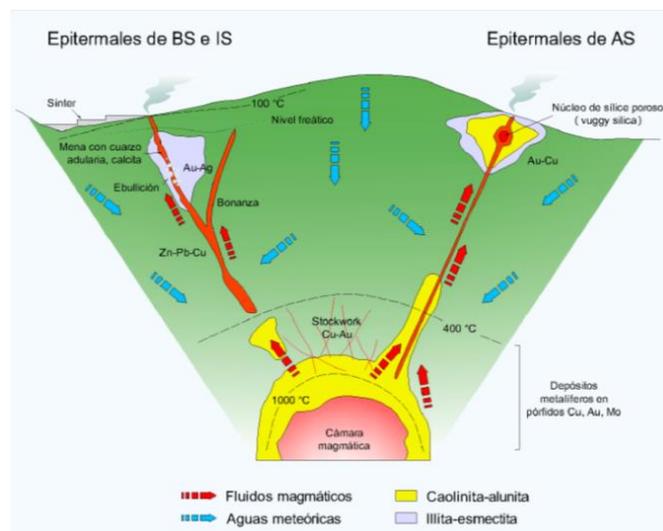


Figura N° 2 - Modelo conceptual simplificado de los depósitos epitermales de baja (BS), intermedia (IS) y alta sulfuración (AS) (modificado de Sillitoe, 1995).

Debido a la baja presión y las condiciones hidrostáticas bajo las cuales se forman, los depósitos epitermales muestran una gran variedad de formas y estilos de mineralización (Figura N°3).

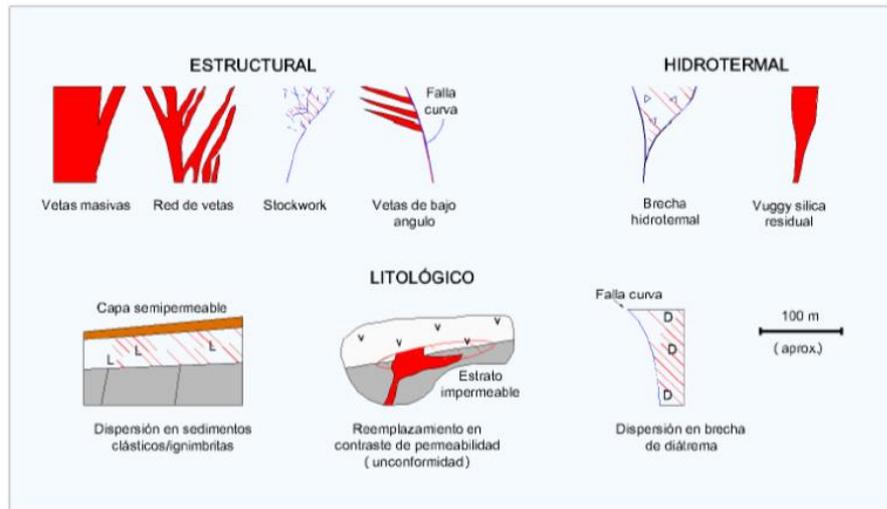


Figura N° 3 - Estilos y geometría de los depósitos epitermales, ilustran la influencia estructural, hidrotermal y permeabilidad litológica (modificado de Sillitoe, 1993; y Hedenquist y otros, 1996).

Las características claves que distinguen a un depósito epitermal son particularmente mineralógicas (Tabla N°1).

<p>PH ácido Alunita, caolinita (dickita) pirofilita, sílice residual, cuarzo vuggy</p>		<p>PH neutro Cuarzo-adularia-illita, calcita</p>
<p>Alta sulfuración Pirita-enargita-luzonita, covelita-digenita, famatinita, oropimente</p>	<p>Sulfuración intermedia Tennantita, tetrahedrita, hematita-pirita-magnetita, pirita, calcopirita, esfalerita-pirita pobre en Fe</p>	<p>Baja sulfuración Arsenopirita-loellingita-pirrotita, pirrotita, esfalerita-pirita rica en Fe</p>
<p>Oxidado Alunita, hematita-magnetita</p>		<p>Reducido Magnetita-pirita-pirrotita, clorita-pirita</p>

Tabla N° 1 - Minerales de diagnóstico de varios estados de pH, estados de sulfuración y oxidación, usados para distinguir ambientes epitermales formadores de mineral (modificado de Einaudi y otros, 2003).

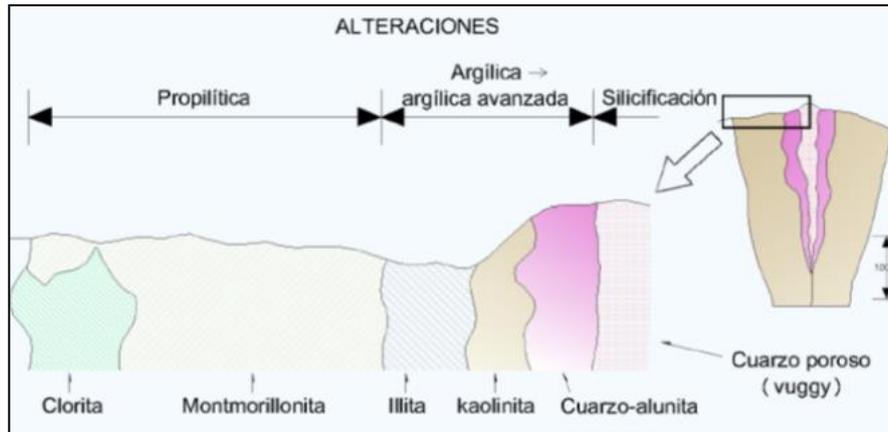


Figura N° 4 - Zonamiento típico de alteración para un depósito de alta sulfuración (modificado de Stoffregen, 1987).

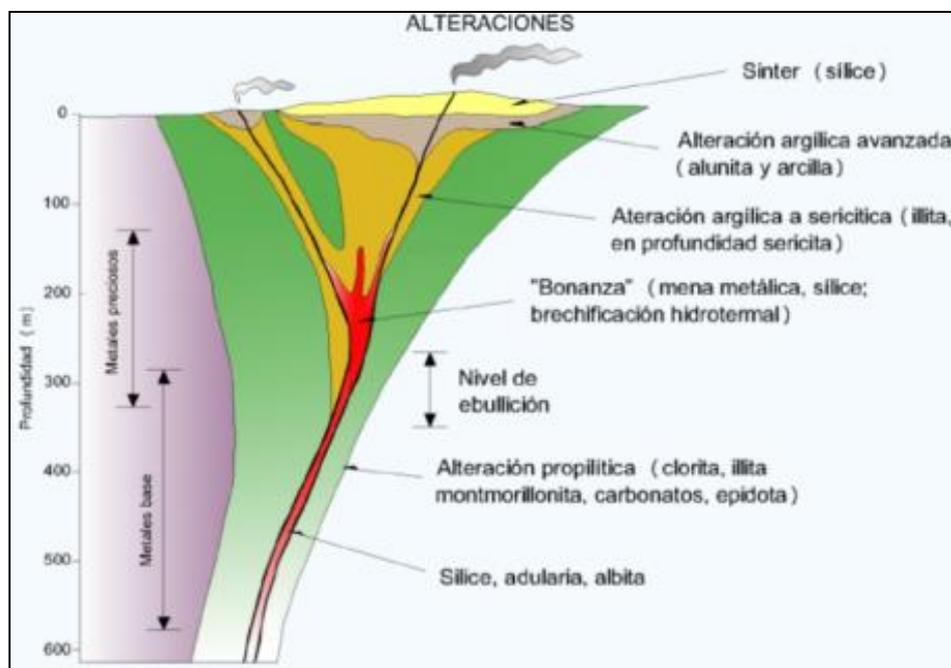


Figura N° 5 - Zonamiento típico de alteración para los depósitos de baja e intermedia sulfuración (modificado de Buchanan, 1981).

Yacimientos porfiríticos: Dada las características propias del sistema es importante destacar que los procesos magmáticos intrusivos se han desarrollado a través del tiempo siguiendo de un magmatismo continuo. Contienen principalmente Cu, Mo y/o Au, están centrados en stocks de pórfidos cilíndricos, desde menos de 100 m hasta varios Km de diámetro. Los stocks son típicamente

multi-fase.

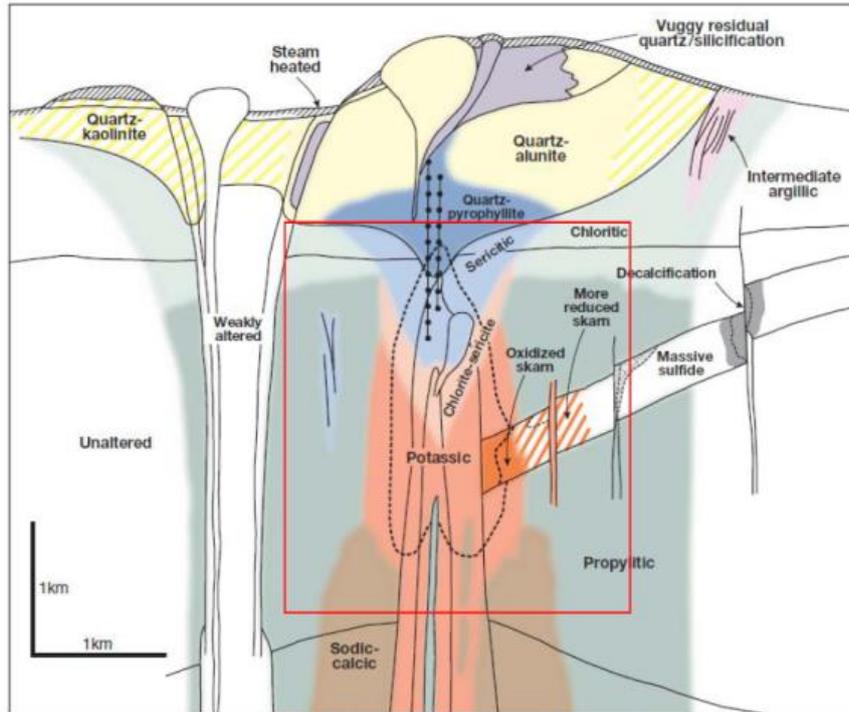


Figura N° 6: Modelo generalizado del zonamiento de alteración y mineralización para depósitos tipo pórfido Cu telescopiados. La alteración sericitica tiende a ser más abundante en depósitos pórfido Cu-Mo, mientras que la alteración clorita-sericita (argilica intermedia) se desarrolla preferentemente en depósitos pórfido Cu-Au. (Sillitoe 2010)

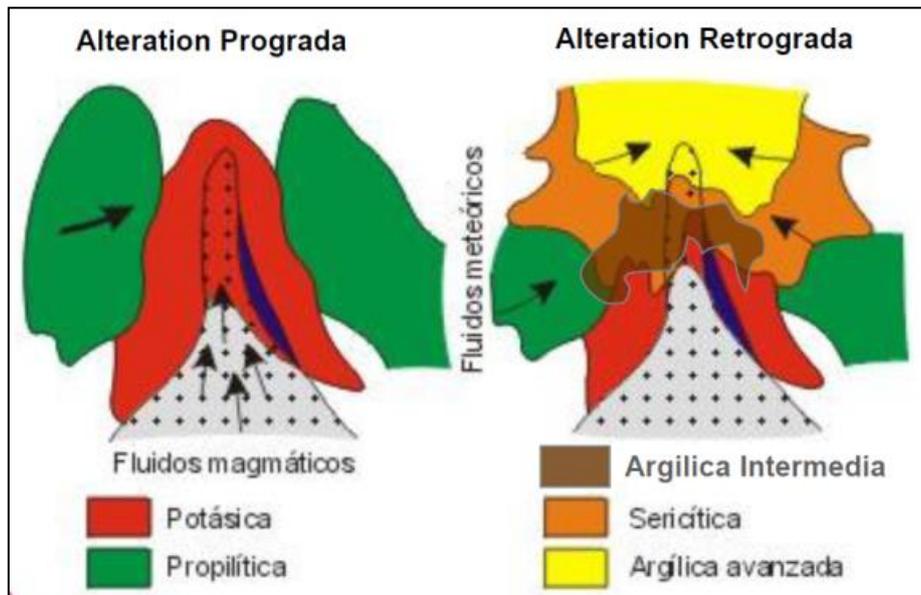


Figura N° 7: Modelo generalizado del zonamiento de alteración en función a la temperatura. A la izquierda de la figura se muestra la alteración prograda

producida por fluidos magmáticos, a la derecha la alteración retrograda producida por la interacción con fluidos meteoritos. Además la Ocurrencia de alteración en base a la temperatura. (Tomado de Hemley, Hunt (1992)).

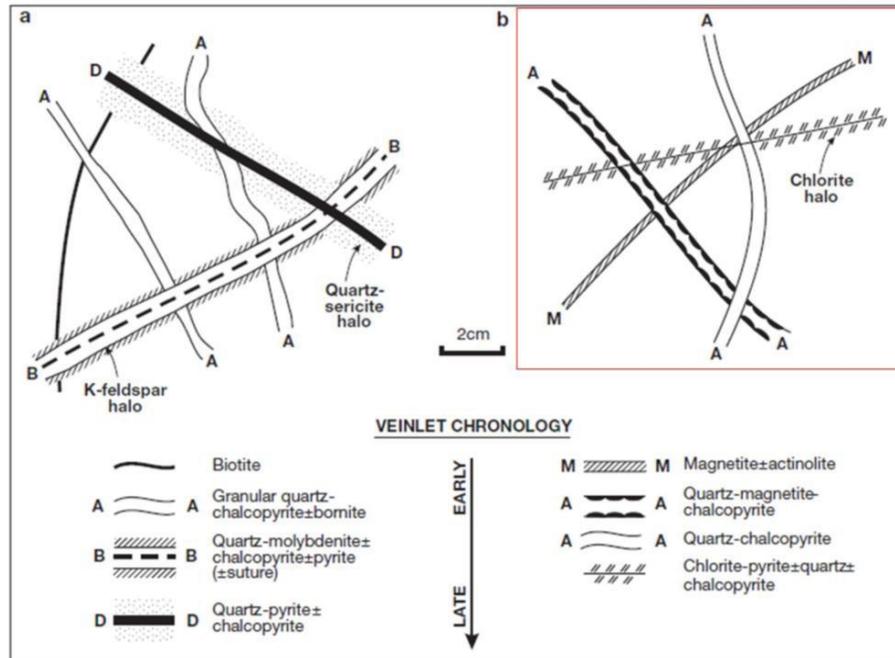


Figura N° 8 Cronología esquemática de la secuencia de venillas típicas a. Depósitos Pórfido Cu-Mo, b. Depósitos Pórfido Cu-Au asociados con intrusiones calco-alcalinas (Tomado de Porphyry Copper Systems Sillitoe 2010).

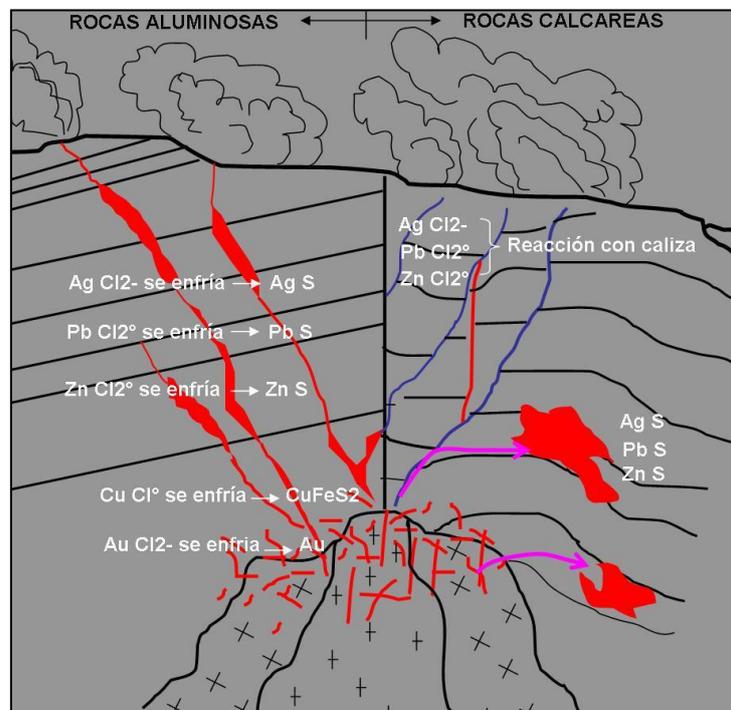


Figura N° 09 Sección transversal esquemática en un sistema tipo Pórfido. Idealizando la deposición de los metales pesados de complejos cloruros, debido a enfriamiento y

reacciones con las rocas encajantes (aluminosas, y calcáreas). Además se puede apreciar el zonamiento de la deposición mineralógica, del núcleo del sistema hacia fuera del sistema o viceversa (tomado de W. W. Atkinson, M. A. Skewes. Et al (2007).

Yacimientos tipo skarn: Se forman por la conversión de rocas carbonatadas a silicatos de calcio y magnesio con contenido de metales al lado o cerca de intrusivos. Las asociaciones de silicatos principalmente granate y piroxena en sistemas cálcicos, son normalmente deficientes en metales, mientras que las etapas retrógradas tardías introducen la mayor parte de los metales junto con asociaciones hidratadas conteniendo minerales como actinolita, biotita, muscovita, clorita, talco y carbonatos (Einaudi et al., 1981).

Yacimientos Cu y Au- Fe: Caracterizados básicamente por su contenido de magnetita y hematita (especularita). Los depósitos de Cu y Au están ligados a sistemas de fallas cortantes o plutones con importante cristalización fraccionada.

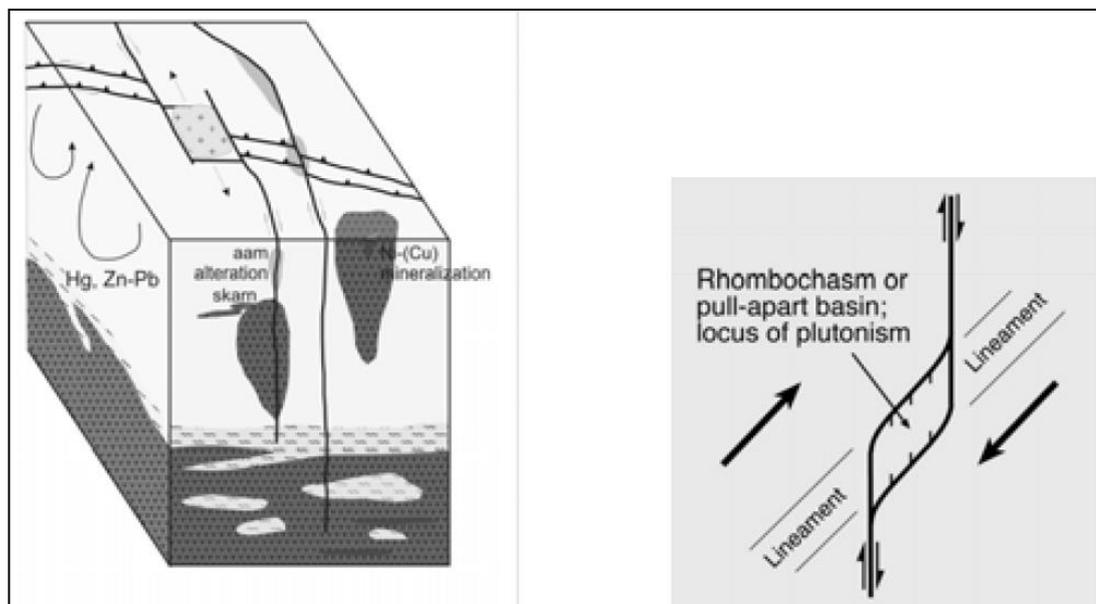


Figura N° 10: modelo estructural de un tipo Cu- Au- Fe (Allen 2005)

Los yacimientos tipo Cu- Au- Fe son un “modelo metalogénico” de escala regional que engloba distintos tipos de alteración hidrotermal y estilos de mineralización (Skarn, pórfidos, etc.). La Profundidad de emplazamiento de mineralización es de: 4 a 6 km hasta la superficie.

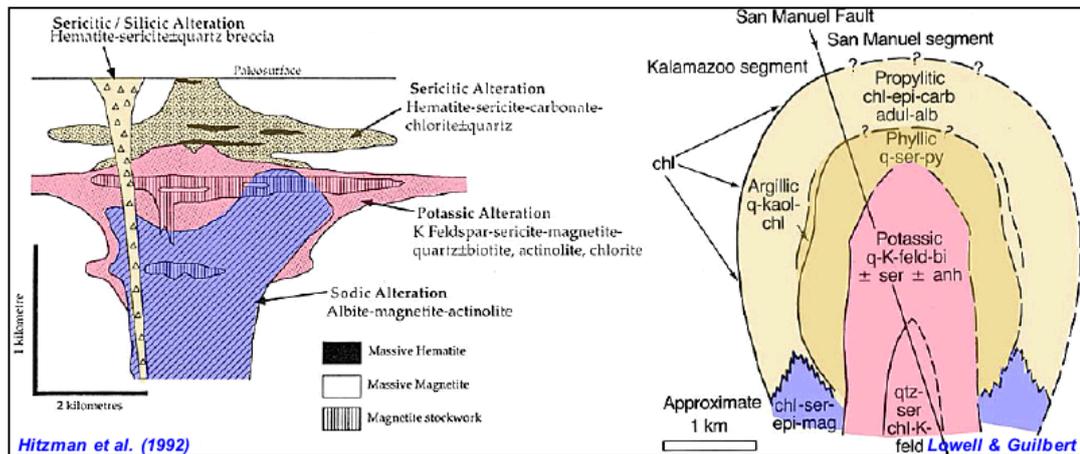


Figura N° 11: diferencias en modelos geológicos entre un sistema porfirítico y un Cu- Au- Fe, muestran similitud en sus ensambles de mineralización, diferente distribución. (Hirtzman et al 1992)

Además, existe la alteración tipo Skarn, la cual corresponde a la transformación de rocas carbonatadas a minerales calcosilicatados en zonas adyacentes a intrusivos. Se caracteriza por la presencia de granates (andradita y grosularia), Wollastonita, epidota, diópsido, idocrasa, clorita, actinolita.

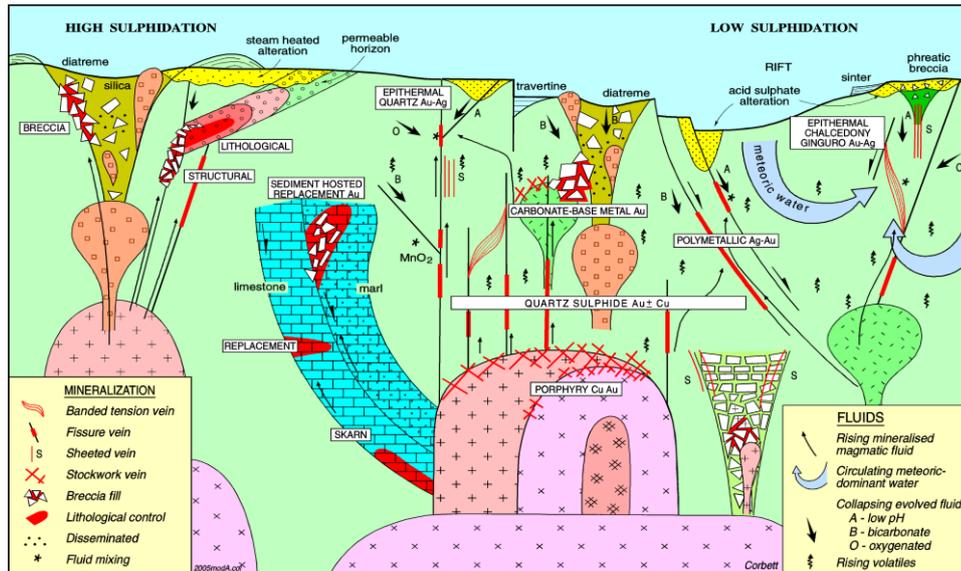


Figura N° 12: Finalmente presentamos una Representación de Modelos Genéticos de los yacimientos epitermales publicado por Dr. Corbett, Sillitoe.

