

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA MINERA Y
METALÚRGICA**



**GEOLOGIA DE LAS OCURRENCIAS DE
MINERALIZACION CU-AU-AG DEL PROYECTO
COPORAQUE
(CUZCO-PERU)**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO GEÓLOGO**

**ELABORADO POR:
FLYNN DENNIS AYALA TISZA**

**ASESOR
Dr. Ing. ROLANDO CARRASCAL MIRANDA**

Lima - Perú

2012

Para: Mi hermano Maik...

“La sencillez de tu vida

Hizo la grandeza de tu alma”

AGRADECIMIENTOS

De forma muy especial; al Ing. Noel Díaz, por su apoyo y asesoramiento en la elaboración de esta tesis, al Ing. Javier Salas, por su estimación y sus enseñanzas sobre los programas de computación aplicados a la geología de exploración y al Ing. André Gautier, por su consideración y haber otorgado el permiso para realizar la presente tesis.

De mil formas para mis padres Duglio Ayala y Bertha Tisza, por su apoyo incondicional y constante en mi formación como persona y profesional, y para mi hermano Ricardo Ayala, por su grata compañía y gran ayuda durante las salidas al campo.

De gran manera para el Ing. Jorge Paredes, por su ayuda desinteresada y asesoramiento durante la redacción de la tesis, para el Dr. Rolando Carrascal, por su apoyo y consejos durante el trámite y la elaboración de la tesis y para el Ing. Carlos Rojas, por su ayuda y enseñanzas durante la descripción de secciones delgadas y pulidas, en el laboratorio de microscopía de la escuela de geología de la UNI.

INDICE

CAPITULO I: GENERALIDADES

RESUMEN.....	1
1.1 Objetivos y Metodología.....	3
1.1.1 Planteamiento del Problema.	
1.1.2 Objetivos.	
1.1.3 Metodología.	
1.2 Ubicación y Acceso.....	5
1.3 Propiedades Mineras.....	6
1.4 Historia y trabajos previos.....	6

CAPITULO II: GEOLOGIA DISTRITAL

2.1 Aspectos Generales.....	9
2.1.1 Clima y Vegetación.	
2.1.2 Rasgos Fisiográficos.	
2.1.3 Geomorfología.	
2.2 Unidades Litológicas.....	15
2.2.1 Unidades sedimentarias del Cretácico Inferior	
2.2.2 Unidades del Paleógeno.	
2.2.3 Unidades Volcánicas del Neógeno.	
2.2.4 Relleno Volcano-sedimentario de la cuenca Yauri.	
2.3 Geología Estructural.....	15
2.4 Rocas Intrusivas.....	21
2.4.1 Batolito Andahuaylas-Yauri.	
2.4.2 Petrología.	

2.5	Geología Económica.....	24
2.5.1	Tintaya.	
2.5.2	Antapaccay.	
2.5.3	Corcohuayco.	
2.5.4	Otros Yacimientos.	

CAPITULO III: GEOLOGÍA DEL AREA ESTUDIADA

3.1	Litología y Marco Estructural.....	30
3.1.1	Estratigrafía.	
3.1.2	Marco Estructural.	
3.1.3	Stocks Intrusivos.	
3.1.4	Diques Tardíos.	
3.2	Alteraciones Hidrotermales.....	38
3.2.1	Alteración Hipógena.	
3.2.2	Alteración Supérgena.	
3.3	Mineralización.....	43
3.3.1	Vetas Masivas.	
3.3.2	Zonas con Series de Vetillas.	

CAPITULO IV: ESTUDIO MICROSCOPICO

4.1	Metodología y Aspectos Geológicos.....	51
4.1.1	Metodología.	
4.1.2	Aspectos Geológicos.	
4.2	Mineralogía y Relaciones Texturales.....	54
4.2.1	Descripción de Muestras.	
4.2.2	Secuencia Paragenética.	

CAPITULO V: PROSPECCIÓN GEOQUIMICA

5.1	Muestreo geoquímico.....	67
5.1.1	Metodología del Muestreo.	
5.1.2	Análisis de las Muestras.	
5.1.3	Muestras de Control.	
5.1.4	Precisión y Exactitud Analítica.	
5.2	Resultados Geoquímicos.....	71
5.2.1	Tabla de Resultados Geoquímicos.	
5.2.2	Análisis Estadístico Básico.	
5.3	Estadística Multivariable.....	77
5.3.1	Correlación de Elementos.	
5.3.2	Distribución Geoquímica.	
5.4	Consideraciones tomadas de la Prospección Geoquímica.....	80

CAPITULO VI: INTERPRETACION DE RESULTADOS

6.1	Interpretación Geológica Regional.....	87
6.1.1	Síntesis Geológica	
6.1.2	Vetas hidrotermales en la cuenca Yauri.	
6.2	Interpretación Geológica del área de Estudio.....	91
6.1.1	Síntesis Geológica.	
6.1.2	Desarrollo de la Alteración y Mineralización.	
6.1.3	Modelo Geológico.	

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo observar los minerales de mineral y de negociación de las costuras y Vetillas ubicadas al sur del distrito de Coporaque, las texturas y la relación inter-mineralógica han sido identificados, y sus condiciones de formación han sido interpretadas y la secuencia paragenética del depósito. El área de estudio abarca 2.400 hectáreas y está situado en el distrito de Coporaque, provincia de Thorn-freno, departamento de Cusco.

Este estudio me acerco bajo los enfoques teóricos planteados por; Makshev (2001) se refirió a las texturales criterios utilizados en los depósitos hidrotermales; Castro (1989) sobre los criterios texturales utiliza en rocas ígneas y Castroviejo (1986) en condiciones de formación y caracterización paragenetica de los depósitos.

Metodológicamente, los lugares de investigación en el tipo descriptiva, las estructuras mineralizadas están conformadas por 4 costuras masivas (Tambomate, Puccamoco, Nassaccara y Minas) y zonas de serie de Vetillas entrelazados y casi paralelo. Las costuras masivas presentes dos texturas; Textura brechada hacia los lados de la caja de la roca y la textura cruzada en la zona central, contiene minerales de Ag-Pb-Zn y Au-Cu-Al igual que en gangas de cuarzo, pirita y limonita, mientras que el Vetillas presente textura brechada y consisten en sílice con limonitas.

Para la validación de la investigación no se reunió 200 muestras de rocas, las cuales fueron analizadas por ICP-AES para 34 elementos, se utilizaron los resultados para delimitar 8 zonas con valores anómalos de Au, Ag, Cu, Pb, Zn y As.

En cuanto a la geología local, el área de estudio está dominada por 2 poblaciones de intrusos pertenecientes al batolito Andahuaylas-Yauri, ambos parcialmente cubierto por lava andesíticas de la Formación Ichicollo (Grupo Tacaza). En estas rocas se observan dos grupos marcados con alteraciones, el primero asociado a la actividad volcánica - hidrotermal sucedió durante el Mioceno, hipógena alteración llamada (silicificación, argilización y propilitización) y el segundo producto de la oxidación como por la acción de la meteórica agentes nombrados supérgena alteración.

El hipogena alteración aparece como; silicificación intenso y ubicado cerca de los mineralizadas estructuras, un poderoso halo de argilización y propilitización en las partes periféricas ribereños del argilización.

En cuanto a la distrital geología, éste entiende el borde occidental de la cuenca Yauri (De la Cruz et al, 1995), esta cuenca este de origen tectónico limitado para que no vaya a gran escala regional, dentro de ella las estructuras y el seguimiento estratigrafía los límites NO @ y NE-SO.

