

Características geológicas y geoquímicas de los depósitos de la faja magmática Cretáceo-Paleógeno, asociados a los depósitos minerales tipo pórfidos y epitermales entre Huancavelica y Tacna - Bloque Sur

**Lima, Perú
2022**



**INGEMMET, Boletín Serie B: Geología Económica
N° 79**

Características geológicas y geoquímicas de los depósitos de la faja magmática Cretáceo-Paleógeno, asociados a los depósitos minerales tipo pórfidos y epitermales entre Huancavelica y Tacna – Bloque Sur

**Dirección de Recursos Minerales
y Enegeticos**

Equipo de Investigación

**Joel Otero Aguilar
Alonso Marchena Campos
William Martínez Valladares
Walther León Lecaros
Ronald Yupa Paredes**

**Lima, Perú
2022**

INGEMMET, Boletín Serie B: Geología Económica
N° 79

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2022 - 02450

Nombre del autor(es). "Esta es una obra colectiva"

Razón Social: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET)
Domicilio: Av. Canadá N° 1470, San Borja, Lima, Perú
Primera Edición, INGGEMMET 2022
Se terminó de imprimir el 21 de marzo del 2022 en los talleres de INGGEMMET
Tiraje: 25

© INGGEMMET

Presidente Ejecutivo: Luis Félix Mercado Pérez.

Gerente General: Luis Panizo Uriarte.

Comité Editor: Jorge Chira Fernández, Yorri Carrasco Pinares.

Dirección encargada del estudio

Dirección de Recursos Minerales y Energéticos: Jorge Chira Fernández

Unidad encargada de edición

Unidad de Relaciones Institucionales: Yorri Carrasco Pinares.

Revisión Técnica: Víctor Torres Bazán.

Revisor Externo: Luis Quispe Cangana.

Corrección gramatical y de estilo: Benjamín Caballero Pacheco.

Diagramación: Daniel Chiroque Linares

Fotografía de la carátula: Vista al noreste del tajo abierto de la mina Toquepala, pórfido de cobre y molibdeno ubicado en la provincia de Jorge Basadre en el departamento de Tacna.

Referencia bibliográfica

Otero, J.; Marchena, A.; Valladares, W.; León, W. & Yupa, R. (2022) - Características geológicas y geoquímicas de los depósitos de la faja magmática Cretáceo-Paleógeno, asociados a los depósitos minerales tipo pórfidos y epitermales entre Huancavelica y Tacna – Bloque Sur. *INGEMMET, Boletín, Serie B: Geología Económica*, 79, 90 p, 6 mapas.

Publicación disponible en libre acceso en el Repositorio Institucional del INGGEMMET. La utilización, traducción y creación de obras derivadas de la presente publicación están autorizadas, a condición de que se cite la fuente original ya sea contenida en medio impreso o digital (<https://repositorio.ingemmet.gob.pe>).

Los términos empleados en esta publicación y la presentación de los datos que en ella aparecen son de exclusiva responsabilidad del equipo de investigación.

Contenido

RESUMEN.....	5
ABSTRACT.....	7
CAPÍTULO I.....	9
GENERALIDADES.....	9
1.1 UBICACIÓN Y ACCESOS.....	10
1.2 ESTUDIOS PREVIOS.....	10
1.3 GEOMORFOLOGÍA.....	11
1.4 METODOLOGÍA - TRABAJOS REALIZADOS.....	13
1.4.1 Análisis espectral.....	13
1.4.2 Topografía.....	13
1.4.3 Cartografiado Geológico.....	13
1.4.4 Geoquímica de Rocas, Yacimientos y Sedimentos.....	13
1.4.5 Geofísica Aérea.....	13
1.4.6 Petromineralogía.....	13
1.4.7 Geocronología.....	13
1.4.8 Espectrometría.....	14
1.4.9 Difracción de Rayos X.....	14
1.4.10 Participantes.....	14
1.5 AGRADECIMIENTOS.....	14
CAPÍTULO II.....	15
MARCO GEOLÓGICO REGIONAL.....	15
2.1 ESTRATIGRAFÍA.....	15
2.2 ROCAS ÍGNEAS.....	16
2.3 EVOLUCIÓN TECTÓNICA.....	16
CAPÍTULO III.....	19
ASPECTOS METALOGENÉTICOS REGIONALES.....	19
3.1 METALOTECTOS LITOESTRATIGRÁFICOS Y LITODÉMICOS.....	19
3.2 METALOTECTOS ESTRUCTURALES.....	19
3.3 FRANJAS METALOGENÉTICAS.....	20
CAPÍTULO IV.....	23
DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES YACIMIENTOS EN LA REGIÓN.....	23
4.1 PROYECTO ATASPACA.....	23
4.2 PROYECTO ANDAMARCA.....	26
4.3 MINA PUCAMARCA.....	30
4.4 PROYECTO SAN GABRIEL.....	36
4.5 PROYECTO LOS CALATOS.....	39
4.6 PROYECTO PECOY.....	52

CAPÍTULO V	61
CARACTERÍSTICAS LITOGEOQUÍMICAS DE LOS MAGMAS ASOCIADOS A PÓRFIDOS Y EPITERMALES EN LA REGIÓN.....	61
5.1 DIAGRAMAS DE TIERRAS RARAS Y <i>SPIDER</i> DE LAS UNIDADES ÍGNEAS REGIONALES PARENTALES.....	61
5.1.1 Superunidad Challaviento.....	61
5.1.2 Grupo Tacaza.....	62
5.1.3 Formación Alpabamba.....	63
5.1.4 Grupo Barroso.....	64
5.2 DIAGRAMAS DE TIERRAS RARAS, SPIDER Y OTROS DIAGRAMAS BIVARIANTES PARA LOS MAGMAS ASOCIADOS A MINERALIZACIÓN.....	65
5.2.1 Yacimientos tipo pórfido, <i>Skarn</i> y relacionados a rocas intrusivas (Franjas metalogenéticas X, XII y XV).....	65
5.2.2 Yacimientos tipo epitermales, polimetálicos y vetiformes (Franjas metalogenéticas XXI, XXI-B y XIII).....	67
5.2.3 Otros parámetros litogeoquímicos de implicancia metalogenética.....	70
CAPÍTULO VI	75
POTENCIAL MINERO DEL BLOQUE SUR.....	75
6.1 ANOMALÍAS SATELITALES E INTERSECCIONES ESTRUCTURALES.....	75
6.2 DEPÓSITOS CON OCURRENCIAS MINERALES.....	76
6.3 MAPAS GEOQUÍMICOS DE SEDIMENTOS ACTIVOS DE QUEBRADA.....	76
6.4 SECTORES CON POTENCIAL DE EXPLORACIÓN.....	77
CONCLUSIONES	79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
ANEXOS	85
RELACIÓN DE MAPAS E ILUSTRACIONES	87

RESUMEN

El proyecto GE33A-5 intitulado; "Características geológicas y geoquímicas de los depósitos de la Faja magmática Cretáceo-Paleógeno, asociado a los depósitos minerales tipo Pórfidos y Epitermales entre Huancavelica y Tacna (Bloque Sur), tuvo como objetivo principal la descripción de las características geológicas y geoquímicas de los depósitos pórfidos y epitermales en base a herramientas como los controles tectono-mágnéticos, estratigráficos, estructurales y especialmente analizando e interpretando la geoquímica de magmas.

Las rocas más antiguas están representadas por rocas metamórficas proterozoicas del "Macizo de Arequipa" le siguen rocas Mesozoicas del Triásico hasta el Cretáceo Tardío. En la base de la Cordillera Occidental se tienen a los volcánicos Formación Chocolate, cubiertos por las calizas y pelitas de la Formación Socosani del Bajociano. En la región andina se exponen rocas sedimentarias del Grupo Yura del Jurásico Superior al Cretáceo Inferior sobreyacidas por rocas clásticas de la Formación Murco, y rocas calcáreas Albiana-Cenomanianas de la Formación Arcurquina. El Cretáceo Terminal y Cenozoico están representados por capas rojas de la Formación Huanca.

El Batolito de la Costa esta representado por los "Segmentos Toquepala" (Superunidades Punta Coles y Yarabamba) y "Segmento Arequipa" (Superunidad Tiabaya) que se extiende en la costa centro sur, el cual se ha emplazado en episodios distintos ocurridos entre los 201 y 80 Ma.

La Superunidad Yarabamba está asociada a importantes yacimientos de pórfidos de Cu-Mo de edad Paleocena como Cerro Verde, Los Calatos, Cuacone, Quellaveco y Toquepala, mientras que el Grupo Tacaza está asociado al pórfido Chipispaya de edad Miocena.

Los volcánicos Tacaza y Barroso son considerados importantes metalotectos ya que albergan diversos yacimientos y prospectos epitermales como Orcopampa, Chipmo, Santa Rosa-Aruntani, Baños del Indio, Andamarca, Colquemayo, entre otros.

Las condiciones estructurales muestran una importante relación con el Sistema de Fallas Cincha-Lluta/ Incapuquio-Challaviento, el cual funciona como un metalotecto estructural que canalizó

la mayoría de los sistemas de pórfidos y yacimientos de Oro-Cobre del sur de Perú.

Este sistema de fallas translitosféricas funcionó por lo menos desde tiempos Jurásicos, canalizando los fluidos hidrotermales que generaron los principales yacimientos de pórfidos de Cu-Mo-Au. Los yacimientos tipo pórfido y epitermales se encuentran espacial y temporalmente asociados a intrusivos Eocenos (Superunidad Challaviento, caso de Ataspaca), y volcanismo Paleógeno Neógeno de los Grupos Tacaza y Barroso. En algunos sistemas tales como Humajala, Cañayloma, Cerro Blanco, Anchaca, hay presencia de magmas muy diferenciados y magmas muy poco diferenciados, lo que sugiere que para la evolución de estos sistemas fue necesaria una serie de eventos que incluyen ascenso de magmas primitivos, como evidencia de sistemas de fallas corticales y además, permitiendo rejuvenecer termalmente el sistema y continuar su diferenciación en niveles corticales someros. Los valores más altos de Cu se dan para las composiciones intermedias-máficas, resaltando que la fuente de los metales son los magmas más primitivos, con marcada influencia de procesos mantélicos. La litogeoquímica de los volcánicos Paleógenos-Neógenos en general no permite diferenciar de forma marcada y efectiva los magmas vinculados a mineralización. Se han obtenido dataciones para el proyecto Los Calatos, en 3 pórfidos dacíticos (informe interno) que según edad datada con el método U-Pb en zircones son PD1 = 58.1 ± 0.7 Ma, PD2 = 59.6 ± 0.8 Ma y PD3 = 68.4 ± 0.7 Ma. A su vez, la mineralización principal del proyecto Los Calatos fue datada por el método Re-Os en molibdenita dando como resultado 57.8 ± 0.2 Ma. En el prospecto Pampa Jaguay, se reconoció una zona con alteración argilica con óxidos de hierro y abundante pirita; la presencia de elementos volátiles como As, Bi y Se, además el Mo nos indicaría la presencia de un sistema porfirítico en profundidad. El intrusivo datado en el área Pampa Jaguay registra una edad de 69.3 Ma datado en zircones con el método U-Pb el cual es coetáneo con el Pórfido Dacítico 3 (PD3) del proyecto Los Calatos. Las principales prioridades como áreas de prospección y exploración son: Chilcaymarca, Salamanca, Lari, Yunga y Matalaque.

ABSTRACT

The GE33A-5 project which has as title “Geological and geochemical characteristics of the deposits of the Cretaceous-Paleogene magmatic Belt, associated with the Porphyry and Epithermal type mineral deposits between Huancavelica and Tacna (South Block)” had as its main objective the description of the geological and geochemical characteristics of the porphyry deposits and epithermal based on tools such as tectono-magmatic, stratigraphic, structural controls and especially analyzing and interpreting the geochemistry of magmas.

The oldest rocks are represented by Proterozoic metamorphic rocks from the “Arequipa Massif” followed by Mesozoic rocks from the Triassic to the Late Cretaceous. At the base of the Western Mountain Range, there are the volcanic Chocolate Formations. These are covered by the limestones and pelites of the Socosani Formation of Bajociano. In the Andean region, sedimentary rocks of the Yura Group from the Upper Jurassic to the Lower Cretaceous are exposed. They are overlaid by clastic rocks of the Murco Formation, and Albiana-Cenomanian calcareous rocks of the Arcurquina Formation. The Terminal Cretaceous and Cenozoic are represented by red layers of the Huanca Formation.

The Coastal Batholith is represented by the “Toquepala Segments” (Punta Coles and Yarabamba Superunits) and “Arequipa Segment” (Tiabaya Superunit). They extend along the south central coast, which has been located in different episodes that occurred between 201 and 80 Ma.

The Yarabamba Superunit is associated with important Paleocene-age Cu-Mo porphyry deposits such as Cerro Verde, Los Calatos, Cuajone, Quellaveco and Toquepala, while the Tacaza Group is associated with the Miocene-age Chipispaya Porphyry.

The volcanic Tacaza and Barroso are considered important metalotects since they host various deposits and epithermal prospects such as Orcopampa, Chipmo, Santa Rosa-Aruntani, Baños del Indio, Andamarca, Colquemayo, among others.

The structural conditions show an important relation with the Cincha-Lluta / Incapuquio-Challaviento Fault System. This, it

functions as a structural metalotect that channeled most of the porphyry systems and Gold-Copper deposits in southern Peru.

This trans-lithospheric fault system has been in operation since at least Jurassic times. In this regard, it channeled the hydrothermal fluids that generated the main Cu-Mo-Au porphyry deposits. Likewise, the porphyry and epithermal deposits are spatially and temporally associated with Eocene intrusives (Challaviento Superunit, Ataspaca case), and Neogene Paleogene volcanism of the Tacaza and Barroso Groups. In some systems such as Humajala, Cañayloma, Cerro Blanco, Anchaca, there is the presence of highly differentiated magmas and very little differentiated magmas. In addition, it suggests that a series of events was necessary for the evolution of these systems that include the rise of primitive magmas, such as evidence of cortical failure systems and also, which allow the system to thermally rejuvenate and continue its differentiation at shallow cortical levels. The highest Cu values are given for the intermediate-mafic compositions, which highlight that the source of the metals is the most primitive magmas, with a marked influence of mantle processes. The lithogeochemistry of Paleogene-Neogene volcanics in general does not allow a marked and effective differentiation of magmas linked to mineralization. Furthermore, dating for Los Calatos project have been obtained in 3 dacitic porphyries (internal report) that according to age dated with the U-Pb method in zircons are PD1 = 58.1 ± 0.7 Ma, PD2 = 59.6 ± 0.8 Ma and PD3 = 68.4 ± 0.7 Ma. In succession, the main mineralization of Los Calatos project was dated by the Re-Os method in molybdenite, which resulted in 57.8 ± 0.2 Ma. In the Pampa Jaguay prospect, a zone with argillic alteration with iron oxides and abundant pyrite was recognized. The presence of volatile elements such as As, Bi and Se, in addition, Mo would indicate the presence of a deep porphyritic system. The intrusive dated in the Pampa Jaguay area registers an age of 69.3 Ma, dated in zircons with the U-Pb method, which is contemporary with the Dacitic Porphyry 3 (PD3) of Los Calatos project. The main priorities as prospecting and exploration areas are: Chilcaymarca, Salamanca, Lari, Yunga and Matalaque.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

El Proyecto GE33A-5: "Características geológicas y geoquímicas de los depósitos de la Faja Magmática Cretáceo-Paleógeno, asociado a los depósitos minerales tipo Pórfidos y Epitermales entre Huancavelica y Tacna (Bloque Sur)" forma parte de los estudios metalogenéticos desarrollados por la DRME como proyectos de desarrollo en términos del entendimiento y evolución a través del tiempo, origen de la mineralización. Para efectos de investigación, se dividió el área del proyecto en dos: bloque norte (Huancavelica-Arequipa) y bloque sur (Arequipa-Tacna).

En el presente informe, se desarrollará el bloque sur que se ubica entre los paralelos 15° 30' 00" y 15° 0' 0" de latitud sur y entre los meridianos 69° 50' 0" y 69° 20' 00" de longitud oeste. El fundamento de esta separación en dos bloques, se basa en los diferentes marcos estructurales, magmáticos y de yacimientos entre estas dos áreas. El estudio se realizó con la finalidad de conocer las principales características tectono-magmáticas en la Cordillera Occidental entre Huancavelica y Tacna, y contribuir al desarrollo de las exploraciones mineras mediante la predicción en esta parte del Perú.

La zona de investigación comprende las franjas metalogenéticas X, XIII, XV, XXI-A, XXI-C y XXIII destacando en importancia los depósitos de pórfidos de Cu-Mo-Au (DPC), los depósitos tipo epitermales, así como los relacionados con cuerpos intrusivos; cuerpos, vetas, mantos, diseminados. Se busca así mantener actualizado el mapa Metalogenético del Perú y desarrollar conceptos sobre el origen de los yacimientos minerales basados en datos geocronológicos, geoquímicos, isotópicos, estratigráficos y estructurales. Para cumplir con estos objetivos, se realizaron estudios interpretativos, trabajos de terreno y recopilación de información de las bases de datos que tiene el Ingemmet publicados e inéditos y, de esta manera, poder desarrollar estrategias para la prospección y el descubrimiento de nuevos depósitos minerales como los de tipo oculto y/o ciegos.

El área de estudio está ubicada en el suroeste del territorio peruano y comprende parcial y totalmente 20 cuadrángulos de la Carta Geológica Nacional, a escala 1:100 000, distribuidos en 16 provincias y 73 distritos. Dentro de la región, se encuentran ciudades y poblados importantes como Paucar del Sara Sara,

La Unión, Condesuyos, Caylloma, Arequipa, Moquegua, Tarata, Canderave, Cotahuasi, Chivay, Omate y Tacna entre otras, en estas localidades se desarrollan actividades económicas importantes como turismo, comercio, agricultura, mediana y gran minería.

Mapa Geológico Minero

El informe de investigación adjunta el Mapa Geológico Minero a la escala 1:500 000 que ha sido elaborado en base al Mapa Geológico del Perú a escala 1: 1 000 000, del año 1999 publicado oficialmente por Ingemmet, delimitado por la zona del proyecto.

El mapa se encuentra en proyección UTM, referenciada a la zona 19 del hemisferio sur, con Datum WGS84 (World Geodetic System, 1984).

Leyenda

La leyenda representa la simplificación de las unidades lito-cronoestratigráficas adecuadamente diferenciadas y adaptadas para el Mapa Geológico Minero a la escala 1: 500 000. Para las unidades cronoestratigráficas se ha tomado como patrón la Tabla Estratigráfica Global publicada por la Unión de Ciencias Geológicas (2016) y de uso oficial en el Ingemmet. Los símbolos para las unidades cronoestratigráficas comprende los rangos de Eratema, Sistema y Serie, complementadas con el tipo unidad litoestratigráfica (Grupo o Formación). Para las rocas intrusivas, los símbolos representan la edad del emplazamiento y el tipo de roca, individualizadas por su asociación de minerales máficos que han sido agrupadas en unidades litodémicas (Superunidades). Teniendo en cuenta la densidad de información y la escala, en los rasgos estructurales solo se han representado las principales fallas regionales longitudinales y transversales al eje de los Andes.

Los colores empleados corresponden a la tabla internacional propuesta por la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS), los cuales se obtuvieron combinando distintas proporciones de RGB (rojo-verde-azul) y utilizando las herramientas propias de las tablas de colores del software ArcGis. Los mapas temáticos Satelital, estructural, yacimientos, geofísicos y de targets conservan el mismo formato, escala, símbolos, etiquetas y leyendas para el mejor uso de la información.

1.1 UBICACIÓN Y ACCESOS

El área de estudio (Bloque Sur) comprende parcialmente los departamentos de Tacna, Moquegua y Arequipa, con una topografía variable que en su mayor parte comprende relieves planos y desérticos de la planicie costanera hasta relieves poco accidentados y no muy elevados de las estribaciones andinas de la Cordillera Occidental. Su extensión aproximada es de 38 100 km², cuyos extremos superiores (parte norte del polígono) se encuentran comprendidas entre las coordenadas UTM y sistema WGS 84-sur (punto 1) 8294600 N / 644450 E, (punto 2) 8352776N / 712450E (Zona 18 Sur) y extremos inferiores (parte sur del polígono) (punto 3) 8028017N / 415710E y (punto 4) 8097360N / 712450E (Zona 19 Sur) (figura 1.1)

La principal vía de acceso al área de estudio se realiza a través de la carretera Panamericana Sur, partiendo desde Lima pasando por ciudades importantes como Ica, Nasca, Chala, Atico, Ocoña, Camana, Moquegua y Tacna. Desde esta vía principal, parten numerosas vías asfaltadas y afirmadas que conducen a ciudades y poblados de Arequipa, Chivay, Omate, Candarave, Caylloma y Cotahuasi, entre otras.

Las alternativas de acceso son por vía aérea son desde Lima hasta el Aeropuerto Internacional Rodríguez

Ballón de Arequipa a una distancia de 647 km y tiempo de vuelo de 50 minutos o hacia el aeropuerto Carlos Ciriane en Tacna, con una distancia de 982 km y 1.5 horas de vuelo (tabla 1.1). Las alternativas terrestres son:

Tabla 1.1
Accesos a la zona de estudio

Acceso	Distancia (km)	Tiempo
Lima – Arequipa	1024	16 h 40'
Arequipa – Chivay	208	4 h
Chivay – Caylloma	100	2 h 20'
Moquegua – Omate	60	1 h 10'
Arequipa – Caravelí	390	6 h 30'
Arequipa – Tacna	373	3 5 h

1.2 ESTUDIOS PREVIOS

Entre los años de 1960 y 1994, se realizaron estudios regionales por parte del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico en la elaboración de la Carta Geológica Nacional, cartografiando a escala 1:100 000 los cuadrángulos de Pausa y Caravelí (Pecho, 1983), Chuquibamba y Cotahuasi (Olchanski & Dávila, 1994), Huambo y Orcopampa (Caldas, 1993); Arequipa (Vargas, 1970), Characato (Guevara, 1969); Puquina, Omate, Huaitire, Mazo Cruz (García, 1978), Moquegua (Bellido, 1979), Pachía y Palca (Wilson & García, 1962), Río Maure y Antajave (Mendivil, 1962), Tarata (Jaén, 1965), Chivay, Pichacani, Lagunillas y Callalli (Palacios et al., 1993) Ichuña (Marocco & Del Pino, 1966), Cailloma (Dávila, 1988).

Rivera, Moretti y Baumgartner (2008) publican un trabajo donde corroboran la existencia de la franja Cretácea del sur del Perú, y demuestran que los pórfidos localizados entre los paralelos 13°-16° S no son parte de la extensión de la franja Paleocena.

Mamani et al. (2015) publican un trabajo sobre la aplicación de la geocronología y litogeoquímica a la exploración de pórfidos en el Paleoceno.

Acosta (2006) publica por medio del Ingemmet un proyecto que estudia las características metalogenéticas de los yacimientos asociados a los Arcos Magmáticos Mesozoicos y Cenozoicos del Sur del Perú entre las latitudes 16° y 18° 30'.

El investigador Clark (1990) realiza un trabajo sobre las brechas de deformación del pórfido Cu-Mo de Toquepala y sus implicancias para el redondeo de fragmentos en brechas hidrotermales.

Entre los años 2000 y 2003 se realizan trabajos geoquímicos (sedimentos) y de yacimientos por franjas (Franja 1 y Franja 2) entre los paralelos 14° y 18° 30', y se publica un estudio de los recursos minerales del Perú a cargo de la Dirección de Geología Económica y Prospección Minera del Ingemmet (Ingemmet 2000 y 2002).

El investigador Sillitoe (2010) publica un trabajo sobre la longevidad en la formación del pórfido de cobre Quellaveco en 2010.

Los investigadores Decou et al. (2011) realizan un estudio sobre los sedimentos de la cuenca antearco cenozoica en el sur del Perú (15°-18° S), el cual trata sobre las restricciones estratigráficas y de minerales pesados para la evolución de los Andes Centrales en el Eoceno-Mioceno.

Posteriormente, Demouy et al. (2012) exponen un trabajo sobre la evolución espacial y temporal de la actividad del arco Liásico al Paleoceno en el sur de Perú, esclarecido por datos de U-Pb y Hf in-situ en circones de las rocas plutónicas.

Simmons (2013) publica su tesis doctoral sobre el magmatismo y estratigrafía hidrotermal asociado con la formación de pórfidos Cu-Mo en el Paleoceno-Eoceno del Perú meridional.

Finalmente, los investigadores Valdivia et al. (2015) exponen un estudio sobre la aplicación de la geocronología y litogeoquímica a la exploración de pórfidos en el Paleoceno.

1.3 GEOMORFOLOGÍA

Los rasgos geomorfológicos de la zona de estudio comprenden el arco volcánico del Barroso, altiplano, cadena de conos volcánicos y casquetes de nieve perpetua que a continuación se describirán:

Arco Volcánico del Barroso

Este rasgo geomórfico de considerable extensión se puede reconocer desde el extremo suroriental del cuadrángulo de Omate, hasta el límite norte del cuadrángulo de Puquina (Mendivil, 1965). Es una cadena montañosa de naturaleza volcánica, formada por numerosos aparatos lávicos que presentan una erosión avanzada, relacionados sin continuidad por derrames subhorizontales de la misma naturaleza, ubicados entre los 3800 y 5000 m s. n. m. Destacan Ticsani (5409 m s. n. m.), Chinilaca (5000 m s. n. m.), Surihueco (5100 m s. n. m.), Humajalso (5100 m s. n. m.), Huertasera (4800 m s. n. m.), entre otros, cubiertos algunos de ellos por nieve perpetua. La intensa erosión glacial del Pleistoceno ha producido la destrucción de conos y rocas volcánicas (derrames y piroclastos). La cadena montañosa mencionada se presenta disectada transversalmente por numerosos valles amplios y de poco recorrido, tales como las quebradas Chingane, Tiquilane, Huarahuarani, Janasalla, etc.

Altiplano

Se reconoce a esta unidad geomórfica a partir del borde oriental del cuadrángulo de Omate y se le puede seguir hasta el límite

con Bolivia (García, 1978). Reconocida por su topografía llana, entre cadenas de cerros, o circundando a conos volcánicos. Se presentan como pequeñas planicies mayormente integrada por materiales fluvioglaciares y a las que localmente denominan “pampas”. Las altitudes de las Altiplanicies “pampas” fluctúan entre 4400 y 4800 m s. n. m. Parecen pertenecer a antiguas cuencas cerradas que han sido parcial o totalmente rellenadas por material piroclástico o fluvioglaciario o ambos a la vez, encontrándose actualmente afectadas por procesos fluviales. En las depresiones de dichas pampas, generalmente, se han desarrollado zonas pantanosas conocidas con el nombre de ciénagas que localmente se les denomina “bofedales”.

Cadena de Conos Volcánicos

En el borde occidental del altiplano meridional, desde los 16° de latitud hacia el sur, se desarrolla una faja montañosa formada por una sucesión de conos volcánicos, a la que se denomina Cadena de Conos Volcánicos (Bellido, 1979). La cadena volcánica tiene un ancho de 20 a 30 km con rumbo NO-SE; en parte coincide con la divisoria continental y en grandes sectores, y queda algo más al oeste de dicha línea.

En la hoja de Moquegua, la Cadena de Conos Volcánicos pasa por la misma esquina noreste del cuadrángulo. Allí se levantan los volcanes Arundane y Chuquiamenta, cuyos cráteres se ubican fuera del área de estudio. Cerros como Altamoco, Cornapata, Huayllani se encuentran elevándose sobre las pampas, al menos 700 m con una altura máxima de 5100 m s. n. m. Se ubican en la zona noreste del cuadrángulo Ichuña y en la parte suroeste por los cerros Tacune y el volcán Ubinas, aparato volcánico simétrico bien conservado con 5670 m s. n. m. de altitud.

La glaciación cuaternaria afectó a la zona volcánica. Son comunes en los flancos de los volcanes los rasgos morfológicos de erosión glaciaria como circos, superficies estriadas, pequeñas lagunas en cubetas rocosas, con diques morrénicos y cretas filudas. Igualmente, las acumulaciones morrénicas, frontales y laterales, se observan por doquier.

La orientación NO-SE, que tiene la caldera de Conos Volcánicos, ha hecho pensar a numerosos estudiosos, que los centros de erupción se encuentran a lo largo de una zona de falla o zona de debilidad, formada cerca al borde occidental del altiplano, en forma más o menos paralela al litoral del Pacífico.

Casquetes de Nieves Perpetuas

En el área que abarca este informe, se presenta dos zonas con nieves perpetuas, que corresponden a los volcanes nevados Solimana y Coropuna, con altitudes de 5500 y 6377 m s. n. m. respectivamente.

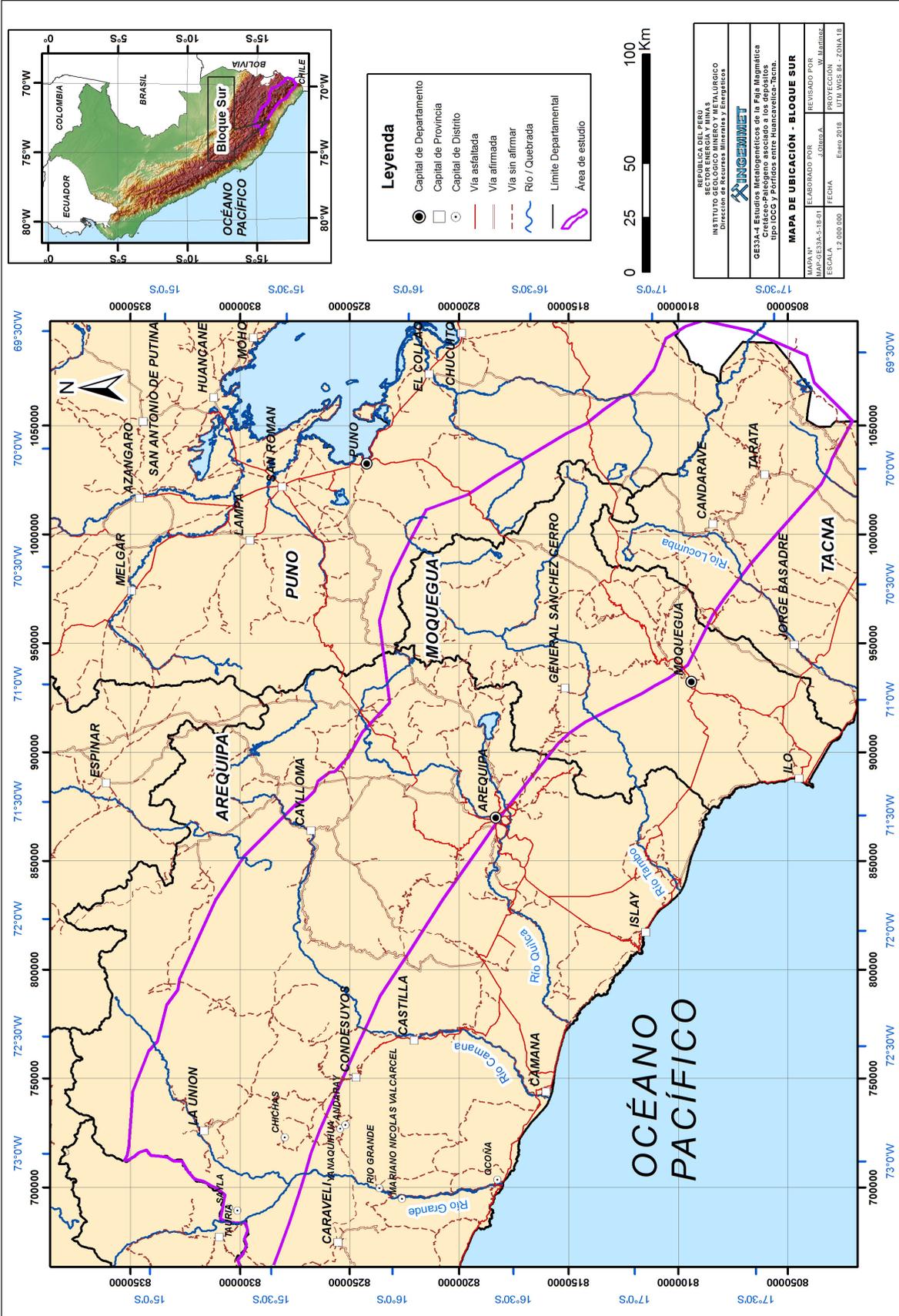


Figura 1.1 Mapa de Ubicación del Bloque Sur-Proyecto GE33A-5

1.4 METODOLOGÍA - TRABAJOS REALIZADOS

1.4.1 Análisis espectral

El procesamiento de imágenes ASTER para el proyecto G33A-5 fue realizado por el laboratorio de Teledetección del Ingemmet.

El procesamiento digital de las imágenes TERRA ASTER, haciendo uso del software ENVI, ha obtenido mapas que son útiles en etapas exploratorias y en la determinación de guías de mineralización. Las imágenes ASTER (subsistemas VNIR y SWIR) permiten obtener mapas de tipos de alteración como son alteración argílica, cuarzo-sericita-pirita y propilítica. Adicionalmente, se incluye la secuencia para la determinación de zonas de alteración por óxidos. Asimismo, se usaron las nuevas imágenes satelitales SENTINEL-2 ÓPTICO para visible infrarrojo de 12 bandas, con el cual se realizaron ratios de bandas y fue también utilizado en los bloques estudiados.

1.4.2 Topografía

La base topográfica oficial impresa publicada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) fue empleada como base para los estudios regionales, especialmente la cartografía de escala 1:100 000. La toponimia fue empleada respetando los nombres de las localidades, afloramientos, hidrografía y relieves.

1.4.3 Cartografiado Geológico

El cartografiado geológico regional del bloque sur está dado por los mapas geológicos integrados generados por la dirección de Geología Regional (DGR), el cual completó mapas geológicos a escala 1:100 000 y 1:50 000 de la zona de estudio.

1.4.4 Geoquímica de Rocas, Yacimientos y Sedimentos

Para el caso de rocas, minas y ocurrencias minerales se recolectaron un total de 163 muestras (*chips*) primarias (afloramientos de roca) a las cuales se adicionó 11 controles (8 blancos, 1 estándares y 2 duplicados). Las muestras fueron enviadas al laboratorio ALS CHEMEX, el cual emplea análisis multielemental por fusión de peróxido de sodio, lectura ICP-AES/ICP-MS, análisis por fluorescencia de rayos X (XRF) y análisis de Au por ensayo al fuego 50 g. Los resultados permitieron elaborar

mapas temáticos geoquímicos y litogeoquímicos. Los puntos de muestreo de sedimentos de quebrada y sus resultados se tomaron de la base de datos de Geocatmin-Ingemmet.

1.4.5 Geofísica Aérea

La información de datos geofísicos en el presente reporte nos ha proporcionado de manera cualitativa la descripción de las características geológicas en función de la gravedad. Los datos representan la combinación de información de gravedad de alta resolución utilizando los satélites Geosat (1985-1990) y ERS-1(1991-1995) (Smith & Sandwell, 1997). Su análisis y procesamiento procede de simples correcciones que se basan en longitudes de onda de 15 - 20 km mayores a un 70 % aproximado para la superficie de la Tierra (LaFehr, 1991a, 1991b y 1998; Chapin, 1996; Talwani, 1998).

Como resultado a la reducción de los datos satelitales, se obtuvo el mapa de la anomalía de Bouguer Completa, el cual nos indica anomalías que representan el exceso de masas por debajo del nivel topográfico.