2.2.2 Tectónica y Mineralización

El Elipsoide de Deformación es una representación ideal de la Deformación Continua (strain) de una porción de la materia. Su forma trata de graficar las relaciones angulares entre estructuras, tales como: ejes de pliegues, fracturas de tensión y fallas respecto a los esfuerzos aplicados “Desde Afuera” y que originan una zona de cizalla (shear zone). Su aplicación sencilla, mediante el análisis adecuado de los datos de campo nos puede llevar a encontrar coincidencias con algún modelo de Deformación.

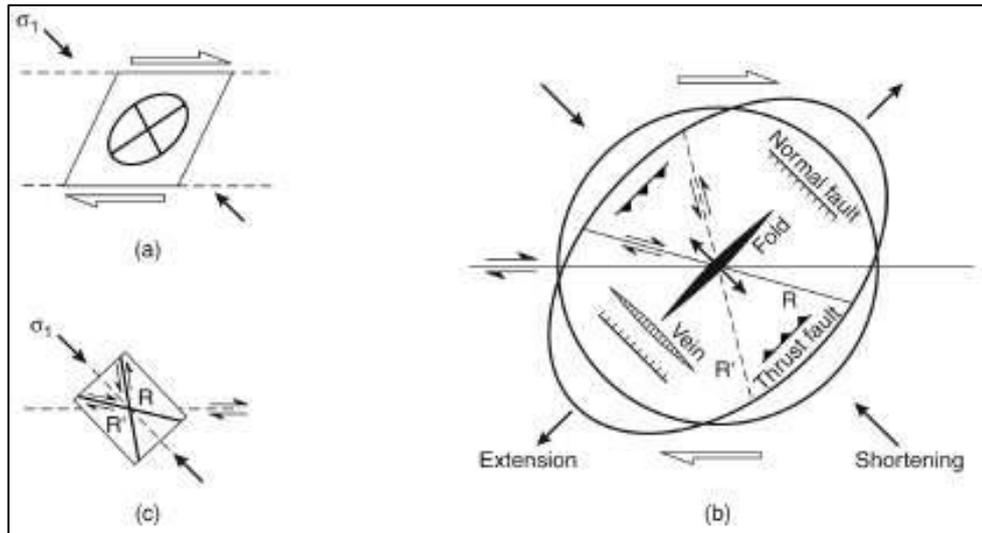


Figura N° 13 Modelo de deformación explicando el origen de estructuras secundarias a lo largo de una falla de rumbo. (a) ilustración de una cizalla simple dextral. Un cuadrado se transforma en un paralelogramo, y el círculo dentro del cuadrado se transforma en una elipse. (b) Detalle de la elipse deformada mostrando que, pliegues y fallas inversas son perpendiculares a la dirección de acortamiento, mientras que fallas normales y venillas son perpendiculares a la dirección de extensión. Las fracturas R y R' se forman en ángulo agudo a la dirección de acortamiento. (c) R y R' son similares a fracturas de cizalla conjugada formadas en rocas cilíndricas que están sujetos a un eje tensional (d) Ud puede simular la formación de pliegues en echelón con una hoja de papel. (Sibson et al, 1990)

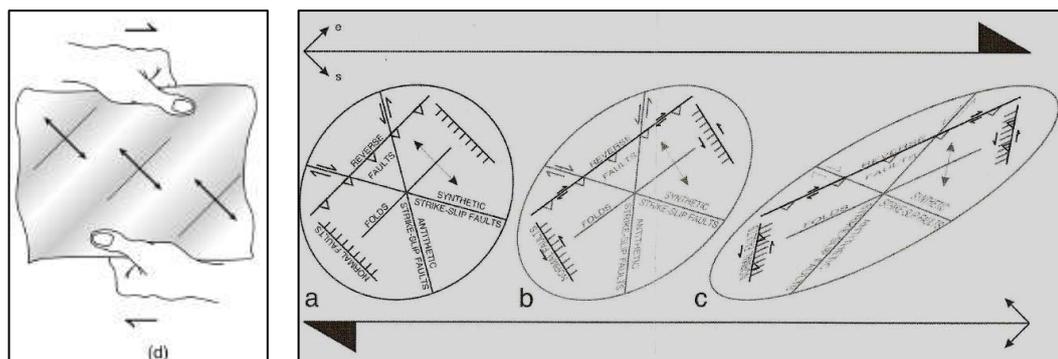


Figura N° 14 Los gráficos a, b y c bosquejan la deformación continua de una porción de la materia. El gráfico representa las relaciones angulares entre estructuras: ejes de pliegues, fracturas de tensión, fallas respecto a los esfuerzos aplicados “desde afuera” que dan como resultado una zona de cizalla entre fallas dextrales y coaxiales. (Sibson et al, 1990)

Características internas de las zonas de cizalla: Existen tres tipos de fracturas que pueden desarrollarse en una zona de falla frágil: los planos de Riedel (R) y los planos P: R1 = R: Son fracturas Riedel de bajo ángulo ($\sim 15^\circ$) con la envolvente de la zona de falla, también se conocen como planos de fractura sintéticos. Su arreglo geométrico es en échelon (escalonadas), es decir paralelas entre ellas dentro de la zona de cizalla.

R2 = R': Son conjugadas respecto a R1 y forman un ángulo de 75° con respecto a la envolvente de la zona de falla. También se conocen como planos de fractura antitéticas. Debido a la evolución dinámica de la zona de falla se producen fenómenos de rotación de las fracturas R1 y R2. Los R1 varían a ángulos inferiores a 15° , y los R2 evolucionan a ángulos mayores a 75° . Durante esta evolución aparece un tercer tipo de fracturas: P = Forman un ángulo agudo con la envolvente.

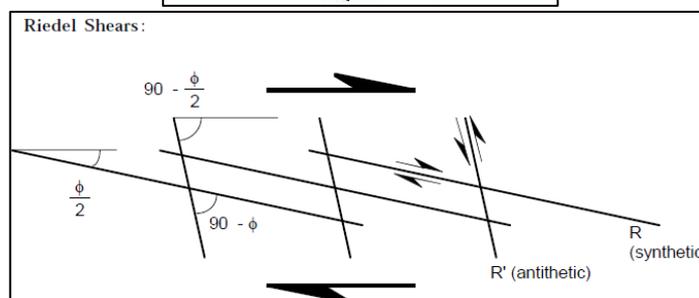
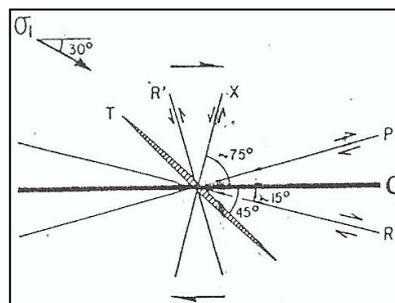


Figura N° 15 En el lado izquierdo el Esquema de fracturas de 2do orden, en una falla dextral y al lado derecho el Sentido de desplazamiento y efectos en la superficie pre y post - ruptura. Los ángulos iniciales entre las Grietas de Riedel R y R' están controladas

por su coeficiente de fricción interna. Este gráfico significa que la compresión máxima y el eje de acortamiento principal de deformación infinitesimal, están orientados a 45° respecto a los límites de la zona de cizallamiento. Con el continuo cizallamiento ellos rotaran en sentido horario a ángulos más empinados. (Sibson et al, 1990)

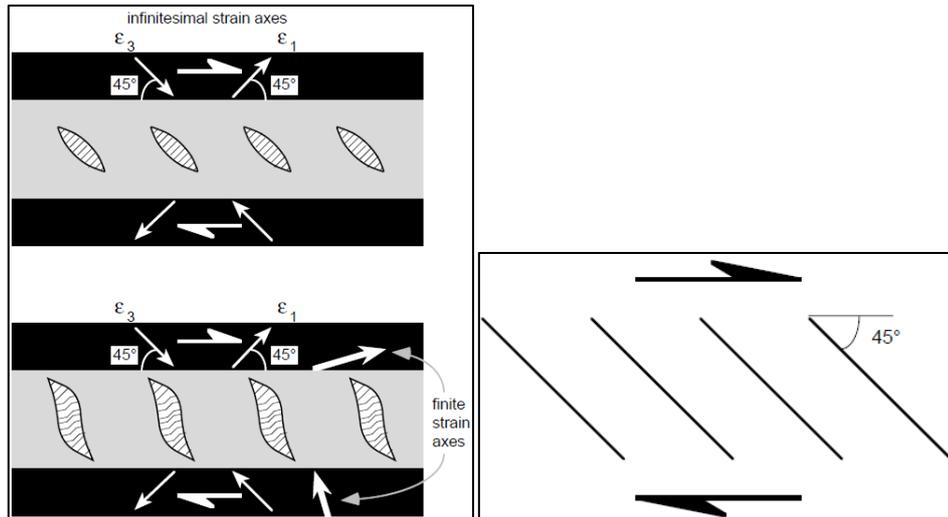


Figura N° 16 Estas grietas pueden servir de despegue entre bloques, subsecuentemente rotan en la zona de cizallas, estilo dominó. (Sibson et al, 1990)

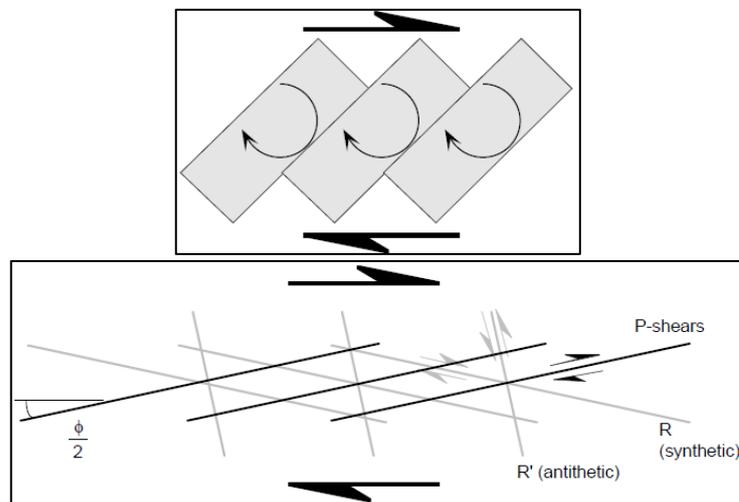


Figura N° 17 Al lado izquierdo Las fallas entre los bloques tienen sentido opuesto a la zona de cizalla y al lado derecho Una ruptura, un nuevo conjunto de cizallas, llamadas “P-shears”, simétricas a las R-shears. Estas tienden a unirse a las grietas R, formando una zona de falla. (Sibson et al, 1990)

Los Fenómenos de curvatura en zonas de falla: Las fallas se curvan porque los materiales geológicos no son isotrópicos. Una zona de falla no puede mantener

continuidad en el rumbo debido a los cambios físicos que encuentra en el camino. La curvatura de las fallas se describe en términos de inflexiones (bends): Inflexiones de apertura (releasing bends; zona en extensión) tienden a crear espacios. Se produce cuando el movimiento de uno de los bloques se aleja de la curva Inflexiones en Cierre (restraining bends; zona en compresión) son sitios donde el acortamiento genera apilamiento. Se produce cuando el movimiento de uno de los bloques a lo largo de la falla se realiza “contra” la curva.

Otros rasgos típicos en fallas son los Saltos (stepovers, offsets), que a diferencia de las inflexiones no se conectan entre sí, pero mantienen una dirección semejante y el mismo sentido de movimiento. Los saltos también pueden generar zonas en Apertura ó en Cierre. Las zonas en apertura y en cierre (en inflexiones y saltos) pueden originar DEPRESIONES (PULL APART) susceptibles de ser rellenadas por sedimentos, o LEVANTAMIENTOS COMPRESIONALES (PUSH UPS).

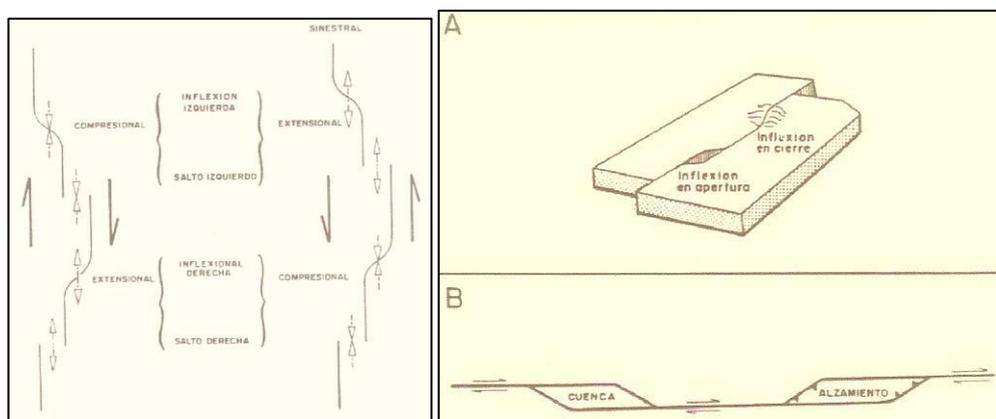


Figura N° 18 Al lado izquierdo se muestra el Sistemas de fallas dextrales y sinextrales con inflexiones y saltos, influenciadas por fuerzas de extensión y compresión (ver sentido de flechas). Tomada de Davis y Reynolds (1996). Por otro lado al lado derecho A y B muestran la formación de una cuenca (pull apart) susceptible de ser rellenada por materiales sedimentarios y un levantamiento Compresional (push up) asociados a una falla. Roberto Oyarzun y Miguel Doblás (España).

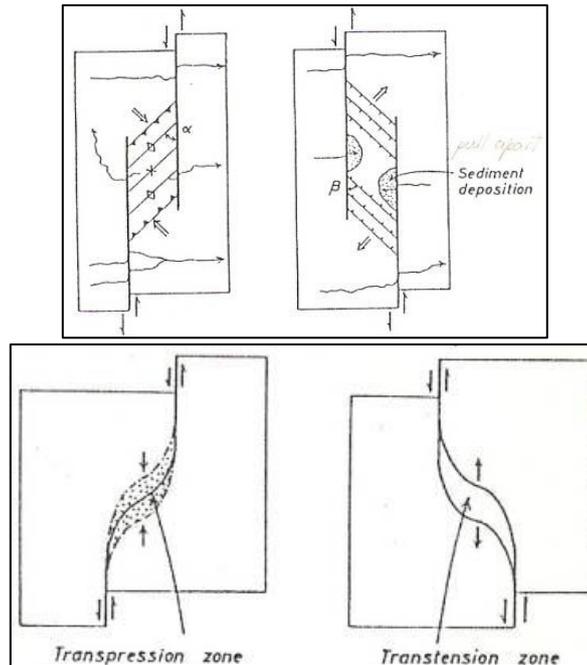


Figura N° 19 En el lado izquierdo se muestra Estructuras secundarias que generan una cuenca (pull apart) y un levantamiento (push up), en sectores entre fallas de rumbo y échelon. Roberto Oyarzun y Miguel Doblas (España); y en el lado derecho Transpresión y transtensión desarrolladas en fallas de rumbo curvadas. Roberto Oyarzun y Miguel Doblas (España).

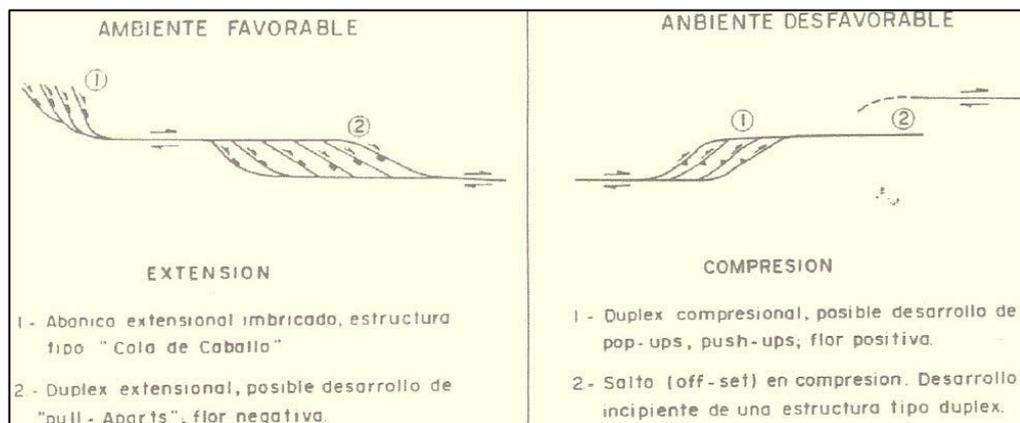


Figura N° 20 Se muestra las Zonas favorables y desfavorables para la exploración en un sistema de fallas. (Mckinstry (1948)).

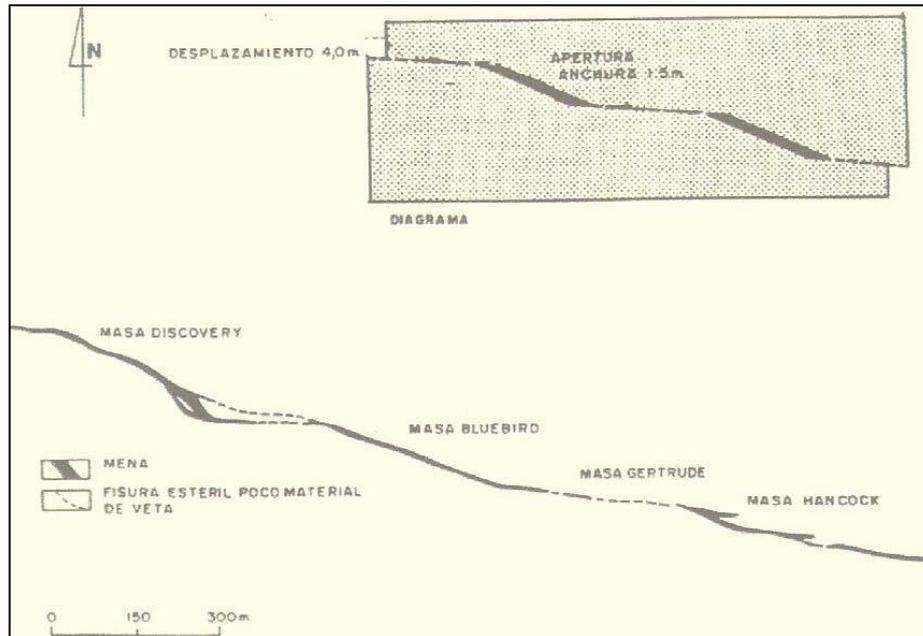


Figura N° 21 Se muestra la Variación en la potencia de una veta a lo largo del desplazamiento de una falla dextral. La veta en este ejemplo estaría asociada a una estructura Tipo duplex extensional. Tomada de Mckinstry (1948).

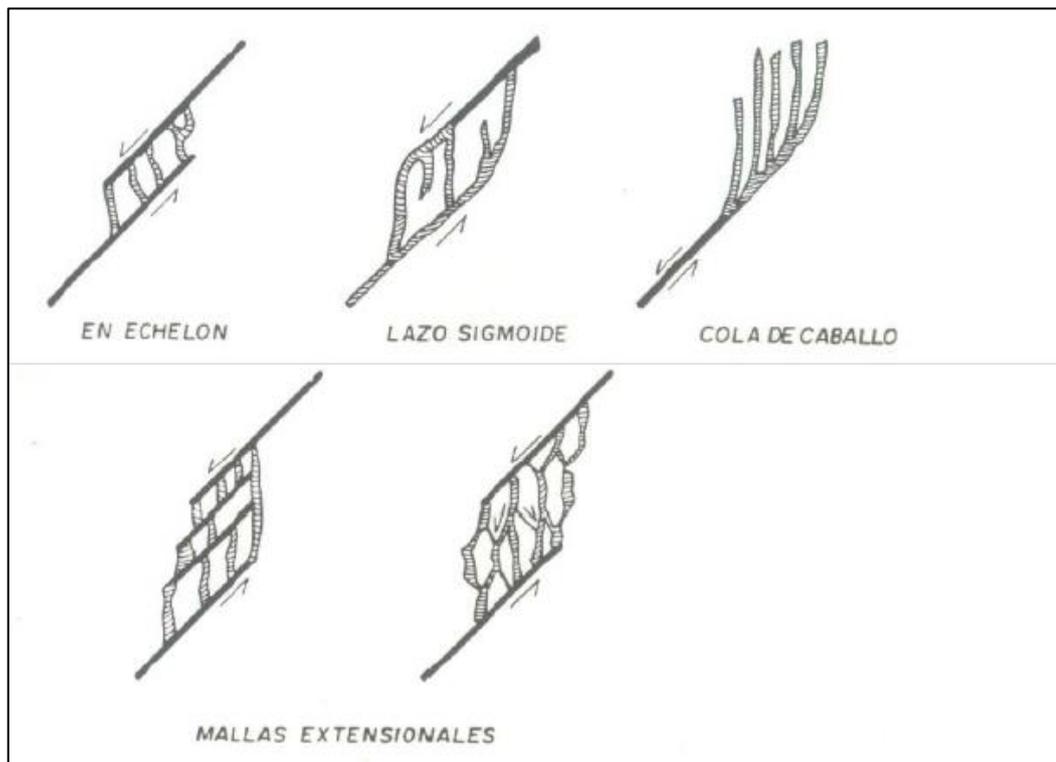


Figura N° 22 Estructuras internas de sistemas mineralizados filonianos Jogs extensionales generados generados por saltos de fallas transcurrentes sinestrales (Sibson 1990).

2.3 Definición de términos básicos

- **Falla:** Fractura frágil a lo largo del cual existe desplazamiento visible, en general paralelo a la superficie de la misma. De acuerdo al sentido de movimiento, pueden ser normales, inversas y transcurrentes.
- **Fallas transcurrentes ó de rumbo:** Son aquellas que adoptan un movimiento horizontal de los bloques adyacentes. Pueden ser de dos tipos: dextrales y sinestrales.
- **Fallas de transferencia:** Son fallas verticales ó sub-verticales, profundas, durables en el tiempo, debido a que son grandes en longitud y profundidad. Son transversales a la deformación, forman unidades de deformación entre aéreas de diferentes características litológicas sometidas al mismo esfuerzo. Parecen zonas de cizallamiento entre fallas. En nuestra zona de trabajo, corresponden al sistema de fallas discontinuas de rumbo NS.
- **Falla Antitética:** Indica que la falla y los estratos se inclinan hacia direcciones opuestas.
- **Falla Homotética:** Significa que los estratos y la falla tienen la misma dirección de inclinación.
- **Falla Sintética:** Falla cuyo sentido de desplazamiento es igual al que presenta la zona de falla principal a la que se asocia. En régimen extensional (v. extensión) son frecuentes las fallas sintéticas.
- **Zona de Falla:** Está compuesta de innumerables superficies de falla frágiles subparalelas é interconectadas, estrechamente espaciadas conteniendo zonas de brecha ó “fault gouge” (harina de falla en

español).