La evolución geológica se resume de la siguiente manera: las formaciones (de arena) y Hualhuani (cal) Acurquina fueron depositados durante el Cretáceo bajo uno y luego se cortaron por las acciones de intrusión del Batolito Andahuaylas-Yauri situado durante el Eoceno - Oligoceno, más adelante la erosión continental deposito los conglomerados de la formación de los alces.

Durante el Mioceno un régimen de compresión tectónica origina la cuenca sin - orogénica Yauri, una intensa actividad volcánica contemporánea - hidrotermal genera almacenes hidrotermales en diferentes zonas del distrito, desde este período se pasó eventos volcánicos sucesivos que ubican a la lava y piroclastos de los grupos Tacaza (Mioceno) y Muddy (Plioceno) y contribuyeron a la composición de la sedimentaria volcán vertedero de la Cuenca Yauri.

En esta tesis se interpreta que las costuras y Vetillas en el proyecto de Coporaque, están relacionados con los estadios de mineralización y alteración propuestas, igualmente estas estructuras características actuales similares a los que aparecen en un "sistema de costuras del entorno mesotermal de la base de metales y metales preciosos ".

ABSTRACT

The investigation had as aim observe the minerals of ore and bargain of the seams and vetillas located to the south of Coporaque's district, the textures and the inter-mineralogical relation have been identified, and his conditions of formation have been interpreted and sequence paragenética of the deposit. The area of study covers 2400 hectares and is located in Coporaque's district, province of Thorn-brake, Cusco's department.

This study I approach under the theoretical approaches raised for; Makshev (2001) referred to the criteria texturales used in deposits hidrotermales; Castro (1989) on the criteria texturales used in igneous rocks and Castroviejo (1986) in conditions of formation and characterization paragenetica of deposits.

Methodologically, the investigation places in the descriptive type, the structures mineralizadas are shaped by 4 massive seams (Tambomate, Puccamoco, Nassaccara and Mines) and zones by series of vetillas interlaced and almost parallel. The massive seams present two textures; texture brechada towards the sides of the rock box and texture crossed in the central zone, contain ores of Ag-Pb-Zn and Au-Cu-As in bargains of quartz, pyrite and limonita whereas the vetillas present texture brechada and consist of silica with limonitas.

For the validation of the investigation there were gathered 200 rock samples, which were analyzed by ICP-AES for 34 elements, the results were used to delimit 8 zones with anomalous values in Au, Ag, Cu, Pb, Zn and Ace.

As for the local geology, the area of study is dominated by 2 intruder stocks belonging to the batolito Andahuaylas-Yauri, both partially covered by lava andesíticas of the Formation Ichicollo (Group Tacaza). In these rocks are observed two groups marked with alterations, the first one associated with the volcanic activity - hidrotermal happened during the Miocene, named alteration hipógena (silicificación, argilización and propilitización) and the second one like product of the oxidation for the action of meteoric agents named alteration supérgena.

The alteration hipogena appears like; silicificación intense and located near the structures mineralizadas, a powerful halo of argilización, and propilitización in the peripheral parts bordering on the argilización.

As for the geology distrital, this one understands the western edge of the basin Yauri (Of the Cross et to, 1995), this basin this of tectonic origin limited for you fail on a large scale regionally, inside her the structures and the stratigraphy follow the limits NON-@ and NE-SO.

The geological evolution is summarized of the following way: the formations (sandy) Hualhuani and (limy) Acurquina were deposited during the Cretaceous Low one and then they were cut by intruder stocks of the Batolito Andahuaylas-Yauri located during the Eocene - Oligocene, later the continental erosion I deposit the conglomerates of the formation Elk.

During the Miocene a tectonic compressive regime originates the basin without - orogénica Yauri, contemporary an intense volcanic activity - hidrotermal generates warehouses hidrotermales in different zones of the district, from this period there happened successive volcanic events which located to the lava and piroclastos of the groups Tacaza (Miocene) and Muddy (Pliocene) and contributed to the composition of the landfill volcano sedimentary of the Cuenca Yauri.

In this thesis is interpreted that the seams and vetillas in the project Coporaque, they are related to the stadiums of mineralization and alteration proposed, likewise these structures present characteristics similar to those who appear in a " system of seams of environment mesotermal of metals base and precious metals ".

CAPITULO I

GENERALIDADES

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo observar los minerales de mena y ganga de las vetas y vetillas ubicadas al sur del distrito de Coporaque, se han identificado las texturas y la relación inter-mineralógica, y se ha interpretado sus condiciones de formación y secuencia paragenética del yacimiento. El área de estudio cubre 2400 hectáreas y se localiza en el distrito de Coporaque, provincia de Espinar, departamento de Cusco.

Este estudio se abordó bajo los enfoques teóricos planteados por; Makshev (2001) referido a los criterios texturales empleados en yacimientos hidrotermales; Castro (1989) sobre los criterios texturales empleados en rocas ígneas y Castroviejo (1986) en condiciones de formación y caracterización paragenética de yacimientos.

Metodológicamente, la investigación se enmarca en el tipo descriptivo, las estructuras mineralizadas están conformadas por 4 vetas masivas (Tambomate, Puccamoco, Nassaccara y Minas) y zonas con series de vetillas entrecruzadas y casi paralelas. Las vetas masivas presentan dos texturas; textura brechada hacia los lados de la roca caja y textura bandeada en la zona central, contienen menas de Ag-Pb-Zn y Au-Cu-As en gangas de cuarzo, pirita y limonita mientras que las vetillas presentan textura brechada y se componen de sílice con limonitas.

Para la validación de la investigación se recolectaron 200 muestras de roca, las cuales fueron analizadas por ICP-AES para 34 elementos, los resultados se usaron para delimitar 8 zonas con valores anómalos en Au, Ag, Cu, Pb, Zn y As.

En cuanto a la geología local, el área de estudio es dominada por 2 stocks intrusivos pertenecientes al batolito Andahuaylas-Yauri, ambos parcialmente cubiertos por lavas andesíticas de la Formación Ichicollo (Grupo Tacaza). En estas rocas se observan dos grupos marcados de alteraciones, la primera asociada a la actividad volcánica - hidrotermal ocurrida durante el Mioceno, denominada alteración hipógena (silicificación, argilización y propilitización) y la segunda como producto de la oxidación por la acción de agentes meteóricos denominada alteración supérgena.

La alteración hipogena se presenta como; silicificación intensa y localizada cerca de las estructuras mineralizadas, un halo potente de argilización, y propilitización en las partes periféricas bordeando a la argilización.

En cuanto a la geología distrital, esta comprende el borde occidental de la cuenca Yauri (De la Cruz et al, 1995), esta cuenca de origen tectónico esta limitada por fallas de escala regional, dentro de ella las estructuras y la estratigrafía siguen los lineamientos NO-SE y NE-SO.

La evolución geológica se resume de la siguiente manera: las formaciones Hualhuani (areniscas) y Acurquina (calizas) fueron depositadas durante el Cretácico Inferior y luego fueron cortadas por stocks intrusivos del Batolito Andahuaylas-Yauri emplazados durante el Eoceno-Oligoceno, posteriormente la erosión continental deposito los conglomerados de la formación Anta. Durante el Mioceno un régimen tectónico compresivo origina la cuenca sin-orogénica Yauri, contemporáneamente una intensa actividad volcánica-hidrotermal genera depósitos hidrotermales en diferentes zonas del distrito, a partir de este periodo ocurrieron sucesivos eventos volcánicos los cuales emplazaron a las lavas y piroclastos de los grupos Tacaza (Mioceno) y Barroso (Plioceno) y contribuyeron a la composición del relleno volcano sedimentario de la Cuenca Yauri.