1.4.6 PETROMINERALOGÍA

Se realizaron 14 estudios petromineralógicos de las secuencias volcánicas jurásicas como las formaciones Chocolate y Guaneros con el objetivo de diferenciarlas y estar en concordancia con los análisis geoquímicos. Asimismo, se determinaron modalmente unidades intrusivas como Ilo y Punta Coles y Batolito de Atico-Camana, esta última de importancia en el desarrollo del arco magmático ordoviciano (anexo C estudios petromineralógicos).

1.4.7 Geocronología

Se ha recolectado una extensa base de datos (487), mayormente de edades U-Pb, Ar-Ar y K-Ar realizadas en rocas del Cretáceo-Paleógenas (anexo D base de datos geocronológicos de rocas y mineralización).

Estas dataciones ayudaron a posicionar temporalmente las diferentes unidades volcánicas e intrusivas estudiadas.

Para el presente proyecto, se realizaron 6 dataciones Ar-Ar, 8 U-Pb y 02 Re-Os que se detallan en el cuadro adjunto.

Cuadro 1.1
Dataciones radiométricas del proyecto GE33A-5

ID	Código	Ar-Ar	U-pb	Re-Os	Unidad estratigráfica	Lugar	Observaciones
1	36vRMT-284	1	1		Fm. Chocolate	Estique	
2	34u-RMT-285	1	1		Fm. Paralaque	Pampa Jaguay	
3	34u-RMT-286	1	1		Batolito Yarabamba.	Pampa Jaguay	
4	32p-MMT-309	1		1	Super Unidad Linga (batolito de la costa).	Pecoy	Ar-Ar en biotitas secundarias y Molibdenita para Re-Os
5	31q-RMT-318	1	1		Intrusivo no asignado	Pumacocha	
6	35u-RMT-037		1		Guaneros de transición.	Qda. Chojas	
7	34t-RMT-342			1	Porfido Dacítico	Moquegua	Molibdenita para Re-Os
8	34t-RMT-346		1		Porfido Dacítico	Moquegua	En zircones
9	34t-RMT-347		1		Porfido Dacítico	Moquegua	En zircones
10	34t-RMT-349	1			Batolito Yarabamba.	Moquegua	Ar-Ar en biotitas secundarias y Molibdenita para Re-Os
11	34t-RMT-350		1		Porfido Dacítico	Moquegua	En zircones
Total		6	8	2			

- La muestra 36t-RMT-284 de la Formación Chocolate, en Estique, dio una edad de 231 Ma por Ar-Ar.
- La muestra 34u-RMT-285 de la Formación Paralaque en Pampa Jaguay dio una edad de 87.4 Ma por Ar-Ar.
- La muestra 34u-RMT-286 del batolito Yarabamba en Pampa Jaguay dio una edad Ar-Ar de 76.1 Ma y de 69.3 por U-Pb en Zr.
- La muestra 35u-RMT-037 de la ocoita de la quebrada Chojas no dio una edad por U-Pb, ya que no se encontraron circones.
- La muestra 34t-RMT-342 de la mineralización de Los Calatos, datada por Re-Os, dio una edad de 57.8 Ma.
- En el proyecto Los Calatos, de 3 pórfidos dacíticos (informe interno) que según edad datada con el método U-Pb en circones son:
58.1 ± 0.7 Ma muestra 34t-RMT-346
59.6 ± 0.8 Ma muestra 34t-RMT-350
68.4 ± 0.7 Ma muestra 34t-RMT-347

1.4.8 Espectrometría

Se realizaron varios estudios espectrométricos en unidades volcánicas e intrusivas, especialmente en las rocas volcánicas de edad Jurásica en Hierro Morrito–Isquirimachi (Tacna), Cuajone, Cerros de Trapiche (Tacna), Pórfido Elisa Sur (Moquegua) y quebrada Guaneros (anexo E estudio de espectros de minerales).

1.4.9 Difracción de Rayos X

Se realizó en laboratorios de Ingemmet, utilizando un difractor Shimadzu XRD-7000 con un rango de barrido de 3°-70°. Se estudiaron muestras de Cañayloma, Pirka y Pampa Jaguay, para determinar el tipo de arcillas y algunos minerales no reconocibles en microscopio de polarización.

1.4.10 Participantes

El bloque norte estuvo a cargo de los geólogos Michael Valencia Muñoz y Alexander Santisteban Angeldonis; el bloque sur tuvo como participantes a los geólogos Joel Otero Aguilar, Alonso Marchena Campos y William Martínez Valladares (jefe del proyecto). Los temas de estratigrafía y tectónica regional, tanto del bloque norte como sur, estuvo a cargo del geólogo Walther León Lecaros. El geólogo Alonso Marchena Campos apoyó en los estudios de investigación inherentes a los controles tectono-magmáticos-yacimientos de todo el proyecto.

1.5 AGRADECIMIENTOS

Se agradece el aporte geológico de los ingenieros Julio Rojas Mondragón y Germán Valenzuela Ortiz, por su colaboración en la toma de muestras de colección para la litoteca institucional, y para los estudios geocientíficos del proyecto. De igual forma al Ing. Victor Valdivia, por sus colaboración en la recolección de muestras del proyecto Quellaveco.

CAPÍTULO II

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

El área de estudio se emplaza en la Cordillera Occidental, que corresponde a la región andina entre la ciudad de Cotahuasi (departamento de Arequipa) y las estribaciones andinas adyacentes con los límites fronterizos con Chile y Bolivia.

En ella se presentan dos de los más importantes elementos geomorfológicos: las estribaciones de la Cordillera Occidental y los valles longitudinales.

2.1 ESTRATIGRAFÍA

Las rocas más antiguas están representadas por las rocas metamórficas proterozoicas del "Macizo de Arequipa" con edad K /Ar para un gneis granítico del área de Cerro Verde de 679 ± 12 Ma (Stewart et al., 1974); y otra para un gneis del área entre Murco-Lluclo que dio la edad de 642 ± 16 Ma (Stewart et al., 1974). Las metasedimentitas devonianas (Valencia & Chacaltana, 2000) se encuentran expuestas en los núcleos de la zona interandina.

Las rocas mesozoicas tienen edades que van del Triásico hasta el Cretáceo tardío (Palacios et al., 1995). La base se inicia con lavas de composición andesíticas y brechas de la Formación Chocolate que representa el intervalo cronoestratigráfico Triásico inferior - Jurásico inferior (Vargas, 1970), y que se encuentra cubierta por las calizas marinas y pelitas de la Formación Socosani del Bajociano (Benavides, 1962). En la región andina, se exponen rocas sedimentarias marinas conformadas por areniscas, limolitas, lutitas pizarrosas, calizas oolíticas con corales y areniscas cuarzosas del Grupo Yura con fósiles del intervalo Jurásico superior al Cretáceo inferior (Benavides, 1962). Por encima del Grupo Yura, afloran las rocas clásticas rojas de ambientes oxidantes de la Formación Murco, del intervalo Neocomiano-Aptiano (Caldas, 1993). Franjas alargadas de rocas calcáreas marinas con restos fósiles de edad Albiana-Cenomaniana (Benavides, 1962) se reconocen en las estribaciones de la Cordillera Occidental y son descritas como parte de la Formación Arcurquina. El Cretáceo terminal y la base del Cenozoico (Caldas, 1993) están representados por los conglomerados, brechas sedimentarias y areniscas feldespáticas rojas de la Formación Huanca que documentan las litofacies continentales productos de la erosión de los terrenos deformados del Mesozoico.

Estratigrafía de las rocas cenozoicas en la cordillera occidental (Sector Sur)

En la región andina, aflora una gruesa secuencia de rocas volcánicas efusivas que se han producido después de una importante depositación de rocas volcanoclásticas compuestas por tobas, lavas y aglomerados volcánicos ocurrida entre el Oligoceno – Mioceno (Marocco, 1966), que son descritas como Formación Pichu. El vulcanismo cenozoico es de ámbito continental, como lo indican las intercalaciones frecuentes de sedimentitas clásticas continentales.

En general este conjunto litológico yace discordante sobre las rocas premiocénicas (Palacios et al., 1995), formando extensas coberturas compuestas por lavas, rocas piroclásticas y niveles de rocas sedimentarias de ambiente continental. En la región andina sur existe diversos términos de unidad que son empleados para describir la columna estratigráfica de las rocas volcánicas cenozoicas, utilizando muchos términos locales que dificultan la correlación a escala regional. Sin embargo, en la cartografía geológica regional, se emplea el rango del Mioceno – Cuaternario (Palacios et al., 1995) para las unidades litoestratigráficas descritas como el Grupo Tacaza, Grupo Maure, Formación Sencca y Grupo Barroso.

Grupo Tacaza

Descrita inicialmente por Newell et al. (1949) en los alrededores de la mina Tacaza (Puno) y dividida por Dávila (1988) en las formaciones Orcopampa e Ichocollo. La Formación Orcopampa está compuesta por un miembro inferior mayormente sedimentario que contiene areniscas, brechas y lavas de composición andesítica, seguido de un miembro medio compuesto por tobas y conglomerados tobáceos con delgadas intercalaciones de areniscas tobáceas, que están cubiertas por el miembro superior que presenta litologías de areniscas volcánicas gris verdosas, de grano fino, limolitas rojizas con intercalaciones de lavas afíricas, gris oscuras. La Formación Ichocollo está compuesta principalmente por lavas y domos de composición dacíticos, así como por lavas andesítico-basálticas, en la parte superior. Las lavas son gris a gris oscuras, afíricas y porfíricas, con presencia continua en toda la sección de capas de areniscas y brechas andesíticas. En conjunto, el Grupo Tacaza expone un grosor superior a los 2 300 m.

Con respecto a su edad, en el Grupo Tacaza no se describe el hallazgo de fósiles, pero se han efectuado varias dataciones como las descritas por Noble et al. (1974) en los alrededores de la mina Orcopampa con edades K/Ar de 19.1 ± 0.3 Ma y 18.9 ± 0.4 Ma. En la mina Cailloma, Noble (Dávila, 1988) reportó una edad de 17.2 Ma.

Formación Sencca

La Formación Sencca está constituida por secuencias monótonas de tobas homotaxiales, de naturaleza dacítica a riolítica, blanco a blanco grisáceo, intercaladas con areniscas tobáceas y tobas de ceniza estratificadas. Las tobas se componen de elementos vítreos, cristalinos y líticos. También se encuentran domos riolíticos a dacíticos que pueden constituir centros volcánicos.

La Formación Sencca yace, en discordancia angular, sobre el Grupo Tacaza del Mioceno y subyace en discordancia erosional a las lavas del Grupo Barroso. Por consideraciones regionales y criterios lito-morfoestructurales, a las tobas de la Formación Sencca se las considera como de la misma edad de las tobas de la formación homónima, reportada en Arequipa, Maure y Antajave, entre 4 y 2 Ma.

Grupo Barroso

Corresponde a una cadena de estructuras volcánicas que, de acuerdo a su tipo y modo de emplazamiento, está compuesto en estrato volcán, lava domo, domo y otros.

Estrato volcán: corresponde a las estructuras tipo volcanes compuesto por lavas andesíticas grises, afíricas en la base y porfíricas en el techo. Los volcanes más recientes se alinean sobre un eje NO-SE, a lo largo de 500 km de longitud. Su morfología está intacta y algunos muestran cráteres enormes de más de 1 km de diámetro como del Ubinas, Misti, Tutupaca; y de menor diámetro como de Yucamane, Condorpico, Chila. Otros volcanes tienen su parte somital destruida por explosiones recientes como el Huaynaputina (aproximadamente 70 km al SE de Arequipa).

La base de los estratos volcanes cubre en discordancia al Grupo Tacaza y a la Formación Sencca; toda esta secuencia está cortada por domos y afectada por la última glaciación pleistocénica.

Lava domo: representan el evento posterior a los estratos volcanes y litológicamente se componen de lavas andesíticas, grises y afíricas. Al microscopio, las lavas son descritas como andesitas con anfíbol y piroxeno, con textura porfírica fluidal, pilotáxica, microlítica con tinción tenue.

Domo: Los aparatos dómicos constituyen la última etapa del vulcanismo del Grupo Barroso. Litológicamente, las volcanitas

del tipo domos están constituidas por lavas de composición dacíticas, grises y porfíricas, dacitas con anfíbol y/o piroxeno, con textura fluidal, traquita en sectores.

Otros aparatos volcánicos: en diversas localidades, hay aparatos volcánicos formados por pequeñas erupciones magmáticas que generalmente son volcanes parásitos desarrollados, de forma esporádica, durante la etapa del evento Barroso. Litológicamente, son lavas andesíticas, grises, afíricas y/o porfíricas. Estos aparatos toman generalmente la forma de coladas monogenéticas que cubre en discordancia a las rocas del Grupo Tacaza y/o Formación Sencca fluyendo en la pendiente de la dirección actual.

Los estudios de dataciones radiométricas en las rocas del Grupo Barroso han obtenido edades de 1.02 ± 0.03 Ma cerca de la mina Caylloma, 3.77 ± 0.14 Ma (Kaneoka & Guevara, 1984) en la margen izquierda del río Hornillas, pero no parecen indicativos por su alto contenido de Argón. En el cuadrángulo de Orcopampa, en las lavas del volcán Cajchaya, Kaneoka y Guevara (1984) obtuvieron la edad de 1.36 ± 0.03 Ma. En consecuencia, teniendo las edades citadas y las edades de las unidades infrayacentes se considera que las rocas del Grupo Barroso pertenecen al Pleistoceno.

2.2 ROCAS ÍGNEAS

El Batolito de la Costa, al igual que el Grupo Toquepala, ocupa los dominios orientales paralelo a la línea de costa. En este intervalo geográfico, se expone una parte del batolito con los denominados "Segmento Toquepala" (Superunidades Punta Coles y Yarabamba) y "Segmento Arequipa" (Superunidad Tiabaya) que se extiende en la costa centro sur, el cual se ha emplazado en episodios distintos ocurridos entre los 201 y 80 Ma.

2.3 EVOLUCIÓN TECTÓNICA

El marco estructural está definido por un substrato precenozoico conformado por relictos de rocas proterozoicas y paleozoicas deformadas por las orogenias preandinas. Las rocas mesozoicas se encuentran plegadas y falladas producto de una tectónica de cobertura en general, con presencia de fallas de rumbo con orientación NW-SE.

En la región andina sur se reconocen estructuras pertenecientes al ciclo andino, describiéndose en la literatura geológica las siguientes fases tectónicas:

- Fases Peruana e Inca
- Fase Quechua
- Fase Pliocénica

Fase Peruana e Inca

La Fase Peruana consta de un levantamiento general que ocasionó el retiro de los mares, la estructuración y deformación de las rocas precenozoicas que forman pliegues y fallas contemporáneas con la deformación.

Esta fase afectó a las rocas mesozoicas y formó pliegues simétricos y amplios con 30° y 40° de buzamiento, con dirección de compresión NE-SO. Las fallas son de rumbo y conjugadas, ocurridas en la etapa final de la compresión.

Entre Arequipa y Huambo, Caldas (1993) y Vicente et al. (1979) observaron sobrescurrimientos de bajo ángulo en los que el control litológico son las formaciones Murco y Seraj, dando estructuras en un bloque autóctono de pliegues amplios, y otra serie alóctona de pliegues apretados.

Como consecuencia de la Fase Peruana, ya en ambiente continental, se depositaron molasas, denominadas como Formación Huanca. Posterior a la sedimentación de los clásticos detríticos posterior a la Fase Peruana, hubo un nuevo evento de compresión descrita como la Fase Incaica. Esta fase es la causante de que parte de los ejes de los pliegues rotaran

hasta una posición E-O, que concuerda con la Deflexión de Abancay. La Fase Peruana e Incaica constituyen las mayores deformaciones de los Andes en el sector occidental.

Fase Quechua

Esta fase afectó a las rocas volcánicas del Grupo Tacaza y consta de dos etapas, ambas compresionales, siendo la primera de plegamiento y la segunda de fracturamiento y fallamiento.

La primera etapa ocasionó pliegues amplios y simétricos de rumbo NO-SE con buzamientos de 10° a 20°, mientras la segunda dio origen a fallas de desgarre conjugadas (NO-SE y NE-SO) y fracturas de tensión que se originaron al inicio del proceso de fracturamiento, por la compresión (Dávila, 1988).

Fase Pliocénica

La Fase Pliocénica afectó a las tobas de la Formación Sencca sin originar macroestructuras, sino más bien determinó los centros volcánicos por donde fluyeron las volcanitas que se encuentran en posición horizontal. Los conductos volcánicos se encuentran alineados.

CAPÍTULO III

ASPECTOS METALOGENÉTICOS REGIONALES

A nivel regional, en la zona de estudio, factores como magmatismo fértil y controles estructurales confluyen. A su vez, la zona de estudio abarca las franjas metalogenéticas X, XIII, XV, XXI-a, XXI-c y XIII. Se desarrollan a continuación los aspectos metalogenéticos de la zona de estudio.

3.1 METALOTECTOS LITOESTRATIGRÁFICOS Y LITODÉMICOS

Batolito de la Costa- Superunidad Yarabamba y Grupo Toquepala

Durante el Cretáceo superior-Paleógeno, se da una sucesión de flujos piroclásticos de composiciones dacíticas a riolíticas, altamente diferenciadas, conocidas en el sur del Perú como el Grupo Toquepala (100-55 Ma) La unidad Asana que es parte del Grupo Toquepala superior, compuesta de riolitas con cristales de cuarzo y que es conocida como riolita QQ, presenta anomalías de Cu (>100 ppm), y está presente en los yacimientos Cuajone, Quellaveco y Toquepala, y al parecer, representa el metalotecto más importante para estos sistemas porfiríticos (Martínez et al., 2017).

En este tiempo, se emplaza el intrusivo regional Superunidad Yarabamba (66-58 Ma). Los últimos eventos magmáticos, cuya naturaleza corresponde a pulsos intrusivos y cuerpos subvolcánicos asociados a la Superunidad Yarabamba, se dieron hace 65-55 Ma y fueron los que trajeron la mineralización para el tiempo Paleoceno. Esta franja tiene una extensión longitudinal aproximada de 225 km y un ancho promedio de 40 km.

El arco magmático Toquepala-Yarabamba reúne las condiciones de volumen de magmatismo, régimen tectónico, tiempo de maduración, parámetros litogeoquímicos favorables, para la generación de un sistema porfirítico (Martínez et al., 2017); por ello, son considerados metalotectos, dado su potencial de albergar yacimientos de tipo pórfido de Cu (-Mo,-Au).

Faja magmática Paleógena-Neógena

Los yacimientos epitermales se encuentran predominantemente relacionados a volcánicos Paleógenos Neógenos, tales como los volcánicos Huilacollo, Tacaza, Huaylillas y Barroso. En la geología local de los epitermales del sur, se encuentran en el caso de cuerpos subvolcánicos de edad Paleógena-Neógena, asociados al Batolito Challaviento. Para yacimientos como el

skarn Ataspaca, unidades litoestratigráficas como la Formación Pelado son metalotectos, ya que albergan y proporcionan el medio para la reacción con los stocks, diques y sills de composición cuarzo-monzonítica a diorítica que pertenecen al Eoceno tardío, asociados al Batolito Challaviento, que los intruyen.

3.2 METALOTECTOS ESTRUCTURALES

El área de trabajo está enmarcada dentro una margen continental activa con subducción de corteza oceánica bajo el continente sudamericano. Este tipo de margen es diferente a la faja andina de los andes septentrionales (Colombia y Ecuador) los cuales conservan terrenos colisionales, con múltiples sectores aloctónos a lo largo de su costa occidental; y por su parte, en los Andes meridionales (Chile) se desarrolló una cuenca marginal durante el Jurásico y Cretáceo.

El contexto estructural para el tiempo Cretáceo superior-Paleógeno comprendía un régimen de subducción N-S. En este contexto transpresivo, de dirección y velocidad de subducción constantes, se dieron las condiciones para la maduración de extensos batolitos, alineados a la fosa, durante más de 35 Ma. El metalotecto estructural para este sector es la falla Incapuquio, denominándose más al sur, Falla Challaviento, conocido regionalmente como el sistema de fallas Incapuquio-Cincha Lluta (SFICLL). Las condiciones estructurales del SFICLL para ese tiempo funcionaron como transtensivas promoviendo la formación de áreas extensionales (pull-apart), focalizadas y conectadas con la intersección de los lineamientos N 70° (antiandinos). Estos ofrecieron vías de alta permeabilidad para el ascenso del magma desde las zonas corticales inferiores, y es por donde se emplazó el Batolito de Yarabamba.

El hallazgo de un nuevo yacimiento tipo pórfido depende de identificar zonas que reúnan la mayor cantidad de parámetros favorables dentro de un arco magmático regionalmente identificado como potencial generador, tales como zonas de debilidad estructural que canalicen los pulsos intrusivos, que permiten su ascenso y emplazamiento para posteriormente liberar los fluidos mineralizantes. En la geología local de muchos yacimientos en el sur del Perú, se encuentran fallas con rumbo NE, las que se interceptan con lineamientos N-S, que generan apertura para la migración de mineralización.

3.3 FRANJAS METALOGENÉTICAS

Se indican las franjas metalogenéticas y sus características según Acosta et al. (2009) en la zona de estudio, así como su distribución espacial (mapa 5, anexo A):

X. Pórfidos de Cu-Mo del Cretácico superior

Se encuentra en el margen occidental norte de la zona de estudio. En el centro y sur del Perú, la mineralización está relacionada con intrusivos graníticos del Cretácico superior del Batolito de la Costa y controlada por las fallas Cincha-Lluta e Incapuquio, así como por fallas menores con orientación N-S (Acosta et al., 2008). Los principales depósitos que constituyen esta franja son Marcahui, Durazno, Puquio, Cuco, Aguas Verdes (skarn con relacionado con los intrusivos del Cretácico superior), Lara, Tibillos, Zafranal y Angostura. Sus edades de mineralización se registran entre 80 y 68 Ma. En la zona de estudio, se encuentra el yacimiento Pecoy.

XIII. Pórfidos de Cu-Mo y depósitos polimetálicos relacionados con intrusiones del Paleoceno-Eoceno

Parte de ella se encuentra en el margen occidental sur de la zona de estudio. Se extiende en el flanco oeste de la Cordillera Occidental del sur del Perú y agrupa a los depósitos de Cu-Mo de mayor tonelaje del área (más de 500 m). Los intrusivos relacionados con la mineralización presentan composiciones dioríticas, granodioríticas y monzoníticas, cuyo emplazamiento se encuentra controlado por el sistema de fallas NO-SE Incapuquio. Esta franja registra dos épocas metalogenéticas con mineralización de Cu-Mo (Acosta et al., 2008). La primera del Paleoceno (62 y 55 Ma), representado por los depósitos Cerro Verde y Toquepala. La segunda época es del Eoceno (54 y 52 Ma), caracterizada por los depósitos de Cuajone y Quellaveco. Distalmente a los sistemas porfiríticos de Cu-Mo y en secuencias sedimentarias, se tienen estructuras mineralizadas de Cu-Pb-Zn, con geometrías de vetas y cuerpos similares a Ataspaca.

XV. Pórfidos-skarn de Cu-Mo (Au, Zn) y depósitos de Cu-Au-Fe relacionados con intrusivos del Eoceno-Oligoceno

Se encuentra predominantemente al sur de la zona de estudio. Se ubica entre la Cordillera Occidental y el Altiplano de Puno. La mineralización está relacionada con granitoides dioríticos a granodioríticos del Batolito Andahuaylas-Yauri del Eoceno-Oligoceno, emplazados en condiciones transpresionales (Carlotto, 1999; Perelló et al., 2003) y controlados por los sistemas de fallas Urcos-Sicuani-Ayaviri, Cusco-Lagunillas-Mañazo, Andahuaylas-Totos-Chincheros-Licapa y Abancay-Condoroma-Caylloma. Los intrusivos intermedios a félsicos están relacionados con la mineralización Cu-Mo (Au) y en el

contacto con secuencias carbonatadas del Albiano-Turoniano desarrollan cuerpos de skarn de Cu-Zn. Los intrusivos más máficos están relacionados con las mineralizaciones de Fe-Cu-Au, que se presentan a manera de cuerpos, en el contacto con secuencias carbonatadas del Albiano-Turoniano y vetas principalmente de Au-Cu en los intrusivos. Los depósitos más representativos de esta franja son Tintaya, Kananga, Las Bambas, Cotabambas, Morosayhuas, Antapacay, Haquira, Los Chancas, Antillas, Trapiche, entre otros. Las edades de mineralización están registradas entre 42 y 30 Ma. Es importante mencionar que en el dominio del sistema de fallas Urcos-Sicuani-Ayaviri, se tienen cuencas continentales sin-orogénicas (Carlotto et al., 2005), con mineralización de Cu tipo "Red Bed" alojada en capas rojas del Eoceno-Oligoceno del Grupo San Jerónimo y relacionada con el Batolito Andahuaylas-Yauri (Loza, 2004). Los depósitos más importantes de este género se ubican en las localidades de Tambomachay, Ushpa, Tapon y Anta.

XXI-a. Epitermales de Au y Ag del Mioceno hospedados en rocas volcánicas Cenozoicas

Se le encuentra principalmente en el sector norte de la zona de estudio. Se distribuye ampliamente en el dominio volcánico Cenozoico de la Cordillera Occidental. En el sector sur, la franja está controlada por fallas NO-SE de los sistemas Cincha-Lluta, Incapuquio, Abancay-Condoroma-Caylloma y Cusco-Lagunillas-Mañazo. Esta franja agrupa a depósitos de Au-Ag (Pb-Zn-Cu) tipo alta, baja e intermedia sulfuración. Según sus edades de mineralización, se les puede subdividir en dos épocas metalogenéticas de 18-13 Ma y 12-8 Ma. Hacia el sur (14°-16°), se encuentran depósitos de Au-Ag de alta sulfuración como Chipmo (Orcopampa), Poracota y Arasi. Asimismo, destaca la presencia de epitermales de Au-Ag (Pb-Zn) de baja sulfuración, similares a Arcata, Calera, Caylloma, Selene y San Gabriel (Chucapaca). Más al sur (14°- 16°), se encuentran principalmente epitermales de Au-Ag de baja sulfuración, como Ares, Shila Paula y Tambomayo.

XXI-c. Depósitos polimetálicos Pb-Zn-Cu con superposición epitermal de Au-Ag

Principalmente en el sector sur de la zona de estudio. Al sur (16° y 17° S), la mineralización se encuentra entre dos corredores formados por los sistemas de fallas Incapuquio, Condoroma-Caylloma y Cusco-Lagunillas-Mañazo. Las rocas hospedantes pertenecen a los grupos Tacaza y Maure y calizas de la Formación Ayavacas. La mineralización es de tipo Cu-Pb-Zn y los yacimientos más importantes son Tacaza, Santa Bárbara, Berenguela, Mina los Rosales, Quello Quello y San Antonio de Esquilache. La edad de mineralización está asociada a intrusivos de edades comprendidas entre 22 y 19 Ma.

XXIII. Epitermales de Au-Ag del Mio-Plioceno

Es la franja metalogénica que más área abarca en la zona de estudio. Se extiende en el dominio volcánico de la Cordillera Occidental del Centro-Sur del Perú. La mineralización de Au-Ag está relacionada con actividad magmática Mio-Pliocena. Sus controles estructurales son fallas NO-SE de los sistemas de fallas Chonta, Abancay-Condorama-Caylloma y Cincha-LLuta,

así como fallas menores E-O. Las edades de mineralización de esta franja se registran entre 7 y 1 Ma, y está constituida principalmente por epitermales de Au-Ag de alta sulfuración. Los epitermales de Au-Ag de alta sulfuración que se distribuyen en esta franja son Tucari, Santa Rosa, Pucamarca, Pico Machay, Corihuarmi, Huamanrazo, Ccarhuaraso, Palla Palla, Baños del Indio y otros.

CAPÍTULO IV

DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES YACIMIENTOS EN LA REGIÓN

4.1 PROYECTO ATASPACA

Ataspaca está ubicado 47 km al noreste de la ciudad de Tacna, en dirección a Pachía en el anexo Ataspaca, distrito de Palca,

provincia y región Tacna. Sus coordenadas UTM de referencia son 402,400E y 8'040,500N, a una altitud de 3740 m s. n. m., situada dentro del cuadrángulo de Palca (36-x) (figura 4.1).

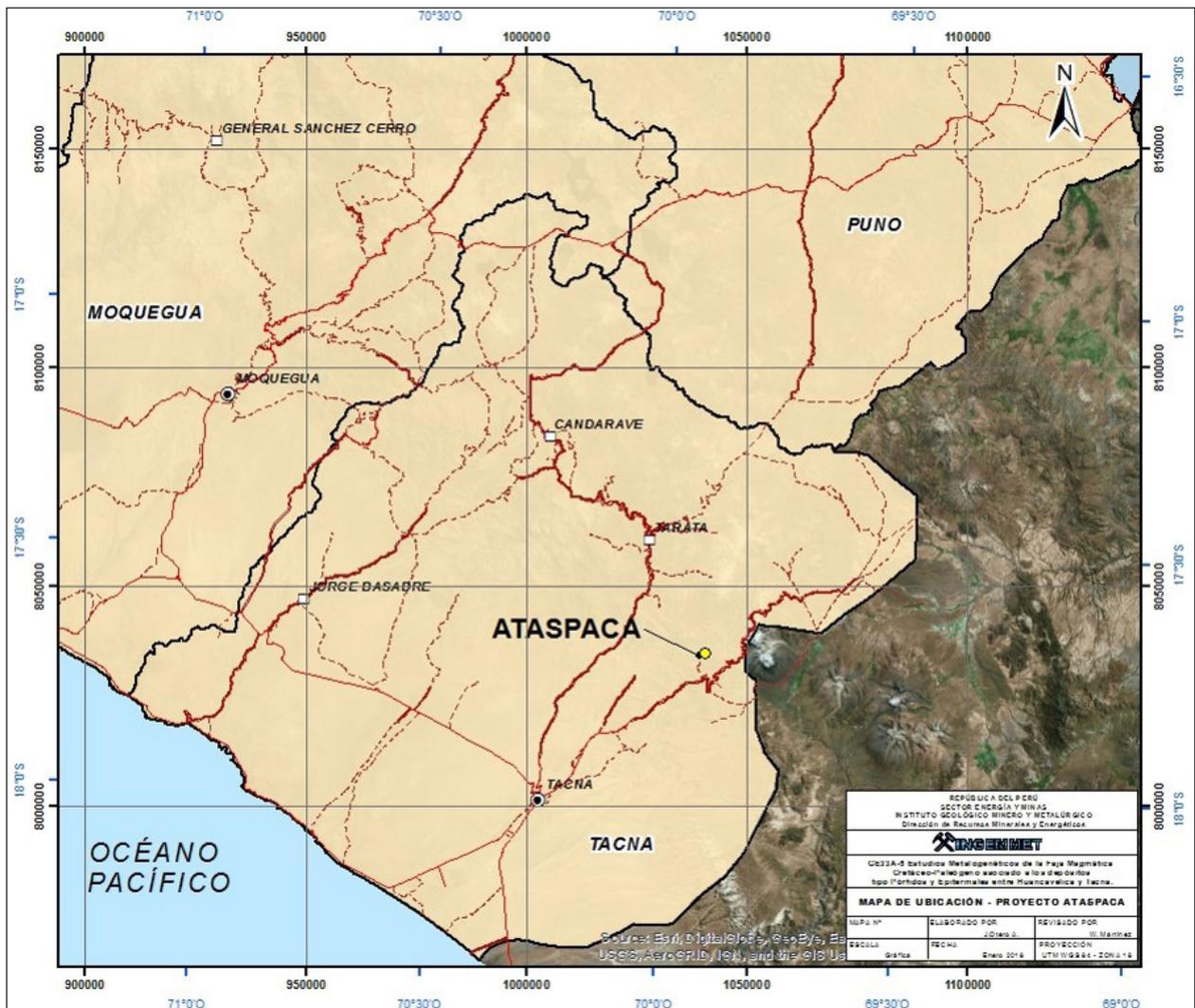


Figura 4.1 Mapa de ubicación del Proyecto Ataspaca

Geología local

Una secuencia de rocas sedimentarias marinas del Bajociano (Jurásico medio-inferior) de 690 m de espesor, expuesta dentro de un área de 1.6 km mapeadas al detalle en el proyecto Ataspaca. Estos estratos son intruidos por *stocks*, diques y *sills* de composición cuarzo-monzonítica a diorítica que pertenecen al Eoceno tardío.

Las rocas sedimentarias están fracturadas y desplazadas por fallas de tendencia NE y NO. Pequeños pliegues (con ondulaciones menores a 2 m.) están generalmente asociadas con fallas. Muchas de las rocas intrusivas y al menos una capa sedimentaria de calizas presentan alteración hidrotermal.

La muestra 36x-RMT-208 es una arenisca metasomatizada con piroxenos y anfíboles producto de un metasomatismo de contacto de grado moderado, afectando casi a toda la matriz, que conserva aún clastos de cuarzo y feldespatos. (Estudio petrográfico, anexo C). La geología distrital se muestra junto con la del proyecto Andamarca en la figura 4.2.

Respecto a las rocas intrusivas, estas se encuentran conformadas por *stocks*, diques y *sills* de composición diorítica a monzogranítica y presenta cuatro cuerpos intrusivos principales están presentes; estos son la granodiorita Oeste (To), el cuarzo-diorita Central (Tc), la granodiorita Ricardina (Tr), y la granodiorita Taracahua (Tt).

La biotita obtenida de una muestra de monzogranito proporcionó con la datación K-Ar una edad de 40.8 ± 1.5 Ma (Horning, 1982, comunicación escrita).

Se tomó una muestra asignada al Batolito Challaviento (fotografía 4.1).

Respecto al aspecto estructural, las rocas sedimentarias del prospecto Ataspaca tienen rumbo noreste y buzamiento de suave a abrupto hacia el sureste. Estos son compensados por fallas normales y *strike-slip* (transcurrentes) de rumbo noreste, noreste, y noroeste. Además, los pliegues de arrastre se presentan de manera común en los estratos adyacentes a las fallas. A pesar de que la fábrica de las fallas parece penetrar dentro de las rocas intrusivas, no se aprecia desplazamiento en los plutones. Las fracturas subparalelas son comunes en las rocas hospedantes adyacentes a las fallas, y más notorias dentro de la labor minera. Además, se incluye el engrosamiento tectónico de la Limolita Erica (nombre interno mina), y en las zonas locales de cizalla y brechamiento a lo largo de algunos contactos entre los intrusivos y las rocas sedimentarias hospedantes.

En Ataspaca, la mineralización corresponde a un *skarn* de tipo distal, emplazados en horizontes de calizas controlados por la estratigrafía relacionados especialmente en la Formación Pelado. Los horizontes no reemplazados, generalmente están intercalados con horizontes lutáceos.