- **Zona de Cizalla:** Corresponde a una ancha zona de deformación generada bajo condiciones dúctiles a dúctiles-frágiles. Se puede decir que una zona de cizalla grada hacia arriba hacia una zona de falla. Estas rocas son deformadas frágilmente en niveles superiores de la corteza terrestre y dúctilmente en los inferiores. La profundidad a la que la deformación pasa de frágil a dúctil se conoce como Zona de Transición dúctil a frágil, generalmente se encuentra bajo 10 a 15 km (e.g., Sibson, 1990).
- **Seudotaquilitas:** Roca fundida de origen mecánico (friccional), generado por un movimiento muy rápido de la falla por régimen sísmico. La inyección de este material fundido en grietas de tensión locales conlleva al enfriamiento instantáneo del material dando aspecto vítreo a la roca (de allí el nombre).
- **Esfuerzo (σ):** Cuando una Fuerza (F) se aplica sobre un plano de superficie S, genera una Presión (P). Entonces: $P = F/S$. El esfuerzo es el límite de dicha Presión cuando la superficie se hace pequeña. Entonces: σ (Pascal) = dF (Newton)/ dS (m²).
- **Deformación:** Es la transformación de un cuerpo desde un estado inicial hasta un estado final diferente. Sus componentes son: La traslación, la rotación y la deformación interna. La deformación continúa hasta que el cuerpo llega a su punto de ruptura (R).
- **Fracturas:** Cualquier grieta en una roca sólida es una fractura. Una fractura extensa se llama fisura que puede llegar a ser un conducto.

- **Junturas o Diaclasas:** Las fracturas a lo largo de las cuales no han habido movimientos perceptibles y que ocurren en grupos paralelos se llaman juntas o diaclasas, en cualquier tipo de roca la junta se producen como estructuras secundarias por la fuerza de compresión, torsión y esfuerzo cortante.
- **Dique:** Es una intrusión tabular que corta una roca pre existente cuya dimensión varía de centímetros hasta decenas de metros.
- **Estriación:** Se denomina a los surcos no muy profundos que aparecen en rocas y minerales siguiendo una dirección preferencial.
- **Vetillas:** se refiere a una fractura con relleno de mineral económico.

2.4 Formulación de hipótesis

2.4.1 Hipótesis general

Si la Falla regional Cuzco- Lagunillas- Mañazo es favorable para el emplazamiento de intrusivos paleógenos, entonces es un potencial exploratorio por Au, Ag, Cu y Mo.

2.4.2 Hipótesis específico

Si los intrusivos paleógenos se encuentran asociados a mineralización de Au, Ag, Cu y Mo; entonces es un área prospectable.

El comportamiento de las fallas fue muy complejo, dando lugar a mucha inversión tectónica.

2.5 Identificación de variables

2.5.1 Variables Independientes

- Falla Regional Cuzco- Lagunillas- Mañazo (CLM)
- Secuencia Volcánicos Cenozoicos favorables
- Intrusivos Paleógenos favorables
- Ocurrencias y Anomalías geoquímicas

2.5.2 Variables Dependientes

- Emplazamiento de intrusivos paleógenos
- Potencial exploratorio
- Unidades volcánicas como tobas, lavas y piroclásticos muy permeables.
- Anomalías de elementos principales como Au, Ag, Cu y Mo.

2.6 Definición Operacional de variables e indicadores

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	ESCALA	VALOR INTERMEDIO	VALOR FINAL
Control Estructural	Es una zona cuyas características estructurales se enmarcan con diferentes rasgos geológicas en toda su extensión, la cual pueden ser constantes o discontinuas.	Es una zona que contiene a uno o más fallas las mismas que se disponen en un rumbo e inclinación, la cual generalmente en una dirección preferencial.	Características estructurales y tectónicas.	Desplazamiento de las fallas y estructuras secundarias	Fallas normales, Fallas inversas.	Nominal	Falla dextral, de rumbo, sinestral, además de normal e inversa	Clasificación del sistema de fallas Cuzco- lagunillas-mañazo.
				Posición de los diferentes rasgos litológicos mediante los estratos.	Mediciones del Rumbo e inclinación de los estratos	Nominal	Falla de rumbo, oblicua, longitudinal y transversal.	
Los intrusivos Paleógenos	Conjunto de fenómenos relacionados con la formación y actividad del magma en una edad geocronológica.	Los cuerpos o stock de intrusivos que se solidifican en su trayecto hacia la superficie.	Cuerpos Intrusivos	Origen y textura	Temperatura de enfriamiento	Nominal	Dique, Sillos y cuerpos intrusivos (Domo)	Domos, diques e intrusivos favorables
				Composición original y de alteración	Minerales máficos y félsicos, además de contenido de sílice	Nominal	Rocas máficas y félsicas	
Secuencia Volcánica Favorable	Formación producto de la emanación de un gran estallido en la corteza	Rocas de origen tobacea, piroclástica y lavas.	Secuencias favorables	Origen y textura	Textura y relaciones de contacto/corte	Nominal	Tobas, Lavas y Piroclástico	Unidades favorables y permeables para la deposición y generación de alteración.
				Composición y alteración	Minerales máficos y félsicos, además de contenido de sílice	Nominal	Secuencias ácidas y básicas	
Anomalías y ocurrencias geoquímicas	Valor de un elemento en la corteza por encima de lo normal	Elementos principales con anomalías.	Exploración de recursos minerales	Asociación mineralógica de alteración	Tipo skarn Tipo Pórfido Tipo Epitermal	Nominal	Diseminación, vetas y cuerpos de brecha, etc.	Depósitos del tipo pórfido, skarn y epitermales.
				Diferentes anomalías	Anomalías de Au, Ag, Cu y Mo	Nominal	Alteración y mineralización	

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo de investigación

La investigación desarrollada está basado en tres tipos: Exploratorio, descriptivo, Comparativo e Interpretativo.

3.2 Métodos de investigación

Se realizó un enfoque descriptivo e interpretativo con el fin de determinar la relación del vulcanismo cenozoico con los intrusivos paleógenos y sus ocurrencias de mineral para determinar áreas prospectables en un marco regional. El desarrollo del presente tema de investigación se realizó en tres etapas; Recopilación de información, trabajo de campo y trabajo interpretativo.

3.3 Diseño de investigación

Exploratorio: Se tomara datos de campo de algunas áreas visitados de interés geológico.

Descriptivo: La cual se basa en dar a conocer algunos prospectos y proyectos que se hallan dentro del área de estudio.

Comparativo: Análisis de otros trabajos realizados en otros sectores del país, principalmente en la región Andahuaylas- Yauri (Perú) y Domeyko (Chile).

Interpretativo: La cual alcanzara a un diseño de áreas y/o targets a escala regional para trabajos futuros.

3.4 Población y muestra

Como universo son los proyectos, prospectos y ocurrencias de mineral que se hallan dentro del corredor estructural del sistema de fallas Cuzco-lagunillas- mañazo; además de las rocas y anotaciones geológicas descritas en campo. Todos estos datos son ocurrencias de las cuales el 10% actualmente está en desarrollo de proyecto y los otros protegidos por compañías que a futuro realizaran trabajos.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de Datos

Lo más fundamental fue un estudio de un área (framework study) en la cual se determinó lo siguientes fases:

- Recopilación de información existente (Topografía, Geología y Bibliografía).

- Mapeo geológico en áreas prospectivas
- Visitas a proyectos y/o oportunidades para ver la geología del área.
- Tratamiento de datos de uso público (Geocatmin)
- Interpretación y determinación de áreas favorables para exploración a escala Regional.

3.6 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Una vez aplicado los instrumentos de recolección de la información, se procedió a realizar el tratamiento correspondiente para el análisis del potencial exploratorio en los volcánicos cenozoicos e intrusivos paleógenos para la búsqueda de ocurrencias de mineral de Au, Ag, Cu y Mo asociado al Corredor Estructural de Fallas Cuzco- Lagunillas- Mañazo.

El análisis de datos fue efectuado mediante el software ArcGis 10.6.

3.7 Tratamiento estadístico

El tratamiento Estadístico de datos se realizó a través del software ArcGis, Leapfrog y Excel.

3.8 Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

La Selección, validación y la confiabilidad son dados por el servicio de INGEMMET donde destacan información pública.

3.9 Orientación ética

Se ha seguido con todo los procedimientos requeridos desde la etapa de planificación hasta la realización y publicación, cumpliendo las normas establecidas.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Descripción de trabajo de campo

4.1.1 Ubicación

El área de investigación abarca un total de 10,000 km²; se encuentra localizado en la región de Puno, las provincias que se realizó el proyecto fueron de norte a sur: Lampa (Santa Lucía), San Roman, Puno (Pichacani- Laraqueri) y El Collao (Acora), el área se ubica en la zona geográfica del WGS 84, Zona 19S. En la parte Sur Oeste también se limita con la región de Moquegua principalmente con la provincia de General Sánchez Cerro.

La capital de la región es la ciudad de Puno, ubicada a orillas del Lago Titicaca, a una altura media de 3827 msnm, la segunda ciudad más importante es Juliaca, a 65 Km de Puno, a una altura media de 3825 msnm. La región Puno abarca el altiplano entre los 3812 y 5500 msnm

4.1.2 Accesibilidad

Vía Terrestre, Desde la ciudad de Lima a través de la carretera panamericana Sur, Lima – Arequipa – Juliaca – Puno, además también es posible el acceso por la vía Lima – Arequipa - Moquegua. Todo el recorrido se realiza por carretera asfaltada. Vía aérea, Desde Lima - Arequipa - Juliaca (2:15 horas) de Igual modo Lima – Cuzco – Juliaca (2:30 horas).

Vías de Acceso	Distancia (Km)	Tiempo (hora aprox.)	TIPO DE VÍA	VÍA PRINCIPAL
Arequipa - Puno	250	6	Asfaltada	Arequipa - Puno
Cuzco - Puno	300	7	Asfaltada	Cuzco - Puno
Juliaca - Puno	45	1	Asfaltada	Juliaca - Puno
Desaguadero- Puno	140	3	Asfaltada	Desaguadero- Puno
Moquegua - Puno	400	8	Asfaltada	Moquegua - Puno
Tacna - Puno	550	10	Asfaltada	Tacna - Puno

Cuadro N° 01 Resumen de las vías de acceso al área de investigación

4.1.3 Clima y vegetación

En términos generales se puede decir que el clima se caracteriza por ser semi lluvioso frígido, con otoño invierno-primavera seca debido a su localización geográfica y altitud; las cuales son modificadas por la topografía dándonos 2 climas particulares:

4.1.3.1 Clima altiplánico

Este clima se caracteriza por tener un periodo frio entre Mayo y Agosto, la cual presenta mucha helada y viento; las temperaturas máximas se dan entre Octubre y Marzo, coincidiendo con las máximas precipitaciones.

4.1.3.2 Clima de Puna

Este clima se caracteriza por tener los meses más fríos entre Mayo y setiembre, cuyas temperaturas pueden descender hasta los 15°C bajo cero; las precipitaciones máximas se registran entre setiembre y marzo; entre Abril y Agosto se registra la menor pluviosidad.

La temperatura promedio mensual, varía entre 7.83 °C (Julio) a 13.01 °C (Diciembre), siendo el promedio anual de 2 °C. La temperatura mínima mensual, varía entre -2.82 °C (Julio) a 5.73 °C (Enero), siendo el promedio de la temperatura mínima anual de 1.98 °C. La precipitación máxima mensual es de 390.3 mm (enero), la precipitación mínima mensual es 1.2 mm (mayo) y la precipitación promedio anual es de 138.4 mm. La Humedad Relativa en promedio Anual de 91.42%. La Humedad Relativa Media el promedio Anual de 68.26%. En la base de datos meteorológicos de la Estación Laraqueri la dirección del viento predominante va desde oeste a este, este a oeste y del sur - suroeste y La velocidad de viento predominante es la que se encuentra en el rango 0.5 m/s a 2.1 m/s. (Fuente: Senamhi-Puno- Est. Laraqueri). En el área de estudio los suelos son relativamente superficiales y se ven amenazados por problemas de erosión hídrica y eólica de diferentes intensidades, presenta niveles de fertilidad de media a baja. Son suelos con presencia de materia orgánica mínima y de consistencia suave. Este factor unido al clima de temperaturas bajas y a la altitud predominante es factor para el crecimiento del Ichu, la cual limita a la zona solo como tierras de pastoreo. (Fuente: ECOCONSULT S.A).

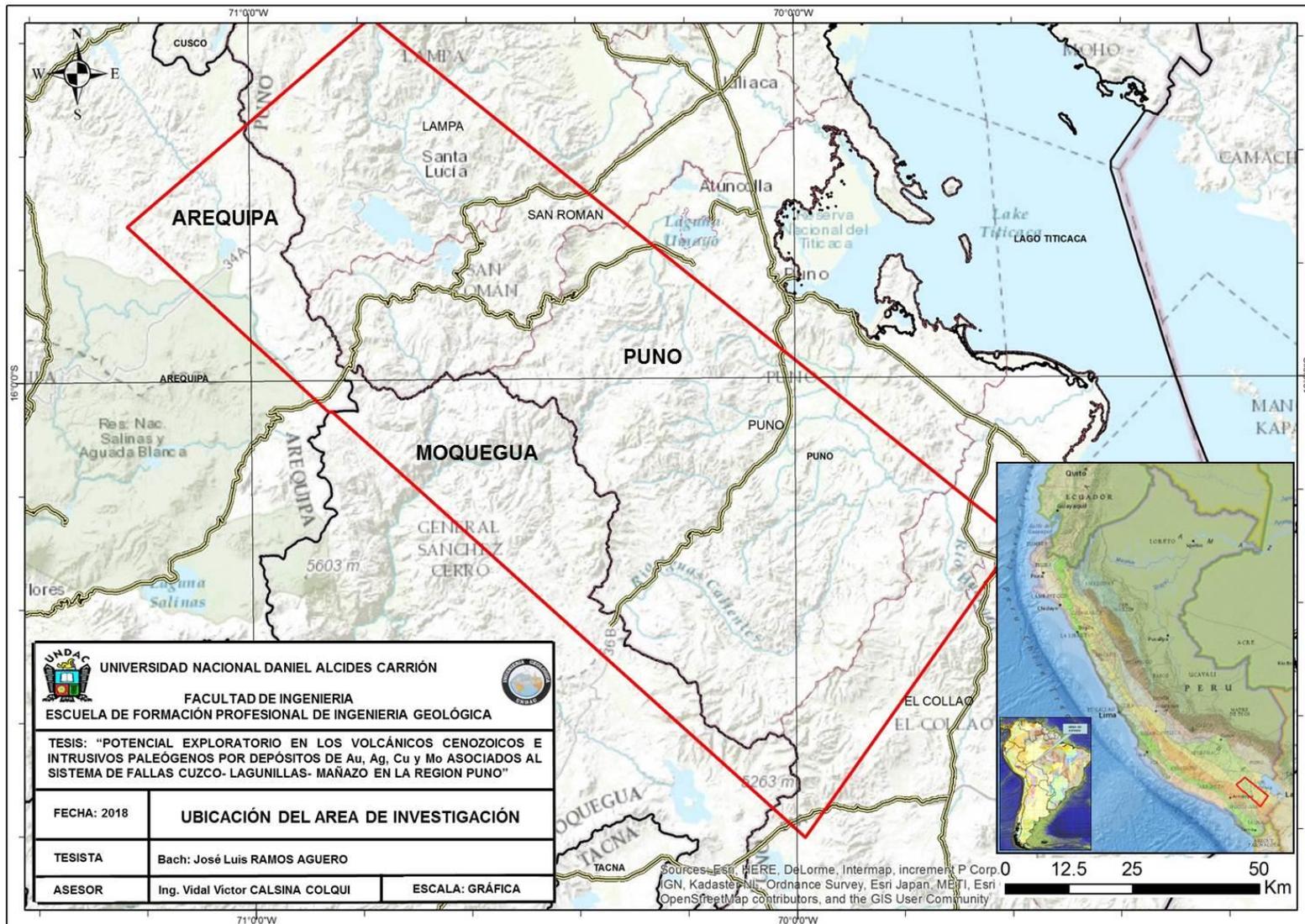


Figura N° 23: Ubicación del área de Estudio (GisMap- Google)

4.1.4 Geomorfología

El Relieve del área de estudio se caracteriza por la presencia de dos unidades geomorfológicas principales, parte de la cordillera occidental y el altiplano:

4.1.4.1 Cordillera Occidental

Las elevaciones están ligadas a una altiplanicie de montañas elevadas moderadamente abruptas (entre los 3500-5000 msnm) conocida como Puna. Esta cordillera fue glaciada durante el Pleistoceno y es muy común en el área de estudio con rasgos típicos de glaciares de valle.

4.1.4.2 El Altiplano

Es una planicie con rasgos fisiográficos, se ubica alrededor de los 4500 msnm con colinas bajas que son producto de la erosión diferencial. La Geomorfología varía de pendientes suaves a moderadas expresado por las unidades tobáceas y lávicas hasta pendientes verticales que son expresadas por los domos e intrusivos. La altura en el área varía desde ~3800 hasta ~4850 m.s.n.m. el punto más alto. Además Las unidades geomorfológicas pueden ayudar en el reconocimiento y la interpretación del sistema. Las unidades geomorfológicas tienen una buena coincidencia con la geología, geoquímica y geofísica.

4.1.5 Geología regional

La zona de estudio se encuentra ubicada en la parte divisoria de la cordillera occidental y altiplánico; en el corredor de sistema de fallas Cuzco-

Lagunillas-Mañazo, al borde del macizo de Arequipa y al oeste de la cuenca del lago Titicaca. Su distribución está controlada por una serie de bloques delimitados por fallas y fracturas con rumbo NO-SE, las cuales determinaron la deposición, el tectonismo y el vulcanismo. Regionalmente al SO probablemente la era mesozoica empezó con una sedimentación del Jurásico inferior al cretácico inferior de la cuenca Yura, la que fue rellenada con sedimentos terrígenos (Grupo Yura y Cabanillas). El límite oriental de la cuenca probablemente fue un bloque paleozoico positivo (alto Cabanillas) ubicado en la región del lago Titicaca. En el cretácico inferior a medio, la cuenca Yura fue reemplazada al este por la cuenca Putina como el foco de deposición, la cual continuó hasta el terciario inferior (Grupo Puno). En la Parte occidental del área de estudio el Terciario fue marcado por tres fases de vulcanismo calco alcalino siendo: Tacaza (Oligoceno superior-Mioceno inferior), Sillapaca (Mioceno Medio) y Barroso (Mioceno superior-Plioceno). Las dos últimas fases volcánicas iniciaron erupciones ignímbriticas. En el mioceno medio una cuenca lacustre de poca profundidad se formó el Grupo Maure. La intercalación de lavas así como las relaciones estratigráficas indican que esta cuenca existió hasta el Plioceno. Cerca al área del proyecto el ciclo orogénico andino empezó en el Santoniano (Orogénesis Peruana). En la cuenca Yura se formaron pliegues apretados y volcados, iniciándose una fase de deposición molásica (Grupo Puno), como resultado de una epirogénesis y erosión causada por la orogénesis incaica que continuo hasta el oligoceno. Según los datos geocronológicos realizados por el Ingemmet se reconocen 4 fases orogénicas Quechua enmarcadas de la siguiente forma: Post- Puno/ Pre- Tacaza (30 Ma); Intra- Tacaza y Pre- Palca (22 Ma); Post- Palca/ Post- Puno (16 Ma); Post- Maure

y Pre- Barroso (7 Ma). La mineralización está representada por dos franjas metalogénicas con rumbo NO-SE, las cuales corresponden principalmente: (a) Depósitos epitermales Au-Ag, depósitos polimetálicos con superposición epitermal del mioceno y Pórfidos-Skarn de Cu-Mo (Au, Zn) y Fe relacionados con intrusivos del eoceno-oligoceno. Se localiza entre el borde norte de la Cordillera Occidental y el Altiplano Oriental, corresponde al antiguo alto mesozoico Cusco-Puno, limitado por los sistemas de fallas Cusco-Lagunillas-Mañazo y Urcos-Sicuani-Ayaviri y (b) depósitos epitermales de Au-Ag del Mioceno-Plioceno. Corresponde a la antigua cuenca occidental peruana que comenzó a individualizarse en el Jurásico inferior con el inicio del arco volcánico Chocolate (190-170 m.a), y el relleno sedimentario con carbonatos, turbiditas y sílico-clásticos hasta el Cretácico. Más al Oeste del Área esta Corresponde a un alto estructural mesozoico desarrollado en la parte media de la cuenca occidental del sur del Perú y está controlado por el sistema de fallas Condoroma- Caylloma-Mollebamba. Las unidades lito-estratigráficas del área comprenden un rango cronológico amplio y han sido datados desde el Jurásico superior hasta el Plioceno. Además se muestra una secuencia de rocas sedimentarias y volcánicas, cortadas por importantes cuerpos plutónicos.

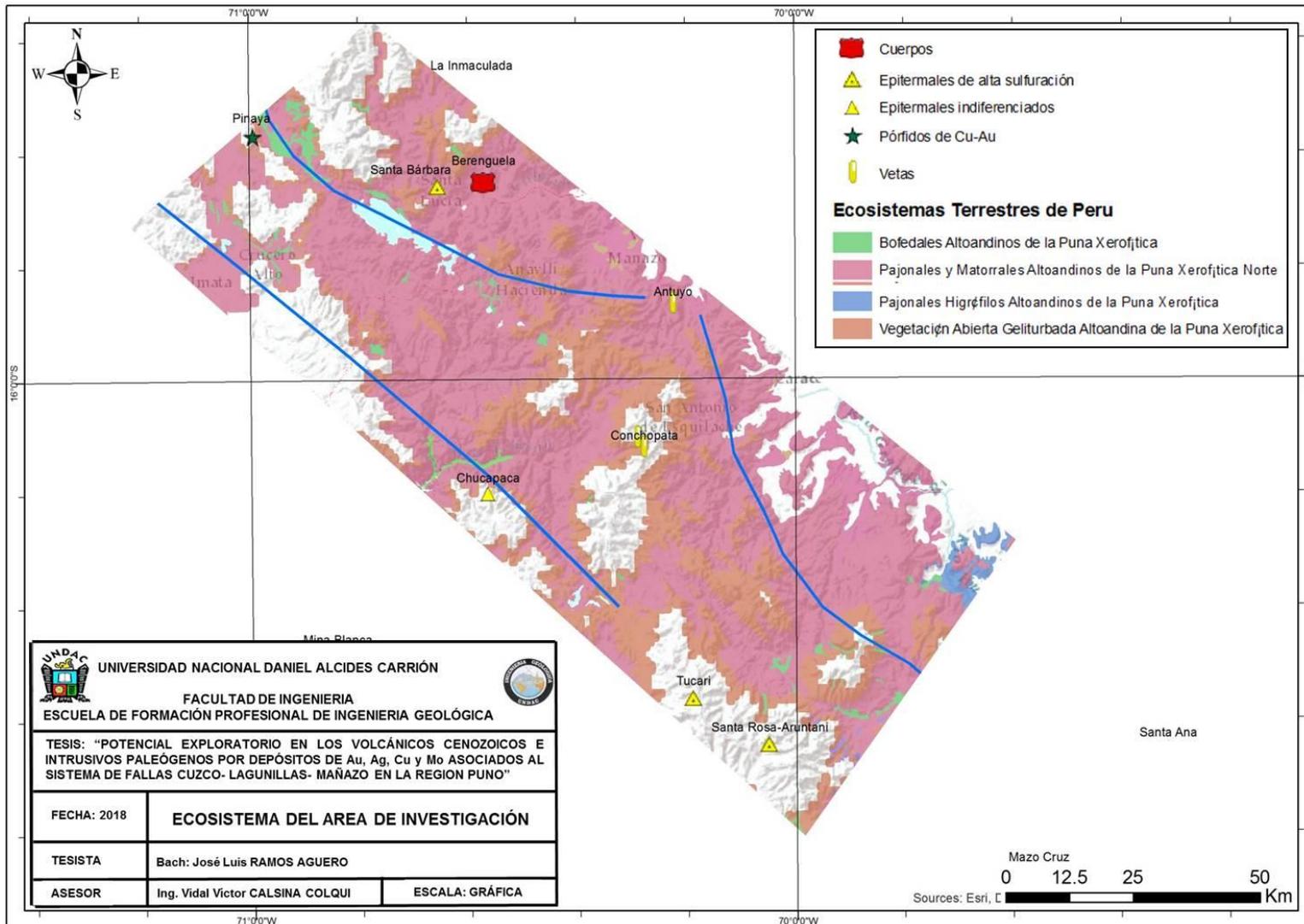


Figura N° 24: Ecosistema y Geomorfología del área de estudio. (GisMap- Google)

4.1.5.1 Mesozoica

Estas rocas triásicas son desconocidas y en consecuencia los sedimentos jurásicos y cretácicos se hallan discordante sobre los estratos Paleozoicos? El Grupo Yura y el Grupo Lagunillas son contemporáneos y probablemente tiene una continuidad en el subsuelo, estas rocas se presentan como una ventana en la parte SO del área de estudio.