En esta tesis se interpreta que las vetas y vetillas en el proyecto Coporaque, están relacionados a los estadios de mineralización y alteración propuestos, asimismo estas estructuras presentan características similares a aquellas que se presentan en un “*sistema de vetas de ambiente mesotermal de metales base y metales preciosos*”.

1.1 OBJETIVOS Y METODOLOGIA

1.1.1 OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es determinar parámetros geológicos que nos ayuden a interpretar la geología y formación de las ocurrencias minerales que afloran en la superficie. Para lograr el objetivo se tomo en cuenta los siguientes aspectos:

- Delimitar y clasificar los afloramientos litológicos y las estructuras.
- Ubicar, delimitar y clasificar las zonas con alteración hidrotermal y relación con la mineralización dentro del marco geológico estructural.
- Interpretar la distribución de los valores geoquímicos de los elementos metálicos de las muestras extraídas en superficie.
- Definir los eventos de alteración, mineralización y estudiar con detalle la mineralogía del yacimiento.
- Optar por el título de ingeniero geólogo.

1.1.2 METODOLOGÍA

La metodología seguida ha consistido en lo siguiente:

Trabajos de Gabinete: Se inicio recopilando toda la información disponible y referente a la zona de estudio, se estudio el boletín geológico del INGEMMET y trabajos previos de la zona. De estos trabajos se obtuvieron planos preliminares de topografía, litología, estructuras, alteraciones y mineralización a escala 1:100,000 y 1:20,000.

Trabajos de Campo: Las salidas de campo fueron financiadas y se realizaron bajo la dirección del Gerente Maxy Gold (Ing. Noel Diaz) con la finalidad de realizar muestreo sistemático en la zona. La brigada de campo estuvo conformada por los bachilleres Flynn Ayala y Ricardo Ayala.

En la primera salida al campo se realizó reconocimiento geológico (litología y estructuras) a escala distrital (1:100000) y mapeo litológico, de estructuras y

alteraciones dentro del área de estudio a escala 1:20000, estos trabajos se realizaron durante 10 días, efectuados en el mes de octubre del 2009.

Muestreo: Se realizó muestreo sistemático en el área de estudio y alrededores, se realizó en una segunda salida al campo. Se extrajeron 200 muestras superficiales de roca, las cuales fueron reducidas y colocadas en bolsas de 2 Kg. Además se reforzó el mapeo geológico antes realizado y se realizaron perfiles geológicos a escala 1:20000. Estos trabajos se realizaron durante 20 días más en el mes de noviembre del 2009

Laboratorio: Las muestras fueron analizadas por el método ICP-MS en el laboratorio de CIMM. PERU S.A. Algunas muestras, se seleccionaron para preparar secciones delgadas y pulidas, posteriormente se realizó el estudio petrográfico y minerográfico, el cual fue realizado por el tesista, en el laboratorio de microscopia de la escuela de geología de la Universidad Nacional de Ingeniería. El estudio fue realizado durante 5 días efectivos en el mes de diciembre del 2009, se analizaron 3 muestras en secciones delgadas y 6 muestras en secciones pulidas (9 en total) con el microscopio Olympus Bx 50.

Redacción de la Tesis: Se elaboraron los planos de ubicación, topográfico, geológico y de alteraciones utilizando las escalas 1:100000 y 1:20000. Se realizó la estadística de los valores geoquímicos de muestras analizadas, y se digitalizaron los planos geoquímicos. Se interpretaron secciones geológicas a la escala 1:20000 y se editaron las fotografías tomadas en el campo, en laboratorio y en gabinete.

Con toda la información y conocimientos adquiridos, se realizaron las interpretaciones geológicas y la redacción del texto final. Por último, se seleccionaron las fotografías editadas, se revisaron las tablas, planos y secciones finales para luego ponerlos en la tesis.

1.2 UBICACIÓN Y ACCESO

El área de estudio se ubica al Sur del pueblo de Coporaque, capital del distrito de Coporaque, provincia de Espinar, departamento de Cuzco (Figura 1.1). Dentro de la Carta Geográfica Nacional (escala 1:100000) se ubica en el extremo sureste de la hoja de Velille (30-s), casi en el límite con la hoja de Yauri (30-t).

Las coordenadas UTM (DATUM PSAD 56 Zona 19 Sur) de los vértices del rectángulo que delimita el área de estudio son:

1	224000E,	8358000N
2	224000E,	8362000N
3	228000E,	8362000N
4	228000E,	8358000N

El acceso a la zona de estudio se detalla en el cuadro 1.1:

TRAMO	DISTANCIA	TIPO DE CAMINO	TIEMPO
Lima – Arequipa	1009 Km.	Panamericana Sur (asfaltada) Por vía aérea	14 hrs. 50 min.
Arequipa – Yauri	294 Km.	Carretera Asfaltada Arequipa - Juliaca, hasta el km 147 luego se toma el desvío por la carretera afirmada hacia Yauri.	5 hrs.
Yauri - Pueblo de Coporaque	14 Km.	Carretera Afirmada Yauri- Pueblo de Coporaque a 2.5 km. Al sur del pueblo de Coporaque se encuentra el área de estudio.	20 min.
TOTAL	1317 Km.		20 hrs.

Tabla 1.1: Acceso al área de estudio.

1.3 PROPIEDADES MINERAS

La zona de estudio se encuentra cubierta por propiedades mineras, las cuales se muestran en el cuadro 1.2.

PROPIEDAD MINERA	RAZON SOCIAL	HECTAREAS
COPORAQUE 9	Maxy Gold	900
COPORAQUE 10	Maxy Gold	500
COPORAQUE 13	Maxy Gold	800
CARLA 1 / MATTHIAS	Minera Ares / Ana Palacios	600
CAURFESA 1	P & C Proagropec S.C.R.L.	300
PEFAS CENAYUMPO	Minera Pefas Cenayumpo	100
CLARA III	Hernán Palomino Gutiérrez	100
		TOTAL: 3300