Fotografía 4.1 Muestra 36x-RMT-209 de Coord. 402417 E 8040437 N h= 3710 m. Roca intrusiva, color gris claro textura fanerítica, hornablenda, biotitas, cloritas en partes, asociada al Batolito de Challaviento

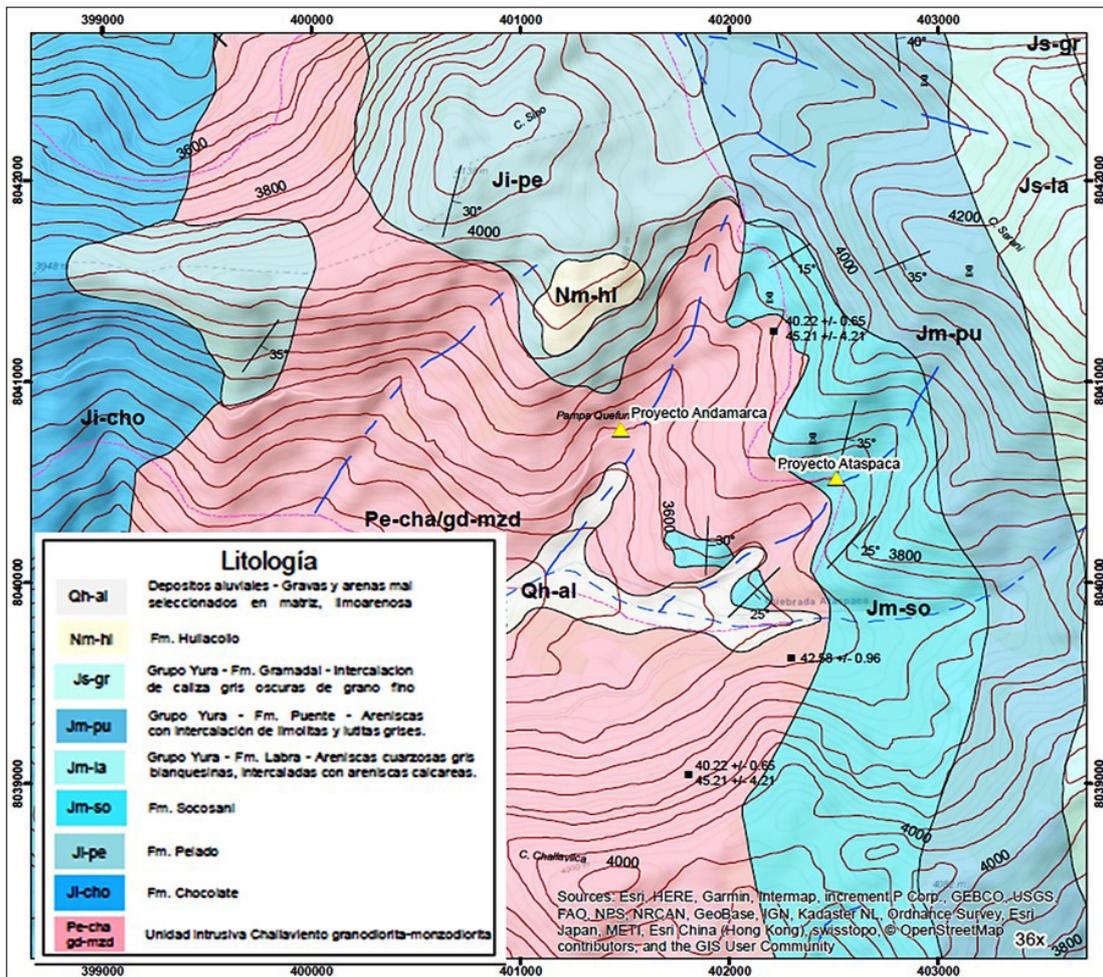


Figura 4.2 Geología distrital y lineamientos regionales que favorecieron la mineralización

Fuente: Geocatmin

Alteración hidrotermal y mineralización

En el granito porfírico por debajo de (20-80 m) de la asociación sericita-arcillas-óxidos de hierro, se presenta una extensa alteración de clorita-sericita, sobrepuesta fuertemente a la alteración potásica, de biotitas secundarias y feldespato potásico y anhidrita.

Las brechas magmáticos-hidrotermales también presentan una alteración potásica en la matriz, predominantemente de biotita secundaria y cuarzo, así como magnetita y anhidrita. Localmente, dentro de estos cuerpos de brecha, la alteración

potásica sufre también sobreimpresión de clorita-sericita. Las brechas de tipo *Host Rock* (HRBX), presentan alteración de cuarzo-clorita-biotita. Asimismo, los diques interminerales presentan biotita secundaria y los diques tardíos y posminerales presentan alteración propilitica constituida por clorita, epidota y pirita.

Geoquímica

En el cuadro 4.1, se muestran los resultados analíticos de los elementos principales de las muestras tomadas en el Proyecto Ataspaca durante el mes de abril de 2018.

Cuadro 4.1
Resultados analíticos del Proyecto Ataspaca

Código	Lugar	Este (m)	Norte (m)	Ti (ppm)	Li (ppm)	Sb (ppm)	As (ppm)	Bi (ppm)	Te (ppm)	Se (ppm)	Sn (ppm)	W (ppm)	Mo (ppm)	Cu (ppm)	Au (ppb)	Ag (ppm)
36X-RMT-208	Ataspaca	402631	8040565	0.309	6	41.2	4.11	4.2	<0.5	<3	19	2.5	14	23300	0.13	15
36X-RMT-209	Ataspaca	402417	8040437	0.3	17	0.4	7	0.2	<0.5	<3	<3	0.8	<2	90		<5

En la actualidad, el proyecto cuenta con labores de exploración (galerías y piques), en situación de abandono. No hay registros de recursos. El código 36x-RMT-208 perteneciente a la muestra de cancha mineral registra un valor de 23 300 ppm (2.33 %) en Cu y 14 ppm en Mo.

4.2 PROYECTO ANDAMARCA

Andamarca está ubicado 54 km al noreste de la ciudad de Tacna. Se sitúa en el anexo Challaviento, distrito de Palca, provincia y departamento de Tacna, sus coordenadas UTM de referencia son 406,385E y 8'048,489N, a una altitud de 4500 m s. n. m., situada dentro del cuadrángulo de Palca (36-x) (figura 4.3).



Figura 4.3 Mapa de ubicación del Proyecto Andamarca

Geología local

Está conformada por rocas sedimentarias y volcánicas del Jurásico al Paleógeno-Neógeno-Cuaternario. Las rocas sedimentarias principalmente están conformadas por las formaciones Jurásicas: Junerata (andesitas porfíricas), Pelado (calizas), Ataspaca (areniscas y cuarcitas intercaladas con lutitas) y Chachacumane (cuarcitas); las formaciones Cretácicas:

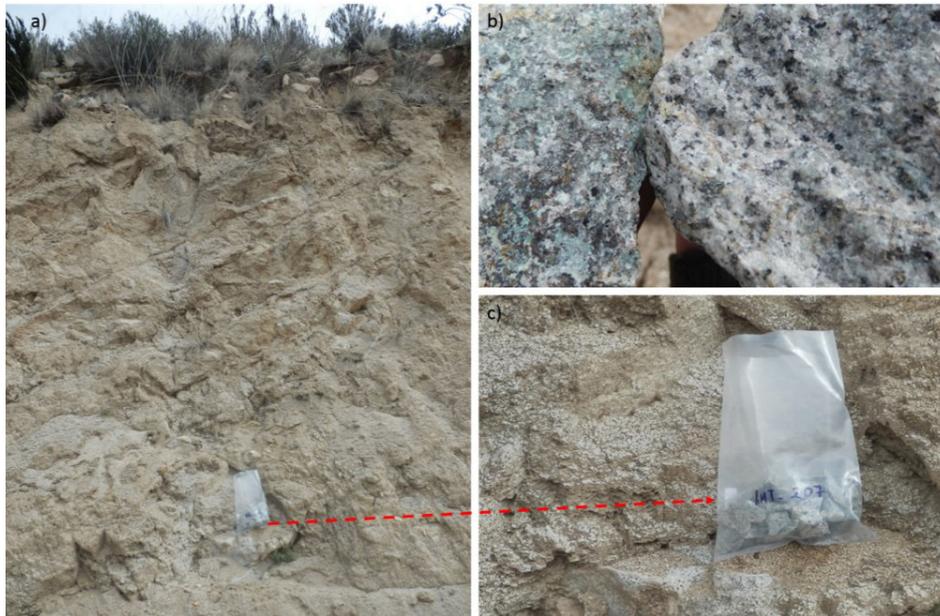
Chulluncane (conglomerados de cuarcita y andesita) y Tarata (andesitas y piroclastos). Estas unidades locales no se muestran en el mapa de geología integrada. Las formaciones Paleógenas – Neógenas están conformadas principalmente por rocas volcánicas: volcánicos Huilacollo (andesitas y tobas dacíticas), volcánicos Huaylillas (tobas riolíticas) y volcánico Barroso (lavas andesíticas) (fotografía 4.2).



Fotografía 4.2 Muestra 36x-RMT-204 Coord. 406530m E 8048490m N h= 4788 m roca lava andesítica asociada al Grupo Barroso color gris claro con tonalidades color marrón oscuro, silicificación en partes

Las rocas intrusivas se encuentran conformadas por rocas de composición granodiorítica de grano grueso con abundantes biotitas y anfíboles. Además, presentan cuarzo >19 %, asociadas al Batolito Challaviento que se encuentra en la parte sur del yacimiento.

El marco estructural de la zona está influenciado por la falla regional Incapuquio. En el área, existen fallas locales con rumbo noreste, que se interceptan con lineamientos norte-sur, que generan apertura para migración de la mineralización del yacimiento Andamarca.



Fotografía 4.3 Muestra 36x-RMT-207 Coord. 401483m E 8040763m N h=3620 m granodiorita asociada al Batolito Challaviento

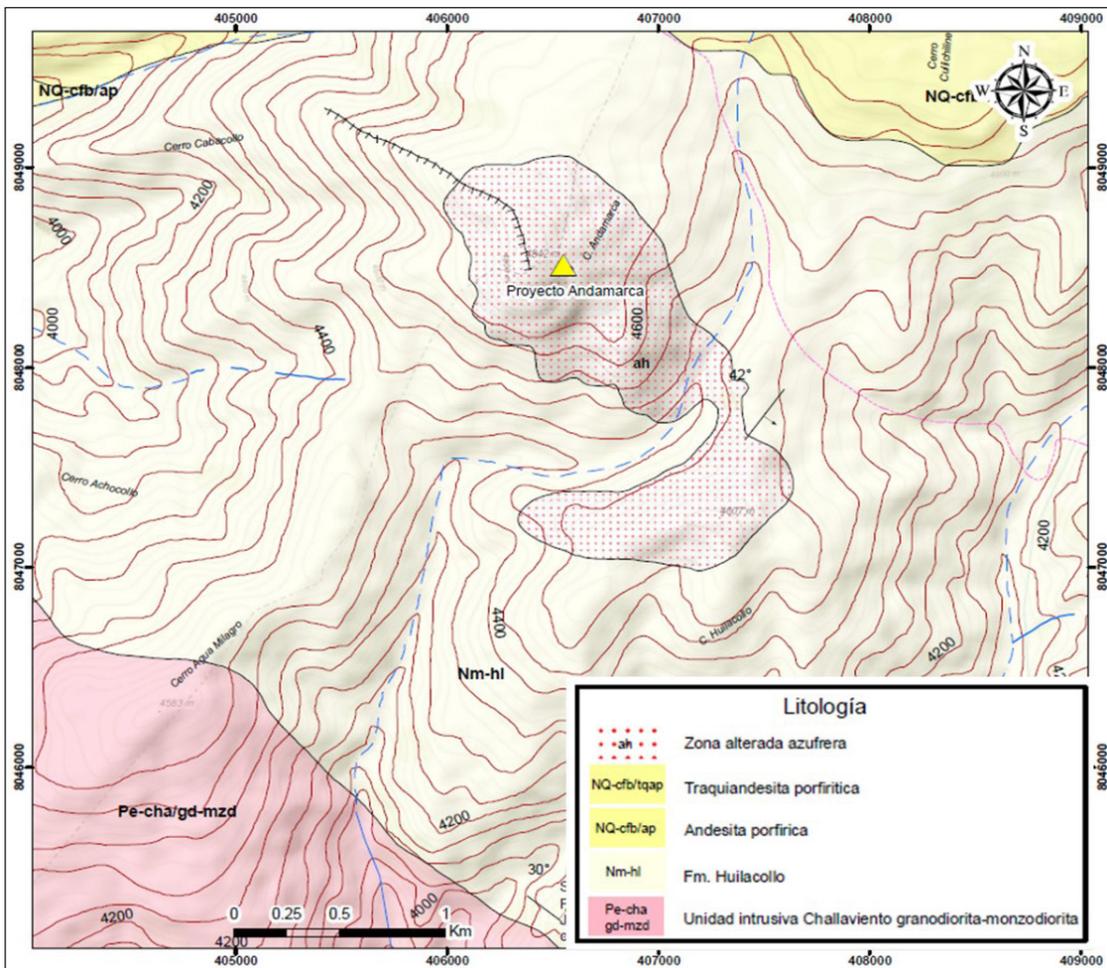


Figura 4.4 Mapa geológico del Proyecto Andamarca (Fuente: Geocatmin hoja 36-x)

Alteración hidrotermal y mineralización

Se caracteriza por una alteración argílica (illita-caolinita) con óxidos de hierro (goetita-hematita) y jarosita que se encuentran rellenando las oquedades de la sílice *vuggy*. Además, presenta superposición de silicificación moderada a fuerte.

Geoquímica

En el cuadro 4.2, se muestran los resultados analíticos de los elementos principales de las muestras tomadas en el Proyecto Andamarca.



Fotografía 4.4 Muestra 36x-RMT-205 Coord. 406530m E 8048450m N h= 4790 m roca volcánica asociada a la Formación Huilacollo, con fuerte silicificación; además, presenta oquedades tapizadas con óxidos de hierro (hematita, goetita, jarosita) tipo sílice *vuggy*. Estrato N30°O/30°SO

Cuadro 4. 2

Resultados analíticos del Proyecto Andamarca

Código	Lugar	Este (m)	Norte (m)	Ti (ppm)	Li (ppm)	Sb (ppm)	As (ppm)	Bi (ppm)	Te (ppm)	Se (ppm)	Sn (ppm)	W (ppm)	Mo (ppm)	Cu (ppm)	Au (ppb)	Ag (ppm)
36X-RMT-204	Proyecto Andamarca	406530	8048490	0.242	<2	8.1	65	31.8	0.8	11	<3	1.3	<2	<20		8
36X-RMT-205	Proyecto Andamarca	406530	8048450	0.479	2	50.1	61	121.5	3.1	20	12	2.8	3	30	0.435	12
36X-RMT-206	Proyecto Andamarca	406530	8048450	0.368	<2	9.6	68	26.1	0.8	15	<3	0.9	3	20	0.027	11
36X-RMT-207	Proyecto Andamarca	401483	8040763	0.257	20	0.3	<4	0.3	<0.5	5	<3	0.6	<2	1260		<5

Los resultados analíticos de las muestras 36x-RMT-204, 36x-RMT-205 y 36x-RMT-206, mostrados en el cuadro 4.2 indican valores anómalos en As, Bi y Se (elementos guías para

un pórfido); además, la muestra 36x-RMT-207 presenta 1260 ppm en cobre en zona de óxidos.

4.3 MINA PUCAMARCA

El Proyecto Pucamarca se ubica aproximadamente a 1 050 km al sureste de Lima y 55 km al noreste de Tacna. El área pertenece a la comunidad de Vilavilani, distrito de Palca, provincia de Tacna. Las coordenadas aproximadas del centro del área son 414,636E y 8 029,331N. El proyecto está ubicado cerca al hito

52 de la frontera peruano-chilena, al este del cerro Checocollo (figuras 4.5 y 4.6).

Geología local

El yacimiento de Pucamarca estaría genéticamente relacionado con la formación de una diatrema (fotografía 4.5) localizada en el cerro Checocollo (figura 4.7).

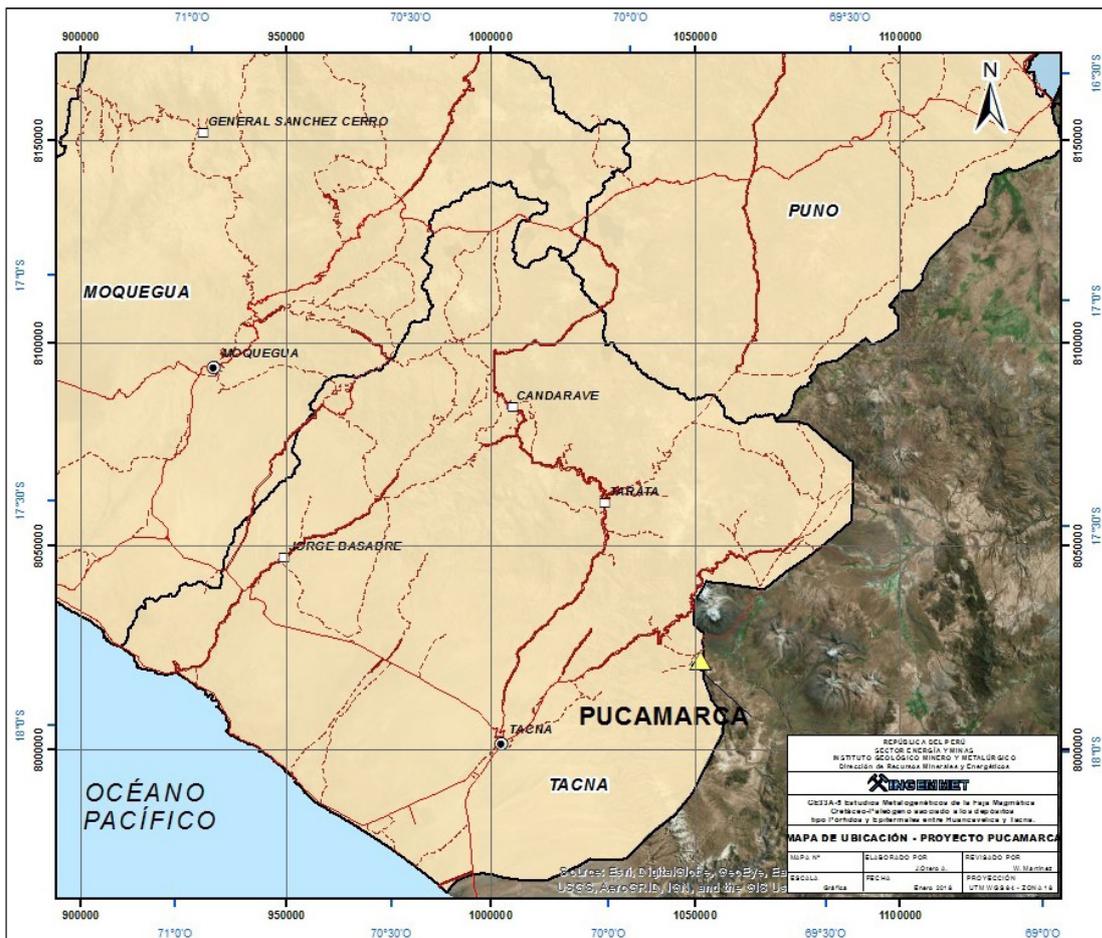


Figura 4.5 Mapa de ubicación mina Pucamarca



Figura 4.6 La mina Pacamarca se ubica en el distrito de Palca provincia de Tacna; a) y b) carretera hacia Palca-Tripartito donde se ingresa hacia la derecha a la mina Pacamarca; c) Tajo Checocollo



Fotografía 4.5 Diatreme Pucamarca, topografía de forma piramidal, relativamente aislada (Departamento de exploraciones de Minsur S.A.)



Figura 4.7 Yacimiento Pucamarca ubicado en el cerro Checocollo, vista del volcán Tacora (Chile)

Volcánicos Huilacollo

Están conformados por derrames y piroclásticos de composición andesítica-dacítica relacionados con la diatrema Pucamarca. Cerca de la diatrema, estas rocas son afectadas por diferentes grados de alteración hidrotermal y mineralización de oro, controladas estructuralmente por fallas y fracturas que se entrecruzan en el cerro Checocollo.

Pórfido Andesítico

Expuesto en la ladera oeste del cerro Checocollo, presenta una textura típica de pórfido, de grano grueso, matriz gris oscura verdosa y ocasionalmente púrpura debido al contenido de hematita-limonita. En planta, la geometría espacial de este cuerpo tiene forma tabular alargada en dirección noreste y buzamiento al noroeste. Su proyección hacia el suroeste estaría sugiriendo que la masa central, desde la que se derivó,

está en las proximidades de las confluencias de las quebradas Uchusuma- Checocollo. En el cerro Caldero, el pórfido ocurre como un *stock* irregular de forma dómica.

Pórfido de Cuarzo-Pórfido Brecha-Brecha Híbrida

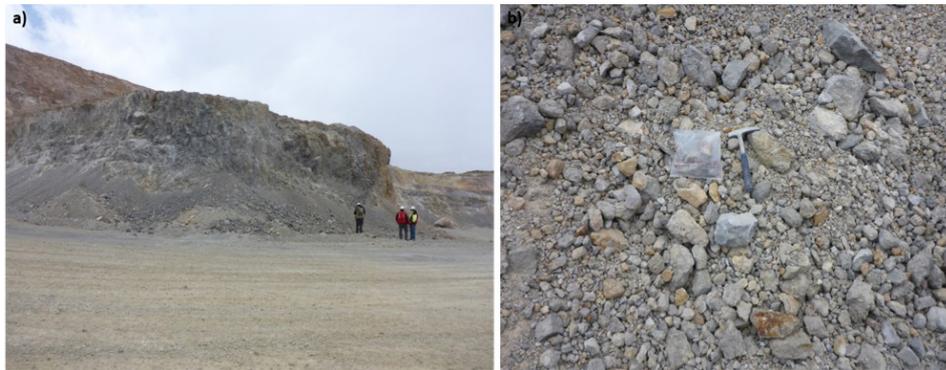
Es la intrusión principal en la diatrema Pucamarca y tiene la forma de una nariz orientada hacia el noroeste, teniendo una mejor extensión superficial en la ladera sur - sureste y este del cerro Checocollo. Su ascenso produjo una columna de brecha tanto de material de roca huésped, los volcánicos Huilacollo como del pórfido. La brecha de contacto es difícil de definir en el pórfido de cuarzo y en algunos casos puede alcanzar de cuatro a cinco metros o de 40 o 50 m.

Las muestras tomadas se indican en las fotografías 4.6, 4.7 y 4.8.

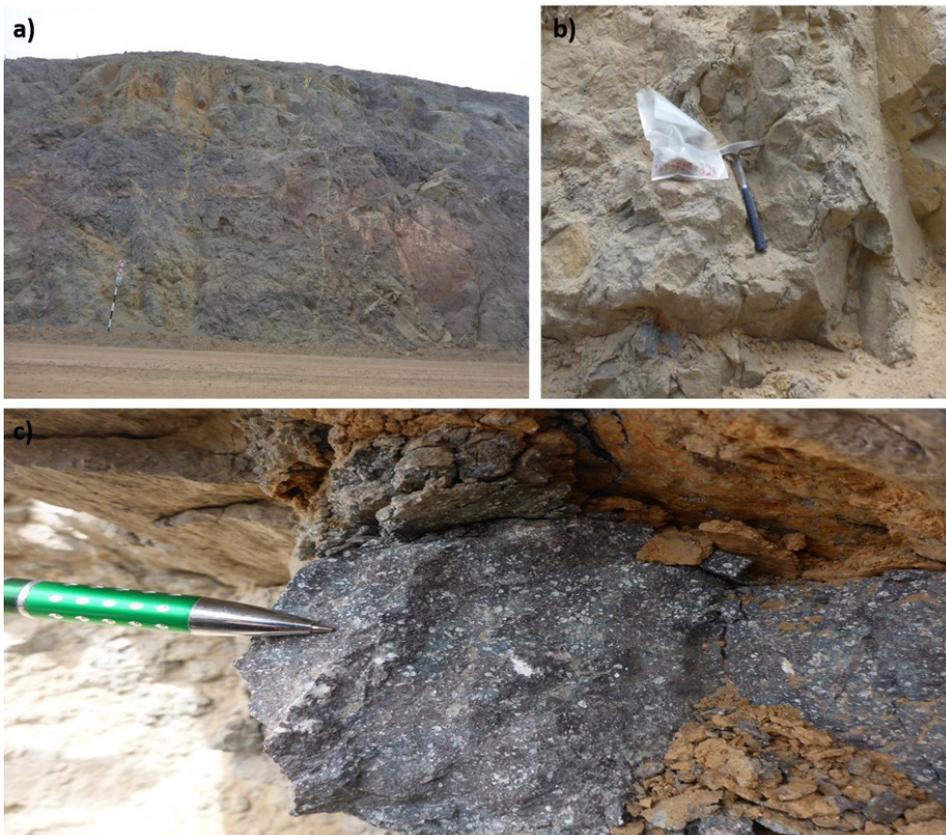
La geología distrital se muestra en la figura 4.8.



Fotografía 4.6 Muestra 36x-MMT-324 Coordenadas: 414636E / 8029331N. Brecha polimictica con fragmentos de sílice, dacita y andesita, con alteración argílica avanzada (cuarzo-alunita). Muestra tomada de cuerpo principal del tajo (banco 27)



Fotografía 4.7 Muestra 36x-RMT-325 Coordenadas: 414673E / 8029500N. Toba riolítica con cuarzo hialino asignada a la Formación Huaylillas. Esta toba es cortada por la brecha de alunita pulverizada (nomenclatura en mina).



Fotografía 4.8 Muestra 36x-RMT-327 Coord. 414200 E 8027905 N h= 4295 m. Andesita porfírica de colores abigarrados (rojizas y verdosas). Roca huésped

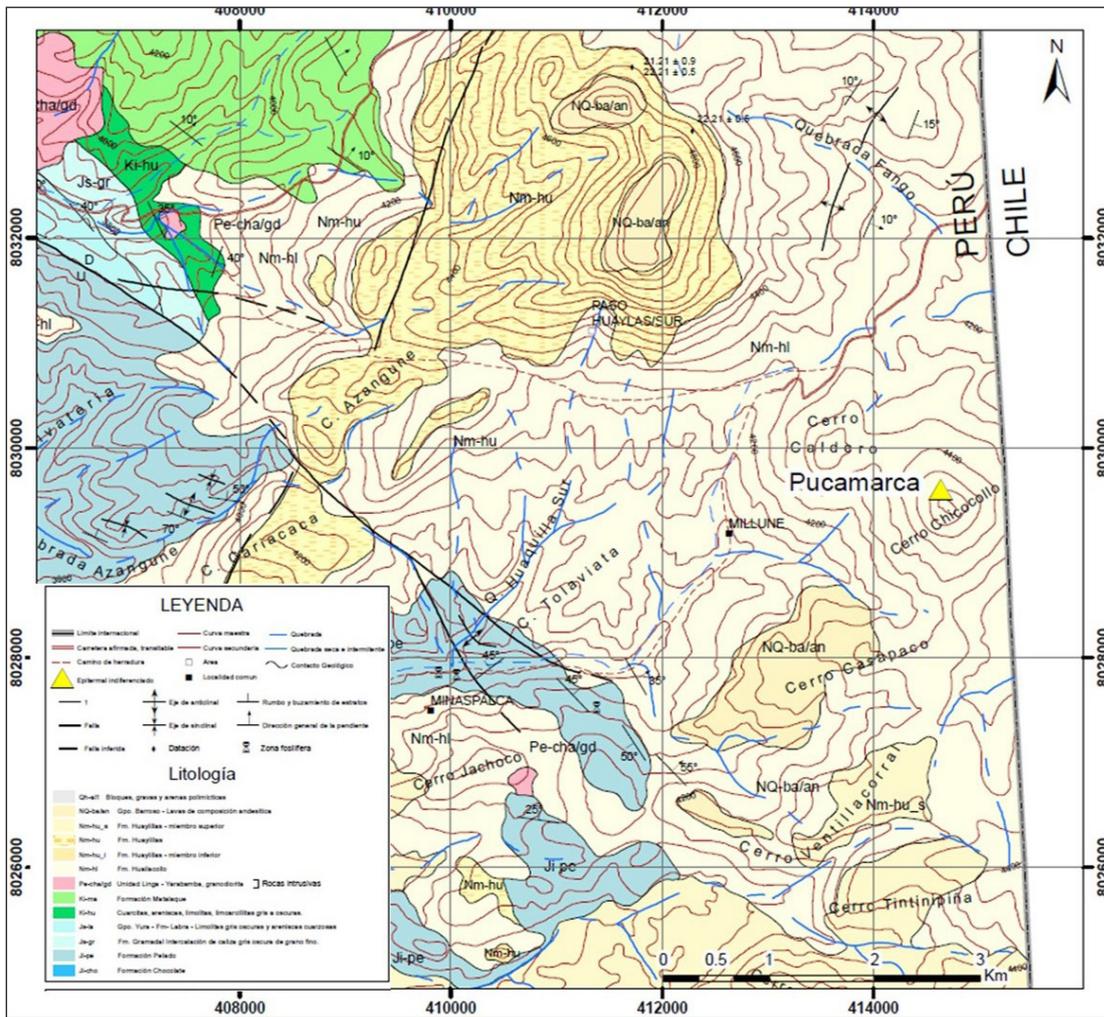


Figura 4.8 Geología distrital y centro volcánico (diatremas)-Mina Pucamarca (Fuente: Geocatmin)

El área es afectada por las siguientes estructuras:

Falla Incapuquio

Esta falla hace su ingreso en el área de estudio por el cerro Hierbabuena, al noroeste del poblado de Caplina, con rumbo sureste, perdiéndose en el intrusivo granodiorítico frente al caserío de Ataspaca. Cerca del cerro Herbabuena, esta falla está relacionada a un dique riolítico de algunos centenares de metros de ancho. Es posible que esta falla esté relacionada a la mineralización del prospecto de Ataspaca, que presenta características tipo pórfido de cobre.

Falla Challaviento

La falla nace de la Falla Incapuquio, ingresa al área de estudio cerca del caserío de Charichua, con rumbo sureste, paralela a la Falla Incapuquio. Al ingresar a territorio chileno, cambia

de posición a este-oeste. En el tramo cercano al poblado de Charichua, la falla separa al intrusivo granodiorítico de la caliza y mármol de la Formación Pelado, para luego más al sureste entrar nuevamente al intrusivo. En la traza de la falla al sureste del poblado de Charichua, se han reconocido afloramientos de aguas termales con presencia de rejalgar, además de fuerte lixiviación ácida en las rocas encajonantes.

Sistema de Fallas Norte –Sur

Este sistema, aún en estudio, obedece a un sistema de fallas regionales provenientes desde Chile precisamente con rumbo norte - sur, que al ingresar a Perú después de atravesar la deflexión de Arica, continúa hacia el norte posiblemente como lineamientos más que como fallas. Se especula que este sistema al intersectarse con los sistemas andinos conocidos en el Perú,

parecen favorecer la formación de centros mineralizantes, al igual que en el esquema estructural del yacimiento Pucamarca.

Alteración hidrotermal y mineralización

La alteración principal en el cerro Checocollo es la silicificación, la que va de sílice porosa a sílice masiva en la parte central,

la cual presenta textura gusano (figura 4.9) e indica niveles profundos del sistema epitermal de alta sulfuración que gradan hacia los bordes a sílice-alunita (alteración argílica avanzada), arcilla-caolinita y sílice, clorita, pirita y calcita. (propilítica).



Figura 4.9 Textura gusano en pórfido de cuarzo. Muestra de testigo de perforación. (Departamento de Exploraciones Minsur S.A)

La mineralogía en la mina comprende:

- Calcopirita (CuFeS_2)
Se presenta en cristales subhedrales, en masas microgranulares y tamaños menores a 0.2 mm.
- Pirita (FeS_2)
Se muestra en los testigos de perforaciones diamantinas como parches en el cuarzo.
- Galena (PbS_2)
Se presenta con formas anhedrales; se han reportado en las partes más profundas y se hallan en cantidades trazas.
- Plata nativa (Ag)
La plata nativa se encuentra en forma de láminas delgadas anhedrales que no sobrepasan las 30 micras.
- Hematita (Fe_2O_3)

La hematita rellena micooquedades reemplaza algunos pseudomorfos de pirita. En ciertas áreas, la hematita está asociada a cuarzo euedral.

Geoquímica

Se recolectaron cinco muestras del tajo y roca caja de la mina Pucamarca, las cuales fueron enviadas al laboratorio ALS CHEMEX. Los tipos de análisis son: Análisis multielemental por fusión de peróxido de sodio, lectura ICP-AES/ICP-MS, Análisis por fluorescencia de rayos X (RXF) y Análisis de Au por ensayo al fuego 50 g. Los resultados complementarán el estudio posteriormente.

La mina Pucamarca inició con una capacidad de procesamiento de 14 000 toneladas por día de mineral, y a partir del segundo trimestre de 2018, se proyectaba incrementar a 17 500 toneladas por día. Pucamarca tiene reservas por 790 000 onzas de oro, con una ley de 0.53 g por tonelada, por lo que la operación tendrá una vida útil de aproximadamente ocho años. Para el 2018, se espera que la producción alcance las 100 000 onzas (Departamento de Exploraciones Minsur S.A).

Cabe destacar que la operación no emplea agua de consumo de los tacneños, sino que emplea agua subterránea de la cuenca del río Azufre, la cual no es apta para consumo humano y no tiene conexión con las cuencas y ríos que abastecen a Tacna.

Además, la mina no genera efluentes ni relaves, pues opera mediante un sistema de circuito cerrado.

Mirando a futuro, Minsur está desarrollando un programa de exploración para reconocer zonas aledañas y seguir encontrando nuevos recursos, dado el potencial que ofrece esa zona andina.

4.4 PROYECTO SAN GABRIEL

El Proyecto San Gabriel es un yacimiento epitermal de sulfuración intermedia con contenidos metálicos de oro, cobre y plata. Está ubicado en la provincia de General Sánchez Cerro, a 197 kilómetros al noroeste de la ciudad de Moquegua (figura 4.10).

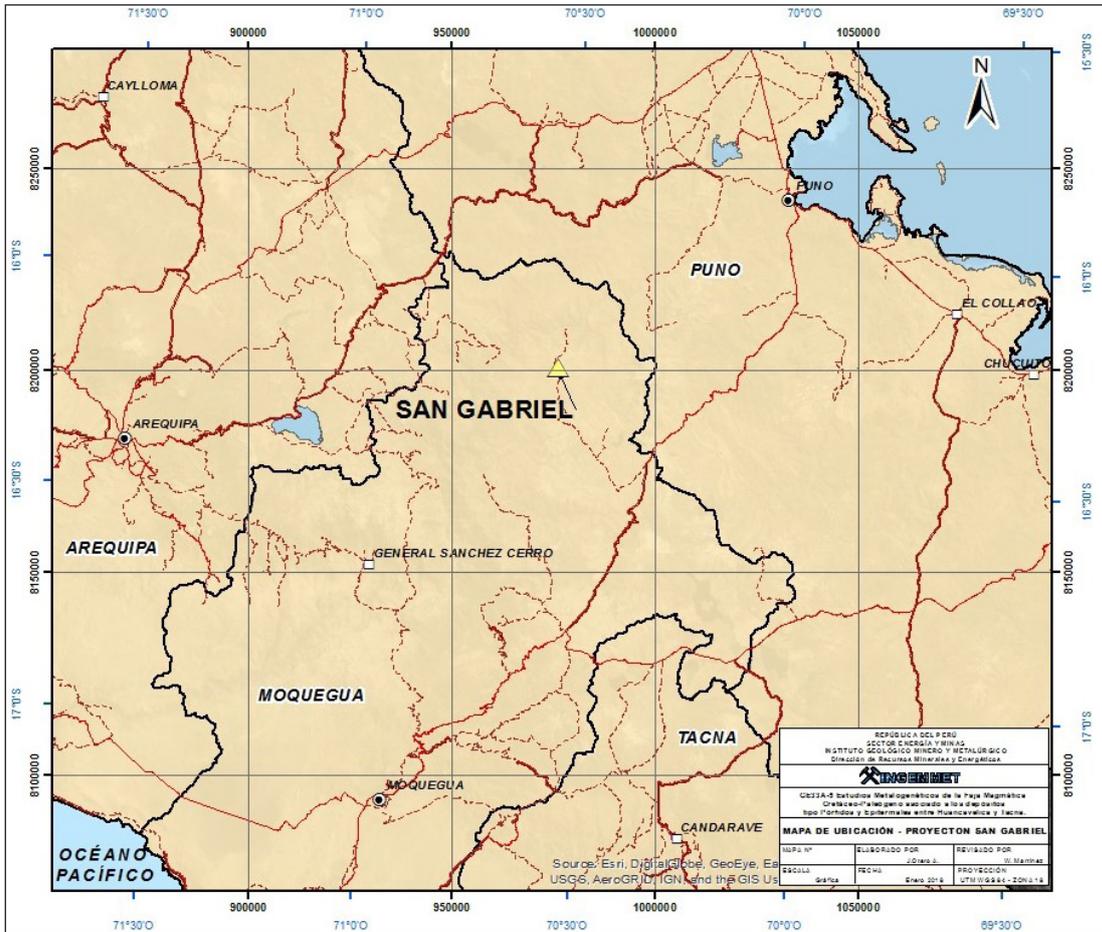


Figura 4.10 Mapa de ubicación del Proyecto San Gabriel

Geología local

La mineralización aurífera ocurre dentro y alrededor de una diatrema elongada de 300 m por 1200 m en dirección O-NO. Esta diatrema representa un conducto eruptivo/hidrotermal y subvolcánico, caracterizado por varios tipos de brechas de origen múltiple que incluyen procesos freatomagmáticos, hidrotermales y/o tectónicos. El núcleo de estas brechas es heterolítico con fragmentos juveniles de riolitas y ocasionalmente andesitas y se emplaza a lo largo de una falla regional en lutitas negras, areniscas lutáceas, calizas y cuarcitas del

Grupo Yura plegado en un anticlinal regional. El brechamiento de las cajas sedimentarias principalmente al sur, pero también al norte de la diatrema, alcanza espesores de 50 a 150 m con brechas monomíticas y polimíticas en las diversas litologías sedimentarias que corta. La diatrema en Canahuire (metalotecto) se ubica a una distancia de 3 km al noroeste del centro volcánico Chucupaca, el cual está compuesto por domos riolíticos que cubren un área de aproximadamente 6 por 4 km. En el centro volcánico Chucupaca, se ha perforado 2100 m de aire reverso, identificándose mineralizaciones auro-cupríferas de baja ley caracterizadas por cuarzo, enargita, covelita y alunita, típico de

los yacimientos epitermales de alta sulfuración. La diatrema y la mineralización en Canahuire son probablemente de la misma edad que el complejo de domos Chucapaca. Evidencias de campo indican que la edad de este complejo es correlacionable

con la del volcanismo del Grupo Sillapaca del Mioceno, el cual fue contemporáneo con la sedimentación lacustre del Grupo Maure en el resto del arco volcánico. La muestra tomada de la brecha hidrotermal se indica en la fotografía 4.9.