4.1.5.1.1 Grupo Yura (Js- Ki)

El Grupo Yura está presente en el área de estudio solo en la parte occidental. El Grupo Yura fue dividido por Benavides (1962) en varias Formaciones, siendo cartografiada al lado Oeste del área de estudio en tres Formaciones superiores: Labra, Gramadal y Hualhuani las cuales afloran en el extremo sur – oeste.

4.1.5.1.2 Formación Labra (Js-la)

La formación Labra en el área está expuesta en pequeña proporción, y se compone de areniscas cuarzosas blancas a marrón claro con intercalación de areniscas calcáreas. En esta formación no se hallaron fósiles. Se le asigna una edad Titoniana a Neocomiana (Vicente, 1981).

4.1.5.1.3 Formación Gramadal (Js-gr)

Consiste de calizas claras y gris a gris oscura con presencia de chert de grano fino., Algunos niveles son fosilíferos conteniendo corales, trigonias y braquiópodos silicificados y muy escasamente se han encontrado intercalaciones

de areniscas cuarzosas finas, masivas y de coloración gris pardas. Se le asigna una edad Barremiana (Vicente, 1981).

4.1.5.1.4 Formación Hualhuani (Js- Ki-hu)

Esta Formación ha sido definida originalmente por Benavides (1962) Consiste en 200 metros de cuarcitas claras en bancos potentes y masivos, intercaladas con lutitas rojas, depositadas en ambiente fluvial. No se ha encontrado fósiles (Batty & Jaillard- 1989; Jaillard & Sempere- 1989). Está compuesta esencialmente por areniscas cuarzosas, de grano fino a grueso, de color blanquecino y en algunos niveles presentan una coloración rosada. Se le asigna una edad Barremiana supe (Vicente, 1979).

4.1.5.1.5 Grupo Lagunillas (J- ??)

En el cuadrángulo de Pichacani se ven dos exposiciones significativas de estas rocas, las cuales en la base se tiene calizas cubiertas por lutitas negras piritosas de edad Caloviana con calizas delgadas intercaladas al tope y finalmente areniscas cuarzosas con estratificación de corriente, con desechos de plantas en el techo e intercalaciones de limolitas rojas. Posiblemente este grupo a profundidad se encuentran en el mismo nivel con el Grupo Yura.

4.1.5.1.6 Formación Murco (Ki-mu)

Esta formación descansa sobre la formación Hualhuani, la secuencia es dominante de fongolitas con laminaciones lutíticas débiles, Areniscas, limolitas, lodolitas y limo arcillitas de coloraciones rojizas. Se le

asigna una edad Albiana a Coniaciana (Vicente, 1981).

4.1.5.1.7 Formación Arcurquina (Kis-ar)

Esta formación se caracteriza por contener Calizas finas intercaladas con calizas nodulares (Chert) y con venillas de calcita. Se le asigna una edad Albiano a Cenomaniano (Vicente, 1981).

4.1.5.1.8 Grupo Puno (Ti)

Consiste de una gruesa acumulación de sedimentos arcoscicos de facies continentales, mal clasificados, los que se acumularon en cuencas de subsidencia rápida durante el Ks y T. El Grupo puede incluir dos o más unidades de distinta edad, pero solamente ha sido posible realizar una subdivisión informal durante el presente estudio. En términos generales, se encuentra constituido de conglomerados, areniscas feldespáticas, limonitas, lutitas intercalados con conglomerados dentro de una matriz rojiza, algunos niveles de calizas y tobas; se le atribuye una edad paleógeno.

4.1.5.2 Cenozoica

Las rocas del cenozoico de esta área se componen de sedimentos molásicos, volcanoclásticos y rocas volcánicas dacíticas o andesíticas erupcionadas episódicamente desde el Oligoceno hasta el presente. Las rocas de esta época descansan en una discordancia angular sobre las rocas de las mesozoicas.

4.1.5.2.1 Grupo Tacaza (P-PN)

El termino volcánico Tacaza, fue empleado por primera vez por Jenks (1946), siendo publicado formalmente por Newell (1949) se refiere a una gruesa acumulación de rocas volcánicas, aflorantes en las proximidades de la Mina Tacaza en el Cuadrángulo de Lagunillas. Posteriores investigadores han seguido usando el mismo nombre (García, 1978) habiéndole dado a la unidad la categoría de Grupo.

Se encuentra compuesta por lavas andesíticas porfiríticas con fenocristales de plagioclasas sódica y minerales accesorios biotita, hornblenda de matriz verdosa. El Grupo se halla cercanías al proyecto consiste predominantemente de andesitas gris pálidas a verde, rojo morado de grano fino con abundante plagioclasas. Las lavas más vesiculares están localmente afectadas por un intemperismo intenso, son friables, de color verde pálido, amarillo y anaranjado con vetillas de óxidos de hierro, presentan amígdalas de hasta 10cm rellenas de calcedonia, cuarzo, calcita y raras veces de malaquita, además se exponen grandes secuencias de brechas y bloques de tobas. De acuerdo a datación radiométrica se le asigna una edad Miocena.

4.1.5.2.2 Formación Pichu (P-pi)

Esta secuencia está comprendida por aglomerados violáceos a gris verdosos y calizas lacustrinas con algunos niveles de andesita y más al techo de andesita porfiríticas de color gris. Además de tobas riolíticas, riodacíticas e ignimbritas con menores cantidades de lavas andesíticas y conglomerados.

4.1.5.2.3 Formación Molla (PN-mo)

Esta secuencia está caracterizada por contener andesitas basálticas y grandes bloques de brechas volcánicas y se presenta al final del grupo Tacaza y por debajo del grupo maure. Su edad todavía no se asigna hasta el momento, pero creen que pertenece al Paleógeno superior.

4.1.5.2.4 Grupo Maure (Nm)

La litología de la Formación Maure es variable y consiste en intercalaciones de brechas, conglomerados, areniscas, tobas y limolitas. Las brechas son de naturaleza volcánica y de color oscuro. Los conglomerados son volcánicos de elementos redondeados a subangulosos. Las areniscas y areniscas tobáceas son de grano grueso a fino de color blanco a gris verdoso. Las tobas tienen una coloración blanquecina, amarillenta o salmón. Las limolitas y arcillitas de color marrón se hallan en capas delgadas. Las capas de tobas retrabajadas contienen gran cantidad de fragmentos de lapilli y pómez, los últimos de tamaños mayores a 10 cm. La naturaleza y característica de las capas que integran este grupo indica que los materiales han sido acarreados y depositados por torrentes en un ambiente lacustre, se le asigna una edad comprendida entre 14,2 M.A. y 6,5 M.A. Tosdal (1981), sugieren una edad del Mioceno medio a superior.

4.1.5.2.5 Formación Sencca (N-se)

El volcánico Sencca está constituido por tobas de naturaleza riolítica, y riodacíticas. Las tobas se componen de elementos vítreos, cristalinos y

líticos de un color predominante blanco a blanco grisáceo, encontrándose también tobas rojizas en la parte inferior. Tosdal (1981), reporta una edad K/Ar de $6,5 \pm 0,3$ M.A.

4.1.5.2.6 Formación Capillune (N-ca)

Esta caracterizado por una secuencia lacustrina y formada por conglomerados, areniscas, limolitas, argilitas y algunos niveles piroclásticos. Sus tonalidades van del blanquecino al gris amarillento a verdoso. Las edades geocronométricas de la Formación Capillune son muy ambiguas. Tosdal (1981), reporta edades K/Ar de $7,0 \pm 0,4$ y $3,3 \pm 0,1$ M.A. Plioceno superior.

4.1.5.2.7 Grupo Barroso (Nps)

El Grupo Barroso está formado por una alternancia de derrames y piroclastos. Los mantos de lava son andesíticas a traquiandesitas que varían de 20 a 30 metros de espesor. En la actualidad el Grupo ha sido adoptado dentro de un cartografiado solamente regional en el sur del Perú (Marocco y Del Pino, 1979), la ocurrencia del Barroso está limitada a la Cordillera Occidental. Esta unidad se encuentra compuesta por lavas y tobas de cristales con textura porfiríticas, de color gris y composición andesíticas. De acuerdo a datación radiométrica se le asigna una edad Plioceno.

4.1.5.3 Cuaternario (Q)

4.1.5.3.1 Cuaternario Coluvial

Está compuesta de materiales sueltos o clastos de roca angulosa a

sub redondeados, material producto de la erosión en los afloramientos de roca, no han sufrido transporte grandes distancias. Los bloques angulosos de mayores dimensiones se encuentran ubicados en los valles de flancos escarpados en rocas volcánicas.

4.1.5.3.2 Cuaternario Aluvial

Está compuesta de gravas, arenas y limos inconsolidados, se presentan acumulaciones de este material en los lechos de los ríos y en las zonas de pendiente casi horizontal; es aquí donde se ha acumulado mayor cantidad de material aluvial, ya que los ríos han perdido la fuerza necesaria para transportar materiales gruesos.

4.1.5.3.3 Depósitos Lacustrinas y bofedal

Estos depósitos indican que el nivel del lago ha permanecido a un nivel más alto que en la actualidad, estos depósitos se pueden observar en los cuadrángulos de Pichacani y Acora y consisten mayormente de gravas gruesas bien redondeadas intercaladas con arena y bloques no clasificados de conglomerados. Además de niveles con materia orgánica.

4.1.5.4 Intrusivos

En el área de estudio las intrusiones están representadas por diques, stock porfiríticas y domos; las composiciones de estos cuerpos son diorítica, Monzonítica, monzodiorítica, andesíticas, dacíticas, riolítica y riodacíticas que según dataciones van desde el Paleógeno hasta el Neógeno.

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOSTRATIGRÁFICAS	DESCRIPCIÓN	MORFO ESTRUCTURAS		Rocas Intrusivas		
					COMPLEJO VOLCÁNICO CACACHARA	COMPLEJO VOLCÁNICO BENCASH-PICHU			
CENOZOICA	CUATERNARIO	HOLOCENA	Depósito fluvio-aluvial	Qh-al	Bloques, gravas con clastos redondeados con matriz areno-limosa				
			Depósito de bofedal	Qh-bo	Niveles con materia orgánica y arenosa				
		PLEISTOCENA	Travertino	Qh-t					
			Depósito fluvio-glacial	Qh-fg	Bloques, gravas en matriz areno-limosa				
	NEÓGENO	PLIOCENA	Depósitos morrénicos	Qpl-mo	Bloques angulosos englobados en una matriz areno-arcillosa				
			Grupo Barroso				NQ-ca/ap	Andesita porfirica gris oscura	
			Formación Capillune	N-ca	Tobas retransportadas color amarillento intercaladas con calizas marrones y blancas con materia orgánica			N-bo,pi/l-aba	Lavas Andesíticas basálticas vesiculares
		MIOCENA	Formación Sencca	N-se	Tobas rolíticas blanquecinas y rosadas				
			Grupo Maure	Nm-ma/tb Nm-ma/an Nm-ma/sed	Intercalaciones de niveles de tobas de lapilli con cuarzo, biotita y poméz color blanca y verde por alteración Intercalaciones de niveles andesíticos porfíricos y afaníticos Limoarcillitas, areniscas, conglomerados calizas lacustrinas color marrón				
			Formación Molla	PN-mo	Andesitas basálticas y brechas volcánicas				
PALEÓGENO	EOCENA	Formación Pichu	P-pi/an P-pi	Niveles de Andesita porfirítica gris Aglomerados violáceos a gris verdosos y calizas lacustrinas con algunos niveles de Andesita					
		Formación Hualhuani	KI-hu	Cuarzitas blancas con laminación sesgada y oblicua					
MESOZOICA	CRETÁCEO	SUPERIOR	Formación Arcarquina	Kis-ar	Calizas grises con chert				
		INFERIOR	Formación Murco	KI-mu	Lutitas rojas, verdes, púrpuras y areniscas rojas con laminación oblicua				
	JURÁSICO	SUPERIOR	Formación Gramadal	Js-gr	Calizas grises fosilíferas				
			Formación Labra	Js-la	Areniscas grises con intercalaciones de lutitas y niveles calcáreos				
			Formación Hualhuani	KI-hu	Cuarzitas blancas con laminación sesgada y oblicua				

Figura N° 25. Columna estratigráfica regional del área de estudio (Rodríguez & Palomino & Cuellar Ingemmet 2000)

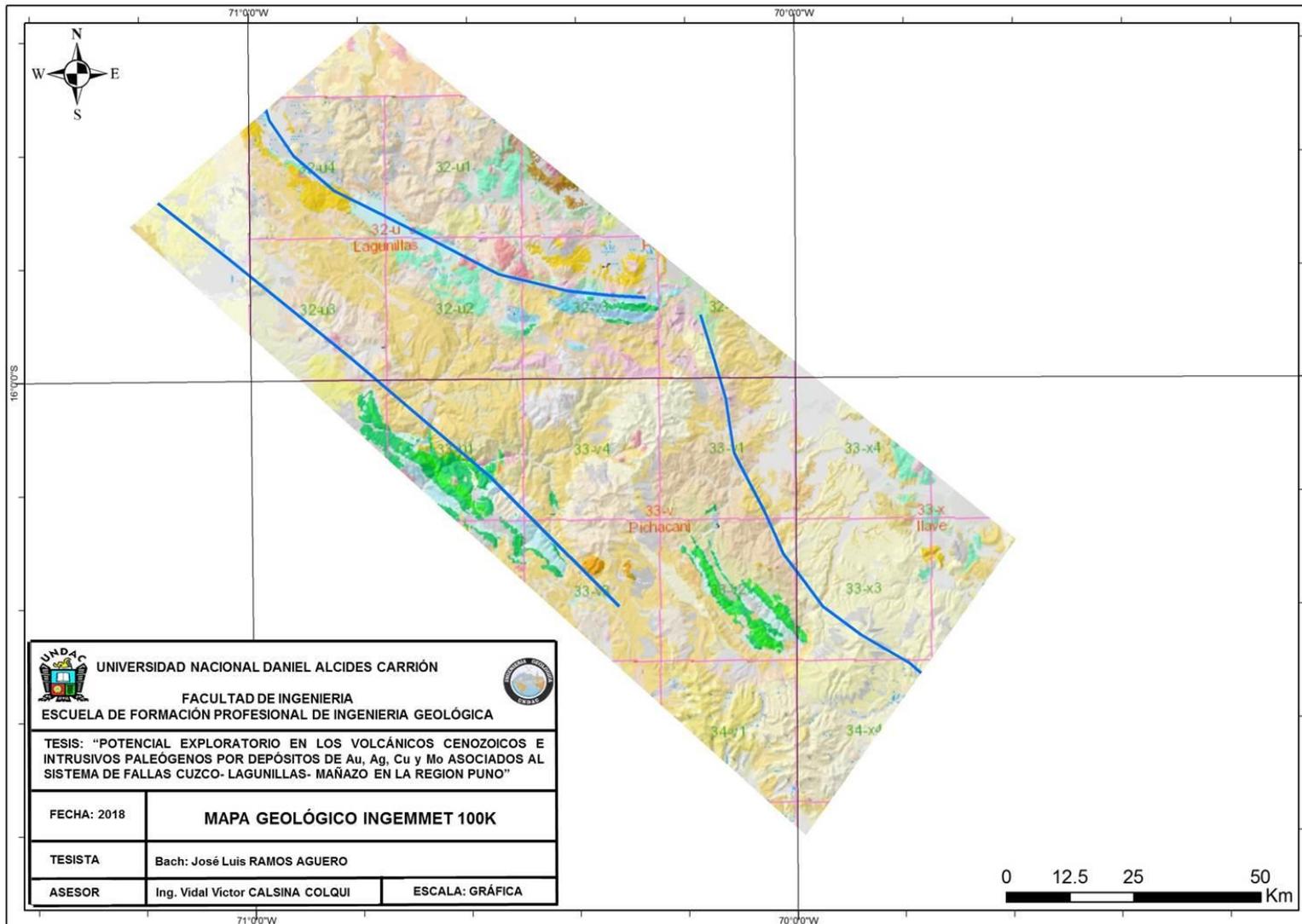


Figura N° 26: Geología 100K –Ingenmet del área de estudio

4.1.5.5 Tectónica y Evolución Orogénica

El Presente región constituye una parte de la cordillera occidental y del altiplano, consiste de rocas mesozoicas superpuestas a rocas del paleozoicas. El ciclo paleozoico comenzó con una sedimentación clástica desde el ordoviciano inferior al devoniano inferior en una cuenca cratónica cuyo eje se cree que estuvo en la cordillera oriental. El inicio de un arco volcánico fue el inicio para el comienzo de la subducción así como el ciclo orogénico andino. El levantamiento de bloques no fue muy uniforme, habiéndose desarrollado cuencas interpuestas con cierto grado de independencia estructural y con sus fallas limitantes actuando como barrera al esfuerzo de la deformación regional.

La cronología de los eventos tectónicos indican que los sedimentos retroarco del jurásico y cretácico de las cuencas Yura y Putina son concordantes. La fase D1 está limitada por una discordancia angular marcada, se nota claramente al N del lago Lagunillas, donde el grupo Puno casi verticalmente infrayace al grupo Tacaza cuya base está datada de 30 Ma, la misma discordancia se puede observar en los cuadrángulos de Puno, Acora e Ilave. La fase D2 Intra Tacaza, se halla mejor expuesta en el área de lagunillas y se data aproximada en 23 Ma de antigüedad con ejes NO-SE se encuentra discordantemente debajo del Tacaza más joven. La fase D3, está definida en 16 Ma. La fase D4, son los pliegues de dirección NO-SE en el grupo Maure (8-11 Ma), sus afloramientos se encuentran al Oeste del corredor Cuzco-Lagunillas-Mañazo.

Durante el mesozoico esta región actuó como una bisagra entre las cuencas deposicionales, también se tuvo un régimen extensional y de deposición en una serie de cuencas de molasas controladas por fallas del cretácico terminal al

mioceno medio.

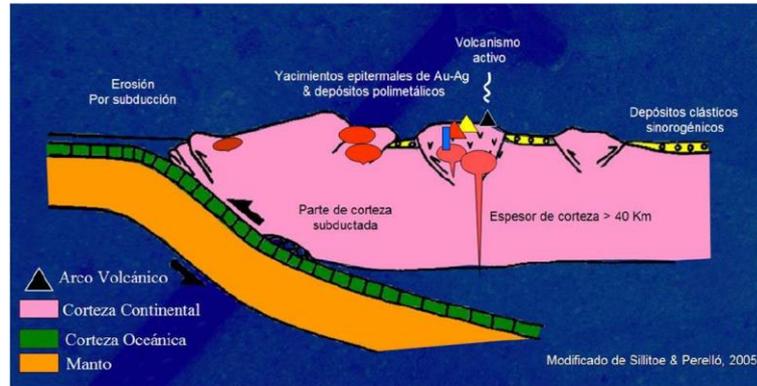


Figura N° 27. Marco tectónico en régimen compresivo para el sur del Perú durante el Mioceno-Plioceno inferior. (Sillitoe- Perello 2005)

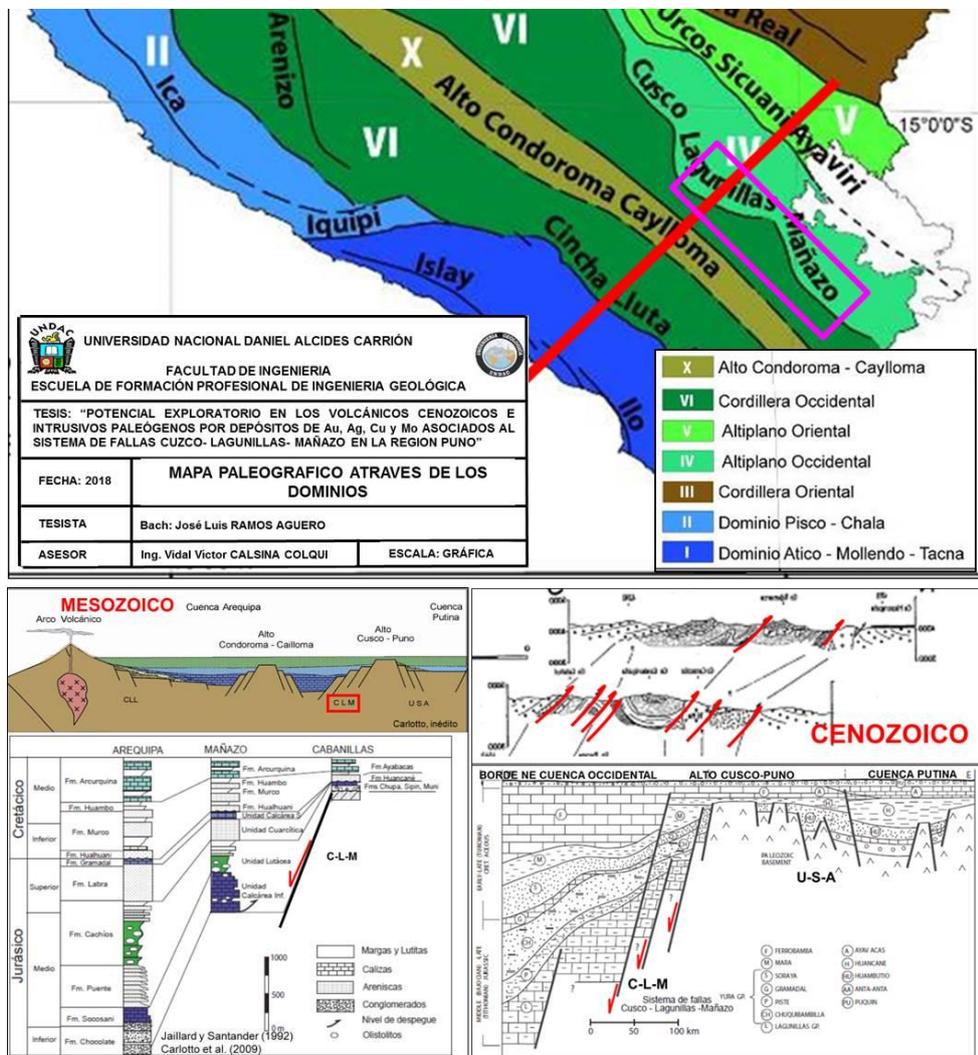


Figura N° 28. Arco volcánico, la CO, ACC, ACP, el sistema de fallas CLM, es un sistema de fallas normales con mucha subsidencia controlando depósitos hemipelagico de la Fm Lagunillas y toda la serie; además En el cenozoico estas fallas normales se invierten de

normales a inversas –rumbo, lo que por si tectónicamente es una zona importante para los magmas y fluidos magmático hidrotermales. (Ingemmet, Carloto 2009)

4.1.5.6 Metalogénia en la Región

El área presenta tres franjas principales:

- **Franja De Pórfidos-Skarn De Cu-Mo (Au, Zn) Y Depósitos De Cu-Au-Fe Relacionados Con Intrusiones Del Eoceno-Oligoceno;** Esta franja se desarrolla en toda su magnitud entre Apurímac y Cusco, en Puno sólo se encuentra un segmento de ella, en la parte central y occidental de la región. Los intrusivos intermedios ácidos están relacionados con la mineralización Cu-Mo (Au). Los intrusivos más básicos están relacionados con las mineralizaciones de Fe-Cu-Au y vetas principalmente de Au-Cu en los intrusivos. Las edades de mineralización están registradas entre 42 y 30 Ma. Es importante mencionar que en la región Puno no se han reconocido ocurrencias metálica relevantes solo se tiene la evidencia de Pinaya.
- **Franja de depósitos epitermales de Au-Ag y depósitos polimetálicos con superposición epitermal del Mioceno;** en el control estructural de esta franja está dado por el alto estructural. Los estudios estratigráficos y estructurales (Velarde et al., 2004; Velarde, 2006), definen el alto estructural dentro la cuenca mesozoica sur peruana, donde los depósitos mesozoico son menos potentes que en la cuenca, es decir al SO y al NE del alto, periodo que corresponde a las evoluciones de las cuencas Tacaza (30-22 Ma) y Maure (22-5 m.a). En consecuencia, la ubicación de centros volcánicos y sobre todo las calderas, que son comunes e importantes en

esta región, así como la mineralización, tiene que ver con este corredor estructural, ya que en el Mioceno las fallas NO-SE han actuado como transcurrentes sinextrales y han controlado el desarrollo de los sistemas.