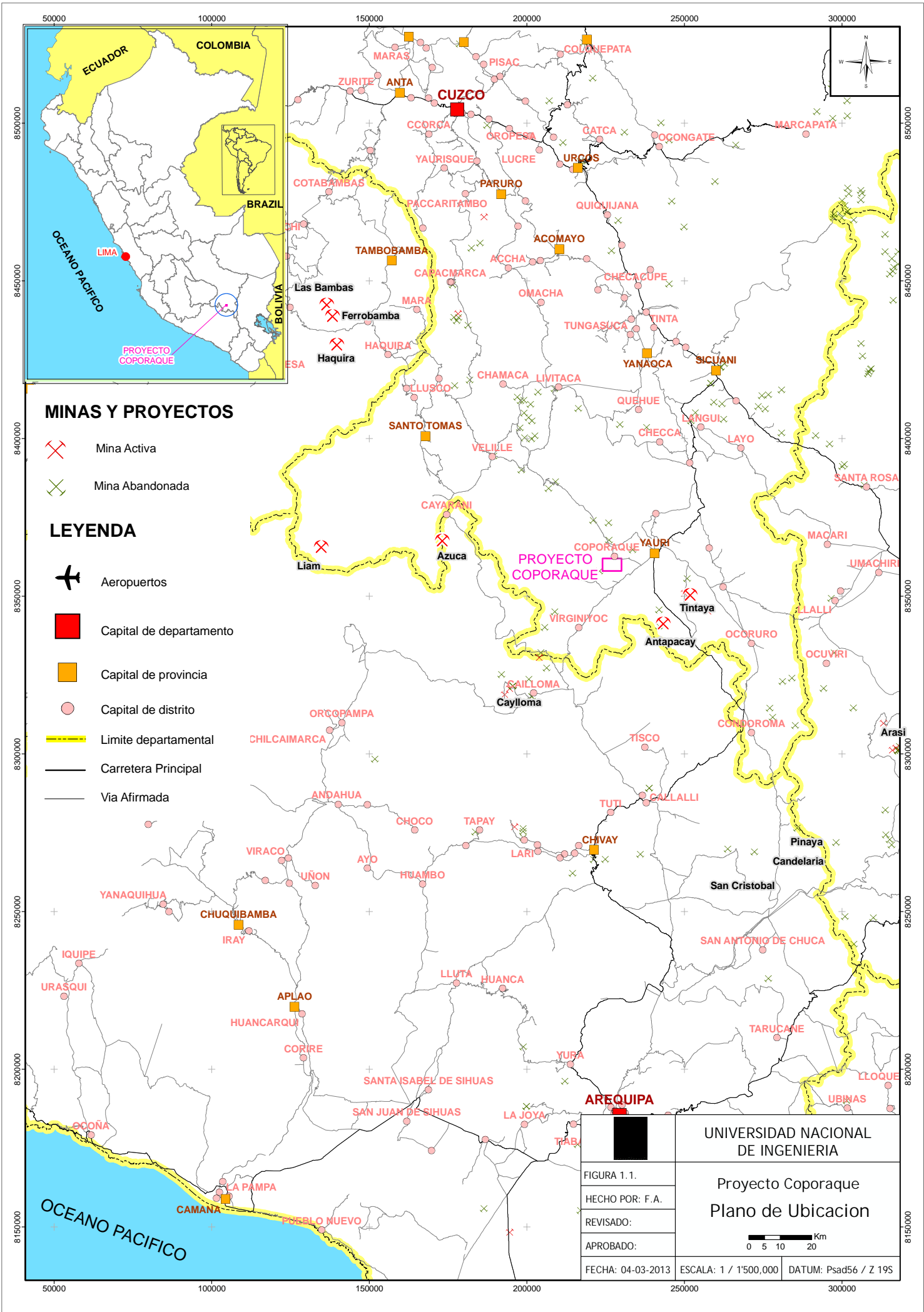
Tabla 1.2: Propiedades mineras que cubren el área de estudio.

1.4 HISTORIA Y TRABAJOS PREVIOS

Las vetas de Tambomate (ex mina Joel Brillante) y Nassaccara fueron trabajadas desde la época colonial, por su alto contenido de oro y plata. En el año 1984 fue adquirida por el Sr. Emilio Ramos Valdivia quien trabajó en estas vetas obteniendo a pequeña escala concentrados de oro y plata. Entre los años 1980 y 1989, el Banco Minero del Perú (BMP), realizó evaluaciones en las minas y en algunas ocurrencias descubiertas, realizando algunos cateos. En el año 1990 la empresa minera especial “Tintaya”, realizó trabajos exploratorios realizando reconocimiento litológico y prospección geoquímica. Actualmente las operaciones mineras han sido abandonadas.

En el año 1991 se publicó la tesis “Geología de las estructuras mineralizadas de la zona de Coporaque” realizada por Jorge Cadenas Aleman, sin embargo en esta tesis se muestran resultados que aportan nuevos datos a la mineralogía de mena de las vetas del proyecto, aspectos que no fueron descritos anteriormente.

Durante los años 1990 y 1999, varios mineros artesanales adquirieron los derechos mineros en pequeños sectores y realizaron individualmente pequeños trabajos exploratorios. Entre los años 2000 y 2008, las empresas; Minera del Suroeste, Teck Cominco y Aurimin, han realizado individualmente trabajos de exploración y prospección geoquímica sin embargo no se cuentan con estos datos.



CAPITULO II

GEOLOGIA DISTRITAL

2.1 ASPECTOS GENERALES

2.1.1 CLIMA, FLORA Y FAUNA

La provincia de Espinar (departamento de Cusco) se encuentra sobre los 3900 m.s.n.m. (Región Puna), el clima es frío y seco, el aire tiene escasa humedad y poco oxígeno. En verano (de noviembre a abril) hay intensas precipitaciones en forma de granizo y nieve acompañadas por tormentas eléctricas. En invierno (de abril a noviembre) hay ausencia de precipitaciones y un sol brillante, pero en los meses de Julio y Agosto hay intensas heladas con fuertes vientos.

La vegetación (típica de la región Puna) es muy escasa, se encuentra principalmente el ichu, la tola y otras plantas adaptadas a este clima, la fauna silvestre está conformada por vicuñas, vizcachas y aves alto andinas.

2.1.2 RASGOS FISIOGRAFICOS

Se distinguen dos rasgos fisiográficos importantes dentro de la provincia de Espinar, la cuenca Yauri y las cadenas de montañas de los alrededores.

La cuenca Yauri

Es una altiplanicie de considerable extensión (aprox. 2000 km²), su superficie es relativamente ondulada y oscila entre los 3900 a 4000 m.s.n.m. sobre esta superficie discurren los ríos que comprenden la cuenca alta del río Apurímac desde que nace (en el nevado de Choquequirao) hasta su unión con el río Salado en la garganta de Pichagua (después de recorrer aproximadamente 130 Km.) al Oeste del pueblo de Pichagua, en todo este tramo al río Apurímac se le conoce como río Monigote. El área de la cuenca Yauri abarca los cuadrángulos de Velille (30-s) y Yauri (30-t) ubicados en el departamento de Cusco.

Cadenas de Montañas

Las cadenas de montañas se encuentran bordeando a la cuenca Yauri, mayormente presentan superficies abruptas que oscilan entre los 4000 y 5000 m.s.n.m. La cuenca se encuentra limitada en el Norte por la cordillera de Laramani (tramo de la cordillera central de los andes) con orientación NO-SE, en el Este por la cordillera de Vilcanota con orientación N - S y en el Sur y Oeste por la cordillera Condoroma-Caylloma (tramo de la cordillera occidental de los andes) con orientación NO – SE.

2.1.3 GEOMORFOLOGIA

Geomorfológicamente la cuenca Yauri se ubica en la “superficie Puna” (Mc. Laughlin, 1924). Esta superficie se define como una peneplanicie de extensión regional que por causa de agentes endógenos y supérgenos, presenta altiplanicies, cerros, lomadas y cañones. A continuación se definen las 4 unidades geomorfológicas observadas (Fig. 2.1):

La Altiplanicie

Esta unidad se encuentra en la parte central de la cuenca Yauri de edad miocénica, es una planicie ondulada con una superficie que tiene macizos rocosos de diferentes edades; los stocks intrusivos y formaciones sedimentarias y volcánicas depositadas son pre-mioceno, mientras que las formaciones volcánicas y sedimentarias depositadas durante y después del mioceno son de edad mas reciente, existen fallas de carácter regional anteriores a la planicie y fallas locales posteriores a esta.