Fotografía 4.9 Brecha hidrotermal silicificada color rojiza protolito dacita; clasto soportada y clastos angulosos fragmentos mayores de 3 cm a 1 cm y menores <1 cm, además óxidos de hierro en la matriz

Las rocas intrusivas se encuentran conformadas por *stocks*, diques y *sills* de composición diorítica a monzogranítica. Cuatro cuerpos intrusivos principales están presentes; estos son la granodiorita Oeste (To), la cuarzo-diorita Central (Tc), la granodiorita Ricardina (Tr), y la granodiorita Taracahua (Tt) (nombres internos del proyecto). La biotita obtenida de una muestra de monzogranito proporcionó con la datación K-Ar una edad de 40.8 ± 1.5 Ma (Departamento de Exploraciones Buenaventura).

El Proyecto Chucapaca, conocido ahora como San Gabriel, se encuentra en un corredor importante de minas y proyectos como son: Mazo Cruz (Au-Ag), Santa Rosa (Ag-Au-Cu), Tucari (Au-Ag) por nombrar los más importantes. El yacimiento está afectado por el lineamiento Chucapaca – Aruntani - Mazo Cruz de dirección NO-SE, interceptado con un lineamiento NE-SO denominado Chapi-Chucapaca. Estas estructuras geológicas crearon zonas de debilidad que permitieron la migración de los fluidos hidrotermales (figura 4.11).

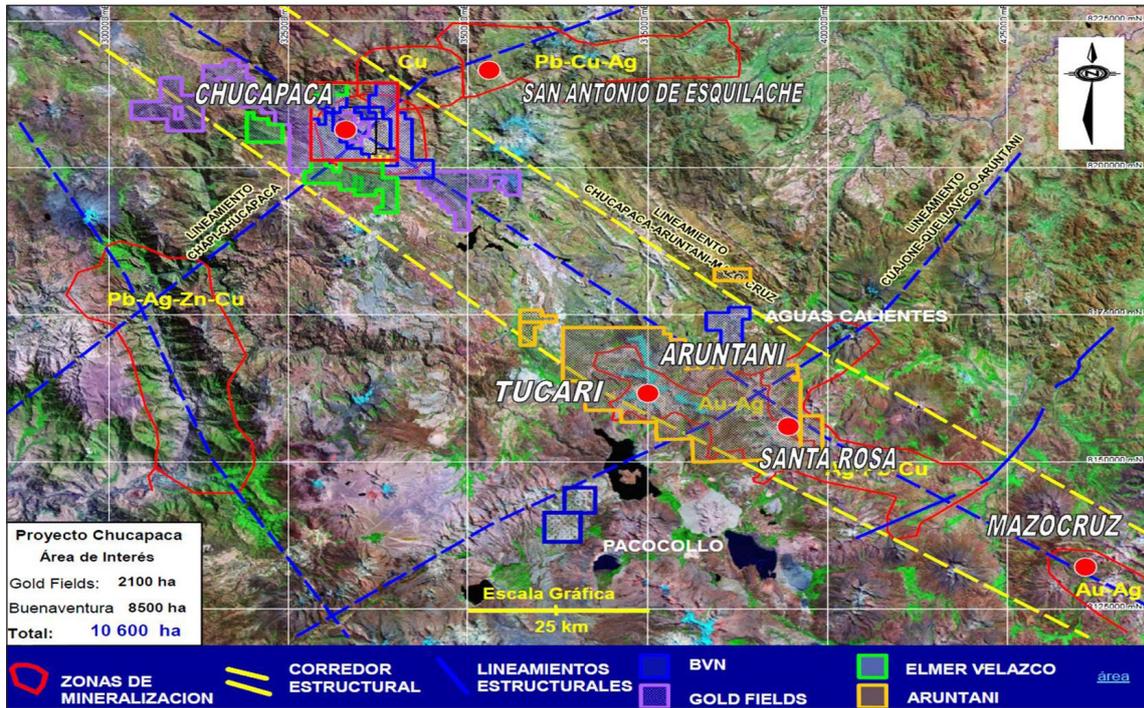


Figura 4.11 Lineamientos distritales principales del corredor minero Chucapaca-Mazo Cruz

Fuente: Departamento de exploraciones Buenaventura

Alteración hidrotermal y mineralización

La alteración presente comprende: Silicificación con intensidades que van de débil a fuerte, argilización de débil a fuerte y sideritización de débil a fuerte asociada a la mineralización.

La mineralogía predominante de mena está caracterizada por siderita, pirita, oro nativo, arsenopirita y calcopirita. El oro nativo se encuentra en granulometrías finas de 5 micras a 50 micras. También se ha reconocido magnetita, marcasita, bismutinita, estibina, tetrahedrita, wolframita, esfalerita, cuarzo, arcillas mixtas con illita, esmectita y caolinita, además de

adularia en cantidades subordinadas. Estos ensamblajes ocurren diseminados como matriz o cementante de las brechas, así como reemplazamiento semimasivo a masivo en calizas o areniscas calcáreas localmente brechadas. Estas asociaciones mineralógicas hipógenas son de carácter epitermal y del tipo sulfuración intermedia.

Geoquímica

En el cuadro 4.3, se muestran los resultados analíticos de los elementos principales de las muestras tomadas en el Proyecto San Gabriel el pasado marzo de 2018.

Cuadro 4.3
Resultados analíticos del Proyecto San Gabriel

Código	Lugar	Este	Norte	Ti (ppm)	Li (ppm)	Sb (ppm)	As (ppm)	Bi (ppm)	Te (ppm)	Se (ppm)	Sn (ppm)	W (ppm)	Mo (ppm)	Cu (ppm)	Au (ppb)	Ag (ppm)
34u-RMT-240	Proyecto San Gabriel	334865	8204929	0.15	24	0.6	8	0.1	<0.5	<3	<3	1.3	2	20	<0.005	5
34u-RMT-241	Proyecto San Gabriel	334771	8205352	0.143	9	37.5	56	0.4	<0.5	6	<3	1	2	20	<0.005	5
34u-RMT-242	Proyecto San Gabriel	334775	8205348	0.148	4	69.6	85	2.1	0.6	3	<3	2.8	6	40	0.089	8

Las muestras 34u-RMT-241 y 34u-RMT-242, cuya ubicación promedio 334770E 8205352N pertenecen a una facies de brecha freática, se encuentran a los alrededores de la zona mineralizada principal, dando valores anómalos en elementos volátiles tales como Sb, As, Bi, Se (elementos que se encuentran en la parte superior de un sistema porfirítico) (cuadro 4.4).

Cuadro 4.4
Elementos indicadores
para un sistema tipo pórfido

Elemento	Valor anómalo (referencial)
Tl	>1.5 ppm
Li	>15 ppm
As	>50ppm
Sb	>4ppm
Bi	>1ppm
Te	>1ppm
Se	>4ppm
Sn	>4ppm
W	>5ppm
Mo	>5ppm

Fuente: Tomado de Halley et al. (2015)

Los recursos indicados por sondajes consisten en 12 247,103 TMS con 0.207 oz/t de oro, 0.26 oz/t de plata y 0.06 % de cobre, que representan 2 538 504 onzas de oro, 3 232 714 onzas de plata y 7348 TMS finas de cobre (Fuente: Memoria Anual 2014 Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.).

4.5 PROYECTO LOS CALATOS

El Proyecto Los Calatos, de Minera Hampton, se encuentra en el distrito de Torata, provincia de Mariscal Nieto, región Moquegua. Su acceso principal es por carretera afirmada; saliendo de la ciudad de Moquegua hacia Samegua-Torata, se continúa hasta el km 42 y durante un tiempo aproximado de 50 minutos se llega al desvío hacia Omate; luego, se continúa por la carretera afirmada hacia Quinistaquillas-Omate, pasando por los centros poblados de Quelle, Otorá, San Juan, San June y

por último Jaguay Chico, hasta el desvío en las coordenadas (296662 m E y 8129310 m N), en donde se ingresa al proyecto (figura 4.12 y figura 4.13).

Geología local

El depósito se encuentra dentro de una cuenca intramontañosa tipo jog estructural, donde se depositaron los sedimentos de la Formación Jaguay (equivalente al Sotillo). Los cuerpos intrusivos aflorantes son asignados a la Superunidades Yarabamba (SO) y Tiabaya (NE). Secuencias volcánicas del Grupo Toquepala (Formación Paralaque) afloran al SO del yacimiento (figura 4.14). De la información extraída de los sondajes de perforación y revisada con los geólogos del proyecto, se ha identificado tres pórfidos dacíticos (pulsos intrusivos principales del yacimiento).



Figura 4.12 Mapa de ubicación del Proyecto Los Calatos



Figura 4.13 Ruta de acceso a Proyecto Los Calatos a) saliendo de Moquegua hasta el desví hacia Omate (42 km); b) al ingresar por la carretera afirmada hacia Omate, pasando por los centros poblados de Quelle, Otorá, San Juan San Juné y Jaguay Chico se ingresa en (296662 m E y 8129310 m N) por la trocha carrozable hacia la izquierda; c) se llega hasta la garita principal y en un tiempo de 10 minutos se llega a las instalaciones del proyecto; d) área del Proyecto Los Calatos

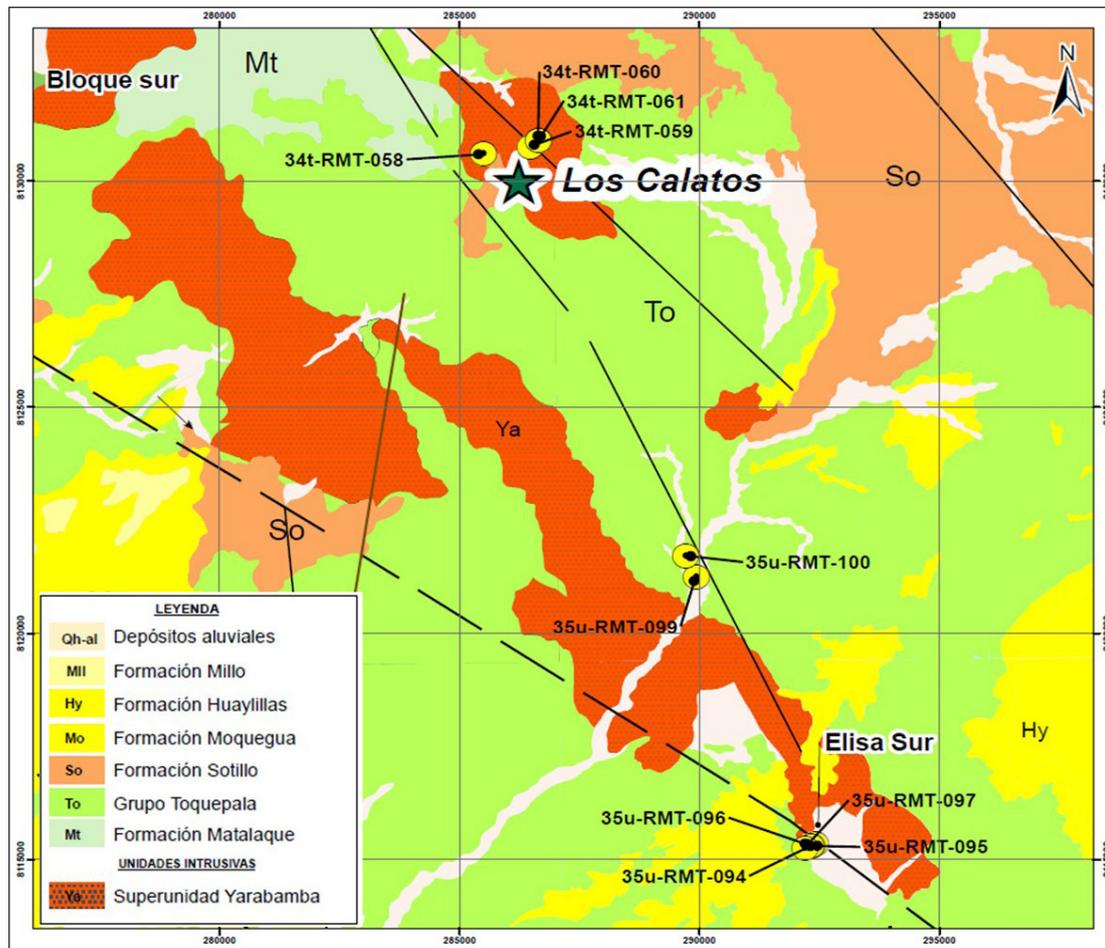


Figura 4.14 Geología distrital y lineamientos regionales que favorecieron la mineralización

Fuente: Geocatmin

El intrusivo de Los Calatos tiene composición diorítica a granodiorítica de la Superunidad Yarabamba. El afloramiento de un pórfido de composición dacítica aflora al NO del yacimiento. Estas rocas tienen firmas calcoalcalinas y contenido medio a alto de K y están relacionadas al Grupo Toquepala.

El metalotecto Superunidad Yarabamba, asociado a un control estructural importante como el Sistema de Fallas Incapuquio,

se emplazó en la cuenca de extensión (sigmoide) producto de la Falla dextral Micalaco, y originó el depósito Los Calatos.

Las muestras 34t-RMT-349 y 34t-RMT-352 pertenecen al intrusivo precursor (diorita), y presentan biotita secundaria con abundante pirita diseminada y en venillas (fotografías 4.10 y 4.11).



Fotografía 4.10 Muestra 34t-RMT-349 Intrusivo precursor. Diorita de grano fino. Biotita secundaria, cloritización débil. Color gris verdoso, con presencia de pirita. Profundidad de taladro 340 m



Fotografía 4.11 Muestra 34t-RMT-352 Diorita de grano fino a medio con alteración potásica, biotita secundaria. Anhidrita en venillas. Estructuras tipo *stockwork*. Calcopirita en venillas

El control estructural relacionado a las alteraciones hidrotermales y mineralización en Los Calatos es notorio y la intersección de estructuras con rumbos NO-SE, N-S y E-O ha favorecido el emplazamiento del *stock* y el brechamiento de tipo hidrotermal.

El área está afectada por la falla Micalaco (paralela y parte del SFI), con dirección N 130°-135° E de componente transcurrente dextral y buzamiento 70° SO, y que es la prolongación NO del Sistema de Fallas Incahuico (SFI), cuyos alineamientos continúan por Cuajone, Quellaveco y Toquepala (Martínez & Cervantes, 2003). También se ha observado antiguos lineamientos de dirección N 50°-70° E, los cuales fueron desplazados por el SFI que corresponderían a los antiguos lineamientos Jurásicos anteriores al SFI (Salfity, 1985). Estos lineamientos con el SFI originaron zonas de debilidad cortical que fueron aprovechadas para el emplazamiento de intrusiones magmáticas durante el intervalo de 75 y 50 Ma (Martínez & Cervantes, 2003). Varias de estas zonas de debilidad cortical están asociadas a los yacimientos de pórfidos de cobre en el sur de Perú, así como zonas de anomalías geoquímicas (Cu) importantes entre Cerro Verde y Chapi.

Alteración hidrotermal y mineralización

Las alteraciones hidrotermales son bastante marcadas, reconociéndose alteración filica (cuarzo-sericita), silicificación y venilleo de cuarzo. Dentro de la diorita predomina la alteración propilítica (clorita, epidota, pirita) que se localiza en los bordes del sistema, principalmente al NO. La mineralización reconocida consiste en minerales oxidados de hierro (hematita, limonita) y óxidos de cobre.

Las brechas y aglomerados volcánicos que sobreyacen a las andesitas presentan alteración propilítica-argílica y turmalina. El domo riolítico que aflora al sur del prospecto tiene alteración sílico-argílica, con presencia de alunita en fisuras, las que aparentemente corresponden a etapas tardías del volcanismo Matalaque.

El "*leach capping*" está constituido de manera general por jarosita (60 %), hematita (25 %) y goethita (15 %). La abundancia de jarosita y hematita indica una lixiviación intensa de los sulfuros y la formación de una zona de enriquecimiento secundario en profundidad (fotografía 4.12).



Fotografía 4.12 *Leach Capping* Proyecto Los Calatos

En las muestras 34t-RMT-350, 34t-RMT-347 y 34t-RMT-346 perteneciente a los pórfidos dacíticos 1, 2 y 3 respectivamente, se identificó alteración potásica y filica que se describe a continuación:

Pórfido dacítico 1 (nomenclatura del proyecto). Alteración potásica con sobreimposición de alteración filica. Textura obliterada. Venillas de anhidrita. Pirita y calcopirita diseminada (fotografía 4.13).

Pórfido dacítico 2 (nomenclatura del proyecto). Profundidad de taladro 850 m. Alteración filica. Cristales de cuarzo. Fenos de plagioclasa anhedrales. Pirita diseminada (fotografía 4.14).

Pórfido dacítico 3 (nomenclatura del proyecto). Alteración cuarzo-sericita-pirita débil. Pirita y calcopirita diseminada. Venillas de sulfuro y anhidrita. Cloritización débil. Pirita como parches (fotografía 4.15).



Fotografía 4.13 Pórfido dacítico 1. Alteración potásica con sobreimposición de alteración filica



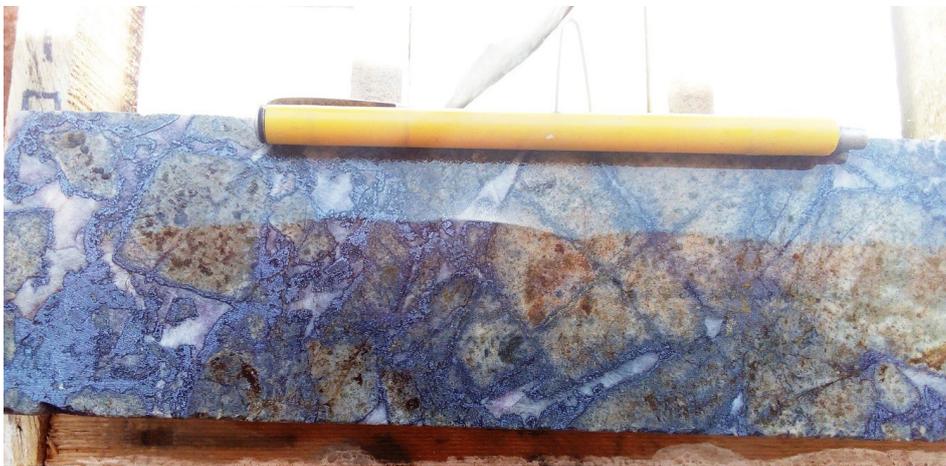
Fotografía 4.14 Pórfido dacítico 2. Alteración filica con pirita diseminada y en venillas, calcopirita diseminada. Presencia de anhidrita



Fotografía 4.15 Pórfido dacítico 3. Alteración filica (cuarzo, sericita, pirita) con cloritización débil

La mineralización en Los Calatos está asociada a los cuerpos intrusivos de la Superunidad Yarabamba, afectado por el Sistema de Fallas Incapuquio y que contribuyó a la extracción de minerales de Cu por fusión parcial del manto y acumulación en la base de la corteza (Richards, 1999). La presencia de un intenso hidrotermalismo y coloración rojiza se pone en evidencia por la presencia de un *stockwork* con venilleo de limonita,

hematita y óxidos y carbonatos de cobre (crisocola, malaquita). Existe presencia de óxidos de hierro como jarosita, hematita y goetita a nivel supérgeno, los cuales indican un enriquecimiento económico en profundidad. La mineralización principal está relacionada a una brecha angulosa clasto soportada con molibdenita en las fracturas y en la matriz (fotografía 4.16).



Fotografía 4.16 Brecha hidrotermal, clastos angulosos a subangulosos tipo clasto soportada con molibdenita en las fracturas y matriz

Geoquímica

En el cuadro 4.5, se muestran los códigos de las muestras tomadas en el Proyecto Los Calatos durante el mes de octubre

de 2018. Además, en el cuadro 4.6, se indica la relación de muestras para datación.

Cuadro 4.5
Muestras del Proyecto Los Calatos

<i>Muestras de sondajes "Proyecto Los Calatos"</i>		
<i>Código proyecto</i>	<i>Código INGEMMET</i>	<i>Descripción</i>
CA 1	34t-RMT-344	Muestra de taladro. Andesita fresca del Grupo Toquepala. Color gris verdosa. Textura fluidal. Yeso y calcita en fracturas.
CA 2	34t-RMT-343	Muestra de taladro asignada a la Formación Huaracane. Presencia de fiames y textura fluidal. Fenos de feldspatos subhedrales. Cuarzo en trazas. Pirita diseminada en 0.05%. Cloritización moderada.
CA 3	34t-RMT-349	Intrusivo precursor. Diorita de grano fino. Biotita secundaria, cloritización débil. Color gris verdoso, presencia de pirita. Profundidad de taladro 340 m.
CA 4	34t-RMT-352	Diorita de grano fino a medio con alteración potásica, biotita secundaria. Anhidrita en venillas. Estructuras tipo stockwork. Calcopirita en venillas.
CA 5	34t-RMT-350	Pórfido dacítico 1 (nombre proyecto). Alteración potásica con superposición de alteración filica. Textura obliterada. Venillas de yeso. Pirita y calcopirita diseminada.
CA 6	34t-RMT-348	"Diatrema" (nombre proyecto). Presencia de clorita. Alteración propilitica. Pirita diseminada. Clastos subangulosos de diorita precursora con halo de clorita. Ojo de cuarzo.
CA 7	34t-RMT-347	Pórfido dacítico 2 (nombre proyecto). Profundidad de taladro 850 m. Alteración filica. Cristales de cuarzo. Fenos de plagioclasa anhedral. Pirita diseminada.
CA 8	34t-RMT-342	Brecha freatomagmática (nombre proyecto). Mineralización principal. Profundidad en taladro 890 m. a 1000 m al NE del campamento. Presencia de anhidrita violeta. Pirita, calcopirita y molibdenita (diseminada-venillas).
CA 9	34t-RMT-351	Diatrema poco alterada con fragmentos líticos. Piroclastos.
CA 10	34t-RMT-346	Pórfido dacítico 3 (nombre proyecto). Alteración cuarzo-sericita-pirita débil. Pirita y calcopirita diseminada. Venillas de sulfuro y anhidrita. Cloritización débil. Pirita como parches.
CA 11	34t-RMT-345	Dique andesítico con fenos de plagioclasa afectado con una débil cloritización. Trazas de pirita. Débil magnetismo. Dique tardío (nombre proyecto).

Cuadro 4.6
Resultados de las muestras para datación

ID	Código Ingemmet	Código Proyecto	Descripción	Edad	Observaciones
1	34t-RMT-342	CA-8	Brecha freatomagmatica	57.8 ±0.2	Molibdenita para Re-Os
2	34t-RMT346	CA-10	Pórfido Dacítico 3	58.1 ±0.8	En zircones, metodo U-Pb
3	34t-RMT347	CA-7	Pórfido Dacítico 2	68.4 ±0.7	En zircones, metodo U-Pb
4	34t-RMT350	CA-5	Pórfido Dacítico 1	59.6 ±0.8	En zircones, metodo U-Pb

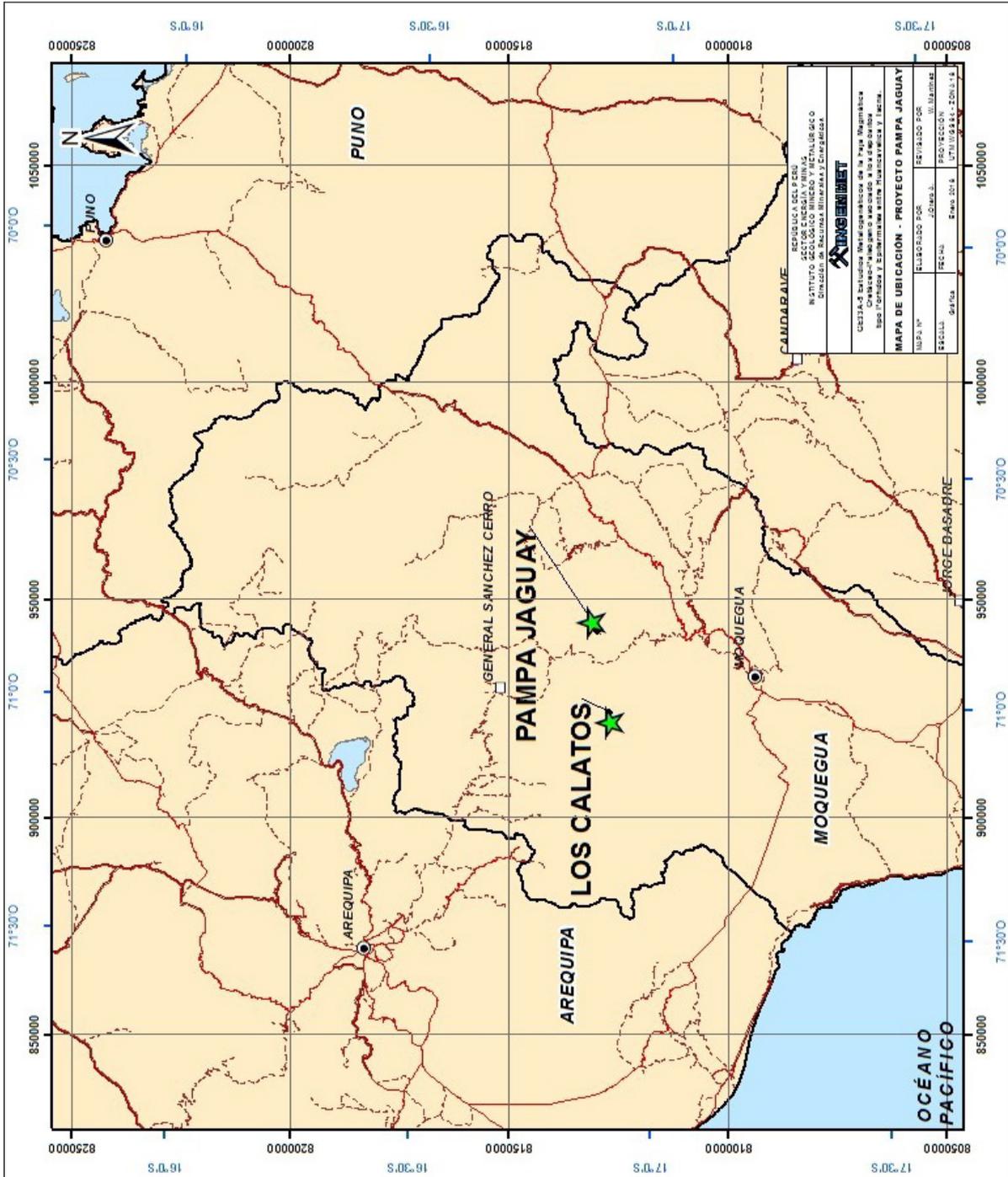


Figura 4.15 Mapa de ubicación del Prospecto Pampa Jaguay

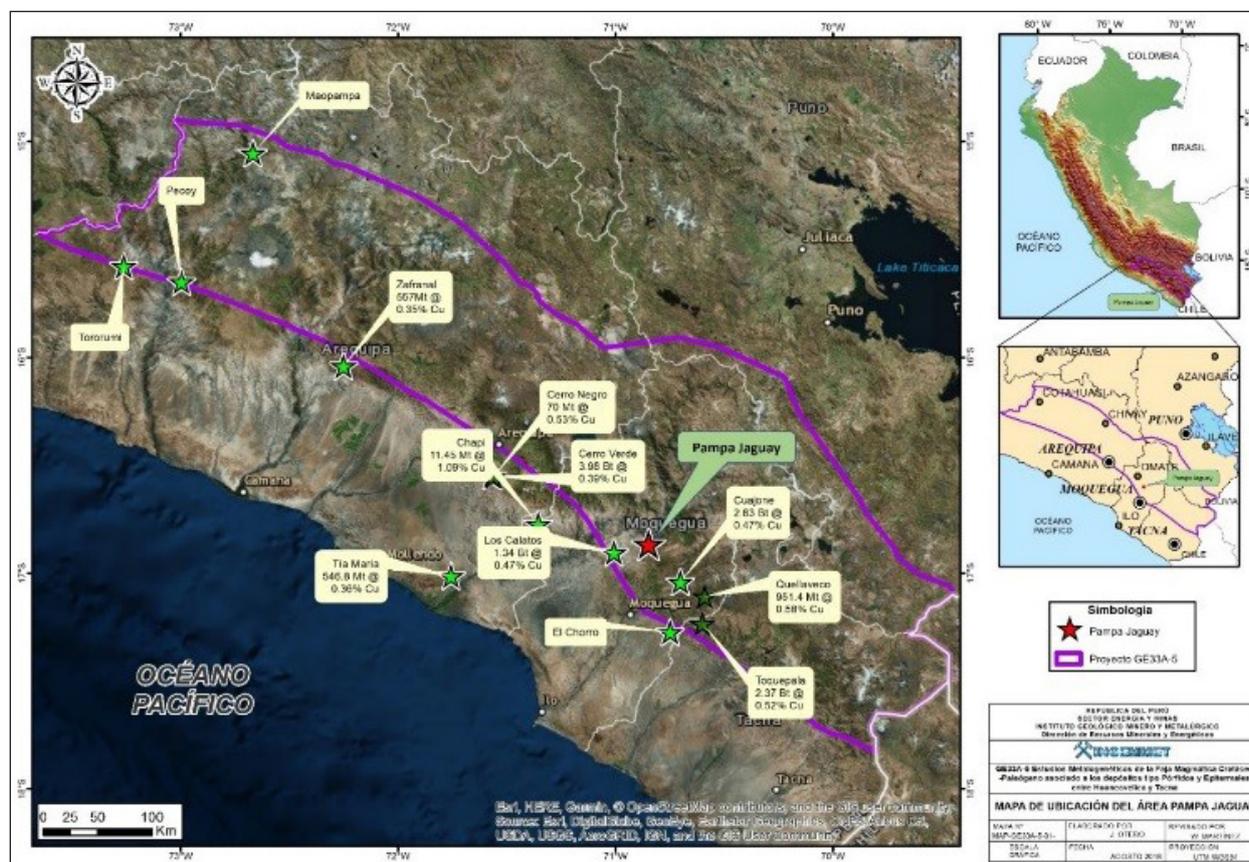


Figura 4.16 Mapa de ubicación del Prospecto Pampa Jaguay

Geología local

Litológicamente, el área está caracterizada por la presencia de secuencias piroclásticas constituidas por tobas de edad Cretácica, las cuales son intruidas por un stock de composición diorítica y rocas subvolcánicas que corresponden a la Superunidad Yarabamba. Por otro lado, una serie de rocas piroclásticas caracterizadas por tobas, aglomerados y brechas volcánicas completan la secuencia. Los estilos de mineralización son de dos tipos: el primero con características de tipo pórfido Cu-Mo y el segundo relacionado a estructuras (vetas) polimetálica de rumbos N60°E y Bz. 70°SE y N40°O y Bz. 50°NE localizados en el contacto de las tobas con el intrusivo. En el cuadro 4.8, se indica relación de muestras de roca para datación.

El marco geológico local está constituido por:

Formación Huaracane. Antes como Formación Toquepala (Bellido, 1979). Dividida actualmente en siete miembros, los cuales fueron medidos en el curso del Río Torata y Cerro Los Ángeles (Martínez & Zuloaga, 2000). En el área Pampa Jaguay, conformada por tobas cristalolíticas bien soldadas de

color gris claro con tono rosado, presenta textura piroclástica, fragmentos líticos grises de roca volcánica (lapilli) polimícticos, sin estratificación notoria, los cuales se intercalan con algunos niveles de brechas. Aflora al noroeste del área Pampa Jaguay con una edad de 75 Ma datado en la quebrada Pachas (Martínez & Zuloaga, 2000) (figura 4.17).

Formación Paralaque. Descritas por Bellido (1979). Aflora en la carretera que va de Torata a Cuajone. En el sector de Otorá, afloran secuencias sedimentarias compuestas por lodolitas rojas con tono verdosos intercaladas con areniscas finas rojizas a grises bien estratificados con estructuras sedimentarias de estratificación sesgada y laminar. Esta secuencia fue datada en 65.0 ± 2.0 Ma por el método K-Ar en roca total, la cual se le asigna al Cretácico superior – Paleoceno inferior (Martínez & Zuloaga, 2000).