- **Franja de depósitos epitermales de Au-Ag del Mio-Plioceno;** estos depósitos están caracterizados por los yacimientos de Tucari y Santa Rosa pertenecientes al distrito minero de Aruntani, son los primeros yacimientos epitermales de alta sulfuración descubiertos en la Cordillera Occidental del sur del Perú. Estos se encuentran en la proyección sur de sistema de fallas Condorama-Caylloma y su intersección con fallas menores de dirección E-O, a través de las cuales se han emplazado domos félsicos estratovolcanes con lavas de composición traquiandesítica que hicieron erupción entre 8 y 6 Ma (Barreda et al., 2004). Localmente, la mineralización está controlada por fallas de dirección NO-SE. Contemporáneamente se han emplazado los depósitos de Mazo Cruz, Baños del Indio, Huilacollo, así como el último descubrimiento en el cerro Chucapaca en Moquegua.

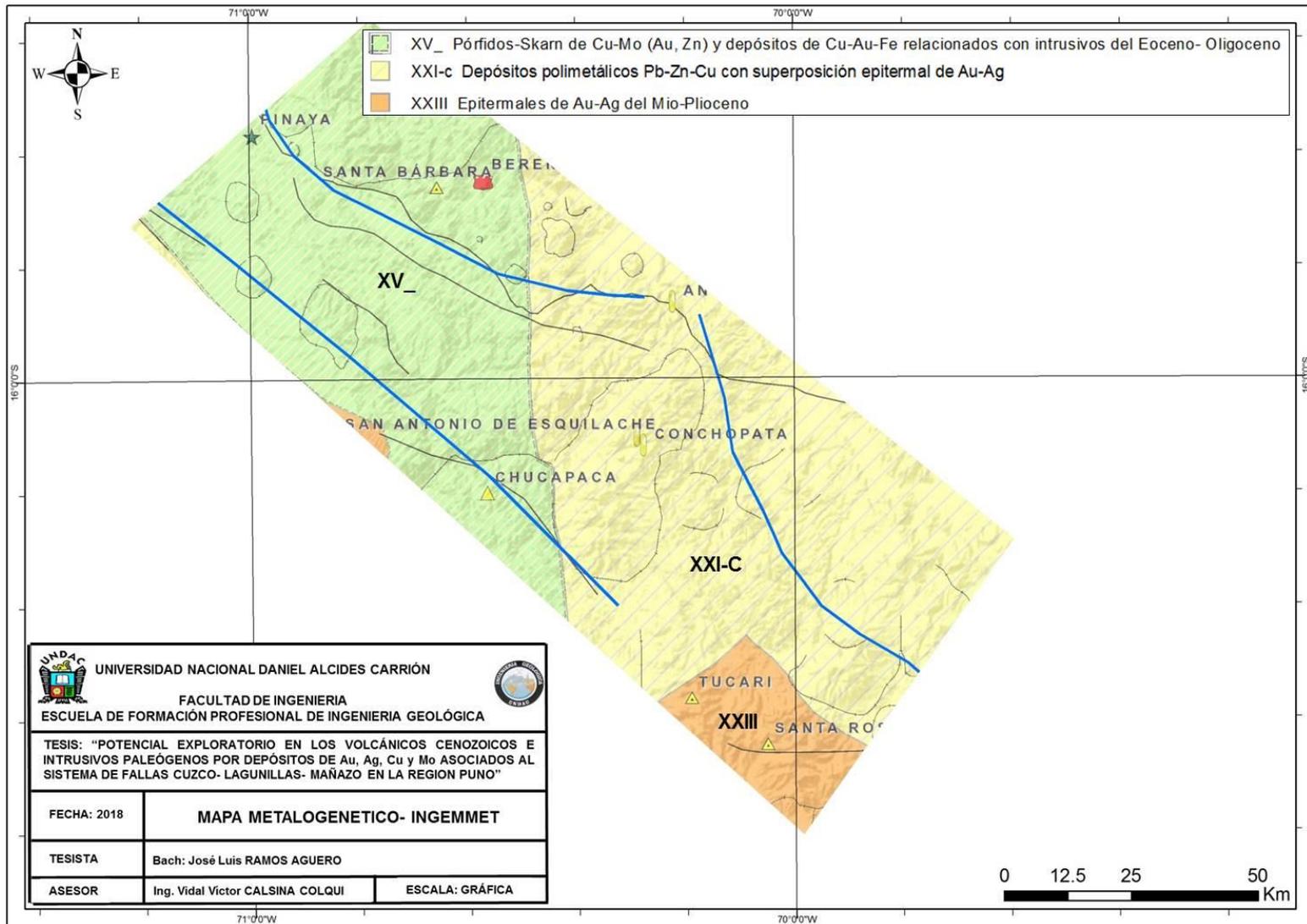


Figura N° 29. Mapa metalogénico del área de estudio- (Ingemmet)

4.1.6 Principales ocurrencias de depósitos minerales en el área de estudio

A continuación se describirá los depósitos, proyectos que se haya en el área de investigación, en la cual veremos su contexto geológico, geoquímico y estructural.

4.1.6.1 Pinaya

4.1.6.1.1 Ubicación

La Propiedad se ubica al sur de Perú, 110 km al nornoroeste de Arequipa y a 7 km del camino de acceso a la mina Tintaya de Xstrata. Los 192 km² de la Propiedad Pinaya abarcan una porción de 25 km de la zona sureste del Cinturón de Pórfidos Andahuaylas Yauri de 300 km de largo y de reciente ocurrencia, a lo largo del extremo noreste de la Cordillera Occidental de los Andes, una extensión del cinturón de pórfidos de cobre de Chile. Este prolífico cinturón peruano alberga a la Mina Tintaya, actualmente en producción, y a otros nueve yacimientos de talla mundial de pórfidos de oro, plata, cobre y molibdeno en desarrollo, que contienen más de 6 mil millones de toneladas de recursos perforados y desarrollados.

4.1.6.1.2 Geología Local

Está conformada por el Grupo Puno compuesto por areniscas, brechas y conglomerados de areniscas cuarzosas. Estas rocas tienen un alto buzamiento, cerca de la vertical. Al Oeste del Grupo Puno

existe un contacto fallado con una secuencia volcánica asignada al Grupo Tacaza de edad posible del Oligoceno, compuesto por un flujo de lava amigdaloides de andesita-basalto. Estas lavas son intruídas por una fase subvolcánica de pórfido andesita de piróxeno que también corta al Grupo Puno. Más hacia el oeste de las rocas volcánicas existe una secuencia sedimentaria de calizas y

Areniscas intercaladas con lutitas con suave buzamiento al SO. Esta secuencia se encuentra en discordancia sobre el Grupo Tacaza. Al Oeste de la secuencia calcárea se presenta una secuencia con buzamiento moderado al este de rocas volcánicas extrusivas (Bradley, 2004) que podrían corresponder al Grupo Tacaza. Hacia el este del Grupo Puno se encuentra una secuencia con buzamiento al NE de alto ángulo que está compuesta por areniscas, grauvacas, conglomerados intercalados con calizas. Una serie de ignimbritas y tobas de ceniza cubren la mineralización porfirítica.

La secuencia sedimentaria y volcánica cambia de dirección de NNO-SSE en el norte a ESE-ONO en el sur. Esta flexura dentro de las rocas hospedantes puede haber ayudado en el emplazamiento y localización del complejo intrusivo Pinaya debido a la extensión formada en esta flexura.

4.1.6.1.3 Rocas intrusivas

Se han identificado cuatro fases intrusivas y cinco fases de brechas. Las fases intrusivas están conformadas por: Pórfido diorítica con hornblenda. Es la mejor fase mineralizada con altos valores de Cu y fuerte

alteración potásica. Se ha reconocido venillas tempranas de biotita, y cuarzo-magnetita-ortoclasa. Pórfido diorita. Presenta una débil mineralización, pero en el contacto con el pórfido diorítica con hornblenda las leyes son más altas. Sus fenocristales tienen una alteración selectiva a biotita. Andesita subvolcánica. Es una fase con una pobre mineralización. Presenta una matriz de grano fino con fenocristales de feldespatos, hornblenda y cuarzo de 1-3 mm. Pórfido andesita de piróxeno. Alberga fenocristales de piróxeno que son más grandes que los de hornblenda. El pórfido es cortado por mineralización de cobre verde esmeralda con clastos de andesita con amígdalas rellenas de cobre.

4.1.6.1.4 Estructuras

Existen fallas de extensión y compresión en Pinaya. Las fallas son pre a pos mineralización inclusive posterior a la ignimbrita que cubre la mineralización del pórfido, cortan todas las litologías, incluyendo el complejo intrusivo Pinaya. Caira (2005) y Murphy (2006) sugieren que las estructuras NE/ENE y ONO/NO se desarrollaron como fallas conjugadas durante la pre-mineralización con un esfuerzo máximo principal de 080 de azimut, relacionado a la convergencia de la Placa Nazca. El emplazamiento del pórfido probablemente ocurrió en un régimen de esfuerzos extensional/transensional asociado con una extensión aproximada E-O relacionada a una subducción roll back como sucede en Chile. Esto podría haber reactivado muchas de las estructuras mayores y producido un interruptor en su cinemática con un componente dextral a lo largo de estructuras ONO/NNO y un componente sinistral a lo

largo de estructuras NNE/ENE.

Las fallas principales generalmente tienen una traza superficial curvilínea que indica que son de alta inclinación y con buzamiento al NE. Una estructura prominente es la falla de escala distrital NO-SE y está compuesta de una serie de segmentos paralelos, cortados por una serie de inflexiones a lo largo de su traza.

4.1.6.1.5 Alteración

En Pinaya ocurren 6 tipos de alteración relacionada a la mineralización: potásica (biotita-cuarzo-magnetita-ortoclasa), argílica intermedia (sericita- illita/esmectita- hematita), fílica (cuarzo- sericita- arcilla-pirita-turmalina), argílica (arcilla-pirita-goethita), propilítica (clorita-epídota-pirita-calcita) y calcosilicatada (granate-vesubianita-epídota-clorita-calcita-manganocalcita-esfalerita-calcopirita-pirita-calcocita-galena-tetrahedrita-tenantita).

4.1.6.1.6 Mineralización y tipos de depósitos

Skarn de óxido de Oro.

Está superpuesto por un enriquecimiento supergénico con control estructural en una alteración fílica dominado por pirita-calcocita-covelita. Las leyes de oro varían desde 1.5 g/Tm en rocas de muestra de canal, hasta 6 g/Tm en estructuras.

Pórfido Cu-Au. Coincide con el complejo intrusivo Pinaya definido por fases múltiples de pórfido diorítico a tonalita , brechas asociadas y una

serie de diques de pórfidos andesíticos. La mineralización está definida por Cu y Au y sigue un corredor principal NNO-SSE y otros corredores secundarios ENE-OSO y ESE-ONO. Las ignimbritas se encuentran cubriendo la meteorización del pórfido Cu-Au Pinaya y el skarn.

La mineralización en Pedro Dos Mil es un segundo pórfido de cobre localizado a 2 Km al este del skarn a lo largo del corredor ENE. El área está dominada por alteración potásica con mineralización hipógena de calcopirita-covelita en el pórfido de tonalita. En esta área son comunes las vetas calcopirita-covelita –ortoclasa que coinciden con los “bulls” de anomalías de susceptibilidad magnética.

Óxidos de oro (zonas de raíz), La mineralización de oro parece ser controlada por la intersección de una serie de fallas NNO con buzamiento de alto ángulo y fallas dextrales ENE. La firma geoquímica está definida en la roca por concentraciones de oro mayor que 500 ppb hasta 18 560 ppb, además de W, Bi y Ba. Estas concentraciones están rodeadas por anomalías de As, Sb, Pb, Zn y Ag. Antiguos trabajos han dejado trincheras mayores que 50 m de profundidad donde el oro se encuentra libre en las vetas que tienen leyes de 1-5g/Tm a 18.56g/Tm. También se encuentra mineralización asociada de tetraedrita-tenantita y galena.

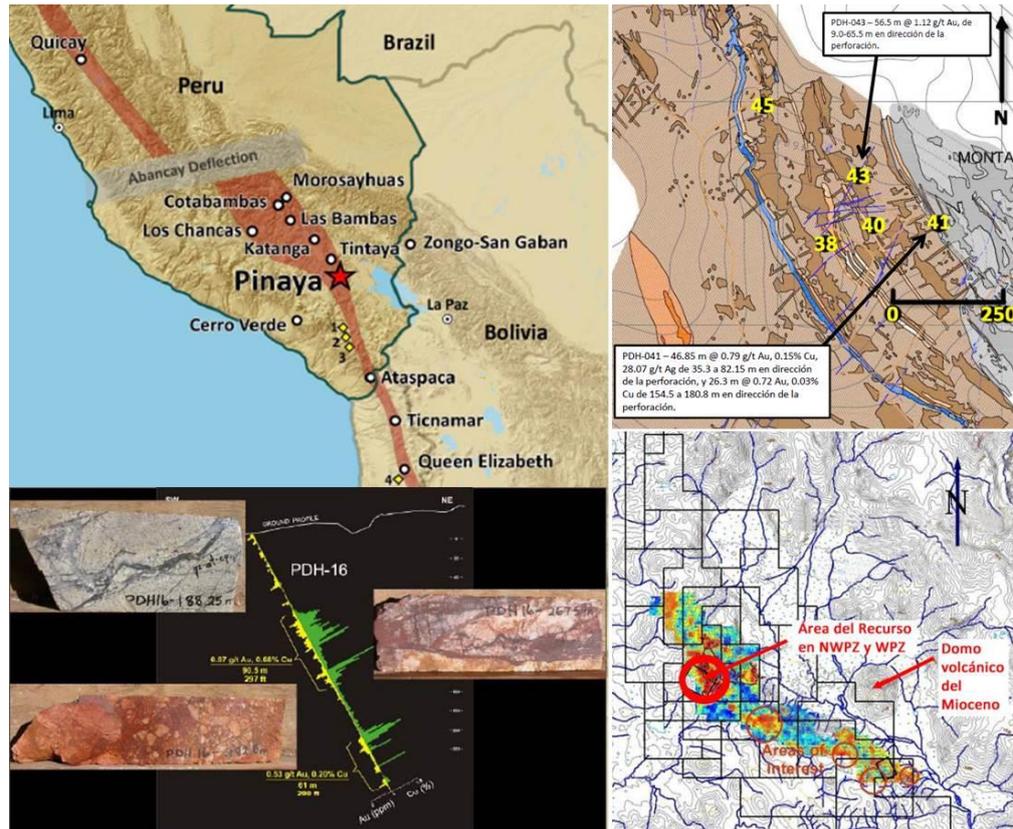


Figura N° 30. Resumen del proyecto Pinaya, ubicación, geología y mineralización
(Kaisen Discovery Inc)

4.1.6.2 Santa bárbara

4.1.6.2.1 Ubicación

Esta mina abandonada se ubica en la localidad de Pucomoro, distrito de Santa Lucia, provincia de Lampa y departamento de Puno, sus coordenadas UTM de referencia son 322,281E y 8'267,358N, a una altitud de 4139 msnm, situada dentro del cuadrángulo de Lagunillas (32-u). El acceso se realiza por la carretera asfaltada Juliaca – Santa Lucia (Ruta PE-34A), se sigue este camino hasta la localidad de Pucomoro, para luego tomar una trocha carrozable hasta las labores.

4.1.6.2.2 Geología

Los afloramientos del área se tratan de estratos volcánico-sedimentarios pertenecientes al Grupo Tacaza de edad Mioceno (Valdivia y Rodríguez, 2001). Esta unidad se compone de coladas de andesitas de textura porfíricas, intercaladas con brechas y coladas de composición riodacíticas. Los volcánicos del Grupo Tacaza fueron cortados por una diatrema constituida por un tufo brechoso de composición dacíticas de coloración blanquecina. (Tumialán, 2000). A lo largo del río Verde se tiene cartografía una falla de dirección N135°, además puede notarse el suave plegamiento de los estratos volcánicos. A nivel local, la mineralización está controlada por fracturas orientadas N75°/60°NE, N128°/90°, N180°/55°E y N30°/70°SE. Se trata de un yacimiento de Ag, Cu y Pb, de tipo filoniano, hidrotermal de alcance epitermal superior - mesotermal inferior, con procesos de enriquecimiento secundario en superficie, hipógeno-primario a profundidad, directamente relacionado a una diatrema volcánica. La alteración se presenta en la zona mineralizada produciendo arcillas por argilización moderada, con fenocristales cloritizados y cortado por venillas de calcita. La mineralización se da en vetas controladas localmente por una falla normal de orientación N30°/70°SE. Estas vetas presentan venillas con óxidos de cobre como malaquita, azurita y neotocita rellenas con bauxita, venillas con esfalerita, galena, calcopirita y cuarzo, venillas con pirita, calcopirita y calcosina rellenas con yeso, y venillas con calcita con orientaciones N75°/60°NO, N128°/90° y 180°/55°E.

4.1.6.3 Santa catalina

4.1.6.3.1 Ubicación

En la localidad de Santa Catalina, distrito de Santa Lucia, provincia de Lampa y departamento de Puno, sus coordenadas UTM de referencia son 322,397E y 8'268,112N, a una altitud de 4173 msnm, situada dentro del cuadrángulo de Lagunillas (32-u). El acceso se realiza por la carretera asfaltada Juliaca – Santa Lucia (Ruta PE-34A), se sigue este camino hasta la localidad de Santa Catalina, se prosigue por una trocha carrozable hasta las labores.

4.1.6.3.2 Geología

En el área existen afloramientos de rocas volcánica-sedimentarias pertenecientes al Grupo Tacaza de edad Mioceno (Valdivia y Rodriguez, 2001). Estas rocas están compuestas por coladas de andesitas de textura porfirítica, con 70% de matriz, intercaladas con brechas de composición andesítica, que presentan una dirección de N10°-30° y buzamiento de 10°-15° hacia el SO. Se ha cartografiado una falla a lo largo del río Verde, además puede notarse el suave plegamiento de los niveles volcánicos.

4.1.6.3.3 Mineralización

Está controlada por fracturas orientadas N78°/90°, N70°/82°NO, N175°/78°NE, N165°/80°NE, N100°/88°NE y N90°/90°.

4.1.6.3.4 Alteración

se produce en las andesitas presentando la argilización de la matriz y los feldespatos a arcillas, estando asociado a óxidos de hierro con alteración supergena, y venillas de cuarzo por silicificación. La mineralización se presentan en forma de vetas de 0.5 m de ancho, orientadas en N78°/90° y N70°/82°NO, y controlada localmente por la falla N175°/78°NE. Estas vetas muestran mineralización de óxidos de cobre como crisocola, malaquita y neotocita, también óxidos de cobre con galena (UTM 322,300 y 8°268,310N). Además, se observan venillas de 2 cm de ancho con cuarzo gris y blanco con bornita, malaquita y óxidos de manganeso, venillas de 1 cm de ancho con calcopirita y bornita, y venillas de 2 cm de ancho con óxidos de cobre.

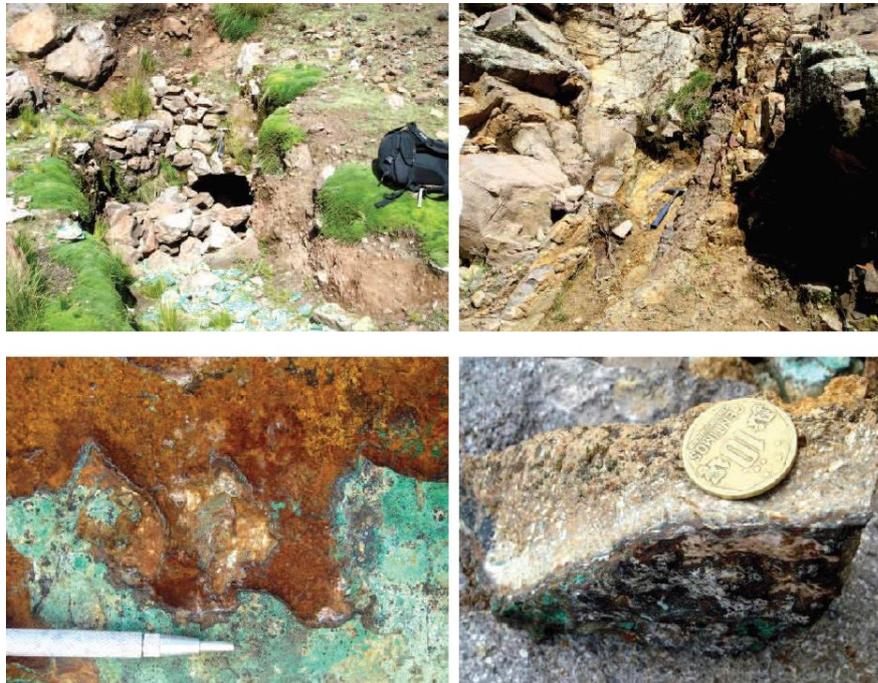


Figura N° 31. Arriba, vista de las labores de la mina abandonada Santa Catalina y detalle de una veta con óxidos de hierro. Abajo, detalles de la mineralización con óxidos de cobre y venillas con cuarzo y bornita. (Ingemmet)

4.1.6.4 Berenguela

4.1.6.4.1 Ubicación

El depósito de Berenguela se ubica en el distrito de Santa Lucía, provincia de Lampa, departamento de Puno a una altura promedio de 4 200 msnm.