Los Cerros

Esta unidad esta ampliamente difundida en la provincia de Espinar, presenta relieves abruptos que están representados por cadenas montañosas ubicadas en los alrededores de la altiplanicie. Los cerros están constituidos por macizos rocosos de diferentes edades, generalmente presentan relieve volcánico como; cráteres, coladas, domos y conos que se han generado durante los eventos volcánicos ocurridos en el mioceno y plioceno. En los sectores que estuvieron levantados y expuestos antes del relleno de la cuenca Yauri, los cerros están constituidos por formaciones rocosas mas antiguas

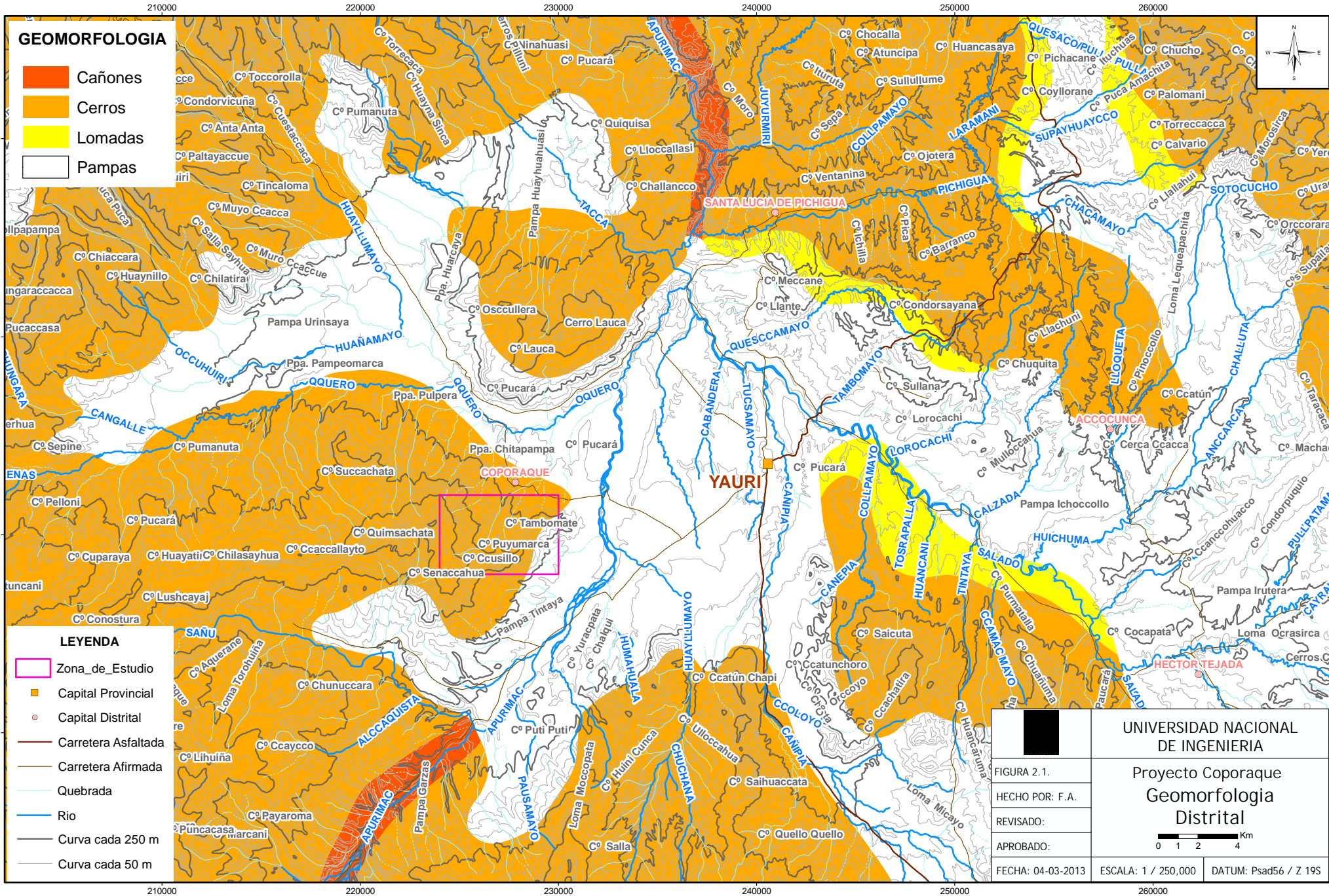
(mesozoicas y paleógenas) cuyos estratos están fuertemente plegados y cortados por stocks intrusivos (eoceno-oligoceno), en estos sectores los cerros presentan relieve plegado como; combas, crestones, ruzes y cluses y relieve plutónico como; formas deleznales, domos lisos, vertientes rectas.

Las Lomadas

Presentan relieves moderados, están representados por promontorios aislados y contiguos que se desarrollan al pie de los cerros, se encuentran ubicados entre los cerros y la altiplanicie, principalmente en ambos márgenes del valle del río Salado (desde Héctor Tejada hasta Yauri) y en las localidades de Pichacane, Oquebamba y Moyorray al SE del Descanso, las lomadas presentan formas suaves y onduladas con altitudes entre los 4000 y 4200 m. y laderas con pendientes moderadas, la litología se compone principalmente de arenas y arcillas producto de la erosión de las formaciones sedimentarias depositadas durante y después del mioceno, son aprovechadas por los pobladores para la agricultura.

El Cañón

Se encuentra al Norte de la provincia y esta representada por la garganta de Pichagua que comienza desde la confluencia de los ríos Apurímac y Salado, al SO del pueblo de Pichagua, se originó durante el Plioceno por fallas activas en el borde norte de la cuenca Yauri y la actividad erosiva del río Apurímac que en ese periodo drenó a la cuenca (que estaba conformada por un lago), juega un papel importante el lecho rocoso del cañón compuesto de rocas intrusivas y volcánicas difíciles de erosionar por el río Apurímac. El cañón tiene una profundidad media de 120 metros y su perfil se encuentra en proceso de excavamiento.



GEOMORFOLOGIA

- Cañones
- Cerros
- Lomas
- Pampas

LEYENDA

- Zona de Estudio
- Capital Provincial
- Capital Distrital
- Carretera Asfaltada
- Carretera Afirmada
- Quebrada
- Rio
- Curva cada 250 m
- Curva cada 50 m

	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA</p>
<p>Proyecto Coporaque Geomorfología Distrital</p>	
<p>FIGURA 2.1.</p> <p>HECHO POR: F.A.</p> <p>REVISADO:</p> <p>APROBADO:</p> <p>FECHA: 04-03-2013</p>	<p>ESCALA: 1 / 250,000</p> <p>DATUM: Psad56 / Z 195</p>

2.2 UNIDADES LITOLÓGICAS

La cuenca Yauri se encuentra en el límite de la cordillera Condoroma-Caylloma (alto estructural que forma parte de la cordillera occidental de los andes) con el altiplano. Por ello su substrato presenta unidades litológicas de dos dominios paleo-geográficos, que a partir del Cenozoico tuvieron evoluciones geológicas diferentes, las unidades litológicas reconocidas son:

En el dominio del altiplano: Formaciones Ayabacas y Puquin (cretácico superior) y el grupo San Jerónimo (paleógeno)

En el dominio de la cordillera occidental: Grupo Yura (jurásico-cretácico inferior), formaciones Murco y Arcurquina (cretácico inferior), formación Anta, el batolito Andahuaylas-Yauri (eoceno) y el grupo Tacaza (mioceno).

En la cuenca Yauri se encuentra el límite entre estos dominios paleo-geográficos, el cual se caracteriza por la presencia del sistema de fallas Condoroma-Caylloma-Mollebamba, el cual ha controlado la evolución de la cuenca.

La cuenca se encuentra limitada en el norte, por la falla Langui-Descanso y en el sur por la falla Yauri-Ocoruro, tiene forma romboédrica y alargada, con orientación NO-SE. El sector norte y noreste de la cuenca pertenece al dominio del altiplano y el substrato está conformado por las formaciones Ayabacas, Puquin y Anta. En cambio el sur y suroeste pertenece al dominio de la cordillera occidental y el substrato está conformado por el grupo Yura, las formaciones Murco, Arcurquina, el batolito Andahuaylas-Yauri y los grupos Tacaza y Barroso.