Las rocas intrusivas están conformadas por dioritas. Se presentan en la parte central del área Pampa Jaguay con grano medio y textura holocristalina. Se encuentra fracturada con abundante pirita (fotografía 4.17)



Fotografía 4.17 Muestra 34u-RMT-286Coord. 303051 E 8131613 N h= 3163 m Roca intrusiva color gris claro, textura granular además abundante piritita. Roca fracturada tipo enrejado

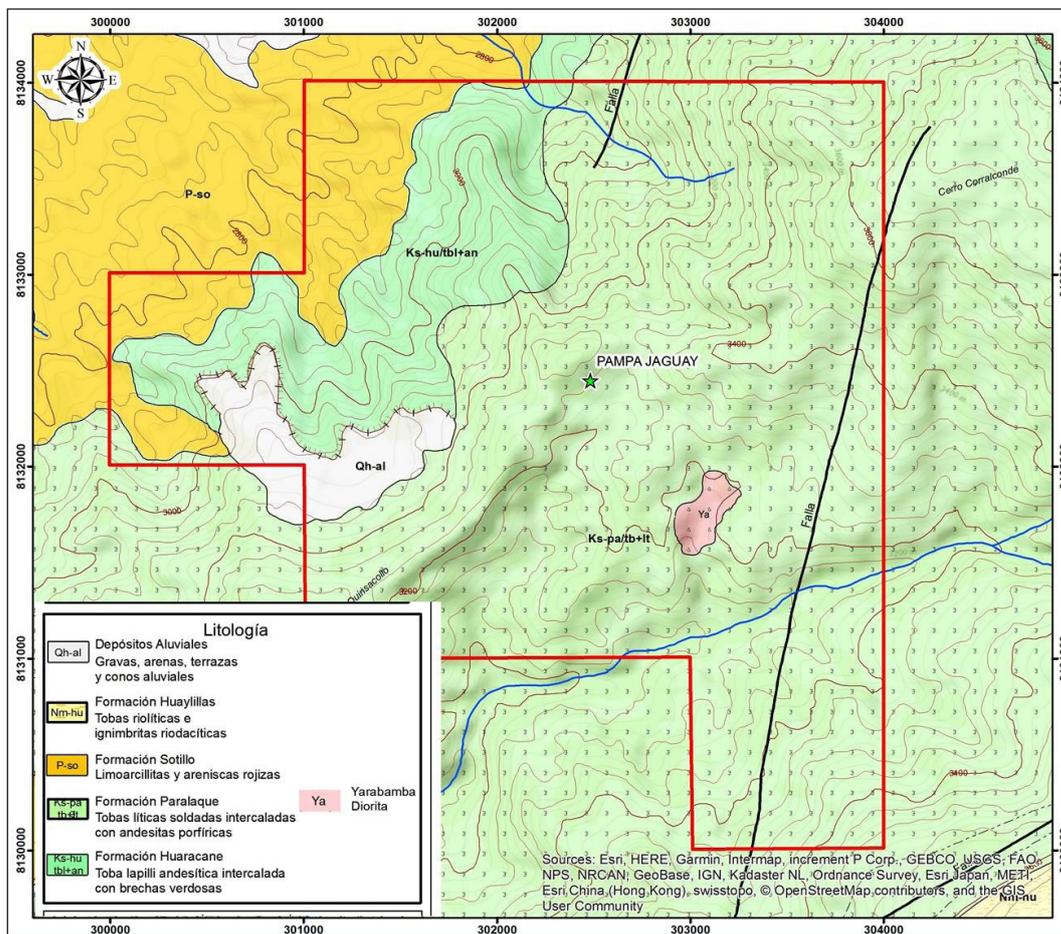


Figura 4.17 Mapa de ubicación del Prospecto Pampa Jaguay

La zona está dominada por el Sistema de Fallas Cincha-Lluta-Incapuquio (SFCLLI) de dirección andina, la cual corta a antiguos sistemas transandinos. En esta intersección, se encuentra la anomalía geoquímica y satelital mencionada. Asimismo, el área Pampa Jaguay, se encuentra 22 km al sureste del depósito Cu-Mo Cuajone y 18 km al noreste del depósito Cu-Mo Los Calatos, los cuales comparten similares características estructurales;

Fallas transilitosféricas dextrales de dirección andina, fallas transandinas que son cortados por las andinas, y en términos geofísicos (1974) buena señal analítica y campo total similares a los depósitos porfíricos Cuajone, Quellaveco y Toquepala. La figura 4.18 muestra el desarrollo estructural en el prospecto Pampa Jaguay.

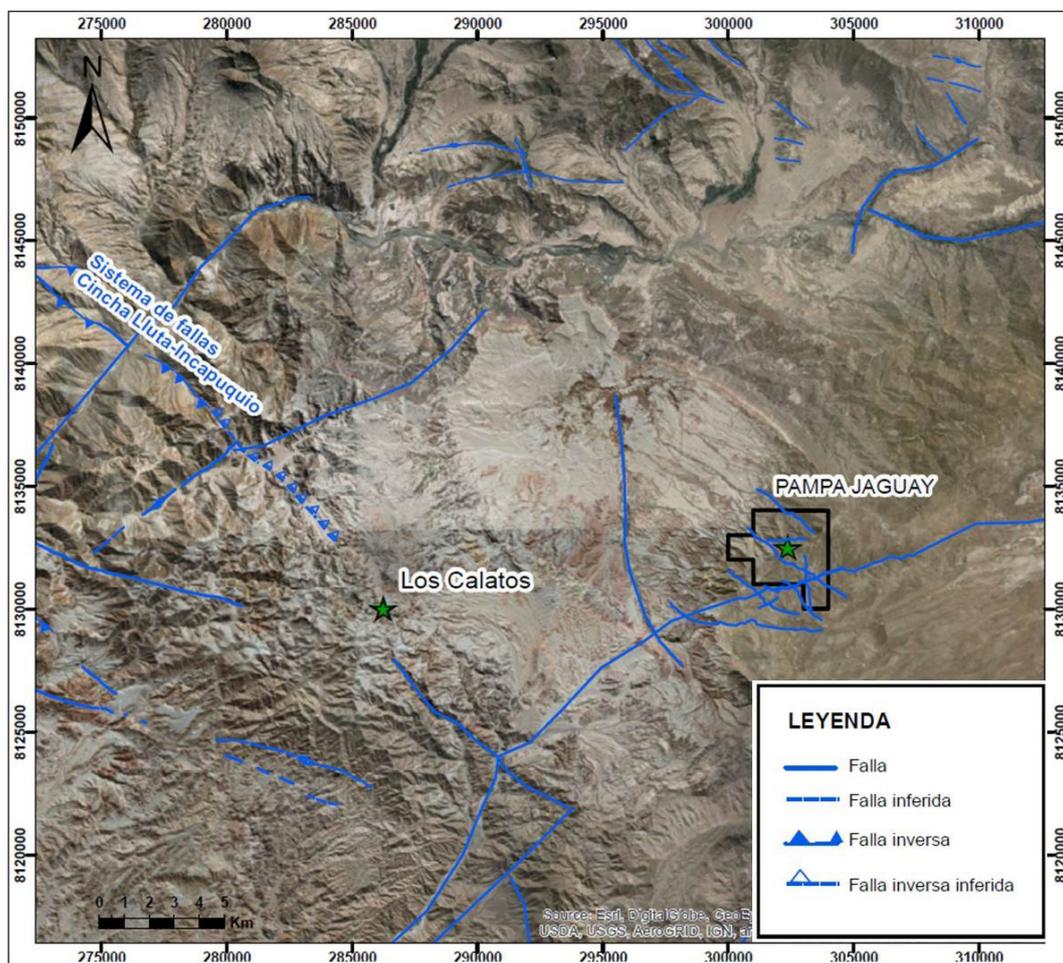


Figura 4.18 Mapa de ubicación del Prospecto Pampa Jaguay

Alteración hidrotermal y mineralización

En la zona de estudio, se identificó alteración hidrotermal, además mineralización manifestada en vetas y venillas tipo network. Así tenemos:

Alteración Argílica

Esta alteración abarca principalmente una extensión de 1.5 km x 1 km, donde se aprecia una asociación mineralógica; cuarzo + illita + montmorillonita y puntualmente alunita restringida a las vetillas (figuras 4.19 y 4.20).

Alteración Propilítica

Se manifiesta en vetillas de epidota + clorita junto a las vetillas de calcita, que cortan a la secuencia de tobas-lavas.

Vetillas interminerales presentan biotita secundaria y los diques tardíos y posminerales presentan propilítica constituida por clorita, epidota y pirita (figura 4.21).

En el área ocurren dos estilos de mineralización:

Estructuras Vetiformes

Este estilo está relacionado a estructuras de cuarzo hialino con óxidos de hierro, hematita y goethita, así como pirita en menores cantidades. Dichas estructuras alteran la roca hospedante (tobas) y se observa halos argílicos.

Tipo Pórfido

Ha sido reconocida en el área Pampa Jaguay un intrusivo diorítico con fuerte fracturamiento tipo “network” y vetillas rellenas con óxidos de hierro (hematita y goethita). Además, se observa un pórfido andesítico que, a su vez se encuentra cortado con vetillas de óxidos de hierro polidireccionales.

La figura 4.22 indica el muestreo de mineralización en el sector de Pampa Jaguay.

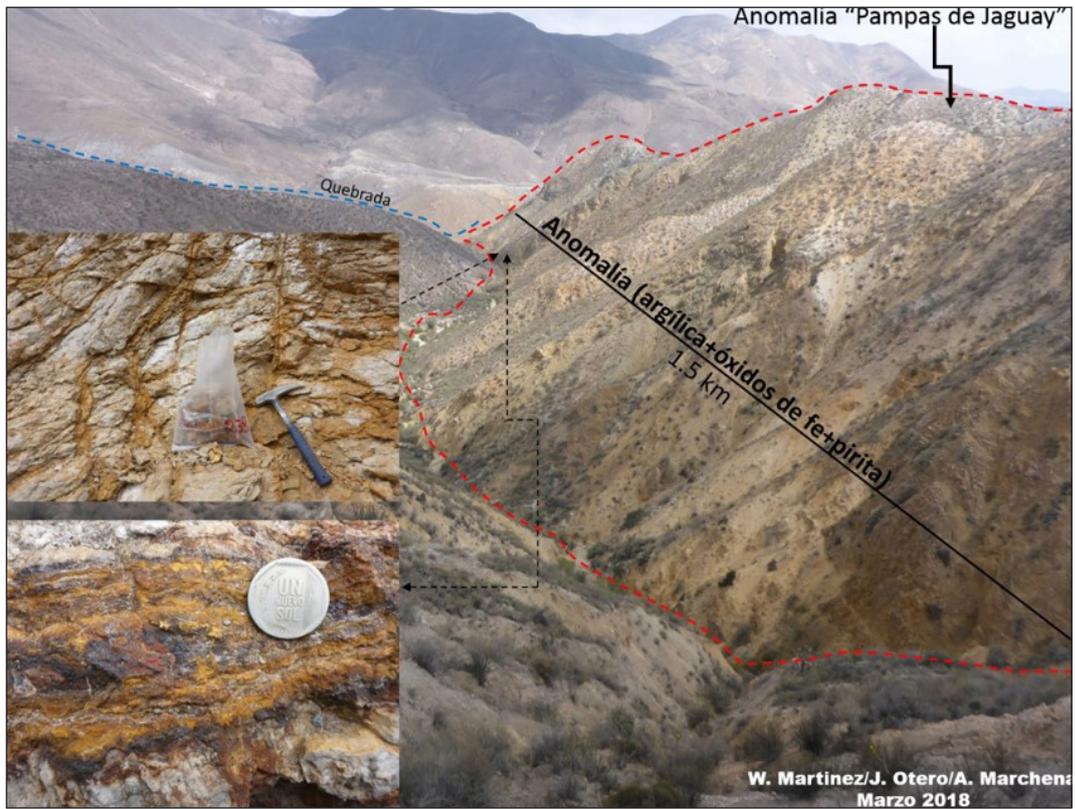


Figura 4.19 Roca caja con fuerte alteración argílica

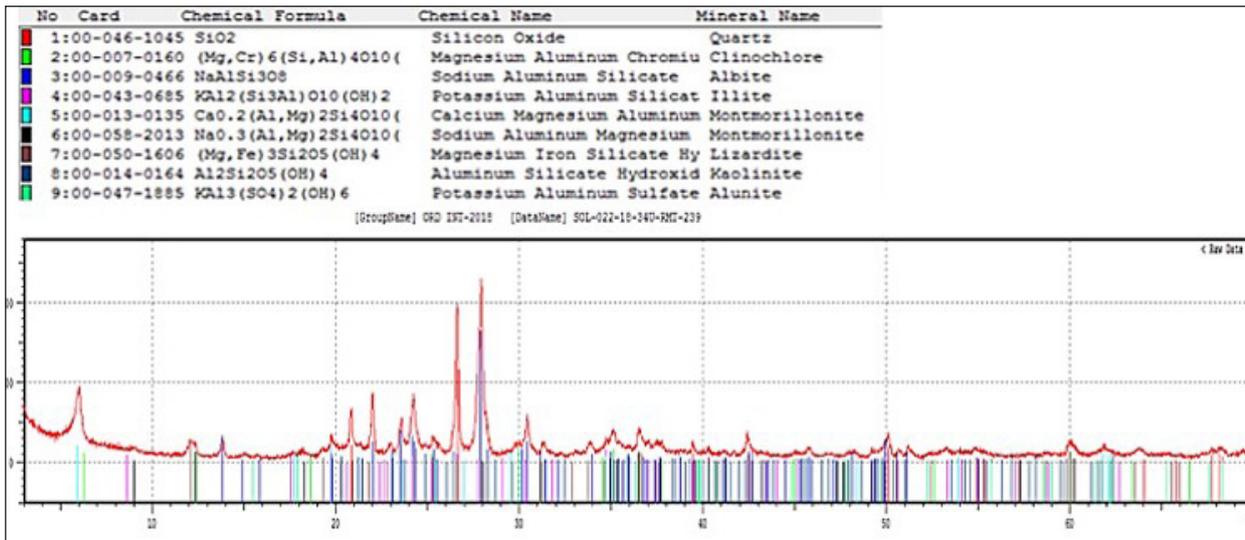


Figura 4.20 Muestra 34u-RMT-238 para difracción de rayos X indicando una asociación: cuarzo+illita+montmorillonita y puntualmente alunita

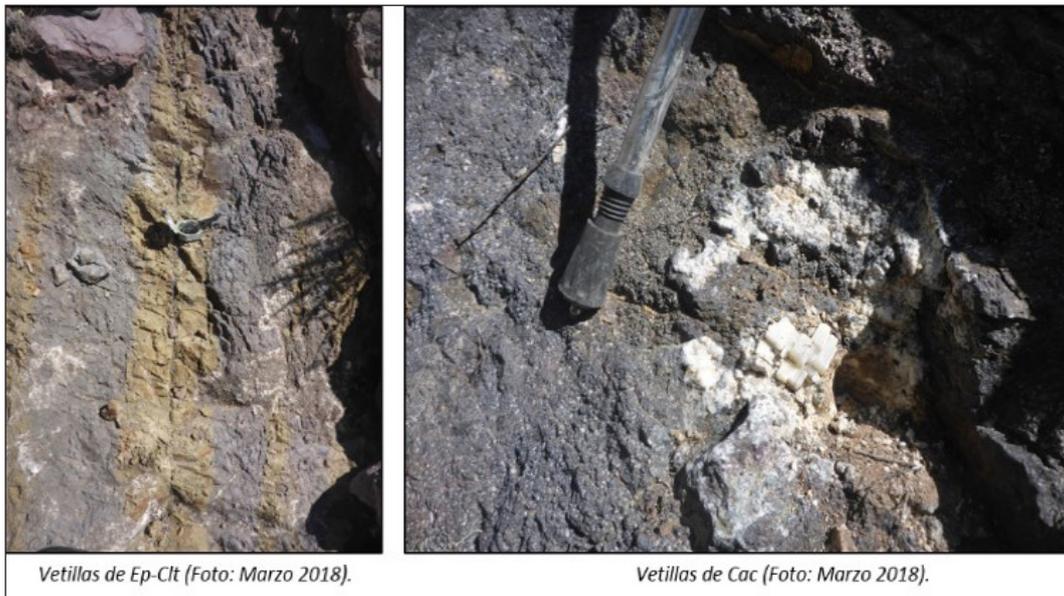


Figura 4.21 Alteración propilítica relacionada a estructuras tipo dique

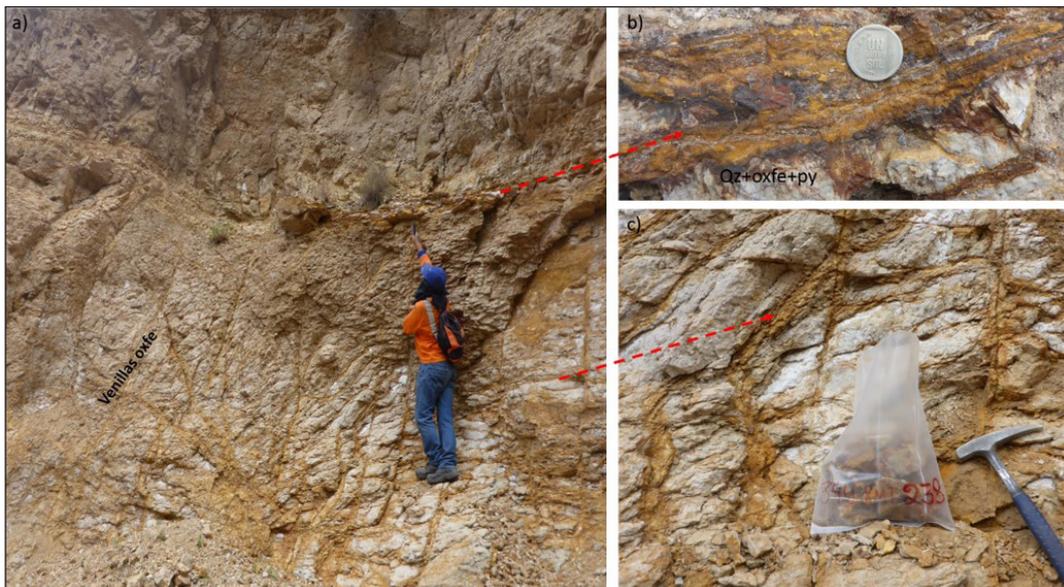


Figura 4.22 Muestreo de venillas de óxidos de hierro y pirita en el sector de Pampa Jaguay

Geoquímica

En el cuadro 4.7, se muestran los resultados analíticos de los

elementos principales de las muestras tomadas en el Prospecto Pampa Jaguay.

Cuadro 4.7
Resultados analíticos del Prospecto Pampa Jaguay

Código	Lugar	Este (m)	Norte (m)	Li (PPM)	Sb (ppm)	As (ppm)	Bi (ppm)	Te (ppm)	Se (ppm)	Sn (ppm)	W (ppm)	Mo (ppm)	Cu (ppm)
34U-RMT-218	Pampa Jaguay	301883	8133452	13	1.2	13	0.3	<0.5	<3	<3	1.1	<2	90
34U-RMT-219	Pampa Jaguay	301976	8133466	33	1.4	9	0.2	<0.5	4	<3	0.8	<2	120
34U-RMT-220	Pampa Jaguay	302072	8133247	13	0.9	9	0.1	<0.5	5	<3	1.1	<2	30
34U-RMT-221	Pampa Jaguay	301999	8133056	16	2.1	31	0.2	<0.5	7	<3	2.7	3	40
34U-RMT-222	Pampa Jaguay	302517	8132134	17	<0.3	6	0.1	<0.5	<3	<3	<0.3	<2	60
34U-RMT-224	Pampa Jaguay	302482	8132122	31	<0.3	4	<0.1	<0.5	<3	<3	0.4	<2	60
34U-RMT-225	Pampa Jaguay	302482	8132122	28	<0.3	8	<0.1	<0.5	9	<3	<0.3	<2	100
34U-RMT-226	Pampa Jaguay	302400	8132039	14	0.7	61	0.1	<0.5	6	<3	0.5	4	340
34U-RMT-227	Pampa Jaguay	302033	8132377	18	2.1	14	0.3	<0.5	3	<3	1.3	<2	<20
34U-RMT-235	Pampa Jaguay	302224	8131814	26	0.4	10	<0.1	<0.5	6	<3	0.4	<2	80
34U-RMT-236	Pampa Jaguay	302345	8131811	19	<0.3	<4	0.1	<0.5	<3	<3	<0.3	<2	50
34U-RMT-237	Pampa Jaguay	303072	8131489	12	0.4	<4	0.1	<0.5	4	<3	1.2	2	40
34U-RMT-238	Pampa Jaguay	303043	8131517	4	18	6680	0.1	<0.5	<3	<3	0.4	75	<20
34U-RMT-239	Pampa Jaguay	303233	8131912	25	0.7	25	1.2	<0.5	4	<3	1.5	2	100
34U-RMT-285	Pampa Jaguay	303103	8132216	17	0.6	<30	<0.1			2	1	<2	24
34U-RMT-286	Pampa Jaguay	303051	8131613	15	<0.5	<30	0.1			2	1	3	59
34U-RMT-287	Pampa Jaguay	303223	8131849	35	3.1	94	0.1			2	1	4	32
34U-RMT-288	Pampa Jaguay	302284	8132672	31	1.5	67	0.1			3	2	5	21

Cuadro 4.8
Relación de dataciones realizadas en el Prospecto Pampa Jaguay

Id	Código	Ar-Ar	U-Pb	Unidad Estratigráfica	Lugar	Edad
1	34u-RMT-285	1	1	Fm. Paralaque	Pampa Jaguay	87.4
2	34u-RMT-286	1	1	Batolito Yarabamba.	Pampa Jaguay	76.1

El prospecto Pampa jaguay se encuentra sin exploración; las campañas de campo de 2018 nos permitió reconocer una zona alterada argílica con óxidos de hierro importante; además, la presencia de elementos volátiles como As, Bi y Se nos estaría indicando la presencia de un sistema porfírico a profundidad.

4.6 PROYECTO PECOY

Pecoy está ubicado 180 km al noroeste de la ciudad de Arequipa, dentro del Cinturón Cretácico de Pórfidos de Cobre

del Perú. Consta de 2 000 hectáreas en poder de Pembroke Copper Corporation. Se sitúa en el distrito Yanaquihua, provincia Condesuyos y región Arequipa (figura 4.23). Se encuentra al extremo noreste del cuadrángulo de Caravelí (32-p), con coordenadas centrales UTM-WGS84 18 S: 712893E y 8'268,334N.



Figura 4.23 Mapa de ubicación del Proyecto Pecoy

Geología local

La geología del Pecoy se encuentra conformada a lo largo de un sistema complejo porfírico caracterizado por múltiples eventos porfíricos y brecha que cortan a rocas cámbricas y rocas del Batolito de la Costa (Silva et al., 2017), la cual se detalla cronológicamente a continuación y se puede apreciar en el mapa geológico en la figura 4.24. Además, se tiene un modelo geológico, de alteración y mineralización, el cual se observa en la figura 4.29.

- Gneis.- Representada como un basamento colgado tipo roof pendant, roca de color gris verdoso de edad precámbrica.
- Granodiorita del Batolito de la Costa del Cretáceo superior.
- Pórfido granítico.- Este intrusivo aflora a manera de un gran stock de 1.9 x 1.5 km a lo largo del cerro Pecoy, el cual

es considerado como el responsable de aportar el mayor volumen de mineralización de cobre al sistema.

- Brechas Mágmatoc-Hidrotermal.- Intruyen subsecuentemente al stock granito porfírico y se divide en Brecha Sur, Norte, Este, Oeste y Central, las mismas que presentan las mejores concentraciones de cobre, plata y oro, asociadas a minerales de alteración hidrotermal como biotita-magnetita-cuarzo-sulfuros.
- Brechas Host Rock.- Clasificada de esa manera por contener débil mineralización.
- Diques porfíricos interminerales, tardíos y posminerales. Como último evento intrusivo y de composición dacita-granodiorita.

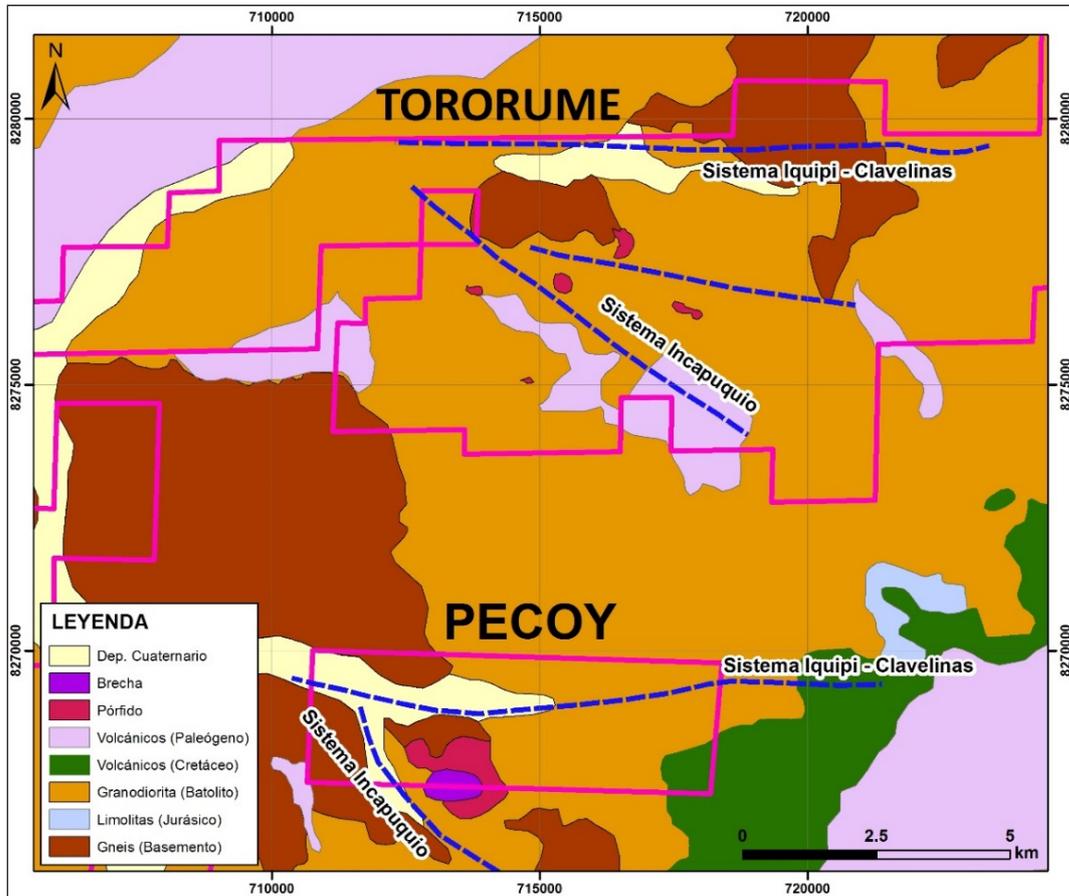


Figura 4.24 Geología distrital y sistemas de fallas regionales Equipi-Clavelinas e Incapuquio que controlan los yacimientos Pecoy y Tororume (Silva et al., 2017)

Adicional a esta información, se obtuvo la muestra 32p-MMT-309, sobre la cual se realizaron estudios de petrología e inclusiones fluidas además un estudio de geocronología por el método K-Ar en biotitas secundarias, cuyos resultados se completarán

posteriormente en la actualización del presente informe. A continuación, se hace un breve resumen de los estudios mencionados.



Figura 4.25 Roca hipobasial silicificada, compacta, de color gris a gris blanquecino y con textura porfírica con matriz silicificada. Está conformada por escasos cristales y moldes de feldspatos inmersos en una matriz afanítica alterada. Además, se observan vetillas con relleno de cuarzo secundario.

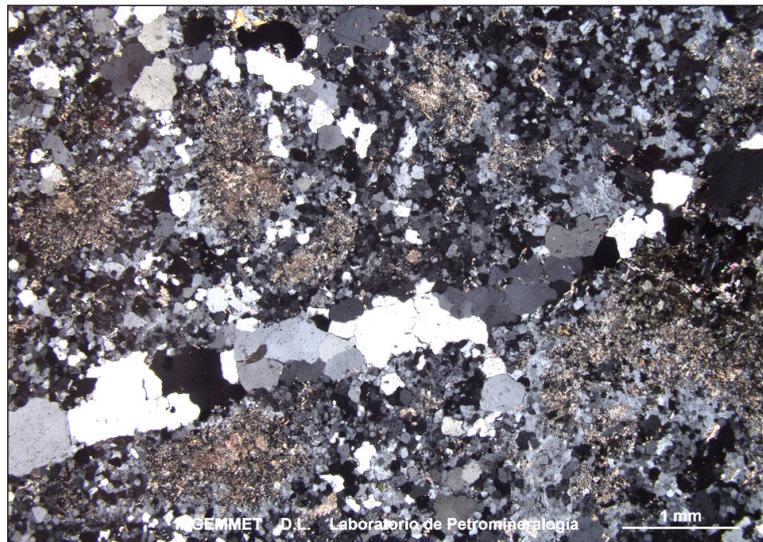


Figura 4.26 Roca hipoabisal silicificada con textura porfírica relíctica; se encuentra constituida por escasos cristales de feldespatos potásicos I como relictos, además de moldes de feldespatos, minerales opacos y trazas de zircón; están dispuestos sobre una matriz completamente alterada a cuarzo II, feldespatos potásicos II, con intersticios rellenos por sericita y cloritas. La muestra posee vetillas rellenas por cuarzo III junto con cristales de anhidrita.

El Proyecto Pecoy se encuentra a lo largo de dos importantes lineamientos estructurales como son El Sistema Incapuquio de dirección NO-SE y el Sistema Iquipi-Clavelinas de dirección E-O. La intersección de estas fallas habría favorecido con el emplazamiento del complejo porfírico, brechas magmático-hidrotermales y desarrollándose la alteración y mineralización ya conocida.

Alteración hidrotermal y mineralización

Presenta una asociación sericita-arcillas-OxFe y una extensa alteración clorita-sericita generada por efectos supérgenos, la cual se encuentra sobreimpuesta fuertemente a la alteración potásica 1; está constituida generalmente por biotita secundaria y menores cantidades de feldespato potásico y anhidrita.

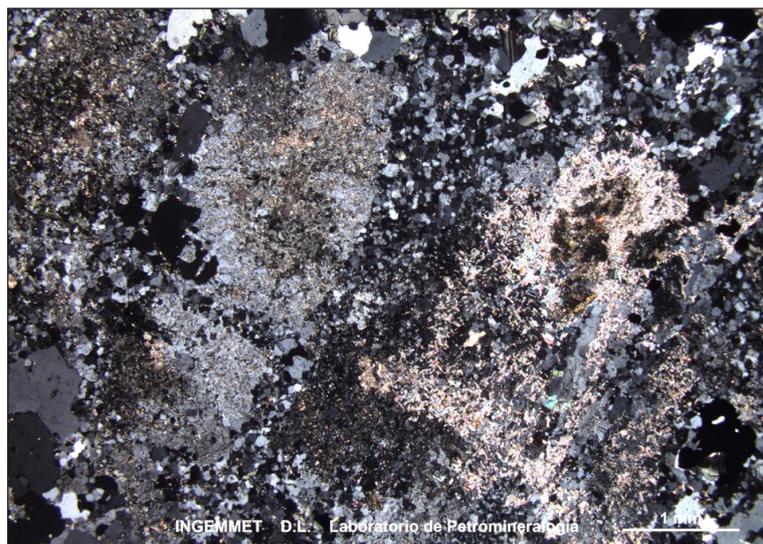


Figura 4.27 Muestra N° 32p-MMT-309.- Relictos de cristales de feldespatos potásicos I alterados a sericita y arcillas: FPsK(ser-ARCs), moldes de feldespatos reemplazados por sericita, arcillas, carbonatos, cloritas y epidota. La matriz está alterada a cuarzo II y feldespatos potásicos II: cz II-FPsK II, además, intersticios con relleno de cuarzo III: cz III. (NXs).

La mineralización se desarrolla en el granito y en las brechas, por lo que se clasifica en:

- Zona de lixiviación.- Se tiene a goethita > mayor a la hematita y esta > a lajarosita (figura 4.28).
- Zona de óxidos de cobre.- Los óxidos de cobre (CuOx) como malaquita, crisocola, tenorita y azurita se manifiestan en las partes altas del Cerro Pecoy en el granito porfirítico.
- Zona de enriquecimiento secundario.- Se tiene un nivel de enriquecimiento secundario, el cual tiene un espesor promedio de 50 m en el granito porfirítico. Las brechas presentan este nivel con menor espesor, por ejemplo en la Brecha Sur tiene promedio a 10 m. La calcosina es el principal mineral en este nivel, aunque también se ha podido observar esporádicamente covelina hacia la base del sector enriquecido.
- Zona de mineralización primaria de cobre.- Está constituida por calcopirita diseminada y en vetillas junto al cuarzo y la pirita. Sin embargo, las mejores concentraciones de este sulfuro se manifiestan asociadas a las vetillas de tipo "EDM" (biotita temprana) de coloración gris verdoso (cuarzo-sericita-clorita), donde se presentan diseminaciones de calcopirita. Asimismo, se observan vetillas de cuarzo-molibdenita y esporádicamente en diseminación. La plata está relacionada directamente con la calcopirita. Las brechas hidrotermales de matriz biotita-cuarzo-magnetita presentan intensamente calcopirita diseminada, con presencia de fluidos o inyecciones de magnetita con contenidos de oro.



Figura 4.28 Zona de *Leached Capping*, se observa óxidos de hierro como hematita y goethita; por partes se observa alteración argílica y venillas de cuarzo hialino (coordenadas 712,788 E y 8'267,861 N). Vista mirando al sureste

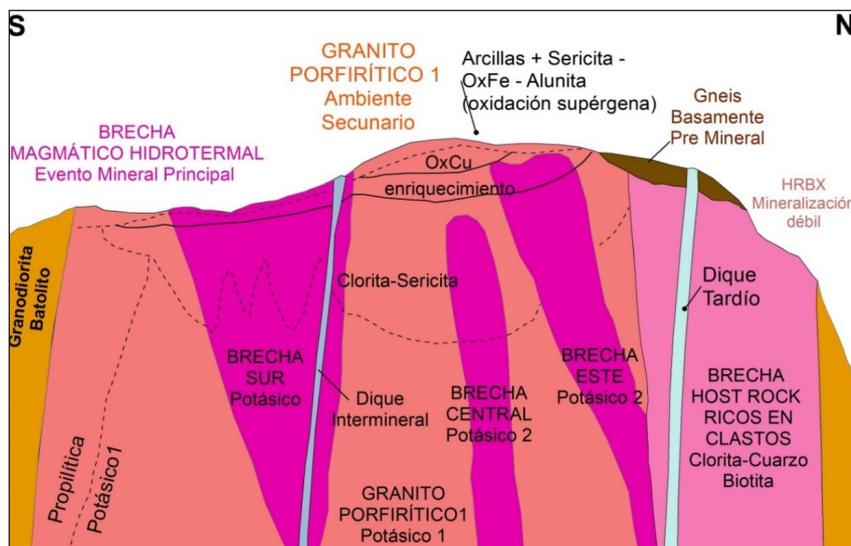


Figura 4.29 Sección esquemática Sur-Norte de Pecoy, donde se observa el emplazamiento de los intrusivos, intrusivos porfiríticos y brechas, así como el zoneamiento vertical y horizontal de la alteración hidrotermal y mineralización (editado de Silva et al., 2017)

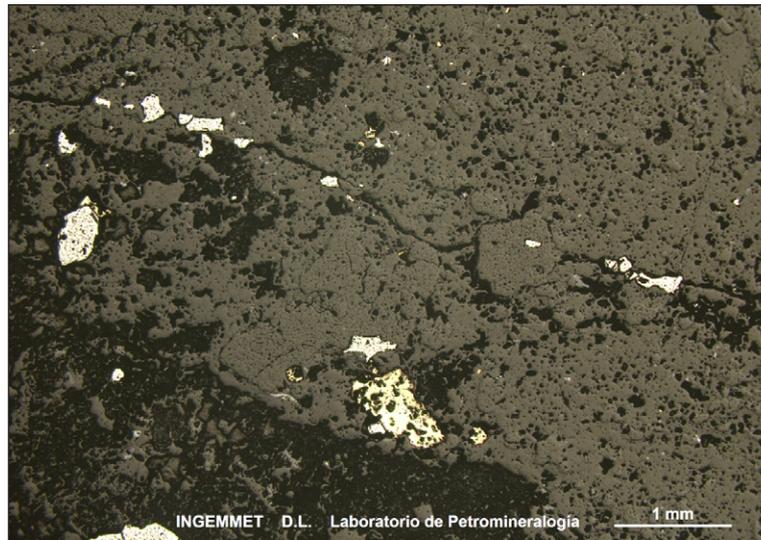


Figura 4.30 Muestra N° 32p-MMT-309 NPs. Cristales de pirita: py como relleno en vetillas de la muestra; además, rellenan intersticios como diseminados junto con calcopirita I: cp I, dispuestos sobre gangas no metálicas: GGs

Estudios de inclusiones fluidas

La muestra 32p-MMT-309 presentó en el análisis de inclusiones fluidas una temperatura de homogenidad (th) 350°-400 °C y una

salinidad en los rangos 40-47 eq. Peso NaCl característica de yacimientos tipo pórfido (figuras 4.31, 4.32 y 4.33). Se describe a continuación: (informe completo en anexo F).