4.1.6.4.2 Geología

En la zona de Berenguela afloran rocas calcáreas de la Fm Ayabacas del Cretácico medio tardío, lutitas y rojas margosas y areniscas del Grupo Vilquechico del Cretácico superior, anteriormente reconocido como Grupo Moho (Newel, 1949). En discordancia angular suprayace el Grupo Puno del Paleoceno superior – Eoceno (Sempere, 2004), localmente está formado por areniscas de color rojo en la parte basal y conglomerados de cuarcita y andesita en el tope. El Grupo Puno está cubierto parcialmente por rocas volcánicas e intrusivas de los Grupos Tacaza del Oligoceno y Sillapaca del Mioceno (Clark et al., 1990).

4.1.6.4.3 Mineralización

El yacimiento se encuentra en calizas, localmente son manganíferas, y suprayacen a lutitas rojas con yeso. El depósito Berenguela de Ag-Cu comprende varios cuerpos masivos a stockwork de óxidos de manganeso que tienen una orientación O-NO y están alojados en una secuencia de calizas grises de la Fm. Ayavacas. Los minerales de cobre y plata están asociados con las concentraciones de óxidos de Mn. Candiotti y

Castilla (1983) propusieron que los metales base y preciosos fueron adsorbidos por los óxidos de Mn (principalmente criptomelano y torodokita) de las calizas a partir de la percolación de soluciones ricas que lixiviaron morrenas suprayacentes con clastos de sulfuros erosionados del stock Limón Verde. Por otro lado, Klinck et al. (1986) y Fletcher et al. (1989) postularon que los cuerpos de Mn-Cu-Ag reemplazaban calizas falladas y la mineralización estaba controlada por sumideros que se formaron por erosión kárstica de las calizas. Clark et al., 1990 coincide con el concepto que los cuerpos de Berenguela resultaron de un metasomatismo de rocas carbonatadas controladas por fracturas, sin embargo, dedujo que la mineralización tiene una relación directa a una intrusión subvolcánica. Su afirmación estuvo basada en un afloramiento de diques y lentes de brechas freáticas polifásicas en las inmediaciones del área de la mina. En el borde norte del principal tajo abierto de la mina, fue obtenida una edad Oligocena tardía (26.8+/-1.3 Ma) en la hornblenda de un dique traquiandesítico cortado por numerosas vetillas ricas en Mn. La naturaleza de esta roca inalterada sustenta que fue emplazada siguiendo la mineralización, considerando a Berenguela como un depósito del Oligoceno tardío, posiblemente coetáneo con las vetas de cobre en el área de Limón Verde (Clark et al., 1990).

4.1.6.5 San Gabriel

4.1.6.5.1 Ubicación

Políticamente, el proyecto San Gabriel se encuentra ubicado en el Distrito de Ichuña, en la Provincia de General Sánchez Cerro

y Región Moquegua, a aproximadamente 837 km de Lima y 115,5 km de la ciudad de Moquegua

4.1.6.5.2 Geología

La geología del yacimiento está dominada por unidades sedimentarias muy plegadas del Grupo Yura, que albergan la mineralización asociada a una diatrema, cerca del margen occidental del complejo volcánico Chucapaca. Al este y sur este de la diatrema, tienen lugar un domo riolítico y dos diques del referido complejo volcánico. El domo presenta textura afanítica (grano fino) y bandeamiento de flujo. Los diques riolíticos presentan una textura más afanítica.

La diatrema y la mineralización asociada se localizan en el cierre noroccidental de un anticlinal con rumbo noroeste (NO), denominado anticlinal Canahuire. El anticlinal Canahuire tiene un eje con rumbo noroeste, con una tendencia aproximada de N 105°-120° y un plano axial vertical. El anticlinal es discontinuo en el área de la diatrema y exhibe dos ejes subparalelos, separados 350 m aproximadamente

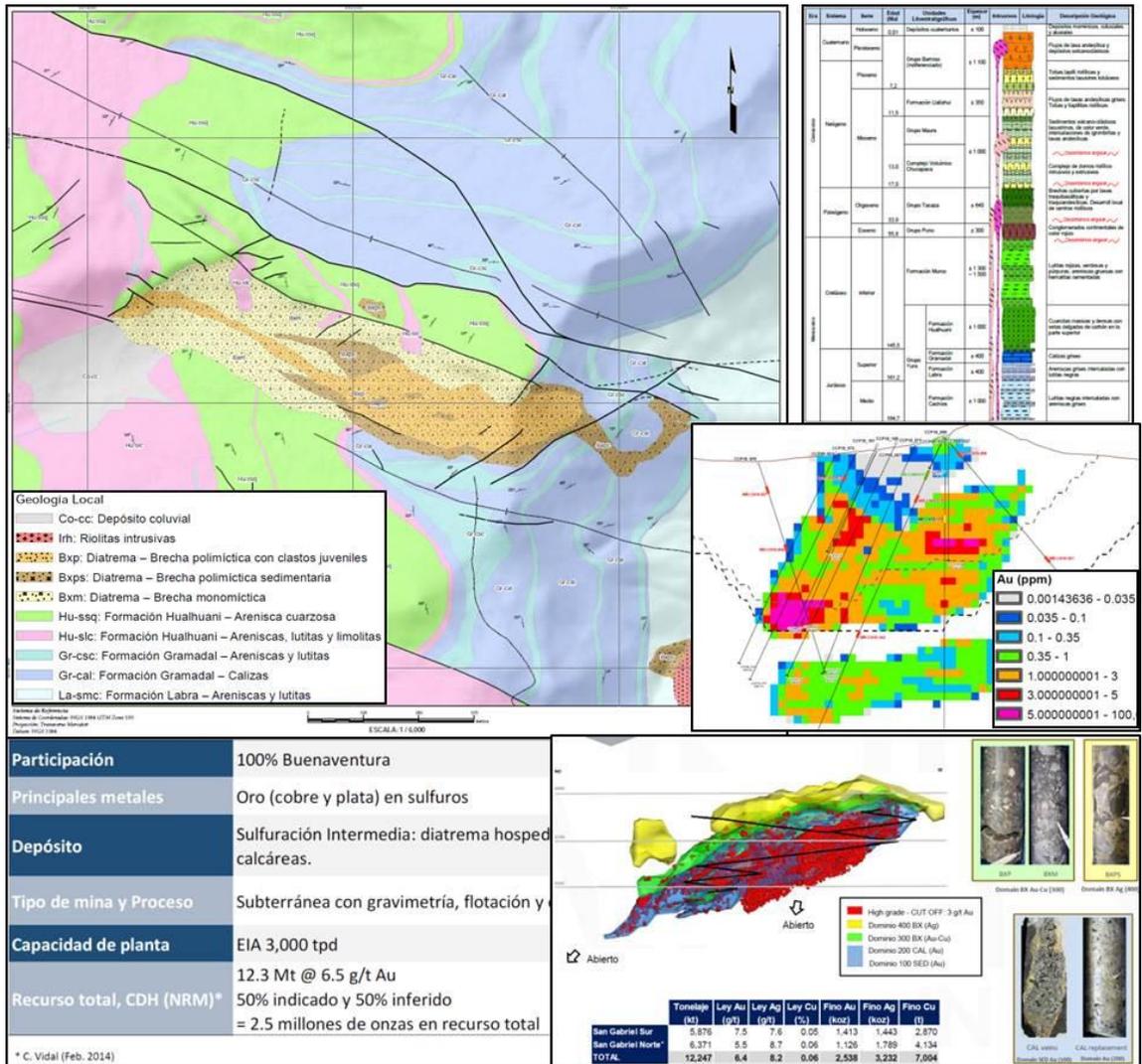


Figura N° 32. Resumen del proyecto San Gabriel, ubicación, geología y mineralización (Buenaventura)

4.1.6.6 Tucari- Santa Rosa

4.1.6.6.1 Ubicación

Tucari y Santa Rosa se encuentran en el Distrito Minero Aruntani ubicado en la provincia y departamento de Puno en el límite del departamento de Moquegua. Los yacimientos se encuentran en la base del Grupo Barroso conformado por domos félsicos y estratovolcanes de

traquiandesita de edades que van desde 8.3, 7.0, 7.1, 6.6 Ma (France et al. 1985, Bradfor 1999 en Barreda et al., 2004)

4.1.6.6.2 Geología

La mineralización en Santa Rosa está relacionada con el margen de un domo riolítico y emplazada en tobas riolíticas y laminares, lavas riolíticas y riódacíticas, andesitas y traquiandesitas. La mineralización presenta un control litológico y estructural, controlada por la Falla Cotañani de rumbo NO.

4.1.6.6.3 Alteración y mineralización

Tucari se ubica a 20Km al NE de Santa Rosa, la alteración corresponde al emplazamiento de intrusiones dacíticas en un complejo estrato volcánico andesíticos. Las alteraciones hidrotermales están conformadas por centros de sílice masiva representada por múltiples etapas de brechas hidrotermales, las cuales están rodeadas por sílice granular y alteración argílica avanzada. En la periferie se presentan zonas de alteración argílica. La mineralización ha sido controlada por fallas NNE y E-O. Las morrenas y coluviones ubicados en el flanco sur, también se encuentran mineralizados y con contenido promedio de 2 g/t Au.

En Santa Rosa se ha determinado una edad de mineralización en alunita que corresponde a 7.16 Ma (UBC, 2004 en Barreda et al., 2004). La edad de mineralización en Tucari es más joven que en Santa Rosa y fue datada en alunita en 4.61 Ma. En alunita (UBC, 2004 en Barreda et al., 2004).

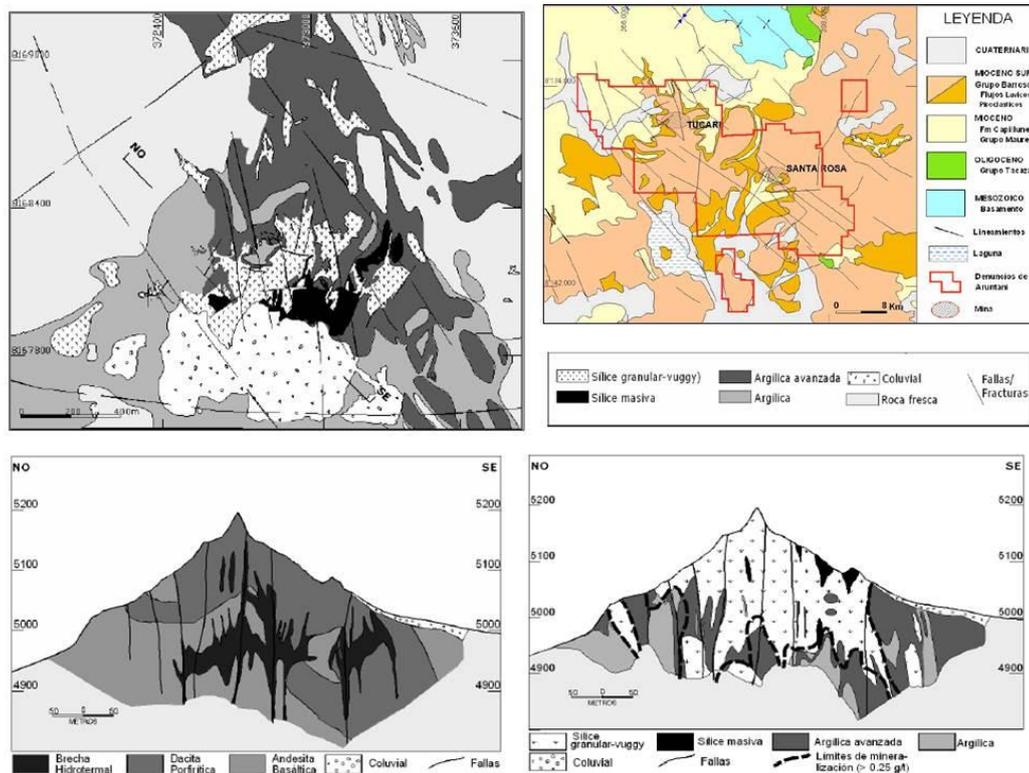


Figura N° 33. Resumen del proyecto Tucari- Santa Rosa, ubicación, geología y mineralización. (Aruntani)

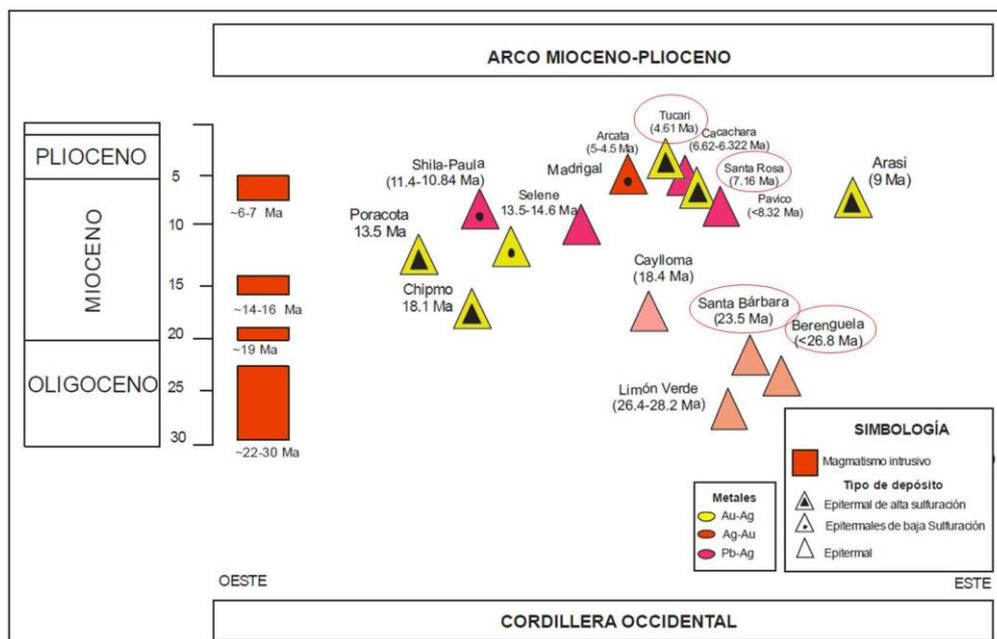


Figura N° 34. Resumen donde se muestra la Relación espacio-tiempo entre los tipos de yacimientos y magmatismo asociado en la Cordillera occidental del sur del Perú.

(Ingemmet- Acosta et al)

4.2 Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.2.1 El vulcanismo cenozoico e intrusivos paleógenos asociados a depósitos de Au, Ag, Cu y Mo en el corredor de sistema de fallas cuzco-lagunillas- mañazo

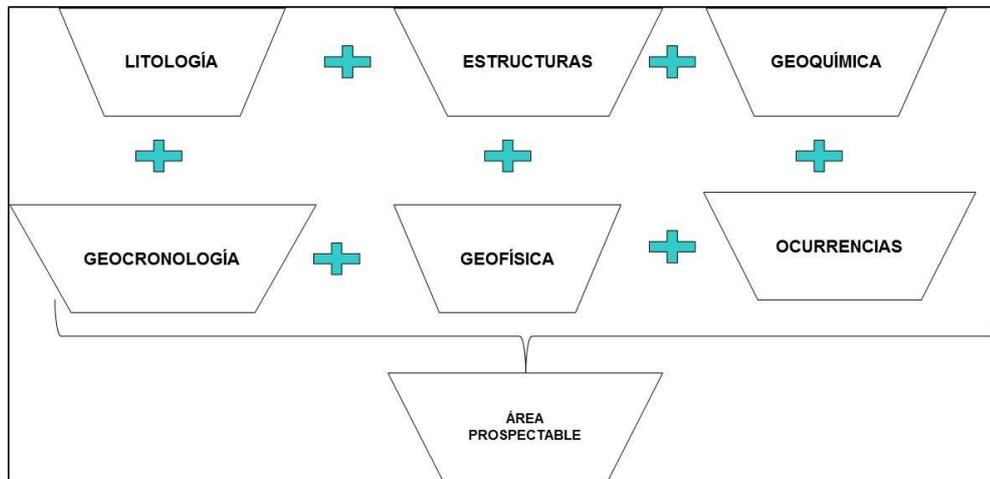
Se consideraron conceptos de análisis Lógico simple para evaluar los diferentes elementos disponibles para el estudio, también se analizaron diferentes operaciones para obtener resultados válidos.

Entendemos como el análisis realizado para asignar valores abstractos a entidades relacionadas entre sí, en el caso de la geología asignamos variables (denominados "pesos") que para Mantener una relación de importancia según el modelo geológico utilizado (para este caso: se usó las ocurrencias de Pinaya).

Un ejemplo simple de asignación de valores difusos se muestra a continuación para diferentes modelos geológicos donde un tema es más importante que otro para alguna razón "geológica".

A continuación, para asignar un "peso" a las variables temáticas (dividido en capas) se ha utilizado diferentes Operadores aritméticos y / o lógicos para obtener los valores finales a analizar. Para nuestro caso, se ha elegido la Operación más simple: la suma, donde el valor final más alto de la suma indica un área con Mayor cantidad de "pesos" altos (valor "cuantitativo"), también se usó una suma "cualitativa". Los valores presentes en el modelo ha sido considerados (en la suma "cualitativa" hay variables que han considerado y que no están presentes en el modelo pero en las otras áreas

del área de estudio.



Cuadro N° 02 Resumen de la forma de análisis en un área prospectable

4.2.1.1 Análisis de los Volcánicos cenozoicos e Intrusivos paleógenos

En el área se ha podido identificar algunos eventos magmáticos intrusivos entre el Oligoceno (~30 Ma) y el Mioceno (~6 Ma) emplazados entre dos sistemas regionales de fallas NO-SE: Sistema de Fallas San Gabriel- Aruntani y Sistema de Fallas Cusco-Lagunillas-Mañazo. Durante el Mioceno-Plioceno se formaron yacimientos epitermales de Au-Ag y polimetálicos Pb-Cu-Zn en un marco tectónico compresivo debido a una subducción plana (Sillitoe & Perelló, 2005), donde la corteza continental tenía un espesor mayor que 40 Km.

En esta capa se determinó un área de estudio geológicamente prospectable, considerando su característica geológica regional, que considera la probable existencia del modelo geológico propuesto en otras áreas.

Sobre la base de la información disponible, se realiza un análisis en base al modelo y determinamos por grupos en ello obtuvimos una matriz de

favorabilidad, Toda la información ha sido "cortada" y planteada en un programa de ArcGis para su análisis entre contactos de dichas rocas. Esta capa tiene su particularidad, se determinó que los contactos Intrusivos (Paleógenos) y los contactos volcánicos Cenozoicos tienen una influencia hacia adentro (2Km) y hacia fuera (5Km).

4.2.1.2 Análisis de la Geoquímica del Au, Ag, Cu y Mo del área de Estudio

Habiendo recolectado >1500 muestras de roca y >50 muestras de sedimentos de drenaje durante la etapa de estudio se definieron algunos blancos de exploración por los depósitos en mención anteriormente.

No toda área de alteración encontrada genera un prospecto, ni toda anomalía geoquímica lo es. Un área de alteración puede no contener mineralización de ningún tipo, ni siquiera evidencia de elementos traza que indiquen un depósito a profundidad. Por su parte, una anomalía geoquímica puede provenir de estructuras (vetas) o ser de tamaño pequeño, por lo que por su extensión y/o ley puede no representar algo de interés.

Un área prospectable se define cuando coincide una anomalía geoquímica metálica (Au, Ag o Cu/Mo), de metales base (Pb, Zn, Mo) y/o de elementos traza (As, Sb, Bi, Hg, Ba, Mn, Te) con un área de alteración mapeable, aunque no sea obviamente visible. Mientras mayores sean los tamaños de la alteración y de la anomalía geoquímica, mayor prioridad tendrá el prospecto. Mientras más complejos sean los ensambles de la

alteración, mejor. Si el prospecto es anómalo en varios elementos a la vez y/o si muestra zoneamiento entre minerales, aún mejor.

4.2.1.2.1 Anomalía del Oro:

Seis Áreas prospectables fueron identificadas, en el sector Norte cuerpos intrusivos paleógenos relacionados con deposición de Oro y Cobre; en la deflexión Central las intrusiones paleógenos y los volcánicos cenozoicos están asociados a una mineralización de oro, en el sector sur este la continuación de la anomalía y en el lado sur oeste la mineralización de oro está relacionado a cuerpos o domos paleógenos que cortan secuencia volcánico –sedimentaria mesozoica las cuales están asociados a una mineralización de oro, y finalmente en el sector sur la mineralización de oro está asociado a volcánicos cenozoicos.

4.2.1.2.2 Anomalía de la Plata:

Ocho Áreas prospectables fueron identificadas, en el sector Norte y central de la deflexión estructuras mineralizadas y cuerpos intrusivos paleógenos relacionados con deposición de la plata; y en el lado sur la mineralización de Plata está relacionado a cuerpos o domos, estructuras que cortan secuencia volcánico.