Después de formada la cuenca, esta se rellena de sedimentos volcánico-sedimentarios representados por las formaciones Casablanca (Mioceno) y Yauri (Plioceno), la litología es variada y está compuesta por conglomerados, areniscas aluviales, areniscas fluviales, lutitas, calizas lacustres y algunas secuencias piroclásticas. El espesor del relleno volcánico-sedimentario varía entre 50 y 1200 m.

En este capítulo, definiremos las formaciones que se encuentran en el sector sur y suroeste de la cuenca Yauri (dominio paleogeográfico perteneciente a la cordillera occidental de los andes).

2.2.1 UNIDADES SEDIMENTARIAS DEL CRETACICO INFERIOR

Conformadas por cuatro formaciones que se depositaron en cuencas de antepáis (cuenca Arequipa y cuenca occidental) durante el cretácico inferior. (Fig. 2.3 y 2.4).

Formación Velille

Definida por DE LA CRUZ, N. (1995), aflora en las quebradas de Chacopata y Fauce al Este del pueblo de Velille. En la quebrada de Fauce se compone, de la base al tope por: 50 m de lutita gris oscura; 300 m, de lutita gris oscura intercalada con arenisca cuarzosa; 40 m, de arenisca cuarzosa y 200 m, de arenisca lutacea gris clara intercalada con lutita gris clara. Las relaciones estratigráficas no están bien definidas, el techo esta erosionado y la base se encuentra cubierta, se interpreta como un remanente sobre un stock intrusivo. No se han encontrado fósiles, pero se le considera del Jurásico - Superior por su similitud litológica con la formación Cachios del grupo Yura en el departamento de Arequipa. (N. de la Cruz, 1995)

Formación Hualhuani

Denominación dada por JENKS W. (1948) al oeste de la ciudad de Arequipa. Hay varios afloramientos cubiertos por secuencias litológicas más jóvenes, la mayor exposición se encuentra al Sur de la mina Tintaya en los cerros Ccatun Ccoime y Llatahua, otros afloramientos se localizan en el cerro Senacahua al Sur del pueblo de Coporaque y en el cerro Huamantata al Este del pueblo de Velille. Esta unidad se encuentra perturbada por cuerpos intrusivos del Eoceno. Consiste principalmente de areniscas cuarzosas marrón amarillentas, de grano medio a grueso con clastos sub-redondeados de cuarcita. Las areniscas están en estratos delgados, a veces se encuentran impuras intercaladas con areniscas arcillosas marrones, estructuralmente obliteradas, como se puede observar en el cerro Huamantata en donde el grosor alcanza 300 m. Aun no se ha definido a que unidad sobreyace, En Tintaya se la encuentra infrayaciendo a la formación Murco. El poco valor cronológico de la flora encontrada por el INGEMMET (1995), no es suficiente para precisar la edad de esta unidad; sin embargo por posición estratigráfica se le indica una edad necomiana. Se le correlaciona con la formación Soraya del grupo Yura en el departamento Apurímac.

Formación Murco

Definida por JENKS, W. y BENAVIDES, V. (1962) en el valle de Siguan (Región Arequipa). En la cuenca, los afloramientos se restringen al límite norte del cuadrángulo de Velille, al sur de la hacienda Chillorona. La litología se compone de Areniscas marrón rojizas, en estratos de grosor moderado y limo-arcillitas rojizas débilmente abigarradas. La formación Murco infrayace concordantemente a la formación Acurquina, a falta de evidencias paleontológicas la edad de esta formación se infiere teniendo en cuenta sus relaciones estratigráficas que permiten asignarle una edad aptiana. Se correlaciona con la formación Mara del departamento de Apurímac y con la parte inferior del grupo Moho de los alrededores del lago Titicaca.

Formación Acurquina

Definida por JENKS, W. y BENAVIDES, V. (1975), en la región Arequipa, la describe como una secuencia calcárea que aflora en la quebrada Queñahuayo, sus afloramientos se encuentran en las inmediaciones de los yacimientos Tintaya, Antapacay y Corocochuayco y en el borde norte de la cuenca. La litología consiste de calizas gris azulinas de aspecto masivo, los estratos son menores a 1 m de espesor y se caracterizan por presentar venillas entrecruzadas de calcita; además las calizas presentan recristalización y en partes marmolización con manchas verdes de malaquita. Gran parte de la formación Acurquina ha sido intruida por cuerpos ígneos del eoceno; los cuales han metamorfizado y recristalizado las calizas, originando en el contacto, mármoles y granates que tiene relación con las zonas mineralizadas de Cu, Ag, Pb, Zn, Fe, etc. Por ello es considerado un metalotecto importante en el sur del Perú. Su contacto inferior es concordante con la formación Murco y en discordancia angular con la formación Hualhuani del grupo Yura, como se observa al este de la mina Tintaya; así mismo infrayace en discordancia angular a la formación Anta, tal como se puede observar en el cerro Colopata. En la zona, el mayor grosor de esta unidad es de 335 m, al SO del pueblo de Quishuara, en el cuadrángulo de Yauri.

Según PECHO (1981), la formación Acurquina es correlacionable con la formación Ayabacas del grupo Moho en el lago Titicaca y con la formación Ferrobamba de Apurímac; así como también con las formaciones Inca, Chulec y Pariatambo y con la parte inferior de la formación Jumasha (norte del Perú).

2.2.2 UNIDADES SEDIMENTARIAS DEL PALEOGENO

Durante el paleógeno, se formó la cuenca Anta (cuenca de Piggy-back que abarcaba la actual cuenca Yauri), en la cual se depositaron sedimentos continentales proximales, producto del fuerte levantamiento producido por la emersión del batolito Andahuaylas-Yauri combinado por la actividad erosiva (Fig. 2.3 y 2.4).

Formación Anta (Eoceno-Oligoceno)

Definida por CARLOTTO (1998) en la región de Cusco. Dataciones K-Ar obtenidas sobre coladas volcánicas intercaladas en su parte inferior media reportaron 38 Ma y cerca de su lecho 30 Ma, lo cual evidencia que es de edad eoceno medio-oligoceno inferior. En la cuenca Yauri, la formación consiste de conglomerados que fueron depositados en conos aluviales, ríos proximales, canales y barras longitudinales de ríos y de areniscas, pelitas y limolitas que se depositaron en ríos entrelazados fluviales y llanuras de inundación asociadas. Las paleocorrientes disponibles (Latorre & Oros, 2000) sugieren que el drenaje principal estaba orientado de noroeste al sureste.

La formación Anta se puede dividir en una unidad inferior grano-creciente y una unidad superior grano y estrato decreciente. La unidad inferior (1300 m) comprende de conglomerados y areniscas. La unidad superior (758 m) consiste de conglomerados de conos aluviales y ríos proximales, areniscas fluviales y pelitas de llanura de inundación.

2.2.3 UNIDADES VOLCANICAS DEL NEOGENO

Durante el neógeno hubo intensa actividad volcánica producto de la subducción del margen continental activo.

Grupo Tacaza (Oligoceno-Mioceno)

Definida por NEWELL, N. (1949) en la mina Tacaza, departamento de Puno. Posteriormente MAROCCO, R. & DEL PINO, M. (1966) lo elevan a la categoría de Grupo. En la cuenca, esta constituido en la base por una fase aglomeradica (formación Orcopampa) sobre la que yace otra de carácter lavico (formación Ichocollo), ambas

fases volcánicas están mayormente expuestas en el borde suroeste (Cordillera Condoroma-Caylloma) y noreste (Cordillera de Laramani) de la cuenca Yauri.