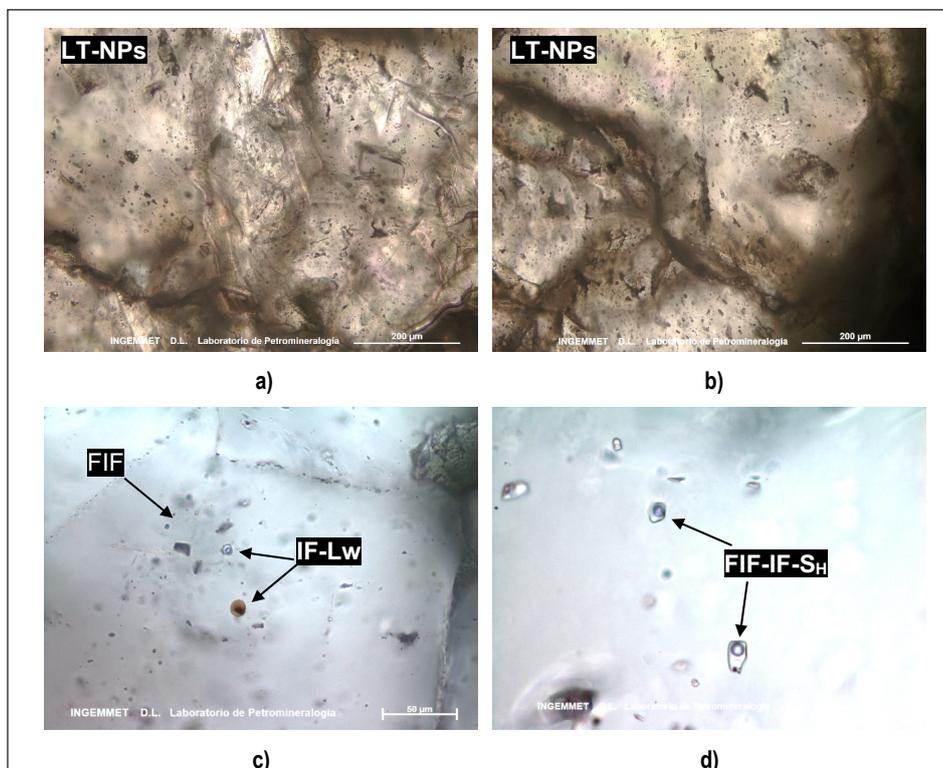


Figura 4.31 a) familias de inclusiones bifásicas primarias ricas en líquido con formas tabulares, irregulares y ovoides; b) familias de inclusiones bifásicas primarias ricas en líquido con formas irregulares a ovoides; c) inclusiones fluidas bifásicas ricas en líquido: IF-Lw junto a inclusiones fundidas: IF; d) familia de inclusiones fluidas: FIF constituida por inclusiones trifásicas ricas en líquido: IF-S_H

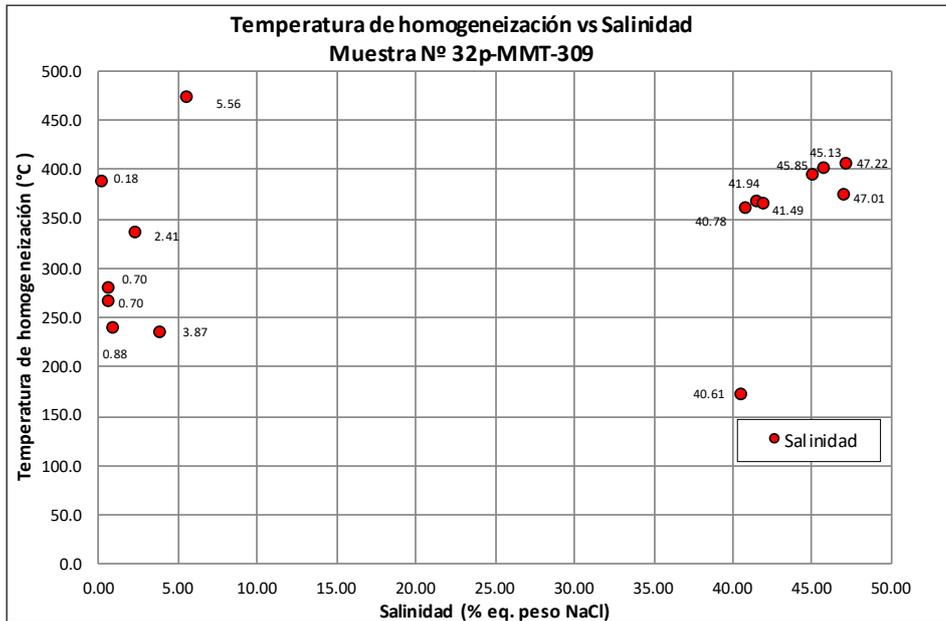


Figura 4.32 Diagrama mostrando dos poblaciones A y B, en "A" predominio en variación de la temperatura de homogeneización, la cual varía entre 240 y 400 °C, la salinidad entre 0.18 y 5 % eq. peso NaCl, y en "B" la temperatura varía entre 350 y 400 °C, mientras la salinidad va desde 40 y 50 % eq. peso NaCl, lo cual indica una mezcla de fluidos en B y en A; se produjo una etapa de enfriamiento, lo que indica la existencia de dos pulsos mineralizantes, siendo A inclusiones secundaria y pseudosecundarias, mientras la población de B pertenece a inclusiones primarias.

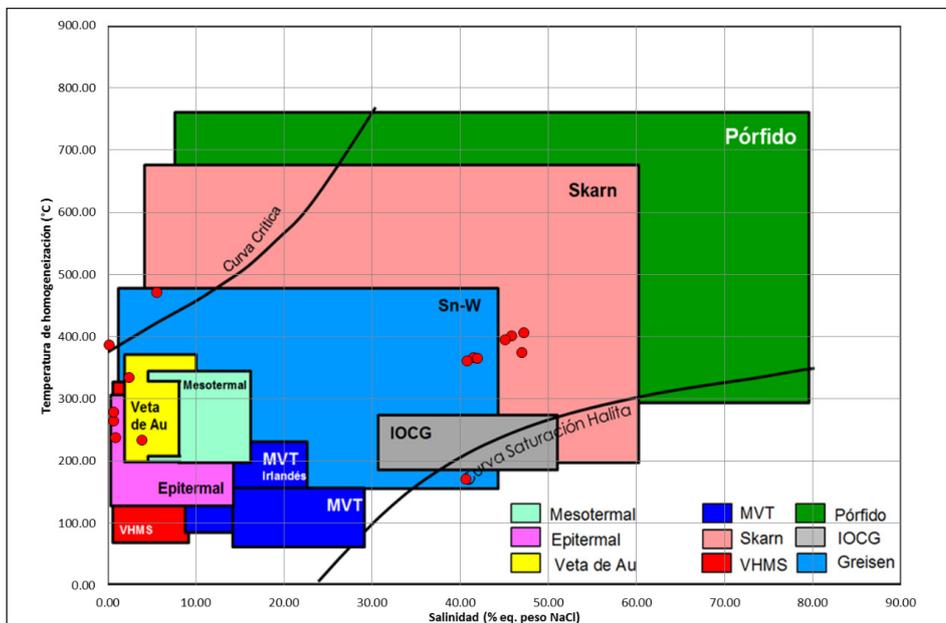


Figura 4.33 Diagrama de temperatura de homogeneización vs. salinidad para la muestra del Proyecto Pecoy
 *Modificado de Wilkinson (2001)

Se observa que los resultados de las inclusiones fluidas presentan dos poblaciones: A pertenece a fluidos poco salinos característicos de eventos posteriores a la mineralización, temperatura de homogenización entre 250 y 400 °C y salinidades de 0.18 a 5 % eq. Peso NaCl, mientras que B muestra temperatura salinidad alta, Th: entre 350 y 400 °C, y salinidades desde 40 hasta 47 % eq. Peso NaCl, característicos de yacimientos tipo pórfido.

Geoquímica

En el cuadro 4.9, se muestran los resultados analíticos de los elementos principales de las muestras tomadas en el Proyecto Pecoy durante el mes de octubre de 2018.

En mayo de 2017, "Micon International Limited" ha completado una actualización de recursos estimados para el Proyecto Pecoy.

Cuadro 4.9
Resultados analíticos del Proyecto Pecoy

Código	Lugar	Este	Norte	Au ppm	Cu ppm	Ag (ppm)	Mo (ppm)	As (ppm)	Bi (ppm)	Sn (ppm)	Sb(ppm)
32p-MMT-309	Pecoy	712893	8268334	0.012	982	<1	11	<30	0.2	3	1.4

Los recursos inferidos en Pecoy ahora albergan un estimado de 644 Mt en 0.33 % Cu, 0.011 % Mo, 0.50 g/t Au y 1.23 g/t Ag. El depósito permanece abierto en profundidad hacia el este y oeste (<http://www.pembrookmining.com/s/Pecoy.asp>).

Además, se muestra algunas de las intersecciones más resaltadas en el cuadro 4.10 (<http://www.pembrookmining.com/s/Pecoy.asp>).

Cuadro 4.10
Intersecciones más resaltadas del Proyecto Pecoy

Brecha Sur
PEC-15 478m @ 0.36 % Cu, 0.260g/t Au
PEC-16 606m @ 0.37 % Cu, 0.208g/t Au
PEC-19 340m @ 0.41 % Cu, 0.098g/t Au
PEC-41 473m @ 0.36 % Cu, 0.133g/t Au
PEC-46 399m @ 0.40 % Cu, 0.133g/t Au
PEC-49 136m @ 0.46 % Cu, 0.174g/t Au
Brecha Este
PEC-22 529m @ 0.34 % Cu, 0.013 % Mo
PEC-26 17m @ 0.83 % Cu, 0.009 % Mo
PEC-32 158m @ 0.37 % Cu, 0.009 % Mo
Brecha Central
PEC-32 79m @ 0.38 % Cu, 0.008 % Mo
Pórfido y zonas de enriquecimiento
PEC-13 733 m @ 0.31 % Cu, 0.012 % Mo
Supérgeno 59m @ 0.74 % Cu
Primario 274m @ 0.35 % Cu, 0.017 % Mo
PEC-20 658 m @ 0.305 % Cu, 0.015 % Mo
Supérgeno 46m @ 0.47 % Cu
Primario 334m @ 0.33 % Cu, 0.018 % Mo
Primario 96m @ 0.38 % Cu, 0.009 % Mo
PEC-55 648 m @ 0.34 % Cu, 0.008 % Mo
Supérgeno 57m @ 0.54 % Cu
Primario 234m @ 0.38 % Cu, 0.009 % Mo
PEC-56 639m @ 0.33 % Cu, 0.014 % Mo
Primario 126m @ 0.45 % Cu, 0.016 % Mo

CAPÍTULO V

CARACTERÍSTICAS LITOGEOQUÍMICAS DE LOS MAGMAS ASOCIADOS A PÓRFIDOS Y EPITERMALES EN LA REGIÓN

En el margen occidental de la zona de estudio, se tienen afloramientos intrusivos del Mesozoico, asignados al Batolito de la Costa, de los segmentos Arequipa: Superunidad Tiabaya; y segmento Toquepala: Superunidades Yarabamba y Punta Coles. Hacia el este, se tiene a la Superunidad Challaviento.

Hacia el lado oriental de la zona de estudio, tenemos volcanismo Paleógeno-Neógeno, conformando la mayor parte de la zona de estudio, tales como los Grupo Tacaza y Barroso. Los depósitos de tipo Epitermal están relacionados principalmente a este volcanismo.

5.1 DIAGRAMAS DE TIERRAS RARAS Y SPIDER DE LAS UNIDADES ÍGNEAS REGIONALES PARENTALES

Los yacimientos tipo pórfido y epitermales se encuentran espacial y temporalmente asociados a intrusivos Eocenos

(Superunidad Challaviento, caso de Ataspaca), y volcanismo Paleógeno Neógeno de los Grupos Tacaza y Barroso. Las figuras 5.1 a 5.8 muestran los patrones de tierras raras y diagrama *Spider* para las unidades ígneas regionales en la zona de estudio. En los diagramas de tierras raras, las muestras han sido normalizadas al condrito de Nakamura (1974) y en los diagramas *Spider* han sido normalizadas al condrito de Thompson (1982).

5.1.1 Superunidad Challaviento

Las figuras 5.1 y 5.2 muestran los patrones de tierras raras y diagrama *Spider* para la Superunidad Challaviento en la zona de estudio:

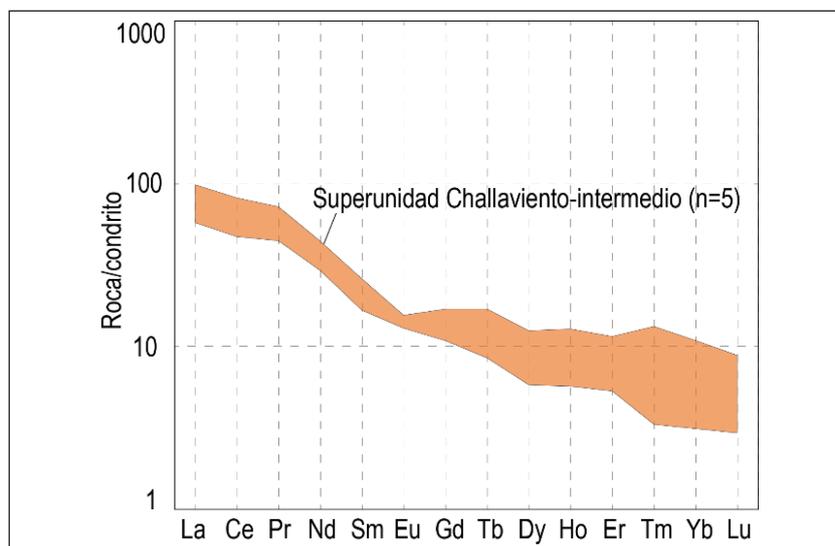


Figura 5.1 Diagrama de tierras raras para las muestras de la Superunidad Challaviento

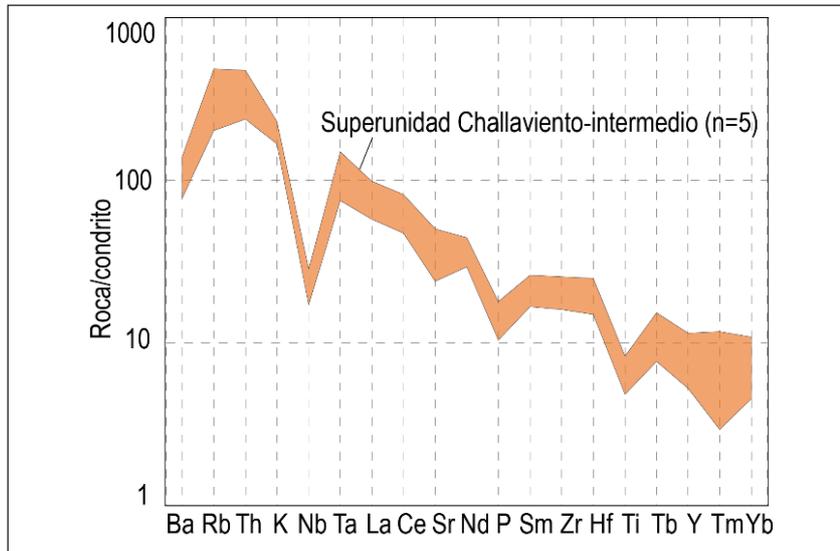


Figura 5.2 Diagrama *Spider* para las muestras de la Superunidad Challaviento

De la figura 5.1 se tiene que la Superunidad Challaviento presenta un marcado empobrecimiento en tierras raras pesadas-HREE (*Heavy Rare Earth Elements*). El empobrecimiento preferencial en tierras raras pesadas se da por presencia de granate en el fundido residual, siendo esta fase mineral estable a grandes presiones y profundidades, en torno a 50 km, lo que indica una corteza gruesa. Al ser un mineral anhidro, genera magmas secos tras su fusión, con un bajo potencial de generar un sistema magmático-hidrotermal.

La figura 5.2 muestra empobrecimiento en Nb, P, Ti, elementos HFSE (High Field Strength Elements) incompatibles, pero marcadamente inmóviles en fluidos acuosos, por lo que su

empobrecimiento más marcado se da en un evento hidrotermal de carácter regional, que es la deshidratación del slab, dándose así la firma característica de subducción, la cual se reconoce por el empobrecimiento en estos elementos (Rudnick, 2004).

Se observa también un marcado enriquecimiento en elementos litófilos, tales como Ba, Rb, Th y K, indicadores de alto grado de diferenciación.

5.1.2 Grupo Tacaza

Las figuras 5.3 y 5.4 muestran los patrones de tierras raras y diagrama *Spider* para el Grupo Tacaza en la zona de estudio:

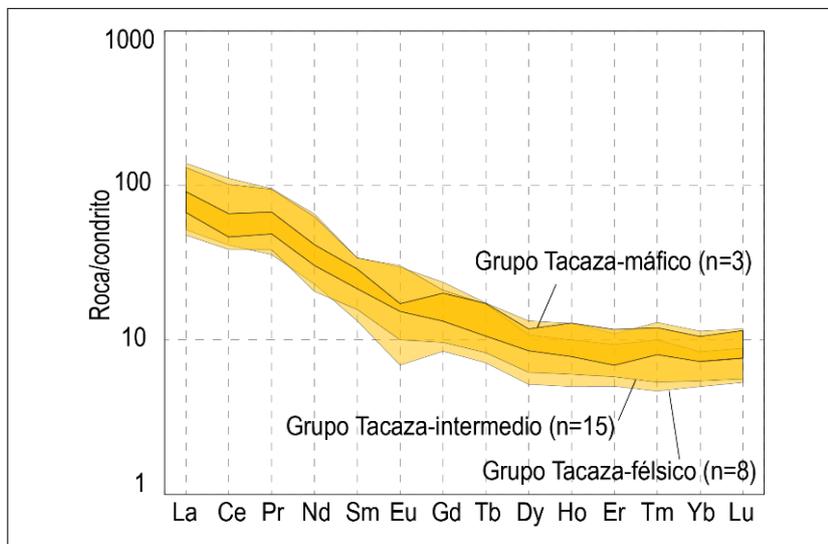


Figura 5.3 Diagrama de tierras raras para las muestras del Grupo Tacaza

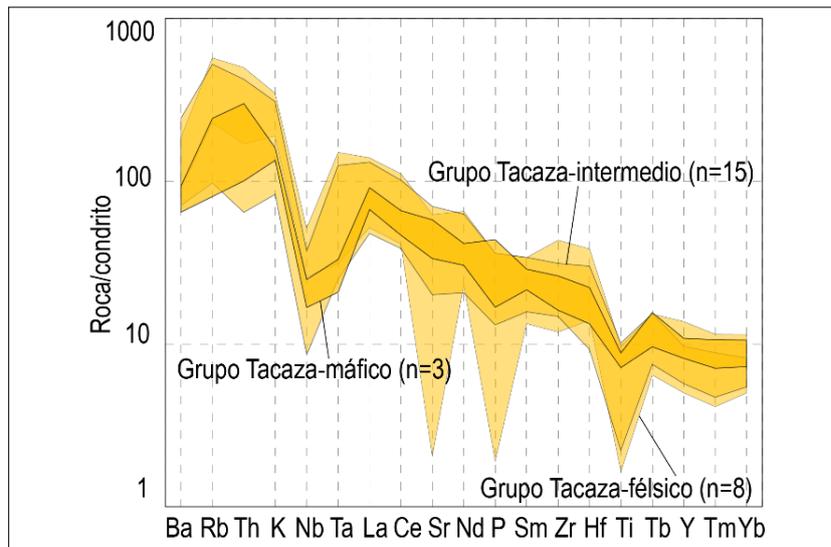


Figura 5.4 Diagrama *Spider* para las muestras del Grupo Tacaza

De la figura 5.3 se tiene que la pendiente del patrón de tierras raras aumenta a medida que las muestras se tornan más félsicas. Se da un incremento en las tierras raras ligeras-LREE (*Light Rare Earth Elements*) respecto a las tierras raras pesadas; este hecho es normal durante la diferenciación debido al carácter ligeramente más incompatible de las tierras raras ligeras respecto a las tierras raras pesadas. Esta geometría del patrón de tierras raras indica la presencia de anfíboles en el fundido residual, indicando que el magmatismo del Tacaza podría generar un sistema magmático-hidrotermal. La figura 5.4 muestra, además, el enriquecimiento en litófilos (Ba, Rb,

Th, K) que se da con la diferenciación desde el extremo máfico hacia el extremo félsico. Los elementos HFSE (Nb, P, Ti), a su vez, se empobrecen marcadamente hacia el extremo félsico. El empobrecimiento marcado en Sr se debe al fraccionamiento de plagioclasas.

5.1.3 Formación Alpbamba

Las figuras 5.5 y 5.6 muestran los patrones de tierras raras y diagrama *Spider* para la Formación Alpbamba en la zona de estudio:

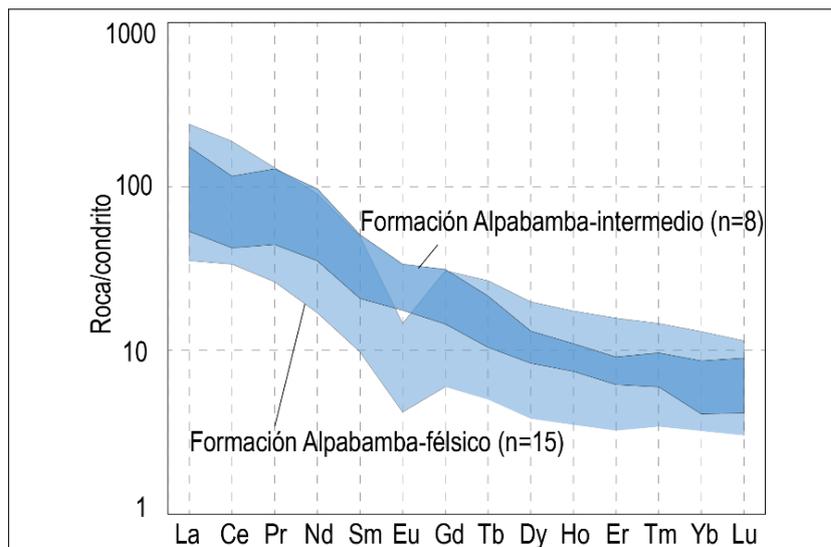


Figura 5.5 Diagrama de tierras raras para las muestras de la Formación Alpbamba

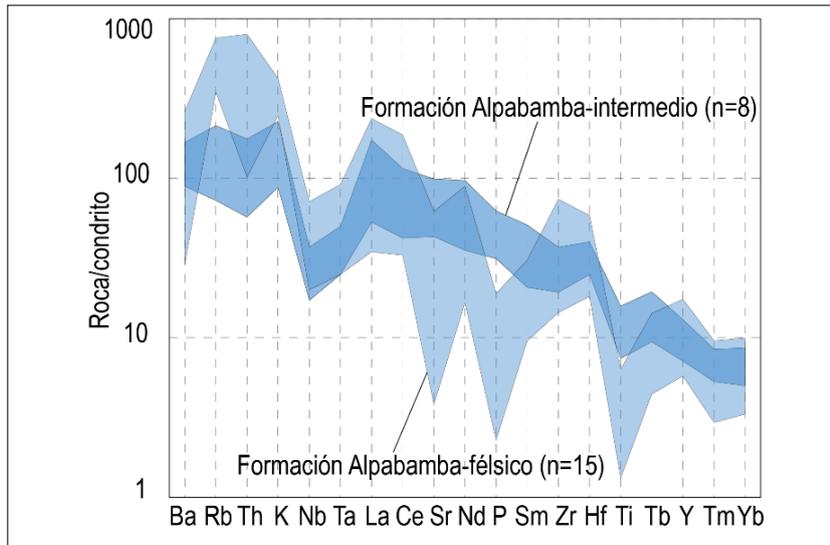


Figura 5.6 Diagrama *Spider* para las muestras de la Formación Alpacabamba

De la figura 5.5 se tiene que el patrón de tierras raras aumenta de pendiente como se espera con la diferenciación. Las tierras raras ligeras se encuentran enriquecidas en torno a 100 veces el condrito, como es el caso de la Superunidad Challaviento y el Grupo Tacaza, mientras que las tierras raras pesadas se encuentran enriquecidas en torno a 10 veces el condrito. Se da incremento de anomalía negativa de Eu con la diferenciación, debido a fraccionamiento de feldespatos. Asimismo, se tiene de

la figura 5.6 enriquecimientos en litófilos con la diferenciación, empobrecimiento de HFSE debido a su carácter inmóvil y empobrecimiento en Sr, a causa al fraccionamiento de plagioclasas.

5.1.4 Grupo Barroso

Las figuras 5.7 y 5.8 muestran los patrones de tierras raras y diagrama *Spider* para el Grupo Barroso en la zona de estudio:

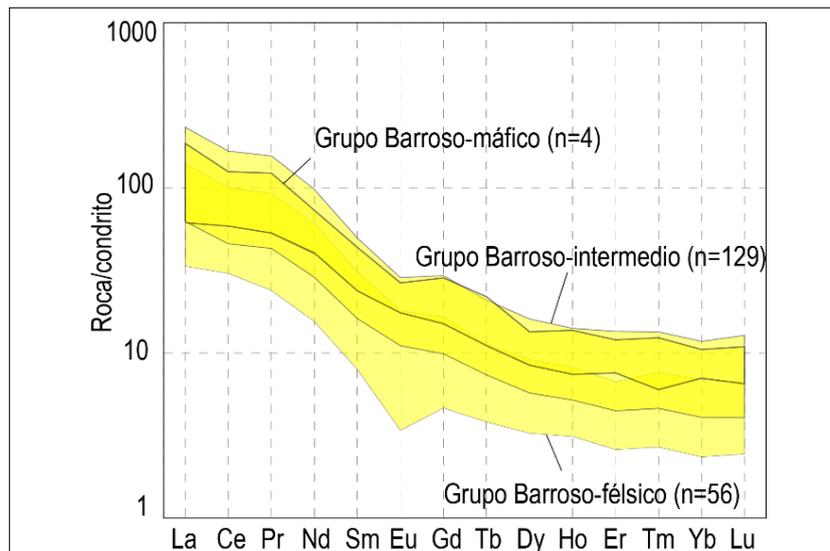


Figura 5.7 Diagrama de tierras raras para las muestras del Grupo Barroso

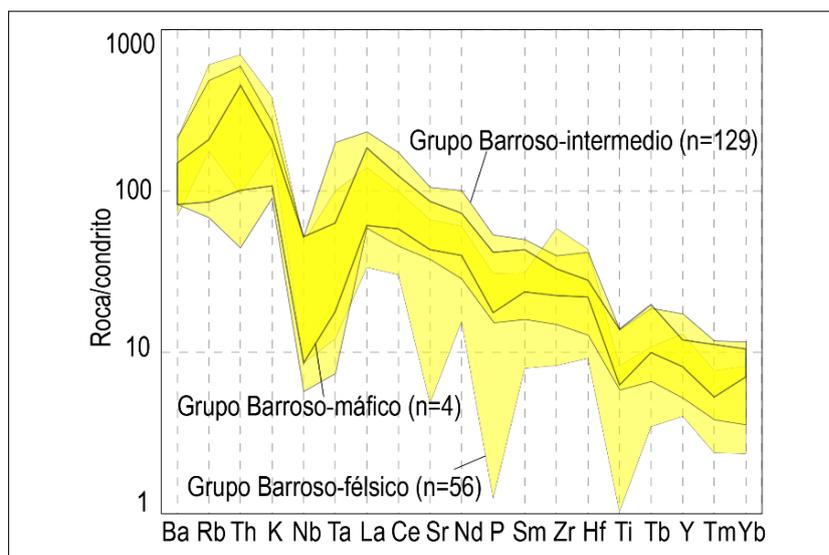


Figura 5.8 Diagrama Spider para las muestras del Grupo Barroso

De la figura 5.7 se observa el característico aumento de la pendiente del patrón de tierras raras con la diferenciación, así como el incremento de la anomalía negativa de Eu con la diferenciación. La figura 5.8 muestra adicionalmente el enriquecimiento en litófilos con la diferenciación, así como el empobrecimiento en HFSE y en Sr para las composiciones félsicas.

5.2 DIAGRAMAS DE TIERRAS RARAS, SPIDER Y OTROS DIAGRAMAS BIVARIANTES PARA LOS MAGMAS ASOCIADOS A MINERALIZACIÓN

5.2.1 Yacimientos tipo pórfido, Skarn y relacionados a rocas intrusivas (Franjas metalogénicas X, XII y XV)

Diagramas de tierras raras y diagramas Spider

En la figura 5.9, se muestra el diagrama de tierras raras para los yacimientos de Cahuacho, Pampa Jaguay, Los Calatos, Quimsacollo y Ataspaca.

De la figura 5.9 se observa que la firma geoquímica de Cahuacho, correspondiente a un subvolcánico, presenta una firma geoquímica de pendiente de tierras raras ligeras moderada y pendiente de tierras raras intermedias y pesadas lítrica, lo que indica fraccionamiento de anfíbol en la fuente. Para el pórfido

Pampa Jaguay, se tienen diversas firmas geoquímicas, pero las que corresponden a anomalías negativas muy pronunciadas de Eu y una pendiente de tierras raras ligeras muy baja, corresponden a volcánicos del Grupo Toquepala superior. La anomalía negativa de Eu indica fraccionamiento de feldespatos en la fuente. El resto de firmas geoquímicas de Pampa Jaguay corresponde a la firma geoquímica del Grupo Toquepala inferior. Para Los Calatos, se observa que los patrones de tierras raras son similares a los de Cahuacho, e indican fraccionamiento de anfíbol. Las muestras de pórfidos de Los Calatos, la pendiente de tierras raras intermedias y tierras raras pesadas es negativa y muy pronunciada, lo que indica fraccionamiento de granate en la fuente. La transición de una mineralogía en la base de la corteza controlada por anfíbol, a una base de la corteza dominada por granate, implica la liberación del agua estructural del anfíbol, lo que es favorable para generar magmas fértiles e hidratados. Quimsacollo muestra el patrón de geometría lítrica característico de fraccionamiento de anfíbol. Para el skarn de Ataspaca se muestra un moderado empobrecimiento en tierras raras pesadas, lo que sugiere transición hacia una corteza gruesa.

La figura 5.10 muestra el diagrama Spider para los yacimientos de Cahuacho, Pampa Jaguay, Los Calatos, Quimsacollo y Ataspaca.

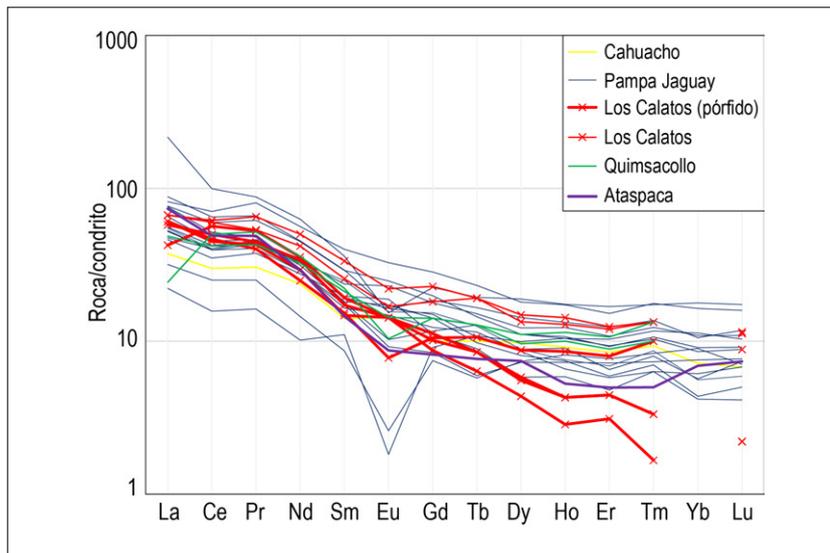


Figura 5.9 Diagrama de tierras raras para los yacimientos Cahuacho, Pampa Jaguay, Los Calatos, Quimsacollo y Ataspaca

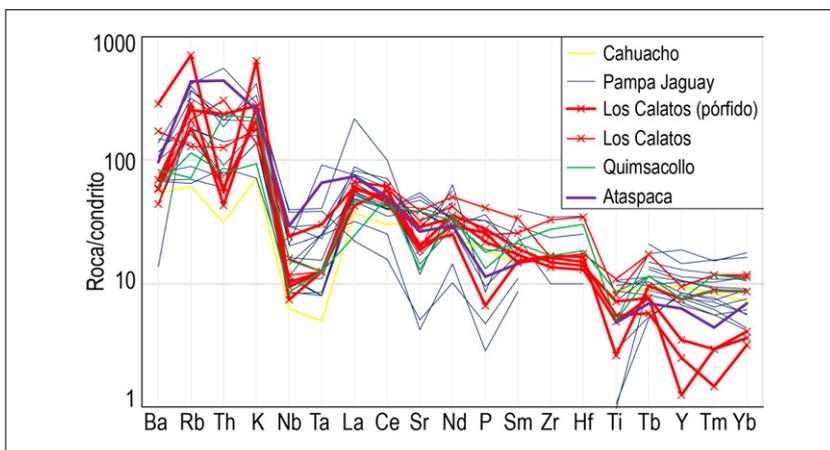


Figura 5.10 Diagrama *Spider* para muestras de los yacimientos Anchaca, Ataspaca, Ayajahu-Pirka, Baños del Indio

De la figura 5.10, destaca para el subvolcánico de Cahuacho el bajo contenido de litófilos (Ba, Rb, Th, K), lo que indica un magmatismo poco diferenciado. Presenta la firma geoquímica de subducción, dada la anomalía negativa de Nb-Ta. La ausencia de anomalía negativa de P y Ti sustenta el carácter poco diferenciado de este magmatismo. Respecto a Pampa Jaguay, se tiene un magmatismo más diferenciado en comparación con el subvolcánico de Cahuacho, ya que se intensifican las anomalías negativas de P y Ti, señal de intensificación de los procesos de subducción. Para el pórfido Los Calatos, destaca la anomalía negativa de Th, probablemente debido a fraccionamiento de circones, además, se observa un mayor

enriquecimiento en litófilos, pero principalmente la figura 5.10 aporta la intensificación de procesos de subducción señalada por la intensificación de las anomalías de P y Ti. Para Quimsacollo, se observa una firma característica de arco, con enriquecimiento en litófilos y anomalías negativas de Nb-Ta y P, Ti. De la firma de Ataspaca, destaca la débil anomalía negativa de Nb-Ta y P, Ti, lo que indica que proviene de un magmatismo poco diferenciado, ya que las tierras raras pesadas sugieren engrosamiento cortical, lo que se contradice con un magmatismo poco diferenciado. Se sugiere la mezcla de magmas para la generación de esta firma litogeoquímica.

Diagrama Sr/Y vs Y

La figura 5.11 muestra los campos adakíticos y de magmatismo normal de arco para los yacimientos de Cahuacho, Pampa Jaguay, Los Calatos, Quimsacollo y Ataspaca.