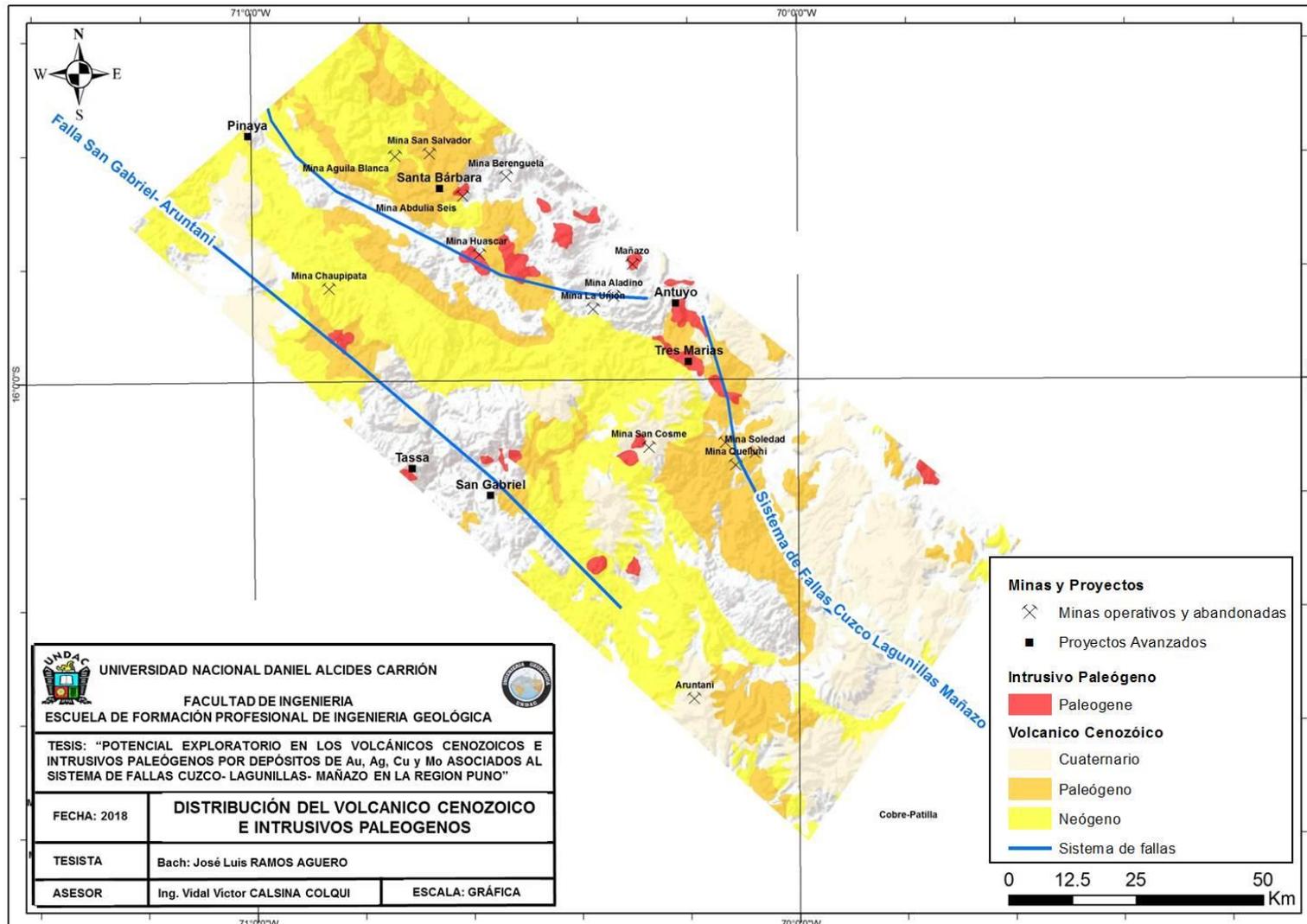


Figura N° 35. Mapa geológico donde se está mostrando los volcánicos cenozoicos cortados por intrusiones paleógenos (Ingemmet)

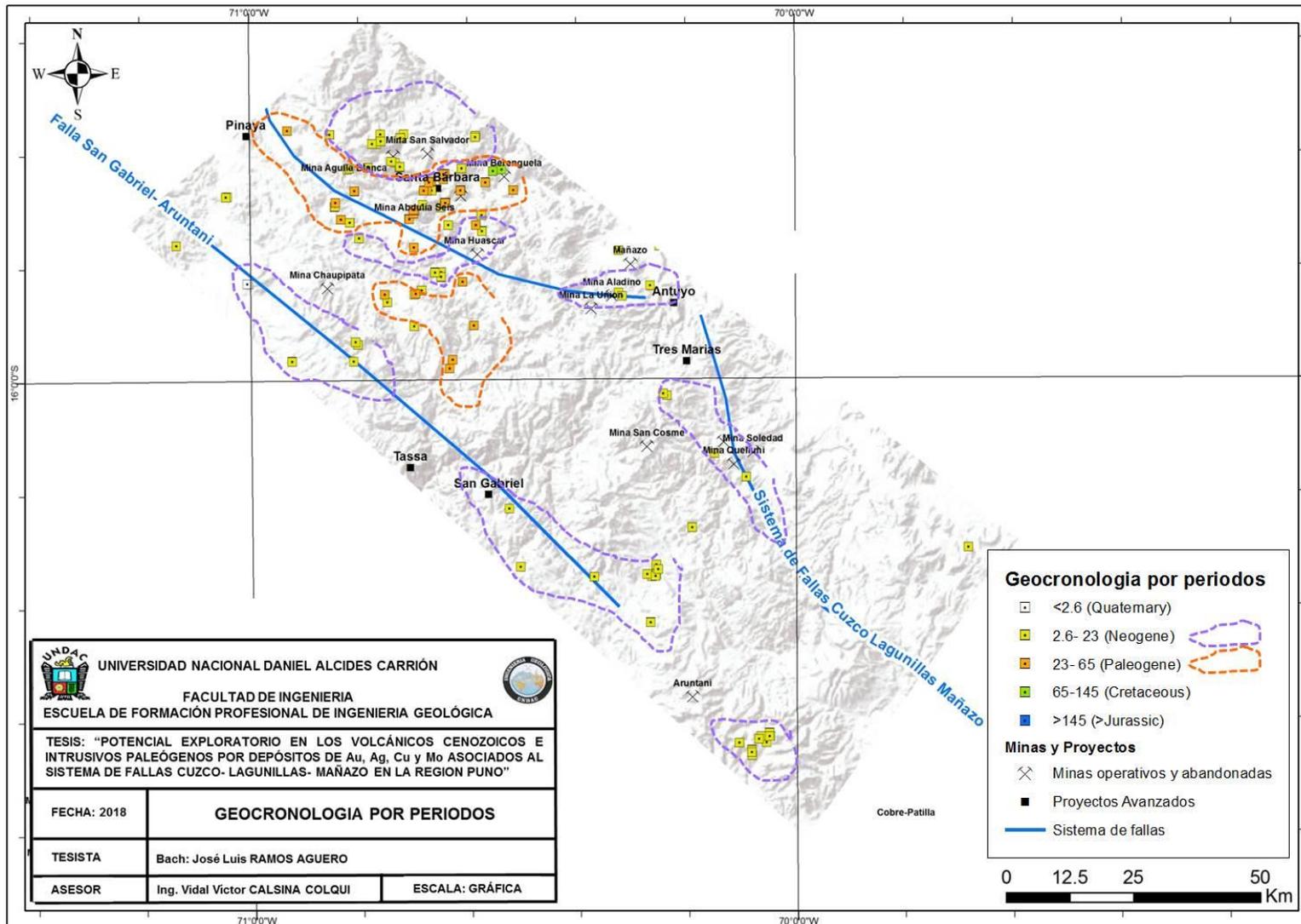


Figura N° 36. Mapa geocronológico mostrado en periodos (Ingemmet) y breve interpretación de cluster y/o zonas favorables

4.2.1.2.3 Anomalía del Cobre:

Tres Áreas prospectables fueron identificadas, en el sector Norte y central de la deflexión estructuras mineralizadas y cuerpos intrusivos paleógenos relacionados con deposición de cobre; y en el lado sur la mineralización de Cobre está relacionado a cuerpos o domos paleógenos y estructuras que cortan secuencia volcánico cenozoico.

4.2.1.2.4 Anomalía del Molibdeno:

Tres Áreas prospectables fueron identificadas, en el sector Norte y central de la deflexión zonas mineralizadas y cuerpos intrusivos paleógenos relacionados con deposición de cobre; y en el lado sur la mineralización de Cobre está relacionado a cuerpos ácidos o domos de edad paleógenos.

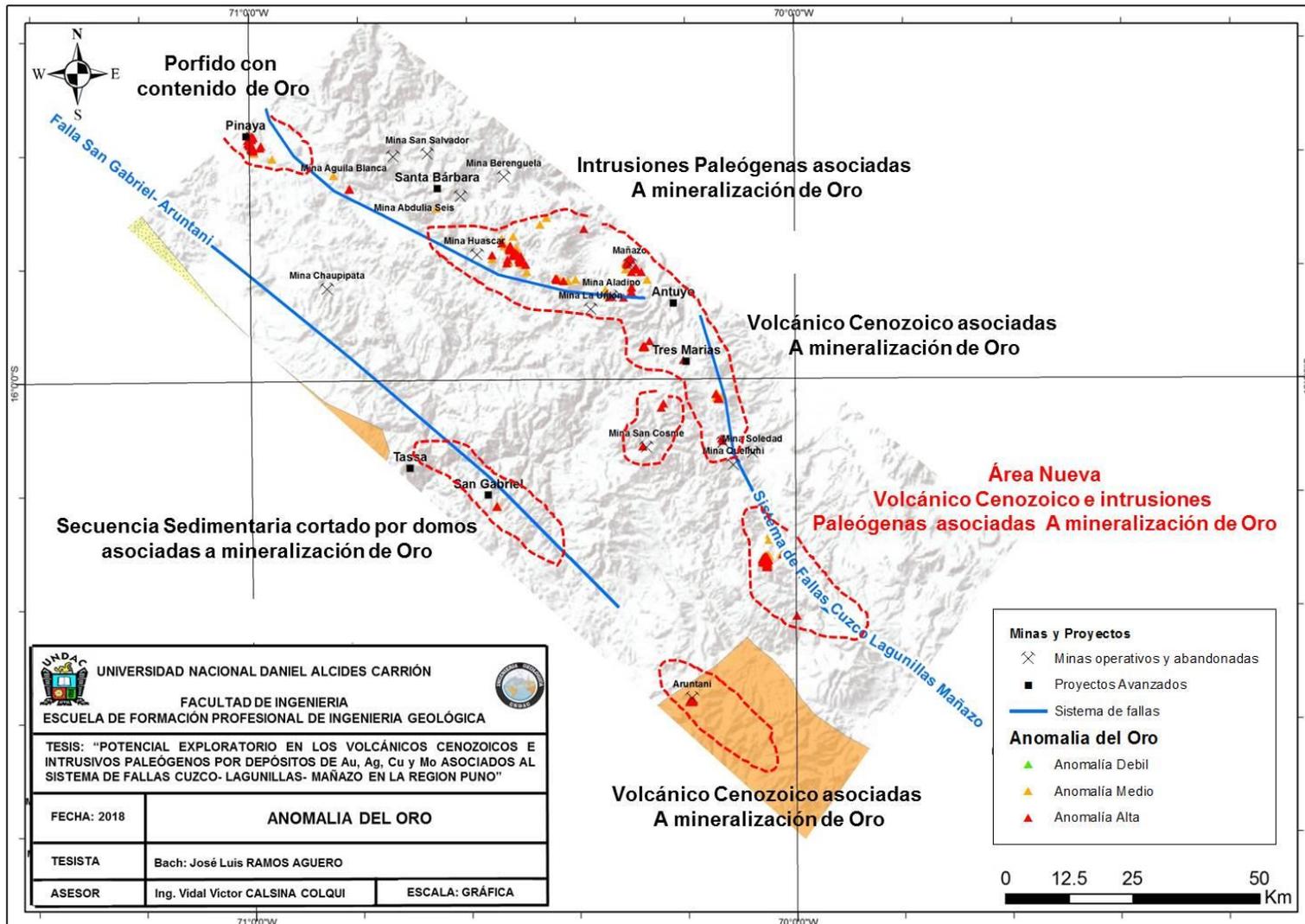


Figura N° 37. Mapa donde se muestran las áreas anómalas en oro (Ingemmet) e interpretación Ramos J.(2018)

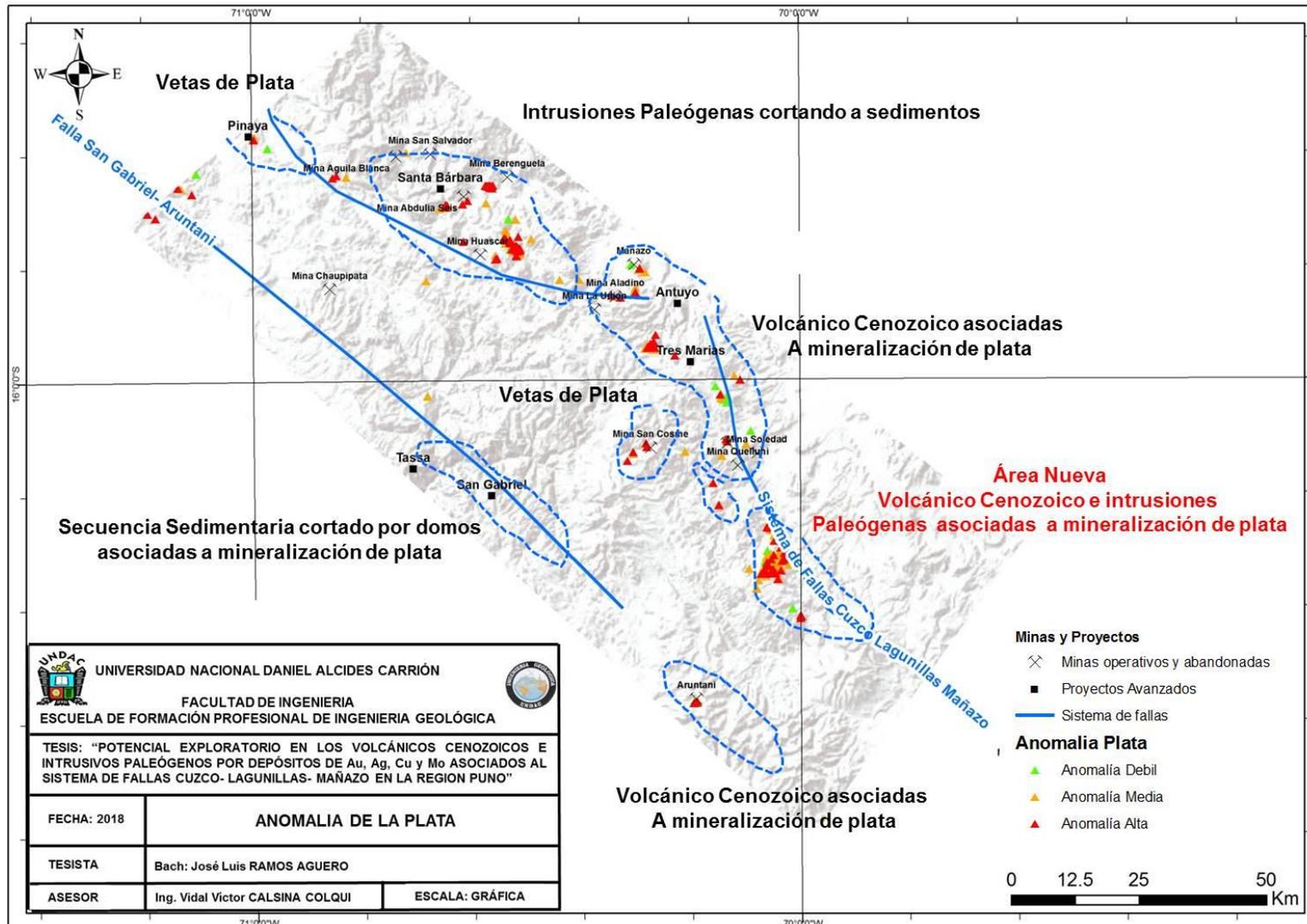


Figura N° 38. Mapa donde se muestran las áreas anómalas de plata (Ingemmet) e interpretación Ramos J.(2018)

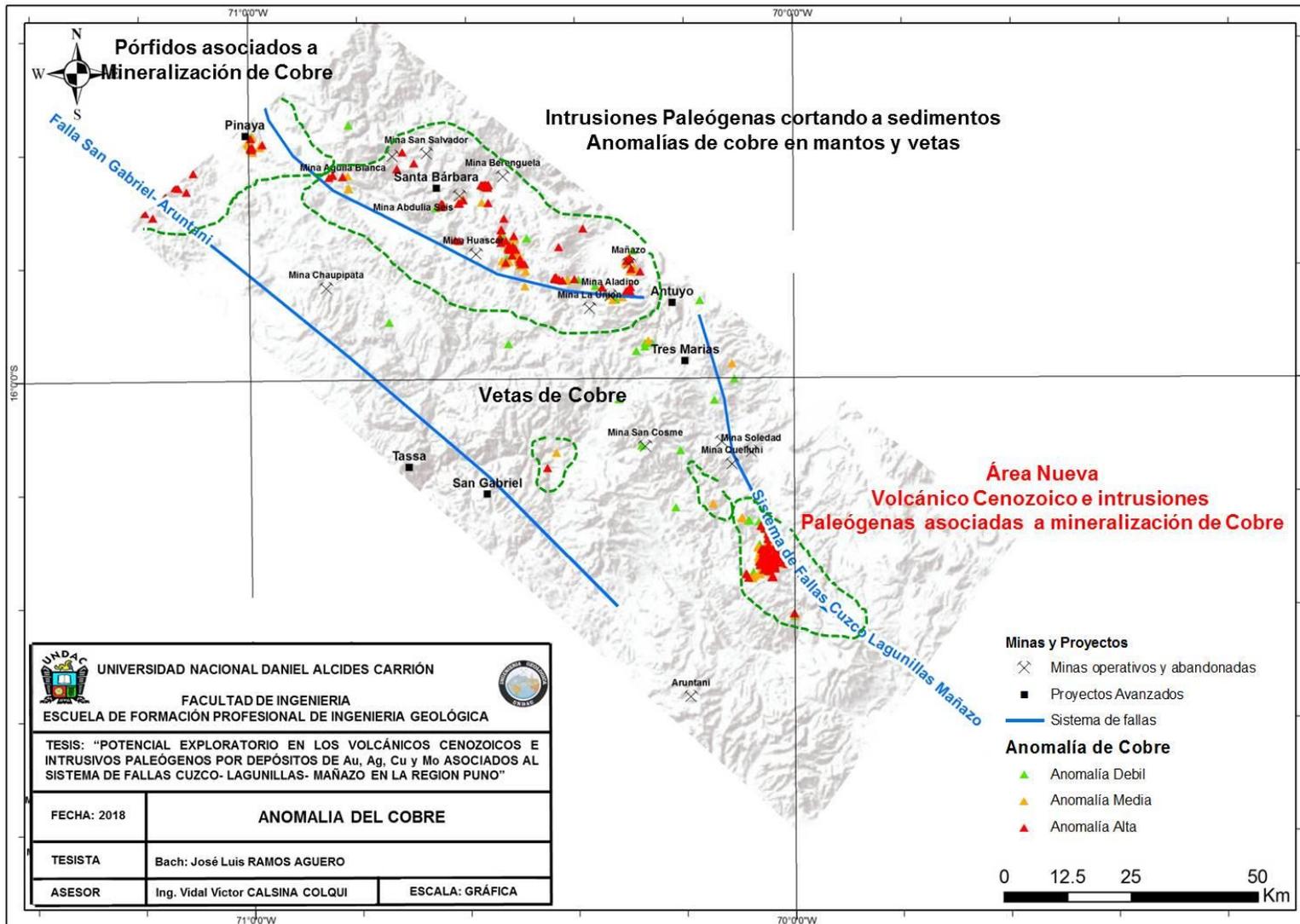


Figura N° 39. Mapa donde se muestran las áreas anómalas en cobre (Ingemmet) e interpretación Ramos J.(2018)

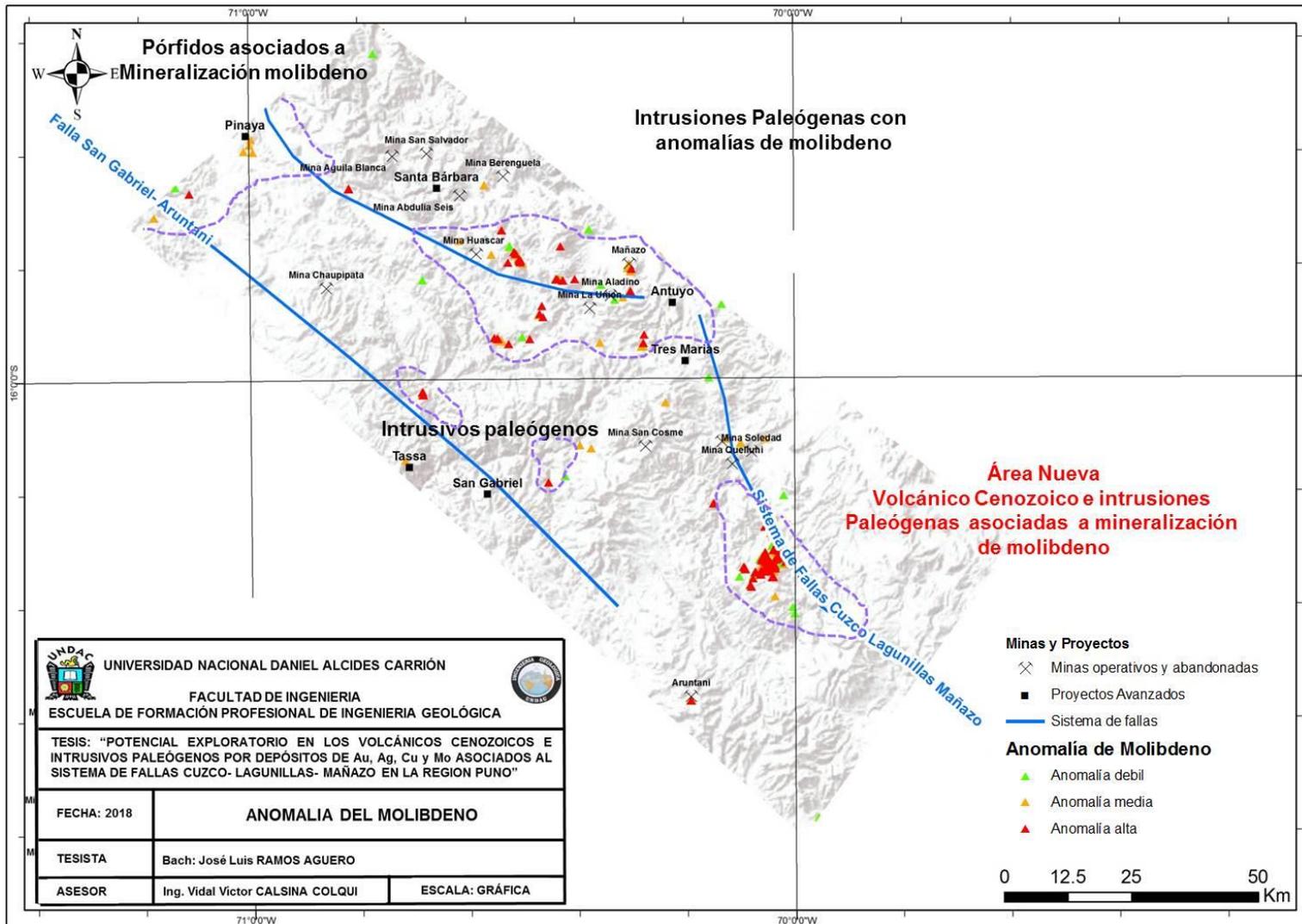


Figura N° 40. Mapa donde se muestran las áreas anómalas en molibdeno (Ingemmet) e interpretación Ramos J.(2018)

4.2.1.3 Análisis de las Ocurrencias de depósitos de Au, Ag, Cu y Mo asociados al sistema de fallas cuzco lagunillas- mañazo.

Estos datos son de tipo puntual y determinamos un radio de influencia de 2 km, Se recopiló en una sola capa los diversos sucesos minerales y se le asignaron valores.

Parte del trabajo inicial en la franja fue actualizar, limpiar (había más de un punto para una misma ocurrencia, por ejemplo), validar y reubicar las ocurrencias dentro del área de estudio.

Los ejemplos más prácticos son: la actualización de San Gabriel, Tassa de simple “ocurrencia” a “Proyecto Avanzado”, la creación de la nueva área como ocurrencia, Esta actualización nos permitió conocer también los tipos de mineralización existentes en el área: Alta Sulfuración de Aruntani, el pórfido de Pinaya; vetas/estructuras relacionados a complejos volcánico cenozoico cortado por intrusivos paleógenos como Tres Marías y Minas Ccori; relacionados a brechas en Larepata y la nueva área, etc. además de los minerales de mena y el tamaño de los depósitos en cada caso.

4.2.1.4 Análisis estructural del Sistema de fallas Cuzco-Lagunillas- Mañazo

La complejidad estructural y litoestratigráfica también es una característica de los prospectos importantes. Diversas generaciones de pliegues, diques, fallas y/o brechas, que se cortan y cruzan entre sí son indicio de un sistema complejo, de larga vida y mucha energía. Una columna litoestratigráfica conteniendo rocas de diferente edad,

composición y origen puede generar ambientes favorables para el transporte y entrapamiento de fluidos mineralizantes.

Esta capa tiene una interpretación de fallas mayores y fallas menores, las primeras fueron Una influencia de 5 km a cada lado y los menores se les dió una influencia de 2.5 km, un Valor de 0 a 3.

4.2.1.5 Geofísica regional del área de estudio

La data del estudio Airborne Magnetic existente en la base de datos nos permitió identificar las estructuras principales regionales (lineamientos, fallas, contactos, etc.) que delimitan los bloques regionales de rocas de diferente composición (vulcanismo vs. intrusivos vs. rocas sedimentarias) basadas en sus respectivas respuestas magnéticas. Al cruzar esta información con la data de interpretación estructural hecha previamente por consultores y expertos, se definió, validó y mejoró las principales estructuras del área de estudio, tal como el juego de fallas Cusco-Lagunillas-Mañazo, así como los quiebres por estructuras trans-arco, que son muy prospectables en sus intersecciones con las fallas de rumbo andino o en sí mismas al actuar como corredores para el ascenso de intrusión/mineralización.