La formación Orcopampa, consiste en la base de pseudo-estratos de aglomeraciones volcánicas de composición dacítica de color gris violáceo a verdoso, los fragmentos volcánicos tienen formas sub-redondeadas a sub-angulosas englobados en matriz piroclástica, el grosor de la secuencia aglomerada se estima en 1000 m. La formación Ichicollo, esta conformada por flujos de lava andesítica y andesita-basáltica, de color gris verdoso a morado rojizo.

Sobreyacen en discordancia angular a las formaciones Anta y Arcurquina y subyace a las tobas y brechas del grupo Barroso. Las insuficientes dataciones radiométricas no permiten asignarle una edad precisa; sin embargo por posición estratigráfica se le indica una edad oligocena- miocénica.

Grupo Barroso (Plioceno)

Nombre designado por S. MENDIVIL (1965), a un conjunto de rocas volcánicas constituido por derrames volcánicos y piroclásticos de naturaleza andesítica a traquítica. En la cuenca, esta constituido en la base por una fase explosiva (formación Huaycha) sobre la que yace otra efusiva lavica y algo brechoide (formación Casanuma), ambas fases volcánicas están mayormente expuestas en el borde suroeste de la cuenca Yauri (cordillera Condoroma-Caylloma).

La formación Huaycha, esta conformada por una gruesa secuencia de tobas brechosas, tobas líticas y cineríticas blancas y friables. La formación Casanuma, esta conformada por flujos de lava gris negra con disyunción en forma de lajas y algunos flujos de tobas blancas riolíticas con fragmentos lapilli y feldespatos.

Las rocas del grupo Barroso se extienden en forma casi horizontal o con leves inclinaciones que no pasan de 10° a 12° ocupando las generalmente las partes más elevadas. Se considera que el grupo Barroso esta en discordancia angular sobre el grupo Tacaza, en base a su posición estratigráfica y considerando algunas dataciones radiométricas Kr-Ar (Kaneoka, I. & Guevara, C. 1984), se considera al Grupo Barroso de edad pliocena correlacionable con los volcánicos Sillapaca en los cuadrángulos de Condoroma y Caylloma .

2.2.4 RELLENO VOLCANO-SEDIMENTARIO DE LA CUENCA YAURI

Dentro de la cuenca Yauri, se depositaron varias series sedimentarias cuyas edades van desde el Mioceno hasta el Holoceno. Los restos paleontológicos, descubiertos en el área proceden de las formaciones Casablanca y Yauri (De La Cruz, 1995) y los miembros; principal y cuspidal de la formación el Descanso (Cerpa et al, 2004). Litológicamente estas series sedimentarias son muy parecidas (Fig. 2.3 y 2.4).

La formación Casablanca consta de areniscas feldespáticas blanquecinas y rojizas, areniscas cuarzosas, tobas retrabajadas, conglomerados polimícticos con clastos de cuarcita, caliza y volcánico, intercaladas con secuencias calcáreas de hasta 0,5 m (Alto Pichigua) que indican medios fluviales trenzados y sistemas lacustres esporádicos.

La formación Yauri presenta una sedimentación fina, lutitas oscuras bien laminadas alternadas con limolitas y areniscas feldespáticas blanquecinas, calizas blancas con laminación de algas, niveles turbidíticos, escasas areniscas cuarzosas limpias y conglomerados con clastos de cuarcitas y volcánicos que indican medios lacustres de poca energía con esporádicos sistemas fluviales o canales.

De la Cruz (1995) y Cerpa (2004) coinciden en ubicar la toba Yauri como límite stratigráfico entre las formaciones Casablanca y Yauri o como límite entre los miembros principal y cuspidal de la formación el Descanso. Dataciones Ar/Ar obtenidas de esta toba indican una edad aproximada de 12 Ma (Cerpa et al, 2004). En base al cartografiado, seguimiento de superficies de discontinuidad principales, levantamiento de columnas al detalle y estudios paleontológicos de vertebrados preliminares, se propone que la toba Yauri corresponde a un nivel piroclástico dentro de la formación Casablanca (Tejada et al, 2009). En función de esta hipótesis, la formación Casablanca:

- Tendría una extensión mayor a la mostrada en el mapa geológico (De la Cruz , 1995)
- Estaría limitada hacia el tope por una discordancia angular con la sobreyacente formación Yauri (observada claramente en el cerro Pucará, corte del río Salado en el desvío hacia Alto Pichigua)
- Sería correlacionable con el miembro cuspidal de la formación El Descanso.

Así, la formación Casablanca alcanzaría el mioceno superior y por su ubicación stratigráfica y principalmente asociación faunística descubierta sugiere que la formación Yauri se depositó en el plioceno inferior-medio (Tejada et al, 2009).

2.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

El marco estructural dentro de la cuenca Yauri, esta regida por dos importantes lineamientos estructurales los cuales han condicionado su formación, cabe resaltar que esta cuenca se formo durante el Mioceno como una cuenca sinorogenica, producto de un régimen compresional que ha ocurrido de forma interrumpida pero consecutiva desde el Cretácico Superior (Cerpa et al, 2004).

Ambos lineamientos estructurales tienen una orientación N35°O, ortogonal a la dirección de los esfuerzos compresionales producidos por el régimen antes mencionado (Fig. 2.2).

El lineamiento estructural Coporaque-Condorama, se ubica en el flanco SO de la cuenca Yauri, y ha controlado el emplazamiento de los cuerpos intrusivos del batolito Andahuaylas-Yauri, la evolución tectónica de la zona Sur y Oeste de la cuenca y la depositación de los flujos de lava provenientes del Oeste.

El lineamiento estructural El Descanso-Ocuviri, se ubica en el flanco NE de la cuenca Yauri, y ha controlado la depositación de sedimentos y la formación de pliegues de los estratos Mesozoicos y Paleozoicos de la zona Norte y Este de la cuenca.

La cuenca Yauri se encuentra limitada por dos relieves estructurales, los cuales han influido en la formación y emplazamiento de los yacimientos minerales.

En su flanco SO, esta limitada por el alto estructural Caylloma-Condorama (perteneciente a la cordillera occidental de los andes) el cual esta conformado por un gran pilar tectónico, en la cuenca este alto estructural esta cubierto por material volcánico del Cenozoico y cortado por intrusivos del Batolito Andahuaylas-Yauri.

En su flanco NE, la cuenca esta limitada por el alto estructural Cuzco-Puno (perteneciente a la cordillera central de los andes) el cual esta conformado por un anclinatorium, en la cuenca este alto estructural esta conformado por pliegues de estratos sedimentarios del Paleozoico y Mesozoico.

La cuenca Yauri tiene una forma elongada con orientación NO-SE, dentro de ella hay dos alineamientos estructurales principales; el primero de ellos tiene dirección N35°O, ortogonal a los esfuerzos compresivos que se han producido por el régimen antes mencionado y el segundo tiene dirección N55°E, paralelo a estos esfuerzos.

2.4 ROCAS INTRUSIVAS

Las rocas ígneas, están conformadas por un conjunto de plutones discontinuos que van a lo largo de una franja NO-SE (Fig. 2.3 y Fig. 2.4).

2.3.1 BATOLITO DE ANDAHUAYLAS-YAURI (EOCENO-OLIGOCENO)

El Batolito de Andahuaylas-Yauri, intruye a los estratos de areniscas de la formación Hualhuani y carbonatados de la formación Arcurquina. En partes se encuentra cubierto por secuencias conglomerádicas de la formación Anta y volcánicas de los grupos Tacaza y Barroso. En termino regional, el batolito Andahuaylas-Yauri es un cuerpo plutónico de gran tamaño y de forma irregular con dimensiones de 300 x 130 Km. en un área aproximada de 25000 km², reconocido desde Andahuaylas hasta Yauri, su emplazamiento habría sido controlado por fallas regionales, hacia el Sur se encuentra limitado por la faja volcánica cenozoica (dentro de la cuenca Yauri).