La figura 5.11 muestra la mayor intensidad de señal adakítica para las muestras del pórfido Los Calatos, mostrándose además la transición desde una base de la corteza dominada por anfíbol hacia una base de la corteza dominada por granate. Las

muestras de Pampa Jaguay se encuentran en transición desde arco normal hacia anfíbol estable, lo cual es muy favorable para generar mineralización.

Diagrama Eu/Eu* vs LaN/YbN

La figura 5.12 señala la relación de los parámetros Eu/Eu* versus LaN/YbN para los yacimientos de Cahuacho, Pampa Jaguay, Los Calatos, Quimsacollo y Ataspaca.

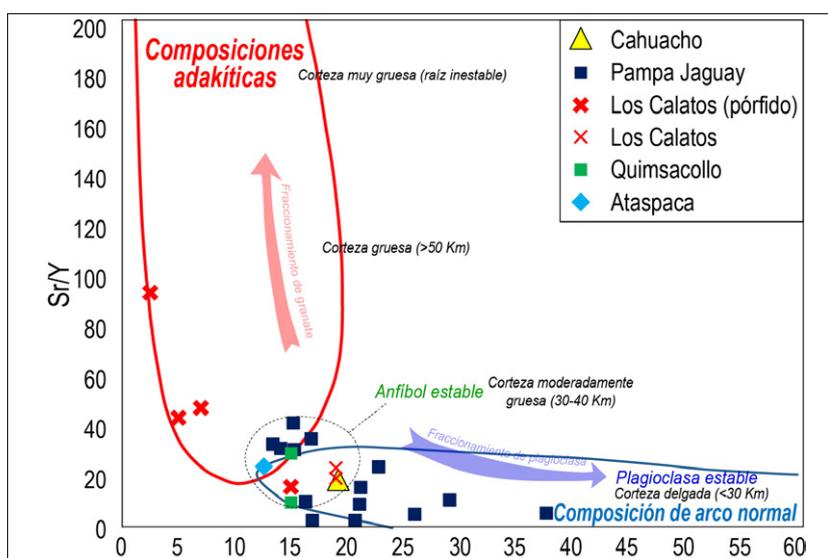


Figura 5.11 Diagrama Sr/Y vs Y para los yacimientos de Cahuacho, Pampa Jaguay, Los Calatos, Quimsacollo y Ataspaca

Las muestras del pórfido Los Calatos y de Pampa Jaguay se encuentran en rangos adakíticos para el LaN/YbN, además de presentar anomalías positivas de Eu, lo que indica magmas hidratados y oxidados, lo cual es favorable para generar mineralización.

5.2.2 Yacimientos tipo epitermales, polimetálicos y vetiformes (Franjas metalogenéticas XXI, XXI-B y XIII)

Diagramas de tierras raras y diagramas Spider

En las figuras 5.13 y 5.14, se muestran los diagramas de tierras raras y diagramas Spider para los yacimientos Chipmo, Orcopampa, Shila Paula, Anchaca, Pucamarca, Cañayloma, Andamarca y Colquemayo.

Para Chipmo, se observa claramente una pendiente de tierras raras intermedias y pesadas subhorizontal, que generan una geometría de patrón en forma de cuchara, lo que significa fraccionamiento de anfíbol en la fuente. La firma de Cañayloma es similar a la de Chipmo, pero se encuentra más enriquecida respecto al condrito, lo que sugiere más fraccionamiento de clinopiroxeno. Las muestras de Orcopampa, Shila Paula y Colquemayo presentan mayor empobrecimiento de tierras raras pesadas, lo que indica fraccionamiento de granates, lo cual significa engrosamiento cortical. Caso similar ocurre con una muestra de Anchaca, mientras que para la segunda se tiene una marcada anomalía positiva de Eu junto con un bajo enriquecimiento respecto al condrito, en comparación al resto de muestras, lo que significa que proviene de un magmatismo muy poco diferenciado.

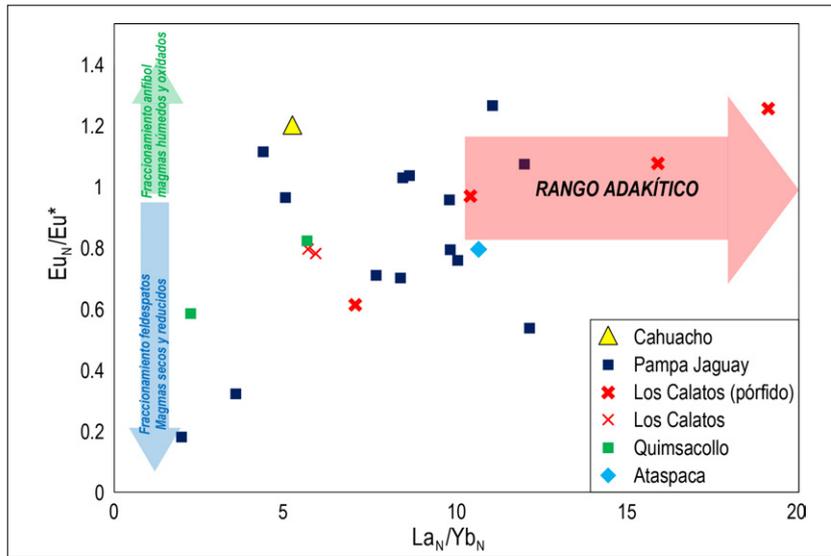


Figura 5.12 Eu_N/Eu^* versus La_N/Yb_N para los yacimientos de Cahuacho, Pampa Jaguay, Los Calatos, Quimsacollo y Ataspaca

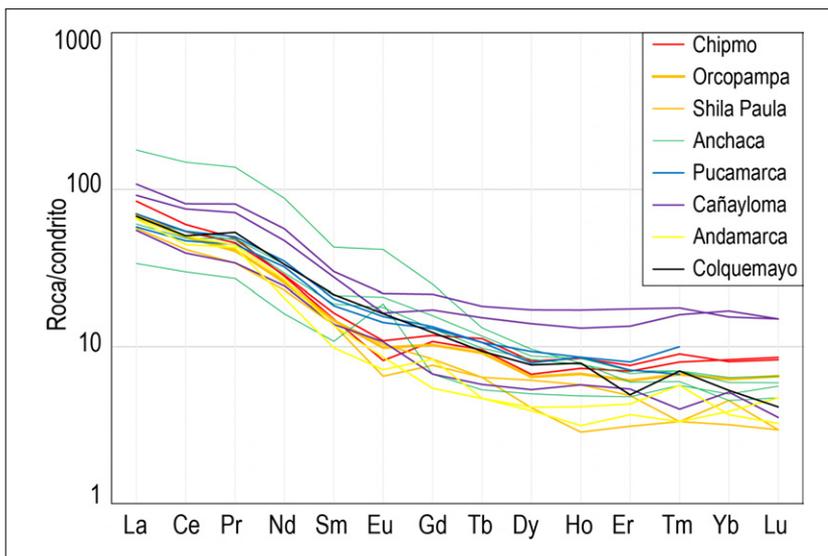


Figura 5.13 Diagrama de tierras raras para los yacimientos Chipmo, Orcopampa, Shila Paula, Anchaca, Pucamarca, Cañayloma, Andamarca y Colquemayo

Las muestras de Chipmo presentan un marcado enriquecimiento en litófilos, así como una intensificación de las anomalías negativas de P y Ti, lo que destaca la mayor influencia de procesos corticales. Orcopampa y Shila Paula presentan enriquecimiento en litófilos pero nulas anomalías de P y Ti, lo cual sugiere mezcla con magmas primitivos. Pucamarca presenta poco enriquecimiento en litófilos, enriquecimiento en

Sr y nulas anomalías de P y Ti, lo que indica proveniencia de magmatismo poco diferenciado.

Diagrama Sr/Y vs Y

La figura 5.15 muestra los campos adakíticos y de magmatismo normal de arco para los yacimientos de Cahuacho, Pampa Jaguay, Los Calatos, Quimsacollo y Ataspaca.

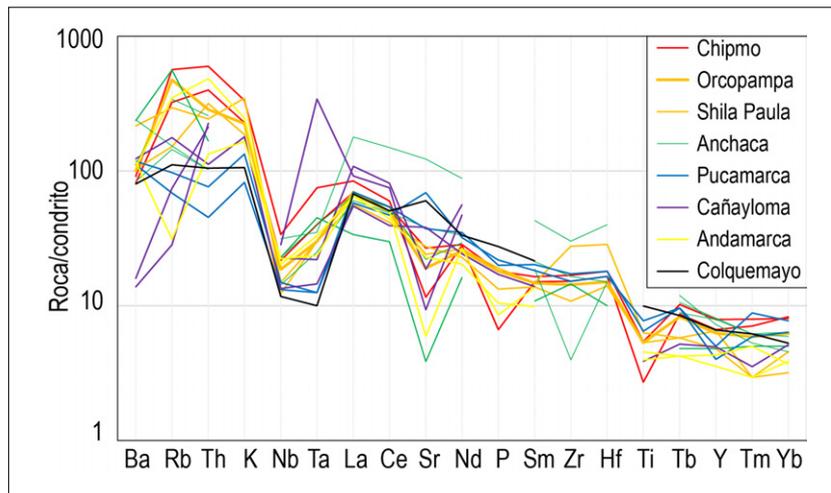


Figura 5.14 Diagrama Spider para los yacimientos Chipmo, Orcopampa, Shila Paula, Anchaca, Pucamarca, Cañayloma, Andamarca y Colquemayo

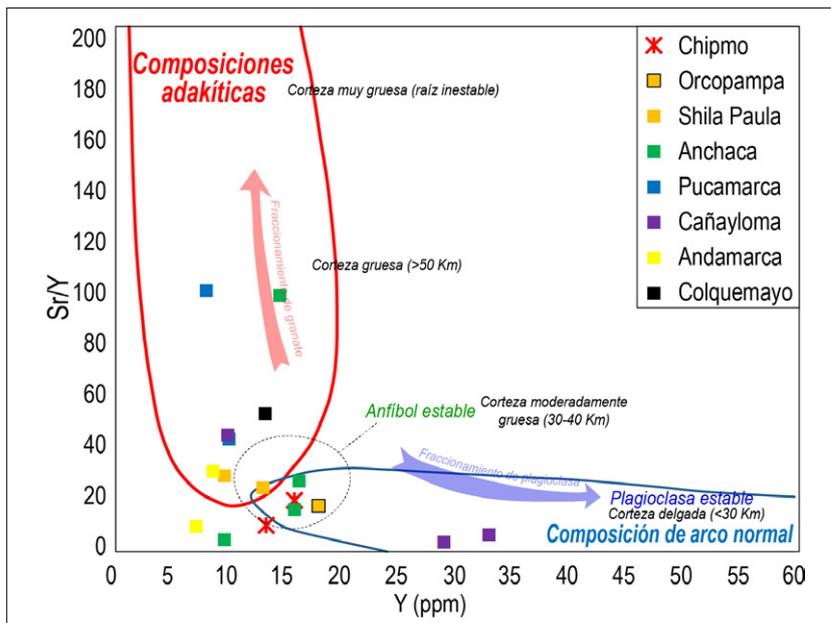


Figura 5.15 Diagrama Sr/Y vs Y para los yacimientos de Chipmo, Orcopampa, Shila Paula, Anchaca, Pucamarca, Cañayloma, Andamarca y Colquemayo

Anchaca, Pucamarca, Cañayloma, Colquemayo, Andamarca y Shila Paula presentan señal adakítica, lo que los señala como magmatismo fértil para generar yacimientos de tipo pórfido-epitermal.

Diagrama Eu/Eu* vs LaN/YbN

La figura 5.16 señala la relación de los parámetros Eu/Eu* vs. LaN/YbN para las muestras vistas en 5.15.

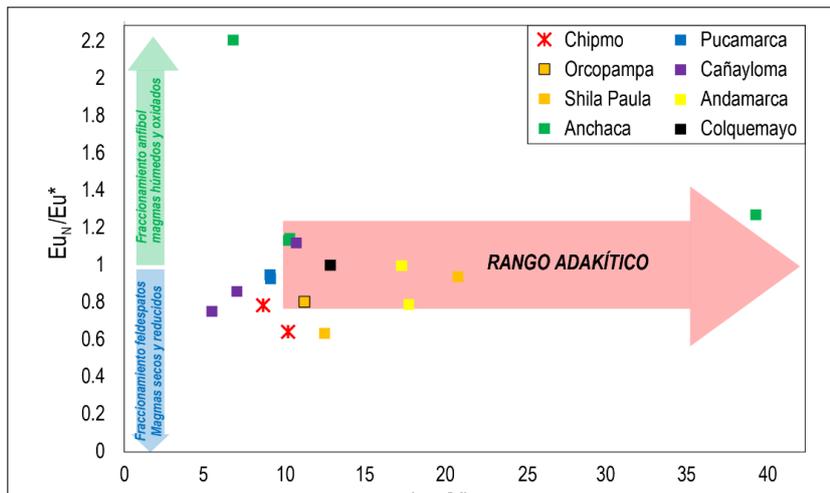


Figura 5.16 Diagrama LaN/YbN vs. Eu/Eu* para los yacimientos de Chipmo, Orcopampa, Shila Paula, Anchaca, Pucamarca, Cañayloma, Andamarca y Colquemayo

Las muestras de Andamarca, Cañayloma, Colquemayo, Orcopampa y Shila Paula se encuentran en rangos adakíticos y presentan anomalías positivas de Eu, lo que indica magmatismo hidratado y oxidado.

5.2.3 Otros parámetros litogeoquímicos de implicancia metalogénica

Otros parámetros que pueden ser útiles para caracterizar magmas vinculados a yacimientos pórfido-epitermales son el U/Th y el NbN/TaN.

El Th se encuentra estrechamente relacionado al U, y la relación U/Th tiende a permanecer constante con la diferenciación en caso no haya significativa mezcla y/o asimilación cortical.

Ambos son altamente incompatibles durante la fusión parcial, e inmóviles en fluidos acuosos. Sin embargo, estudios experimentales de Keppler y Wyllie (1990) muestran que, en fluidos hidrotermales que contengan Cl- y CO₂, el U es móvil, ya que forma complejos con estos volátiles, mientras que el Th no.

Un incremento del parámetro U/Th entonces puede interpretarse como un influjo de fluidos en profundidad que contengan Cl- y CO₂ (o de magmas que contengan estos fluidos y/o volátiles).

Un incremento en el ratio U/Th también puede ocurrir debido a un marcado descenso de Th por contaminación de magmas primitivos. La contaminación con magmas primitivos es incluso necesaria para el rejuvenecimiento termal de un sistema porfírico emplazado en niveles corticales superiores.

Por otra parte, anomalías negativas de Nb y Ta son indicativas de proceso de subducción, especialmente de la deshidratación del slab subductante.

Ya que estos elementos son altamente inmóviles, resultan empobrecidos en los magmas provenientes de subducción.

Estudios experimentales de Baier et al. (2008) indican que, de lo poco de Nb y Ta que se removiliza hacia el fluido por la deshidratación del slab, la relación de Nb/Ta removilizados es de 5 a 1 aproximadamente, por lo que un incremento del ratio Nb/Ta puede interpretarse como una intensa deshidratación del slab.

Según estudios experimentales de Li et al. (2017), además, fraccionamiento de minerales de Ti (presentes en el slab subductante, zonas metasomatizadas del manto o en una raíz continental eclogítica) fraccionan el Nb y Ta entre ellos (consumiendo preferentemente al Ta), lo que incrementa la relación Nb/Ta en el fundido residual.

En contraste, fraccionamiento de anfíboles en la región fuente disminuyen el ratio Nb/Ta en los fundidos residuales en magmas evolucionados de arco. Por ello, este trazador puede ser también utilizado como un indicador del grado de evolución del sistema magmático.

El cuadro 5.1 muestra el rango de variación de estos parámetros, así como también sintetiza las características litogeoquímicas del Grupo Tacaza, Superunidad Challaviento, Formación Alpabamba y Grupo Barroso.

Cuadro 5. 1
Resumen de características litogeoquímicas del Grupo Tacaza, Superunidad Challaviento, Formación Alpbamba y Grupo Barroso

Unidad litológica	LaN/YbN	Eu/Eu*	SiO ₂	Espesor cortical (km)	Distancia a la fosa (km)	U/Th	NbNTaN	Ag (ppm)	Cu (ppm)	Mo (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
Formación Alpbamba-félsico	20	0.6	70	40	240	0.26	0.96	-	634	13	20	50
Formación Alpbamba-intermedio	18	0.9	558	44	228	0.23	0.97	0.50	40	3	10	115
Grupo Barroso-félsico	23.5	1	69	42	250	0.25	0.90	0.50	43	3.3	22	144
Grupo Barroso-intermedio	27	0.98	58.5	48	260	0.25	1.465	0.50	93.50	4.8	25	125
Grupo Barroso-máfico	13	0.86	52.5	44	280	0.22	0.68	0.80	48	4.6	14	87
Grupo Tacaza félsico	12	0.8	69.5	44	310	0.22	0.69	0.10	17	2.4	21	58
Grupo Tacaza intermedio	14	1.05	58.5	42	294	0.21	0.52	0.50	73	5.4	23	80
Grupo Tacaza máfico	9.34	0.87	51	39	314	0.20	0.82	0.10	85	4.0	14	80
Superunidad Challaviento-intermedio	12	0.83	60	44	252	0.21	0.22	-	72.5	-	10	85

Del cuadro 5.1, para el Grupo Tacaza, se destaca el hecho que se va tornando más máfico a medida que se acerca a la fosa oceánica. También que las composiciones intermedias son las más apropiadas para generar mineralización, ya que presenta anomalías positivas de Eu. La Superunidad Challaviento presenta anomalías negativas de Eu, lo que no la hace favorable para generar mineralización importante. Respecto a la Formación Alpbamba, se tiene que los miembros de composición intermedia son los más favorables para generar mineralización, dada la anomalía de Eu en torno a 1 y un Nb_N/Ta_N en torno a 1, pero los

miembros félsicos son los que tienen mayor contenido de Cu, lo que implica que son más receptivos a mineralización. Para el Grupo Barroso, los miembros félsicos, que se encuentran más cercanos a la fosa, son los más favorables para generar mineralización, dados los valores de La_N/Yb_N y Eu en rangos adakíticos.

El cuadro 5.2 sintetiza las características litogeoquímicas de los yacimientos de Cahuacho, Pampa Jaguay, Los Calatos, Quimsacollo y Ataspaca.

Cuadro 5. 2
Resumen de las características litogeoquímicas de los yacimientos de Cahuacho, Pampa Jaguay,
Los Calatos, Quimsacollo y Ataspaca

Francia	Yacimiento	Tipo	Litología	LaN/ YbN	Eu/ Eu*	SiO ₂	Espesor cortical (km)	Distancia a la fosa (km)	U/Th	NbN/ TaN	Ag (ppm)	Cu (ppm)	Mo (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
X	Cahuacho	Hidro- termal	Subvolcánico color gris oscuro con presencia de horblendas.	5	1.21	52	27	159	0.38	1.26	5.00	90.00	2.00	6.90	100.00
XIII	Pampa Jaguay	Pórfido	Volcánico porfírico, color gris claro con tonos rojizos	8	1.03	-	38	231	0.24	0.57	1.00	24.00	2.00	16.00	62.00
			Intrusivo gris claro con pirita. Fracturamiento tipo enrejado	4	1.12	-	29	230	0.25	0.46	1.00	59.00	3.00	14.00	118.00
			Volcánica marrón	5	0.97	-	35	230	0.28	0.95	1.00	21.00	5.00	20.00	112.00
			Toba de cristales silicificada color gris claro.	12	0.54	72	36	230	0.25	0.97	8.00	40.00	3.00	15.80	60.00
			Toba de cristales color rojiza	10	0.76	70	40	231	0.21	0.23	6.00	90.00	2.00	16.80	40.00
			Volcánico blanquecino rojizo	8	0.70	-	36	230	0.24	1.27	5.00	40.00	2.00	6.60	70.00
			Volcánico gris claro	2	0.18	78	14	230	0.34	0.98	6.00	20.00	2.00	31.00	60.00
			Toba riolítica color gris claro	9	1.04	54	38	230	0.16	1.36	5.00	60.00	2.00	8.30	90.00
			Volcánico andesítico afanítico gris oscuro	8	0.71	61	33	231	0.29	1.05	5.00	120.00	2.00	17.50	90.00
			Volcánico andesítico con alteración propilitica	10	0.96	52	37	230	0.22	0.99	5.00	60.00	2.00	9.60	130.00
			Volcánico porfírico	11	1.27	45	35	230	0.26	1.07	5.00	80.00	2.00	8.40	100.00
			Volcánico rojizo cloritizado	12	1.08	-	36	230	0.23	1.43	5.00	50.00	2.00	8.10	70.00
	Los Calatos	Pórfido de Cu- Mo	Diorita con alteración potásica. Estructuras tipo <i>stockwork</i> . Calcopirita en venillas.	6	0.78	59	40	218	0.30	1.28	0.25	4064.00	471.00	2.50	22.00
			Intrusivo precursor. Diorita de grano fino	6	0.80	53	40	218	0.26	0.94	0.25	242.00	1.00	19.00	114.00
			Roca porfírica con alteración potásica con sobreimposición de alteración filica	10	0.97	60	75	217	0.40	0.82	0.25	2671.00	221.00	2.50	7.00
			Roca porfírica con alteración filica	7	0.62	71	39	218	0.83	0.80	0.25	133.00	2.00	2.50	17.00
			Roca porfírica con alteración cuarzo-sericita-pirita débil	16	1.08	56	54	217	0.44	0.59	0.25	2207.00	185.00	2.50	19.00
			Dique andesítico porfírico tardío	19	1.26	57	59	218	0.43	0.75	0.25	22.00	9.00	514.00	1152.00
	Quin- sacollo	Pórfido de Cu- Mo	Volcánico andesítico	2	0.59	67	41	227	0.22	1.23	0.25	16.00	1.00	2.50	51.00
			Diorita gris oscura	6	0.83	57	38	227	0.27	0.69	0.25	48.00	2.00	2.50	56.00
XV	Ataspaca	Skarn	Intrusivo gris claro con horblenda y biotita	11	0.80	68	43	256	0.25	0.44	5.00	90.00	2.00	11.60	80.00

Del cuadro 5.2 para Cahuacho se tiene que el subvolcánico presenta interesantes valores indicadores de magmatismo hidratado y oxidado, por la anomalía de Eu mayor a 1, así como el Nb_N/Ta_N mayor a 1. El contenido de volátiles, indirectamente señalado por el U/Th, también es favorable, ya que se encuentra por encima de 0.25. Para Pampa Jaguay se tiene un intrusivo con anomalía positiva de Eu, lo que lo señala como favorable para exsolver fluidos hidrotermales.

Los Calatos muestra valores altos de La_N/Yb_N y anomalía de Eu positiva para el pórfido con alteración cuarzo-sericita-pirita, así como altos contenidos de Cu. El dique andesítico porfirítico tardío (nombre de mina) presenta mayores valores de La_N/Yb_N y anomalía de Eu, pero puede deberse debido a un estado avanzado en la evolución del sistema. Los valores metálicos más altos para esta muestra son los de Pb y Zn. Las muestras tomadas de Quimsacollo no presentan valores que indiquen magmatismo fértil, así como para el intrusivo de Ataspa.

Cuadro 5.3

Resumen de las características litogeoquímicas de los yacimientos de Chipmo, Orcopampa, Shila Paula, Anchaca, Pucamarca, Cañaylo y Andamarca

Franga	Yacimiento	Tipo	Litología	LaN/YbN	Eu/Eu*	SiO ₂	Espesor cortical (km)	Distancia a la fosa (km)	U/Th	NbN/TaN	Ag (ppm)	Cu (ppm)	Mo (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
XXI	Chipmo	Epitermal de alta sulfuración	Volcánico riolítico	10	0.64	73	46	264	0.30	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			Volcánico dacítico	9	0.78	66	41	263	0.27	0.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Orcopampa	Epitermal de alta sulfuración	Volcánico dacítico	11	0.80	66	44	266	0.30	0.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Shila Paula	Vetas de Au	Volcánico dacítico	12	0.63	64	40	264	0.29	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			Volcánico latítico	21	0.94	62	49	262	0.33	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
XXI-B	Anchaca	Hidrotermal	Intrusivo porfirítico, fenos de plagioclasa	10	1.14	-	41	263	0.27	0.57	1.00	17.00	3.00	23.00	98.00
			Toba silicificada	7	2.20	-	39	263	0.39	0.51	1.00	5.00	3.00	24.00	10.00
			Intrusivo gris claro	10	1.13	-	39	269	0.23	0.57	1.00	75.00	2.00	10.00	73.00
			Intrusivo silicificado	39	1.27	-	61	273	0.20	0.90	1.00	65.00	2.00	12.00	130.00
XXIII	Pucamarca	Epitermal de alta sulfuración	Andesita porfirítica de colores abigarrados	9	0.95	56	49	258	0.16	1.19	0.25	25.00	1.00	2.50	66.00
			Volcánico andesítico porfirítico	9	0.93	57	51	257	0.21	1.05	0.25	70.00	1.00	2.50	77.00
	Cañaylo	Vetiforme	Volcánico andesítico gris oscuro	5	0.75	-	36	189	0.28	0.08	5.00	1050.00	7.00	7.10	80.00
			Volcánico andesítico	7	0.86	-	35	188	0.30	1.03	5.00	170.00	2.00	8.70	160.00
			Intrusiva blanquecina	11	1.12	66	44	188	0.38	0.93	5.00	20.00	2.00	10.40	60.00
	Andamarca	Epitermal	Volcánico gris claro	17	1.00	67	54	263	0.34	0.95	8.00	20.00	2.00	209.00	10.00
			Granodiorita de grano grueso	18	0.79	69	49	255	0.19	0.61	5.00	1260.00	2.00	6.60	40.00
			Intrusivo gris claro.	13	1.00	54	43	239	0.18	1.17	5.00	90.00	2.00	8.10	90.00

Se observa, para las muestras de Chipmo, alto contenido en volátiles, señalado por el U/Th mayor a 0.25, el mismo caso se observa para el volcánico dacítico de Orcopampa. Shila Paula tiene valores de LaN/YbN en rangos adakíticos, así como anomalía de Eu en torno a 1 y U/Th>0.25, lo que indica que este volcanismo fue favorable para generar mineralización. Para Anchaca, las muestras tienen valores de Eu mayores a 1, lo cual

es muy favorable, y el intrusivo silicificado tiene valores de LaN/YbN de 39, lo cual es muy elevado y favorable para generar mineralización. Los volcánicos andesíticos de Pucamarca también tienen valores de anomalía de Eu y de NbN/TaN que indican magmatismo hidratado. El intrusivo de Cañaylo y el intrusivo de Andamarca tienen igualmente valores de anomalía de Eu y de NbN/TaN en torno a 1.

CAPÍTULO VI

POTENCIAL MINERO DEL BLOQUE SUR

El potencial minero del Bloque Sur responde a los análisis e interpretación regional de las capas o *data sets*: geológico (con dataciones), estructural, satelital, yacimientos, geoquímica de sedimentos de quebrada y estudios geofísicos regionales, además de roca recolectadas en yacimientos, ocurrencias y afloramientos. La ubicación de estas muestras son estratégicas para la correlación e interpretación de información, que obtienen como producto el mapa de objetivos de exploraciones (mapa 6-anexos).

6.1 ANOMALÍAS SATELITALES E INTERSECCIONES ESTRUCTURALES

Los datos estructurales recolectados en terreno, las anomalías satelitales interpretadas, muestran una buena correlación. Por ejemplo, entre el Sistema de Fallas de Incapuquio (SFI) y las interpretaciones Aero-magnéticas. Superponiendo los datos estructurales de terreno (fallas, Lineamientos), se muestra una buena correspondencia entre estas estructuras y las anomalías geoquímicas. Para tales fines se utilizaron:

Mapa de gravimetría

Se utilizó información de tres satélites: Geosat (1985–1989), ERS-1 (1991–1996) y ERS-2 (1995–2003).

Datos de gravedad satelital

Los satélites han registrado información del campo gravitatorio de la Tierra en modo de registros pasivos o activos. Las mediciones pasivas incluyen el seguimiento de la órbita de un satélite en relación con el suelo o con otros satélites, y las observaciones del gravímetro ubicado en el satélite, mientras que las mediciones activas utilizan la altimetría generada por el satélite (es decir, pulsos electromagnéticos o láser) para obtener imágenes del geoide en los océanos. Las variaciones en ambos conjuntos de mediciones pueden estar relacionadas con las anomalías del campo gravitatorio.

Las anomalías de gravedad como respuesta de las características geológicas se miden a menos de varios de cientos de kilómetros atenuadas a elevaciones satelitales y como resultado no se observan en las mediciones pasivas. Por otro lado, las mediciones activas proporcionan información con mayor resolución sobre la superficie del mar, pero estos datos están

restringidos a entornos marinos en alta mar en contraste con la cobertura más amplia que incluye la superficie terrestre obtenida mediante mediciones pasivas.

La resolución de las medidas activas está principalmente establecida por la firma del altímetro en la superficie del océano, que es una aproximación muy cercana al geoide. Por ejemplo, los datos de altimetría satelital Geosat (1985–1989) y ERS-1 (1991–1996) y ERS-2 (1995–2003) tienen una firma aproximada de 7 x 7 km², por lo que los datos de altimetría marina han mapeado anomalías de gravedad en Longitudes de onda de unos 15 a 20 km mayores a un 70 % aproximado para la superficie de la Tierra. Las limitaciones en la resolución de las longitudes de onda se deben en gran parte a los estudios de rastreo a las formas de onda que han mejorado la extracción de las señales de la superficie del océano en los datos de altimetría (Andersen et al., 2010).

La información geofísica utilizada en el presente reporte fueron datos de gravedad satelital recolectados mediante un altímetro de radar montado a bordo de un satélite en órbita terrestre (Smith & Sandwell, 1997). Esta información satelital tiene al menos dos ventajas importantes: los datos son consistentes y son de dominio público disponible en <ftp://topex.ucsd.edu/pub/srtm30_plus/>. Esta metodología presenta numerosos ejemplos que son descritos en la literatura científica (Small & Sandwell, 1992; Neumann et al., 1993; Sandwell & Smith, 1997; Smith & Sandwell, 1997; ten Brink et al., 2002; Sandwell et al., 2003; Brodscholl et al., 1992; Sandwell & Smith, 2005a, b; Sandwell & Smith, 2009; Harmon et al., 2006).

Para el área de estudio, los valores de gravedad al aire libre fueron extraídos de la última versión de dominio público de la altimetría satelital (Sandwell & Smith, 2005a, b) con una resolución espacial de 1 minuto. Los datos de topografía fueron derivados del SRTM30_PLUS: fusión de datos de topografía terrestre SRTM con topografía de fondo marino medida y estimada (disponible en <ftp://topex.ucsd.edu/pub/srtm30_plus/>) para ser utilizada durante su procesamiento y correcciones necesarias.

La información de datos geofísicos en el presente reporte nos ha proporcionado de manera cualitativa la descripción de las características geológicas en función de la gravedad. Los

datos representan la combinación de información de gravedad de alta resolución utilizando los satélites Geosat (1985-1990) y ERS-1 (1991-1995) (Smith & Sandwell, 1997). El análisis y procesamiento de los datos de gravedad procede de simples correcciones que se basan en modelos longitudes de onda son 15 - 20 km mayores a un 70 % aproximado para la superficie de la Tierra (LaFehr, 1991a, 1991b, 1998; Chapin, 1996; Talwani, 1998). Como resultado a la reducción de los datos satelitales, se obtuvo el mapa de la anomalía de Bouguer Completa, el cual nos indica anomalías que representan el exceso de masas por debajo del nivel topográfico.

Intersecciones estructurales

Las intersecciones estructurales interpretadas corresponden a las intersecciones de importantes áreas con interceptación entre los lineamientos andinos y antiandinos. Estas áreas son concordantes con las anomalías geoquímicas y las ubicaciones de yacimientos minerales. El mapa con interpretación estructural (mapa 3) muestra las siguientes intersecciones en los lugares siguientes:

1. Chuquibamba-Pampacolca
2. Chachas-Choco
3. Madrigal-Chivay
4. Lluta-Huanca
5. Baños de Yura
6. Río Chili-Tarucane
7. Chiguata-Tarucane
8. Yunga - Ichuña
9. Ichuña-Suncal
10. Lloque-Chojata
11. Coalaque-Omate
12. Tucará - Viscachune
13. Los calatos-Pampa Jaguay
14. Cuajone-Quellaveco
15. Toquepala-Ilabaya
16. Candarave-Quilahuari
17. Tarata-Chucatanani
18. Estique-Palpa.

6.2 DEPÓSITOS CON OCURRENCIAS MINERALES

La ubicación de los yacimientos y/o ocurrencias minerales coinciden con las anomalías gravimétricas y estructurales; los principales yacimientos como los porfidos de Cu-Mo-Au; Cuajone, Toquepala, Quellaveco, Los Calatos y Pecoy se encuentran en el borde de las anomalías magnéticas (señal

analítica) y concuerda con las intersecciones del mapa estructural. Esta concordancia entre los datos magnéticos-estructurales con la disposición de los yacimientos, puede indicar que el emplazamiento aparente de estos contrastes magnéticos puede estar asociado a los bordes entre los altos-bajos magnéticos y relacionados a un control estructural como el caso del Sistema de Fallas Incaquiqui-Cincha-Lluta.

6.3 MAPAS GEOQUÍMICOS DE SEDIMENTOS ACTIVOS DE QUEBRADA

Para la elaboración de los mapas geoquímicos de este reporte, se han utilizado la data del estudio de recursos minerales del sur de Perú "(Atlas Geoquímico 2016)" por: "(disponible en: <<http://metadatos.ingemmet.gob.pe:8080/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/6ad9d492-8d5f-45ae-8204-f45e91148848>>)" para los siguientes elementos: Cu, Zn y Pb. Se nombraran sectores interesantes con valores anómalos según mapa 6 y figura 6.1.

Sector Chilcaymarca

En este sector, cuyas coordenadas centrales son: 796448E y 8310261N zona 18S, se reportaron valores anómalos

Cobre: 531-800 ppm

Plomo: <180 ppm

Sector Lari

Ubicado con las siguientes coordenadas centrales: 208980E y 8270886N zona 19S. Los elementos principales en este sector son:

Cobre: 400ppm

Plomo: 346-949 ppm

Zinc: 2030-3500 ppm

Sector Yunga:

Ubicado con las siguientes coordenadas centrales: 319612E y 8219207N zona 19S.

Anómalo para:

Plomo: 179-346 ppm

Sector Matalaque:

Ubicado con las siguientes coordenadas centrales: 292987E y 8175291N zona 19S.

Plomo: 346-949 pmm

Sector Chojata Sur

Ubicado con las siguientes coordenadas centrales 336543E y 8178806N zona 19S.