Se entiende que las fallas previamente mapeadas y/o identificadas que no coinciden con los lineamientos (quiebres) magnéticos no son de gran profundidad (y por ende no son de gran importancia) mientras que las que sí coinciden son muy prospectables por ser suturas profundas.

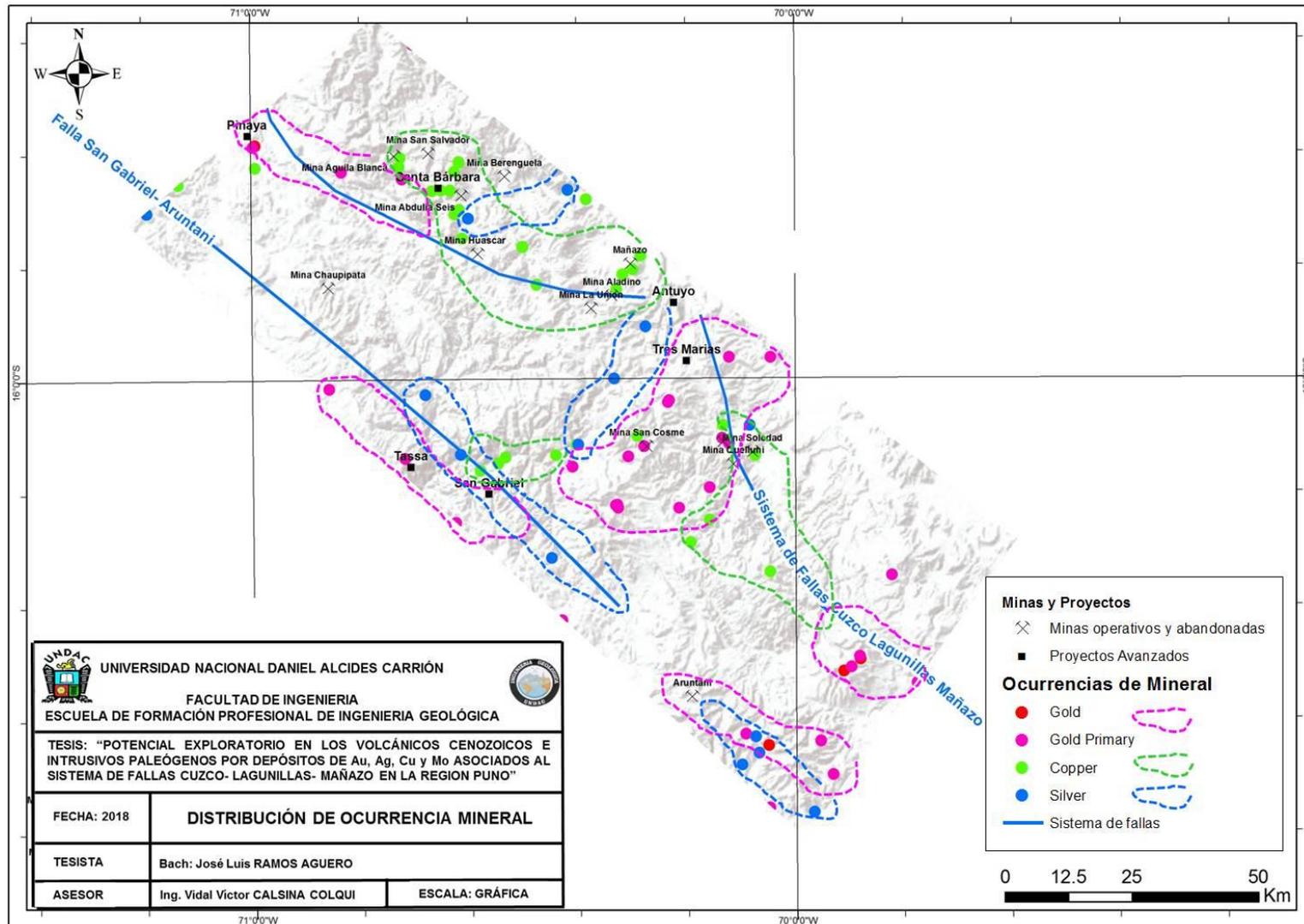


Figura N° 41. Mapa donde se muestran las ocurrencias más importantes del área de estudio (Ingemmet) e interpretación Ramos J.(2018)

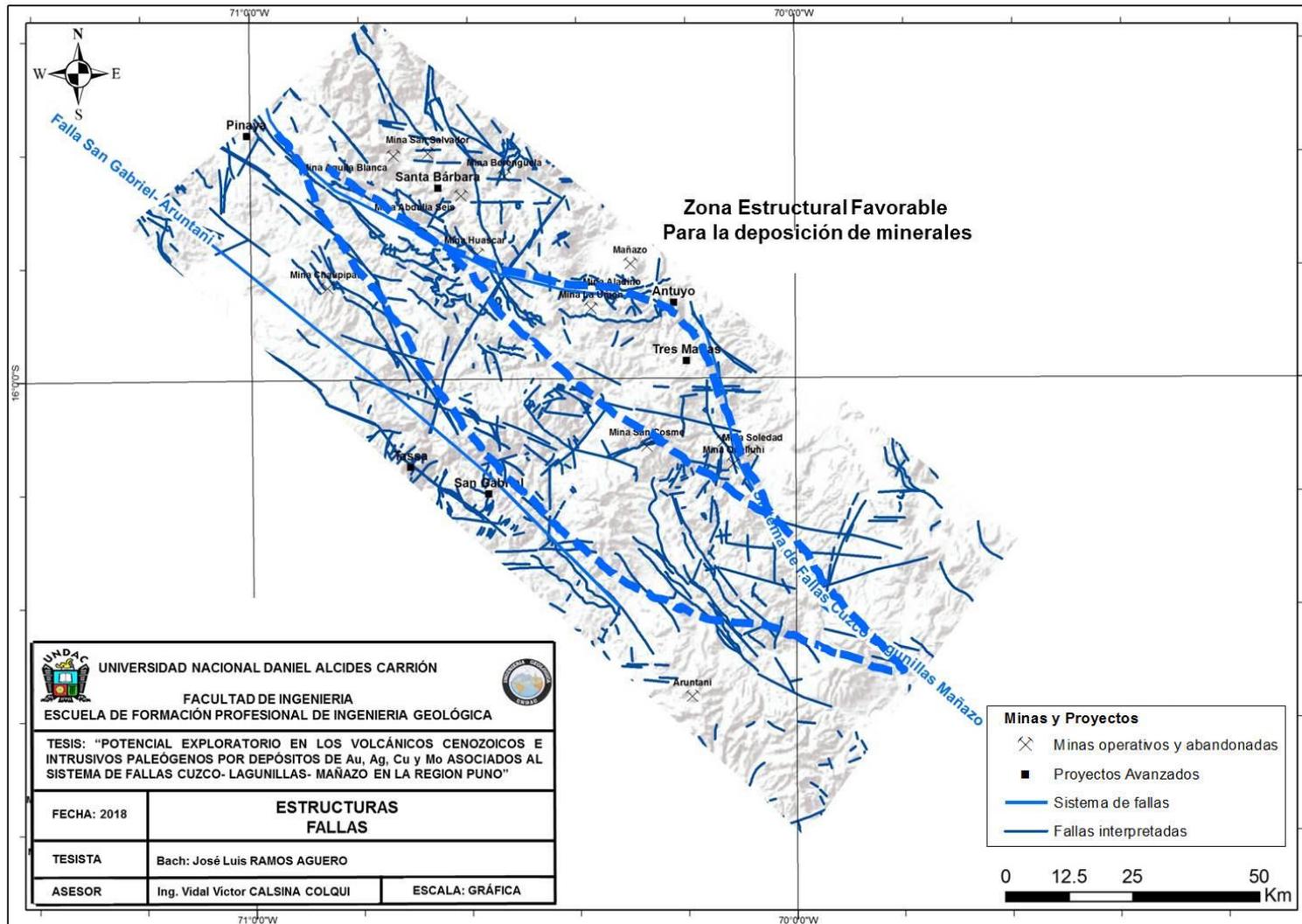


Figura N° 42. Mapa Estructural del área de estudio y una interpretación preliminar de un modelo regional tipo sigmoidal, (Ingemmet) e interpretación Ramos J.(2018)

Áreas de bajos magnéticos dentro de una franja de rocas que tienen respuesta magnética alta se interpretan como alteración hipógeno por la destrucción de la magnetita primaria de las rocas. Esto sucede más comúnmente (pero no únicamente) en rocas volcánicas.

4.3 Prueba de hipótesis

La prueba de hipótesis se basa principalmente en dar a conocer el potencial exploratorio que existe en dicha área

4.3.1 Potencial exploratorio por depósitos de Au, Ag, Cu y Mo en el sistema de fallas cuzco- lagunillas mañazo

En dicho estudio se ha definido tres sectores importantes; la cual en la parte norte corresponde a depósitos ricos en Au, Ag, Cu relacionados a depósitos porfiríticos y alta sulfuración; en el sector central sur las anomalías de Cu y Mo incrementan la cual probablemente están asociados a depósitos porfiríticos, skarn e híbridos. Por otro lado también se muestra anomalías de Au y Ag la cual están referidos a sistemas de intermedio sulfuración. En el sector Sur Oeste se aprecia claramente un corredor altamente prospectivo por sistemas de alta sulfuración y intermedia ya que tenemos las evidencias de Tassa (Ag), San Gabriel (Au- Ag- Cu) y Aruntani (Au- Ag).

4.4 Discusión de resultados

Se confirma el potencial exploratorio en el área ya que el resultado mostrado es válido y fiable para futuras investigaciones; ejemplos claros ahora son Lidia, Tarucani e Ipane.

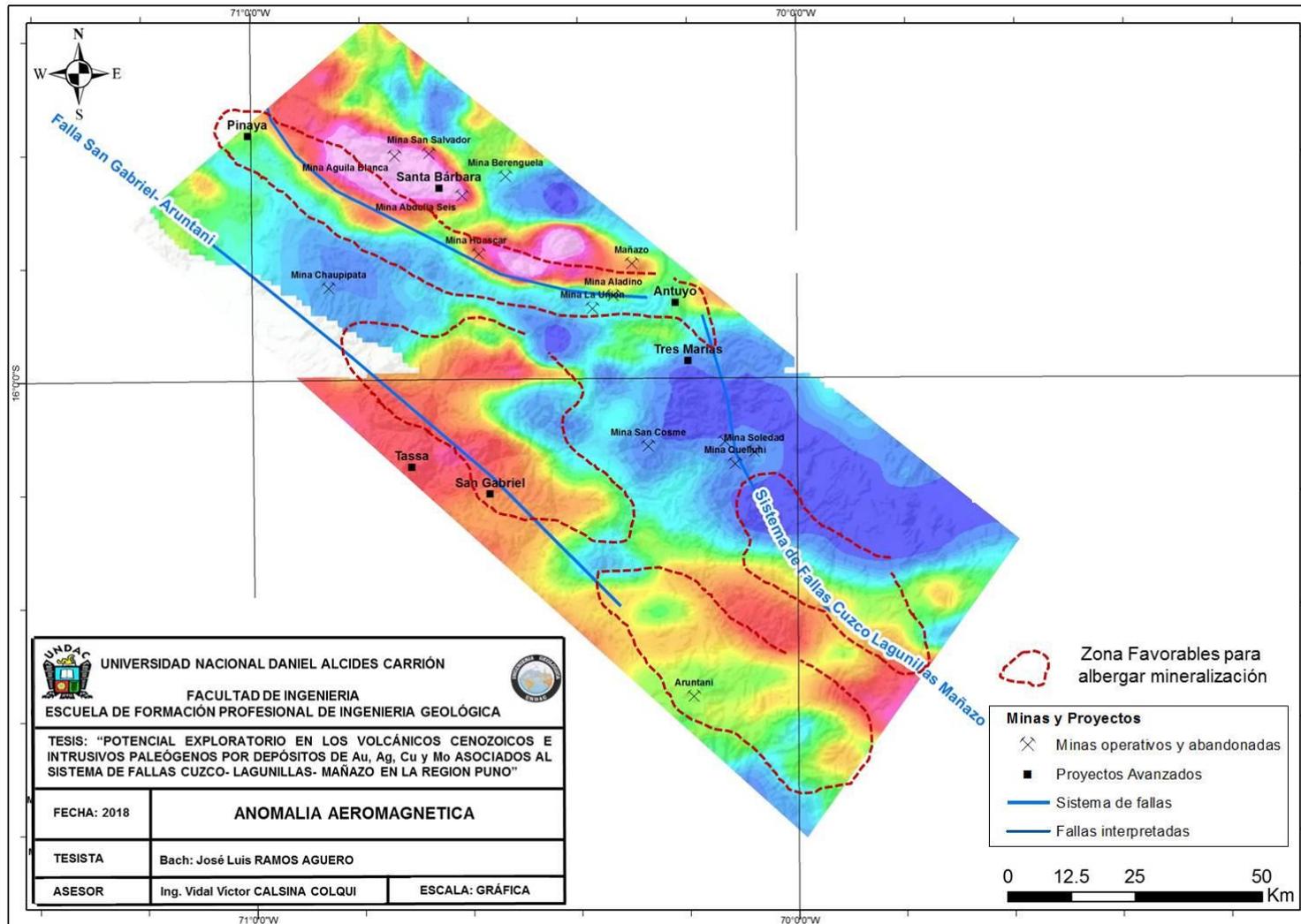


Figura N° 43. Mapa Magnético proveniente de un Levantamiento Aéreo. Note que las principales estructuras y lineamientos corresponden con cambios en la respuesta magnética. (Ingemmet) e interpretación Ramos J.(2018)

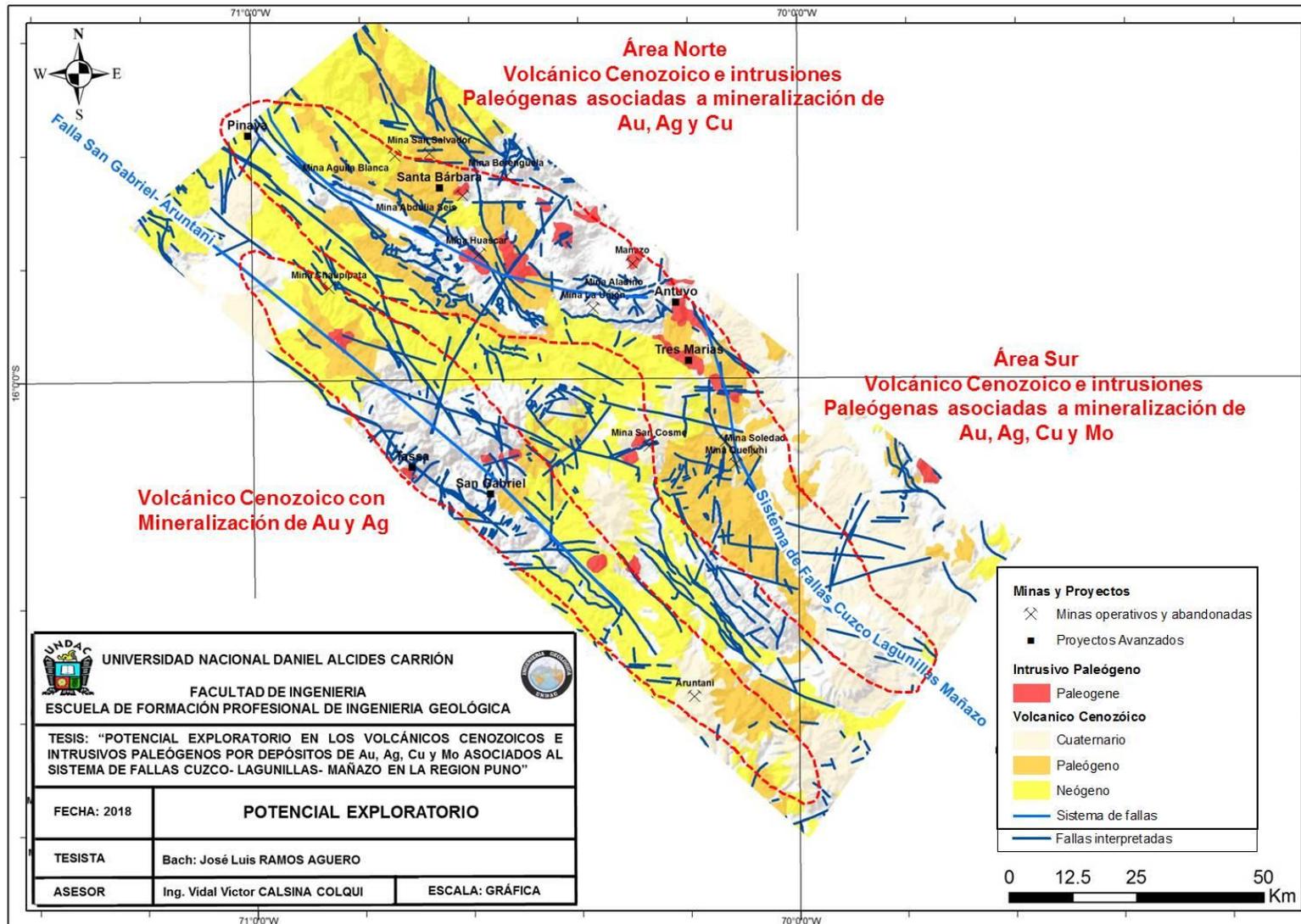


Figura N° 44. Mapa del potencial exploratorio en el área de estudio. (Ingemmet) e interpretación Ramos J.(2018).

CONCLUSIONES

1. Unidades volcánicas e intrusivos Paleógenos Favorables

- Las rocas volcánicas cenozoicas de composición riódacíticas y andesíticas son muy permeables cuando son afectados por cuerpos paleógenos de composición granítica y diorítica.

2. Análisis de la relación que existe entre la falla CLM y la geofísica regional

- La geofísica regional muestra una correlación con la mineralización de Cu y Mo en el sector norte y sur oeste, las cuales indican un magmatismo calcoalcalino.
- La interpretación estructural de marco regional se postula de un tipo pull apart y sigmoidal la cual en la intersección se emplazaron intrusiones paleógenos.

3. Ocurrencias de Mineral adyacentes a la falla CLM

- A lo largo del sistema de fallas CLM la anomalía de oro y plata es constante la cual indican que el emplazamiento de los intrusivos paleógenos y la roca encajonante es muy permeable; en el sector norte el oro asociado a intrusiones paleógenos, en la zona central a rocas permeables del vulcanismo cenozoico y en la parte sur a una mixtura de ambas.

- A lo largo del sistema de fallas CLM la anomalía de Cobre y molibdeno se concentran en dos clúster principales, sector norte la anomalía está referido probablemente a la extensión del corredor Andahuaylas Yauri las cuales se caracteriza por contener intrusiones paleógenos cortando sedimentos y en el sector sur las anomalías de cobre y molibdeno están asociados a rocas félsicas de composición riodacíticas cortadas por intrusiones dioríticas.

4. Potencial de exploración adyacentes a la falla CLM

- El potencial en el sector norte está asociado a depósitos Au, Ag, Cu relacionados a yacimientos porfiríticos y de alta sulfuración.
- El potencial en el sector central sur las anomalías de Cu y Mo incrementan la cual probablemente están asociados a depósitos porfiríticos, skarn e híbridos; además las anomalías de Au y Ag están referidos a sistemas de intermedio sulfuración.
- El potencial en el sector Sur Oeste se aprecia claramente un corredor altamente prospectivo por sistemas de alta sulfuración y intermedia ya que tenemos las evidencias de Tassa (Ag), San Gabriel (Au- Ag- Cu) y Aruntani (Au- Ag).

RECOMENDACIONES

- Se Recomienda realizar más trabajos de investigación más específica de geología económica en el área de estudio para que las inversiones de exploración se pueden afianzar y llegar a un descubrimiento de un deposito la cual será de beneficio para el entorno local, regional y Nacional.
- Continuar la prospección en la región, evitando los conflictos sociales.
- Prolongar la franja de exploración publicada en este estudio hacia el Sur para entender la relación que existe entre el corredor Andahuaylas Yauri y la Zona Domeyko.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta et al. (2009) - Memoria Mapa Metalogenético del Perú 2009. INGEMMET. Dirección de Recursos Minerales y Energéticos. Programa de metalogénia; 17p.
- Acosta, J. & Santisteban, A. (2007) - Estudio de los arcos magmáticos del Mesozoico y Cenozoico del sur del Perú, informe técnico interno. Lima: INGEMMET, DRME, 21 p.
- Acosta, J. & Huanacuni, D. (2008) - Estudio De Los Volcánicos Cenozoicos Del Sur Del Peru Y Su Relación Con La Metalogenia. Lima: INGEMMET, Proy: GR13
- Barton, M.D. & Johnson, D.A. 2000 Alternative brine sources for Fe oxide (Cu-Au) systems: implications for hydrothermal alteration and metals En: Porter T.M. (ed) Hydrothermal Iron Oxide Copper Gold & related deposits: A Global Perspective, 4360. Australian Mineral Foundation, Adelaide, p. 4360.
- Carlotto V., 2005. Las cuencas terciarias sinorogénicas en el Altiplano y en la Cordillera Occidental del sur del Perú. Volumen especial de la Sociedad Geológica del Perú. Vol. N°6. p. 102-126.
- Cordova, J. 2011, Delineación Y Definición De Una Franja De Exploración Regional En El Corredor Arasi-Chucapaca-Japuoco-Mazocruz Y Su Prospección Por Depósitos De Au-Ag-Cu En Puno, Perú. UNI
- Díaz, A. & Ramírez, J. (2009) - Compendio de rocas y minerales industriales en el Perú, Boletín, Serie B: INGEMMET, Geología Económica, 19, 482 p.
- Díaz, A. & Ramírez, J. (2012) – Estudio geológico económico de rocas y

minerales industriales en la región Puno, Boletín 30, Serie B: INGEMMET

- Haynes, D. (2006). The Olympic Dam ore deposit discovery – A personal view. SEG Newsletter N° 66: 1 y 7-15.
- Lowell, J.D., and Guilbert, J.M., 1970, Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry copper ore deposits: Economic Geology.
- Palacios, O.; De La Cruz, J.; De La Cruz, N.; Klinck, B.A.; Allison, R.A. & Hawkins, M.P. (1993) Geología de la Cordillera Occidental y Altiplano al Oeste del Lago Titicaca-Sur del Perú (Proyecto Integrado del Sur), Boletín No 42, Serie A: INGEMMET, Carta Geológica Nacional.
- Quispe, J. (2004) - Petrografía, geoquímica e implicancias metalogenéticas de los volcánicos cenozoicos del sureste del Perú: zona de Mazo Cruz (Puno). Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 59 p.
- Rivera Aguirre, L. (1970) - Estudio geológico de la mina Palca provincia de Lampa-Puno. Universidad Nacional Mayor De San Marcos. Programa Académico De Geología E Ingeniería Geológica pp 1-72.
- Sillitoe, R.H., 1973, The tops and bottoms of porphyry copper deposits: Economic Geology, v. 68.
- Sillitoe, R. H. (2003). Iron oxide – copper – gold deposits: an Andean view. Mineralium Deposita, 38: 787 – 812.
- www.aulados.net Geología & Yacimientos Minerales 2007