Cobre: 397-531 ppm

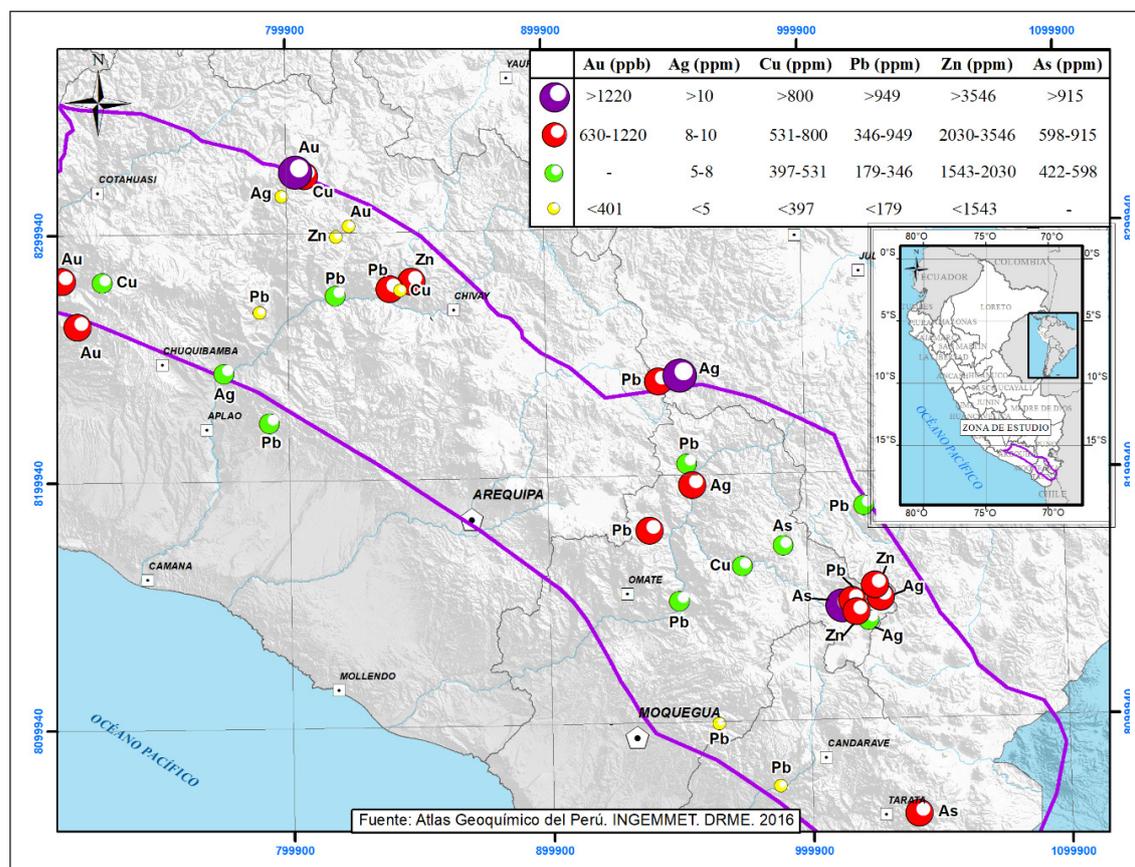


Figura 6.1 Mapa de ubicación de muestras de sedimentos activos de quebrada

6.4 SECTORES CON POTENCIAL DE EXPLORACIÓN

Los sectores o áreas con potencial de exploración (blancos o *targets*) están basados en el análisis y conjunción de datos (*data sets*) como superposición de mapas geológicos, satelitales, contrastes geofísicos, ocurrencias minerales, estructurales y geoquímicos que se muestran en el mapa 6. Muchos *targets* se ubican en áreas cubiertas. El mapa de potencial exploratorio trata de mostrar las posibilidades de exploración basados en las interpretaciones siguientes:

1. Mapa Geológico, importante herramienta para ubicar y diferenciar las diferentes unidades estratigráficas y litodémicas y así discriminar el tipo de yacimiento asociado a determinada unidad geológica (mapa 1).
2. El mapa de alteraciones tipo Sentinel- 2 (mapa 2) muestra áreas con alteración principalmente en óxidos de hierro y arcillas
3. El mapa estructural (mapa 3) muestra áreas con intersección estructural concordante con afloramientos de yacimientos minerales y si es concordante con anomalías geofísicas.
4. Mapa de la interpretación anomalía Bouguer completa (mapa 4) nos ha proporcionado de manera cualitativa la descripción de las características geológicas en función de la gravedad.
5. El mapa con franjas metalogenéticas y mineralización asociada sirve para poder espaciar y comparar la ubicación de los yacimientos con los demás mapas temáticos (mapa 5).
6. Los mapas geoquímicos de Cu, Fe, Au, Ag, Pb y Zn muestran anomalías de sedimentos de quebrada en determinadas zonas y elementos, y en parte concordante con los *targets* de exploración propuestos; información analizada y extraída del atlas geoquímico 2016-Ingemmet.

Sectores propuestos y prioridades de exploración

Los sectores o áreas propuestas con potencial para exploración se observan en el mapa 6; aquí se cuenta con 14 áreas potenciales, distribuidas en hojas geológicas, sectores y campos de atributos a análisis geoquímico, geofísico y estructural.

Áreas con mayores posibilidades de exploración de prioridad "I"

Chilcaymarca, Salamanca, Lari, Yunga, Matalaque, Lloque y Chojota sur.

Áreas de segundo orden "II"

Ayo, Lluta-Huanca, Tarucame sur, Quinistaquilla, Palca, Candarave y Capaso.

El orden de prioridad se basa en la cantidad de datos favorables (geología, estructural, geofísica y geoquímica) y la cercanía a yacimientos conocidos.

CONCLUSIONES

Litogeoquímica

- Los yacimientos tipo pórfido y epitermales se encuentran espacial y temporalmente asociados a intrusivos Eocenos (Superunidad Challaviento, caso de Ataspaca), y volcanismo Paleógeno Neógeno de los Grupos Tacaza y Barroso.
- La Superunidad Challaviento se desarrolló en un contexto de corteza gruesa, en torno a 50 km.
- La diferenciación medida por el porcentaje de sílice varía conjuntamente con los demás indicadores de diferenciación en un contexto de subducción, tales como anomalías negativas de Sr, P, Ti, Nb e incremento de anomalía negativa de Eu. Esto se da para todas las unidades ígneas.
- El yacimiento Anchaca presenta un intrusivo con marcada firma adakítica. Esta característica en intrusivos es asociada a pórfidos.
- Las muestras de Andamarca, Cañayloma, Colquemayo, Orcopampa y Shila Paula se encuentran en rangos adakíticos y presentan anomalías positivas de Eu, lo que indica magmatismo hidratado y oxidado.
- Las muestras del pórfido Los Calatos y de Pampa Jaguay se encuentran en rangos adakíticos para el La_N/Yb_N , además de presentar anomalías positivas de Eu, lo que indica magmas hidratados y oxidados, lo cual es favorable para generar mineralización.
- Los valores más altos de Cu se dan para las composiciones intermedias-máficas, resaltando que la fuente de los metales son los magmas más primitivos, con marcada influencia de procesos mantélicos.

Geocronología

- En el proyecto Los Calatos, de 3 pórfidos dacíticos (informe interno) que según edad datada con el método U-Pb en circones son:
 PD1 = 58.1 ± 0.7 Ma muestra 34t-RMT-346
 PD2 = 59.6 ± 0.8 Ma muestra 34t-RMT-350
 PD3 = 68.4 ± 0.7 Ma muestra 34t-RMT-347
- La mineralización principal del proyecto los Calatos fue

datada por el método Re-Os en molibdenita dando como resultado 57.8 ± 0.2 Ma muestra 34t-RMT-342.

- El intrusivo datado en el área Pampa Jaguay registra una edad de 69.3 Ma datado en circones con el método U-Pb, el cual es coetáneo con el pórfido dacítico 3 del proyecto Los Calatos.

Potencial exploratorio

- Proyecto Andamarca: se presentan valores anómalos como: As, Bi, Se y Sn importantes en una etapa de exploración.
- Pampa Jaguay: prospecto que se encuentra sin exploración; las campañas de campo 2018 nos permitió reconocer una zona alterada argílica con óxidos de hierro y abundante pirita; la presencia de elementos volátiles como As, Bi y Se; además, el Mo nos indicaría la presencia de un sistema porfirítico a profundidad.
- El análisis de muestras de sedimentos se tomo del Atlas Geoquímico del Perú (2016) de Ingemmet, el cual con la interpretación dio zonas con valores anómalos: Chilcaymarca, Lari, Yunga, Matalaque y Chojota sur.
- Las principales prioridades como áreas de prospección y exploración son: Chilcaymarca, Salamanca, Lari, Yunga y Matalaque.
- Proyecto Ataspaca: Se registran valores importantes de cobre 2.33 % y Molibdeno 14 ppm.
- Mina Pucamarca: El área de estudio está afectada por el Sistema de Fallas Incaquico (NO) y Challaviento.
- Proyecto San Gabriel: Las muestras 34u-RMT-241 y 34u-RMT-242, cuya ubicación promedio es 34770E/8205352N, pertenecen a una brecha hidrotermal que se encuentra en los alrededores de la zona mineralizada principal donde valores anómalos en elementos volátiles, tales como Sb, As y Se, son guías de exploración para sistemas porfiríticos.
- Proyecto Pecoy: En la muestra 32p-MMT-309, se realizaron estudios de inclusiones fluidas dando como resultado temperaturas y salinidad altas ($Th=350^{\circ}-400^{\circ}C$ y salinidades de 40-47 % eq peso NaCl) característico de yacimientos tipo pórfidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, J. (2006) - *Características metalogénicas de los yacimientos asociados a los arcos magmáticos mesozoicos y cenozoicos del sur del Perú (Latitudes 16° - 18°30')*, informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Dirección de Geología Económica y Prospección Minera, 32 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2131>
- Acosta, J. (2007) - *Las inclusiones fluidas como guías de exploración en depósitos minerales. Ejemplo: El pórfido de cobre Lara, Ayacucho – Perú*. Tesis de maestría, Red Desir, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 117 p.
- Acosta, J.; Quispe, J.; Santisteban, A. & Acosta, H. (2008) - *Épocas metalogénicas y tipos de yacimientos metálicos en la margen occidental del Sur del Perú: latitudes 14°S - 18°S*. En: Congreso Peruano de Geología, 14 & Congreso Latinoamericano de Geología, 13, Lima, 2008. Resúmenes. Lima: Sociedad Geológica del Perú, 6 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/424>
- Acosta, J.; Rivera, R.; Valencia, M.; Chirif, H.; Huanacuni, D.; Rodríguez, I.; Villarreal, E.; Paico, D. & Santisteban, A. (2009) – *Mapa metalogénico del Perú 2009: memoria*, informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 17 p., Informe Técnico A6485. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/1957>
- Andersen, O.B.; Knudsen, P. & Berry, P.A. (2010) - The DNSC08GRA global marine gravity field from double retracked satellite altimetry. *Journal of Geodesy*, 84(3): 191-199. <https://doi.org/10.1007/s00190-009-0355-9>
- Bellido, E. (1979) - Geología del cuadrángulo de Moquegua, hoja: 35-u. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 15, 78 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/132>
- Benavides, V. (1962) - Estratigrafía Pre-terciaria de la región de Arequipa. En: Congreso Nacional de Geología, 2, Lima, 1960. *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, (38):5-63.
- Brodtscholl, A.L.; Herzfeld, U.C. & Sandwell, D.T. (1992) - A comparison between satellite gravity data (Geosat) and marine Gravity data measured in the Weddell Sea, Antarctica. En: Colombo, O.L., ed. *From Mars to Greenland: Charting Gravity With Space and Airborne Instruments*. New York: Springer, p. 129-138. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-9255-2_12
- Caldas, J. (1993) - Geología de los cuadrángulos de Huambo y Orcopampa, Hojas: 32-r, 31-r. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 46, 62 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/166>
- Chapin, D.A. (1996) - The theory of the Bouguer gravity anomaly: A tutorial. *The Leading Edge*, 15(5): 361-363. <https://doi.org/10.1190/1.1437341>
- Clark, A.H.; Farrar, E.; Kontak, D.J.; Langridge, R.J.; Arenas, M.; France, L.J.; McBride, S.L.; Woodman, P.L.; Wasteneys, H.A.; Sandeman, H.A. & Archibald, D.A. (1990) - Geologic and geochronologic constraints on the metallogenic evolution of the Andes of Southeastern Peru. *Economic Geology*, 85(7): 1520-1583. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.85.7.1520>
- Dávila, D. (1988) - Geología del cuadrángulo de Cailloma, hoja 31-s. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 40, 93 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/160>
- Decou, A.; Eynatten, H.; Mamani, M.; Sempere, T. & Wörner, G. (2011) - Cenozoic forearc basin sediments in Southern Peru (15–18°S): Stratigraphic and heavy mineral constraints for Eocene to Miocene evolution of the Central Andes. *Sedimentary Geology*, 237(1-2): 55-72. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2011.02.004>
- Demouy, S.; Paquette, J.L.; Saint Blanquat, M.; Benoit, M.; Belousova, E.A.; O'Reilly, S.; García, F.; Tejada, L.; Gallegos, R. & Sempere, T. (2012) - Spatial and temporal evolution of Liassic to Paleocene arc activity in southern Peru unraveled by zircon U-Pb and Hf in-situ data on plutonic rocks. *Lithos*, 155: 183-200. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2012.09.001>

- García, W. (1978) - Geología de los cuadrángulos de Puquina, Omate, Huaitiri, Mazo Cruz y Pizacoma. Hojas: 34-t, 34-u, 34-v, 34-x, 34-y. *Instituto de Geología y Minería, Boletín*, 29, 64 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/148>
- Guevara, C. (1969) - Geología del cuadrángulo de Characato (hoja 33-t). *Servicio de Geología y Minería, Boletín*, 23, 53 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/141>
- Harmon, N.; Forsyth, D. W. & Scheirer, D.S. (2006) - Analysis of gravity and topography in the GLIMPSE study region: Isostatic compensation and uplift of the Sojourn and Hotu Matua Ridge systems. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 111(B11): B11406-B11406
- Jaén, H. (1965) - Geología del cuadrángulo de Tarata (Hoja 35-v). *Comisión Carta Geológica Nacional*, 11, 91 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/191>
- Kaneoka, I. & Guevara, C. (1984) - K-Ar age determinations of late Tertiary and Quaternary Andean volcanic rocks, southern Peru. *Geochemical Journal*, 18(5): 233-239. <https://doi.org/10.2343/geochemj.18.233>
- Marchena, A. (2019) - *Caracterización petrográfica e interpretación litogeoquímica del magmatismo de los proyectos Tía María-La Tapada, Los Calatos y Chipispaya (Arequipa-Moquegua-Tacna)*. Tesis Ingeniero Geólogo, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 285 p. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/18294>
- Marocco, R. & Del Pino, M. (1966) - Geología del cuadrángulo de Ichuña (hoja 33-u). *Comisión Carta Geológica Nacional, Boletín* 14, 57 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/131>
- Martínez, W. & Cervantes, J. (2003) - Rocas ígneas en el sur del Perú: Nuevos datos geocronométricos, geoquímicos y estructurales entre los paralelos 16° y 18°30' Latitud Sur. *INGEMMET, Boletín, Serie D: Estudios Regionales*, 26, 140 p.
- Martínez, W. & Zuloaga, A. (2002) - Nuevas contribuciones a la caracterización geoquímica del Grupo Toquepala: sector Moquegua, sur del Perú. En: Congreso Peruano de Geología, 11, Lima, 2002. *Trabajos científicos*. Lima: Sociedad Geológica del Perú, p. 219-232.
- Martínez, W.; Marchena, A.; Otero, J.; Cervantes, J. & León, W. (2017) - *Geología y controles tectonomagmáticos de los sistemas porfiríticos en el arco magmático occidental sur del Perú*. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Recursos Minerales y Energéticos, 112 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/3533>
- Mendivil, S. (1965) - Geología de los cuadrángulos de Maure y Antajave (hojas 35-x, 35-y). *Comisión Carta Geológica Nacional*, 10, 99 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/180>
- Neumann, G.A.; Forsyth, D.W. & Sandwell, D. (1993) - Comparison of marine gravity from shipboard and high-density satellite altimetry along the Mid-Atlantic Ridge, 30.5°–35.5° S. *Geophysical Research Letters*, 20(15): 1639-1642. <https://doi.org/10.1029/93GL01487>
- Newell, N.D. (1949) - *Geology of the Lake Titicaca region, Perú and Bolivia*. New York: Geological Society of America, 111 p. GSA Memoirs, 36. <https://doi.org/10.1130/MEM36>
- Newell, N.D.; Chronic, J. & Roberts, T.G. (1949) - *Upper Paleozoic of Peru*. New York: University Service Bureau, Columbia University, 241 p.
- Noble, D.C.; McKee, E.H.; Farrar, E. & Petersen, U. (1974) - Episodic Cenozoic volcanism and tectonism in the Andes of Peru. *Earth and Planetary Science Letters*, 21(2): 213-220. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(74\)90057-0](https://doi.org/10.1016/0012-821X(74)90057-0)
- Olchanski, E. & Dávila, D. (1994) - Geología de los cuadrángulos de Chuquibamba y Cotahuasi, Hojas: 32-q, 31-q. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 50, 52 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/171>
- 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). *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 42, 257 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/162>
- Palacios, O.; Sánchez, A. & Herrera, F., eds. (1995) - Geología del Perú. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 55, 177 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/176>
- Pecho, V. (1983) - Geología de los cuadrángulos de Pausa y Caravelí, Hojas: 31-p y 32-p. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 37, 125 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/156>
- Rivera, F.; Moretti, A. & Baumgartner, R. (2008) - La franja Cretácea de pórfidos de cobre en el sur del Perú. En: Congreso Peruano de Geología, 14 & Congreso Latinoamericano de Geología, 13, Lima, 2008. *Resúmenes*. Lima: Sociedad Geológica del Perú, 6 p.

- Sandwell, D.T. & Smith, W.H. (1997) - Marine gravity anomaly from Geosat and ERS 1 satellite altimetry. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 102(B5): 10039-10054. <https://doi.org/10.1029/96JB03223>
- Sandwell, D.T. & Smith, W.H.F. (2005a) - Retracking ERS-1 altimeter waveforms for optimal gravity field recovery. *Geophysical Journal International*, 163(1): 79-89. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2005.02724.x>
- Sandwell, D.T. & Smith, W.H.F. (2005b) - *World Gravity Image version 15.1, 1 minute resolution, 72 S to 72 N*. ftp://topex.ucsd.edu/pub/global_grav_1min_V15/.
- Sandwell, D.T. & Smith, W.H.F. (2009) - Global marine gravity from retracked Geosat and ERS-1 altimetry: Ridge segmentation versus spreading rate. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 114(B1): B01411. <https://doi.org/10.1029/2008JB006008>
- Sandwell, D.T.; Gille, S.T. & Smith, W.H.F. (2003) - *Bathymetry from Space: Oceanography, Geophysics, and Climate*. Bethesda, Maryland: Geoscience Professional Services, 24 p. https://www.geo-prose.com/pdfs/bathy_from_space.pdf
- Stewart, J.W.; Evernden, J.F. & Snelling, N.J. (1974) - Age determinations from Andean Peru: a reconnaissance survey. *Geological Society of America Bulletin*, 85(7): 1107-1116. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1974\)85<1107:ADFAPA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1974)85<1107:ADFAPA>2.0.CO;2)
- Sillitoe, R.H. (2010) - Porphyry copper systems. *Economic Geology*, 105(1): 3-41. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.105.1.3>
- Simmons, A.T. (2013) - *Magmatic and hydrothermal stratigraphy of Paleocene and Eocene porphyry Cu-Mo deposits in southern Peru*. PhD Thesis, University of British Columbia, Vancouver, 359 p.
- Small, C. & Sandwell, D.T. (1992) - A comparison of satellite and shipboard gravity measurements in the Gulf of Mexico. *Geophysics*, 57(7): 885-893. <https://doi.org/10.1190/1.1443301>
- Smith, W.H.F. & Sandwell, D.T. (1997) - Global sea floor topography from satellite altimetry and ship depth soundings. *Science*, 277(5334): 1956-1962. <https://doi.org/10.1126/science.277.5334.1956>
- Talwani, M. (1998) - Errors in the total Bouguer reduction. *Geophysics*, 63(4): 1125-1130. <https://doi.org/10.1190/1.1444412>
- Ten Brink, U.S.; Coleman, D.F. & Dillon, W.P. (2002) - The nature of the crust under Cayman Trough from gravity. *Marine and Petroleum Geology*, 19(8): 971-987. [https://doi.org/10.1016/S0264-8172\(02\)00132-0](https://doi.org/10.1016/S0264-8172(02)00132-0)
- Valdivia, V.; Mamani, M.; Toro, J.; & Terán, J.C. (2015). - *Aplicación de la geocronología y litogeoquímica a la exploración de pórfidos en el Paleoceno*. En: IX Congreso Internacional de Prospectores y Exploradores - ProExplo, Lima, 2015. Instituto de Ingenieros de Minas del Perú, 6 p.
- Valencia, M. & Chacaltana, C. (2000) - *Memoria explicativa de la geología del cuadrángulo de La Joya (34-s), Escala 1:50 000*, informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 11 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2042>
- Vargas, L. (1970) - Geología del cuadrángulo de Arequipa. *Servicio de Geología y Minería, Boletín*, 24, 64 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/142>
- Vicente, J.C.; Sequeiros, F.; Valdivia, M. & Zavala, J. (1979) - El sobre-escurrimiento de Cincha-Lluta: elemento del accidente mayor andino al NW de Arequipa. *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, (61): 67-99.
- Wilson, J.J. & García, W. (1962) - Geología de los cuadrángulos de Pachía y Palca (Hojas 36-V y 36-x). *Comisión Carta Geológica Nacional, Boletín* 4, 81 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/114>

ANEXOS

- Anexo I. Mapas temáticos**
- Anexo II. Análisis geoquímicos de rocas y minerales**
- Anexo III. Estudios petromineraográficos**
- Anexo IV. Base de dataciones geocronométricas de rocas y minerales económicos**
- Anexo V. Análisis de espectros de minerales**
- Anexo VI. Estudios de inclusiones fluidas y difracción de Rayos X**

Los anexos están disponibles en formato digital desde el Repositorio Institucional del INGEMMET en la siguiente dirección
<https://hdl.handle.net/20.500.12544/3704>

RELACIÓN DE MAPAS E ILUSTRACIONES

Mapas

Mapa 1	Mapa Geológico-Minero- Bloque Sur Arequipa-Tacna a escala 1: 500 000
Mapa 2	Mapa Sentinel 2 - Bloque Sur Arequipa-Tacna a escala 1: 500 000
Mapa 3	Mapa Estructural - Bloque Sur Arequipa-Tacna a escala 1: 500 000
Mapa 4	Interpretación anomalía Bouguer completa - Bloque Sur a escala 1: 500 000
Mapa 5	Franjas Metalogenéticas y mineralización asociada Bloque Sur Arequipa - Tacna a escala 1: 500 000
Mapa 6	Mapa de objetivos de exploración - Bloque Sur Arequipa - Tacna a escala 1: 500 000

Cuadros

Cuadro 1.1	Dataciones radiométricas del proyecto GE33A-5
Cuadro 4.1	Accesos desde las ciudades de Lima y Arequipa a las ciudades de Puno y Juliaca
Cuadro 4.2	Resultados analíticos del Proyecto Andamarca
Cuadro 4.3	Resultados analíticos del Proyecto San Gabriel
Cuadro 4.4	Elementos indicadores para un sistema tipo pórfido
Cuadro 4.5	Muestras del Proyecto Los Calatos
Cuadro 4.6	Resultados de las muestras para datación
Cuadro 4.7	Resultados analíticos del Prospecto Pampa Jaguay
Cuadro 4.8	Relación de dataciones realizadas en el Prospecto Pampa Jaguay
Cuadro 4.9	Resultados analíticos del Proyecto Pecoy
Cuadro 4.10	Intersecciones más resaltadas del Proyecto Pecoy
Cuadro 5.1	Resumen de características litogeoquímicas del Grupo Tacaza, Superunidad Challaviento, Formación Alpabamba y Grupo Barroso
Cuadro 5.2	Resumen de las características litogeoquímicas de los yacimientos de Cahuacho, Pampa Jaguay, Los Calatos, Quimsacollo y Ataspaca
Cuadro 5.3	Resumen de las características litogeoquímicas de los yacimientos de Chipmo, Orcopampa, Shila Paula, Anchaca, Pucamarca, Cañayloma y Andamarca

Figuras

Figura 1.1	Mapa de Ubicación del Bloque Sur-Proyecto GE33A-5
Figura 4.1	Mapa de ubicación del Proyecto Ataspaca
Figura 4.2	Geología distrital y lineamientos regionales que favorecieron la mineralización
Figura 4.3	Mapa de ubicación del Proyecto Andamarca

- Figura 4.4** Mapa geológico del Proyecto Andamarca (Fuente: Geocatmin hoja 36-x)
- Figura 4.5** Mapa de ubicación mina Pucamarca
- Figura 4.6** La mina Pucamarca se ubica en el distrito de Palca provincia de Tacna; a) y b) carretera hacia Palca-Tripartito donde se ingresa hacia la derecha a la mina Pucamarca; c) Tajo Checocollo
- Figura 4.7** Yacimiento Pucamarca ubicado en el cerro Checocollo, vista del volcán Tacora (Chile)
- Figura 4.8** Geología distrital y centro volcánico (diatremas)-Mina Pucamarca (Fuente: Geocatmin)
- Figura 4.9** Textura gusano en pórfido de cuarzo. Muestra de testigo de perforación. (Departamento de Exploraciones Minsur S.A)
- Figura 4.10** Mapa de ubicación del Proyecto San Gabriel
- Figura 4.11** Lineamientos distritales principales del corredor minero Chucapaca-Mazo Cruz
- Figura 4.12** Mapa de ubicación del Proyecto Los Calatos
- Figura 4.13** Ruta de acceso a Proyecto Los Calatos a) saliendo de Moquegua hasta el desví hacia Omate (42 km); b) al ingresar por la carretera afirmada hacia Omate, pasando por los centros poblados de Quelle, Otorá, San Juan San June y Jaguay Chico se ingresa en (296662 m E y 8129310 m N) por la trocha carrozable hacia la izquierda; c) se llega hasta la garita principal y en un tiempo de 10 minutos se llega a las instalaciones del proyecto; d) área del Proyecto Los Calatos
- Figura 4.14** Geología distrital y lineamientos regionales que favorecieron la mineralización
- Figura 4.15** Mapa de ubicación del Prospecto Pampa Jaguay
- Figura 4.16** Mapa de ubicación del Prospecto Pampa Jaguay
- Figura 4.17** Mapa geológico prospecto Pampa Jaguay
- Figura 4.18** Sistema de fallas Cincha Lluta-Incapuquio paralela a fallas menores en el Prospecto Pampa Jaguay
- Figura 4.19** Roca caja con fuerte alteración argílica
- Figura 4.20** Muestra 34u-RMT-238 para difracción de rayos X indicando una asociación: cuarzo+illita+montmorillonita y puntualmente alunita
- Figura 4.21** Alteración propilítica relacionada a estructuras tipo dique
- Figura 4.22** Muestreo de venillas de óxidos de hierro y pirita en el sector de Pampa Jaguay
- Figura 4.23** Mapa de ubicación del Proyecto Pecoy
- Figura 4.24** Geología distrital y sistemas de fallas regionales Equipi-Clavelinas e Incapuquio que controlan los yacimientos Pecoy y Tororume (Silva et al., 2017)
- Figura 4.25** Roca hipoabisal silicificada, compacta, de color gris a gris blanquecino y con textura porfírica con matriz silicificada. Está conformada por escasos cristales y moldes de feldespatos inmersos en una matriz afanítica alterada. Además, se observan vetillas con relleno de cuarzo secundario.
- Figura 4.26** Roca hipoabisal silicificada con textura porfírica relictica; se encuentra constituida por escasos cristales de feldespatos potásicos I como relictos, además de moldes de feldespatos, minerales opacos y trazas de zircón; están dispuestos sobre una matriz completamente alterada a cuarzo II, feldespatos potásicos II, con intersticios rellenos por sericita y cloritas. La muestra posee vetillas rellenas por cuarzo III junto con cristales de anhidrita.
- Figura 4.27** Muestra N° 32p-MMT-309.- Relictos de cristales de feldespatos potásicos I alterados a sericita y arcillas: FPsk(ser-ARCs), moldes de feldespatos reemplazados por sericita, arcillas, carbonatos, cloritas y epidota. La matriz está alterada a cuarzo II y feldespatos potásicos II: cz II-FPsK II, además, intersticios con relleno de cuarzo III: cz III. (NXs).
- Figura 4.28** Zona de *Leached Capping*, se observa óxidos de hierro como hematita y goethita; por partes se observa alteración argílica y venillas de cuarzo hialino (coordenadas 712,788 E y 8'267,861 N). Vista mirando al sureste

- Figura 4.29** Sección esquemática Sur-Norte de Pecoy, donde se observa el emplazamiento de los intrusivos, intrusivos porfíricos y brechas, así como el zoneamiento vertical y horizontal de la alteración hidrotermal y mineralización (editado de Silva et al., 2017)
- Figura 4.30** Muestra N° 32p-MMT-309 NPs. Cristales de pirita: py como relleno en vetillas de la muestra; además, rellenan intersticios como diseminados junto con calcopirita I: cp I, dispuestos sobre gangas no metálicas: GGs
- Figura 4.31** a) familias de inclusiones bifásicas primarias ricas en líquido con formas tabulares, irregulares y ovoides; b) familias de inclusiones bifásicas primarias ricas en líquido con formas irregulares a ovoides; c) inclusiones fluidas bifásicas ricas en líquido: IF-Lw junto a inclusiones fundidas: IM; d) familia de inclusiones fluidas: FIF constituida por inclusiones trifásicas ricas en líquido: IF-S_H
- Figura 4.32** Diagrama mostrando dos poblaciones A y B, en "A" predominio en variación de la temperatura de homogeneización, la cual varía entre 240 y 400 °C, la salinidad entre 0.18 y 5 % eq. peso NaCl, y en "B" la temperatura varía entre 350 y 400 °C, mientras la salinidad va desde 40 y 50 % eq. peso NaCl, lo cual indica una mezcla de fluidos en B y en A; se produjo una etapa de enfriamiento, lo que indica la existencia de dos pulsos mineralizantes, siendo A inclusiones secundaria y pseudosecundarias, mientras la población de B pertenece a inclusiones primarias.
- Figura 4.33** Diagrama de temperatura de homogeneización vs. salinidad para la muestra del Proyecto Pecoy
- Figura 5.1** Diagrama de tierras raras para las muestras de la Superunidad Challaviento
- Figura 5.2** Diagrama *Spider* para las muestras de la Superunidad Challaviento
- Figura 5.3** Diagrama de tierras raras para las muestras del Grupo Tacaza
- Figura 5.4** Diagrama *Spider* para las muestras del Grupo Tacaza
- Figura 5.5** Diagrama de tierras raras para las muestras de la Formación Alpabamba
- Figura 5.6** Diagrama *Spider* para las muestras de la Formación Alpabamba
- Figura 5.7** Diagrama de tierras raras para las muestras del Grupo Barroso
- Figura 5.8** Diagrama *Spider* para las muestras del Grupo Barroso
- Figura 5.9** Diagrama de tierras raras para los yacimientos Cahuacho, Pampa Jaguay, Los Calatos, Quimsacollo y Ataspaca
- Figura 5.10** Diagrama *Spider* para muestras de los yacimientos Anchaca, Ataspaca, Ayajahua-Pirka, Baños del Indio
- Figura 5.11** Diagrama Sr/Y vs Y para los yacimientos de Cahuacho, Pampa Jaguay, Los Calatos, Quimsacollo y Ataspaca
- Figura 5.12** Eu/Eu* versus LaN/YbN para los yacimientos de Cahuacho, Pampa Jaguay, Los Calatos, Quimsacollo y Ataspaca
- Figura 5.13** Diagrama de tierras raras para los yacimientos Chipmo, Orcopampa, Shila Paula, Anchaca, Pucamarca, Cañayloma, Andamarca y Colquemayo
- Figura 5.14** Diagrama *Spider* para los yacimientos Chipmo, Orcopampa, Shila Paula, Anchaca, Pucamarca, Cañayloma, Andamarca y Colquemayo
- Figura 5.15** Diagrama Sr/Y vs Y para los yacimientos de Chipmo, Orcopampa, Shila Paula, Anchaca, Pucamarca, Cañayloma, Andamarca y Colquemayo
- Figura 5.16** Diagrama LaN/YbN vs. Eu/Eu* para los yacimientos de Chipmo, Orcopampa, Shila Paula, Anchaca, Pucamarca, Cañayloma, Andamarca y Colquemayo
- Figura 6.1** Mapa de ubicación de muestras de sedimentos activos de quebrada

Fotografías

- Fotografía 4.1** Muestra 36x-RMT-209 de (Coord. 402417 E 8040437 N) h= 3710 m. Roca intrusiva, color gris claro textura fanerítica, hornablenda, biotitas, cloritas en partes, asociada al Batolito de Challaviento
- Fotografía 4.2** Muestra 36x-RMT-204 (Coord. 406530m E 8048490m N) h= 4788 m roca lava andesítica asociada al Grupo Barroso color gris claro con tonalidades color marrón oscuro, silicificación en partes.

- Fotografía 4.3** Muestra 36x-RMT-207 (Coord. 401483m E 8040763m N) h=3620 m granodiorita asociada al Batolito Challaviento
- Fotografía 4.4** Muestra 36x-RMT-205 (Coord. 406530m E 8048450m N) h= 4790 m roca volcánica asociada a la Formación Huilacollo, con fuerte silicificación; además, presenta oquedades tapizadas con óxidos de hierro (hematita, goetita, jarosita) tipo silice vuggy. Estrato N30°O/30°SO
- Fotografía 4.5** Diatrema Pucamarca, topografía de forma piramidal, relativamente aislada (Departamento de exploraciones de Minsur S.A.)
- Fotografía 4.6** Muestra 36x-MMT-324 Coordenadas: 414636E / 8029331N. Brecha polimíctica con fragmentos de sílice, dacita y andesita, con alteración argílica avanzada (cuarzo-alunita). Muestra tomada de cuerpo principal del tajo (banco 27)
- Fotografía 4.7** Muestra 36x-RMT-325 Coordenadas: 414673E / 8029500N. Toba riolítica con cuarzo hialino asignada a la Formación Huaylillas. Esta toba es cortada por la brecha de alunita pulverizada (nomenclatura en mina).
- Fotografía 4.8** Muestra 36x-RMT-327 Coord. 414200 E 8027905 N h= 4295 m. Andesita porfírica de colores abigarrados (rojizas y verdosas). Roca huésped
- Fotografía 4.9** Brecha hidrotermal silicificada color rojiza protolito dacita; clasto soportada y clastos angulosos fragmentos mayores de 3 cm a 1 cm y menores <1 cm, además óxidos de hierro en la matriz
- Fotografía 4.10** Muestra 34t-RMT-349 Intrusivo precursor. Diorita de grano fino. Biotita secundaria, cloritización débil. Color gris verdoso, con presencia de pirita. Profundidad de taladro 340 m
- Fotografía 4.11** Muestra 34t-RMT-352 Diorita de grano fino a medio con alteración potásica, biotita secundaria. Anhidrita en venillas. Estructuras tipo *stockwork*. Calcopirita en venillas
- Fotografía 4.12** *Leach Capping* Proyecto Los Calatos
- Fotografía 4.13** Pórfido dacítico 1. Alteración potásica con superposición de alteración filica
- Fotografía 4.14** Pórfido dacítico 2. Alteración filica con pirita diseminada y en venillas, calcopirita diseminada. Presencia de anhidrita
- Fotografía 4.15** Pórfido dacítico 3. Alteración filica (cuarzo, sericita, pirita) con cloritización débil
- Fotografía 4.16** Brecha hidrotermal, clastos angulosos a subangulosos tipo clasto soportada con molibdenita en las fracturas y matriz
- Fotografía 4.17** Muestra 34u-RMT-286Coord. (303051 E 8131613 N) h= 3163 m Roca intrusiva color gris claro, textura granular además abundante pirita. Roca fracturada tipo enrejado

Tabla

- Tabla 1.1** Accesos a la zona de estudio



Av. Canadá 1470 - San Borja, Lima 41, Perú

Teléfono: 051 - 1 - 618 9800

Fax: 051-1-225-3063 | 051-1-225-4540

www.gob.pe/ingemmet

comunicacion@ingemmet.gob.pe