2.3.2 PETROLOGIA

El batolito incluye una primera etapa de rocas máficas caracterizadas por gabros cumulat y dioritas emplazadas entre 48 y 43 Ma. Las que están intruidas a su vez (segunda etapa) por pulsos de granodiorita y cuarzo-monzodiorita entre 42 y 30 Ma. (Carlotto, 2002), lo que indica un fuerte levantamiento en el eoceno medio-oligoceno inferior. Contemporáneamente a esta segunda etapa, se depositan secuencias volcánosedimentarias de la formación Anta (Carlotto, 1998). Las dataciones radiométricas K/Ar y Re-Os muestran que la mayor parte de la alteración y mineralización, tomó lugar entre el eoceno medio y el oligoceno (42 a 30 Ma).

Los intrusivos monzoníticos son los más importantes porque se relacionan con la mineralización de skarn, se pueden diferenciar 2 tipos; la cuarzo-monzonita de textura granular obliterada, con granos de biotita, ojos de cuarzo y maficos grandes y alargados y la monzodiorita de textura granular con cristales de plagioclasa subhedrales a euhedrales, cristales de biotita, ojos de cuarzo en menor proporción y maficos grandes y alargados. Además se pueden encontrar intrusivos tonalíticos y dioríticos.

ERA	SISTEMA	SERIE		DESCRIPCION LITOLOGICA
CENOZOICA	CUATERNARIO	HOLOCENO		D. ALUVIALES Clastos sub redondeados y suelo arcilloso.
		PLEISTOCENO		D. FLUVIOGLACIAL Clastos polimicticos en limoarcillitas.
		PLIOCENO		Fm. YAURI Limoarcillitas tobaceas, fluviales redondeados, con caliza hacia el techo 235 m.
				Fm. CASANUMA Flujos lavicos andesiticos y brechas 100 m. Gpo Barroso
	NEOGENO	MIOCENO		Fm. HUAYCHA Aglomerados brechoides, tobas, 210 m.
				Fm. CASA BLANCA Conglomerados y limoarcillitas rojas, algo tobaceas hacia el techo, 165 m.
				TACAZA IND. Flujos Lavicos, 150 m. Gpo Tacaza
				Fm. ICHICOLLO Flujos lavicos andesiticos, 200 m.
	PALEOGENO	OLIGOCENO		Fm. ORCOPAMPA Aglomerado, colada de lavas andesiticas 500 m.
		EOCENO		Fm. Anta Conglomerados de grano grueso, areniscas estratos gruesos con grano creciente estratificacion sesgada, 1625 m.
MESOZOICA	CRETACICO	PALEOCENO		BATOLITO ANDAHUAYLAS YAURI Se compone de una 1ra etapa de Gabros y Dioritas y una 2da etapa de Granodioritas y Cuarzo-Monzodioritas.
		SUPERIOR		Fm. ARCURQUINA Caliza micritica con restos fosiles 325 m.
				Fm. MURCO Areniscas y limolitas abigarradas 480 m.
	INFERIOR		Fm. HUALHUANI Arenisca Cuarzosa blanquecina en estratos delgados, 800 m.	
JURASICO	SUPERIOR		Fm. VELILLE Limoarcillita tobacea, pizarrosas, en estratos medianos 600 m.	
PALEOZOICA	PERMICO			Gpo. MITU Arenisca rojiza y conglomerado en matriz arcocosa y niveles arcillosos, 710 m.
	CARBONIFERO			Gpo. AMBO Conglomerados polimicticos, areniscas cuarzosas 425 m.
	DEVONICO			Fm. CHAGRAPI Lutitas, limolitas y areniscas de color gris verdoso intercaladas con estratos delgados fosilifero en la parte superior, 1200 m.
	SILURICO			
	ORDOVICICO	SUPERIOR		Fm. CALAPUJA Arenisca gris blanquecina, lutita gris en estratos medianos a delgados con algunos nodulos de cuarzo 2000 m.

Figura 2.3: Columna Estratigrafica regional (modificado del INGEMMET, 1995)

2.4 GEOLOGIA ECONOMICA

En el borde SO de la cuenca Yauri se encuentran las franjas metalogénicas XVI (la franja de pórfidos-skarns de Cu-Mo-Au y Fe relacionados con intrusivos del eoceno-oligoceno), y XXII (la franja de depósitos epitermales de Au-Ag y depósitos polimetálicos con superposición epitermal del mioceno), ambas son importantes provincias metalogénicas con yacimientos tipo skarn con pórfidos cupríferos y vetas mineralizadas con oro y plata. A continuación se describen los más importantes en los alrededores de la zona de estudio (Fig. 2.5).

2.4.1 TINTAYA (Cu, Mo, Au y Ag)

Se ubica a 15 Km al SE de la ciudad de Espinar, la estratigrafía esta conformada en la base por areniscas y limonitas de la formación Murco, sobre esta yacen calizas de la formación Arcurquina, ambas cortadas por un stock intrusivo porfido-monzonítico a diorítico del Eoceno (skarn débil con baja mineralización) y posteriormente por un lacolito porfido-monzonítico del Mioceno (skarn intenso con alta mineralización).

El lacolito de monzonita intruye las calizas de la formación Arcurquina y forma grandes cuerpos de skarn como cuerpos que rodean la monzonita, no común en otras minas del tipo skarn en el Perú, adyacente al skarn la caliza esta marmolizada (Fig. 2.6).

Tintaya es un yacimiento de cobre tipo skarn, la mineralización tiene la forma de una franja mineralizada discontinua de skarn, de 3 km de longitud, a manera de un herraje con un ancho de 40 m a 150 m. La parte cóncava del herraje se orienta hacia el N. las zonas mineralizadas de O a E son Chabuca Norte, Chabuca, Chabuca Este y Tajo Tintaya. Paralelo al herraje, en su parte externa, al SO se tiene otra franja mineralizada discontinua de skarn con Cobre de 810 m de longitud denominada Chabuca Sur.

La calcopirita, bornita, molibdenita, oro y plata se habrían formado conjuntamente con el skarn, con textura de diseminación a alta temperatura; y una posterior alteración filica, argilica y propilitica produce (en el mismo skarn) una segunda mineralización a menor temperatura, de calcopirita, bornita, molibdenita, oro y plata que se encuentran rellenando venillas, posteriormente la acción supergena formo malaquita, crisocola, hematina, goethita, etc. En la zona enriquecida se formo bornita secundaria.

2.4.2. COROCCOHUAYCO (Cu - Au)

Se ubica a 40 Km. al SE de la ciudad de Espinar, la estratigrafía es la misma que en Tintaya, las formaciones son cortadas por un stock intrusivo porfido-monzonítico a diorítico del paleoceno-eoceno. Posteriormente todo este conjunto fue cortado por diques de andesitas y latitas, y cubierto por limos tufaceos y depósitos lacustrinos de las formaciones Casablanca y Yauri.

Coroccohuayco presenta un marco estructural conformado por fallas y pliegues que controlan en cierto modo el área mineralizada. Es un depósito principalmente del tipo skarn asociado a fases de intrusión con mineralización de Cu-Au-Ag. La mayor mineralización de sulfuros de cobre se encuentra en los cuerpos de skarn de granate-piroxeno-magnetita, con mineralización de calcopirita y bornita, que se ubican a 250 m. debajo de la superficie en forma de un potente manto irregular, ubicado entre el hornfels (piso) y la diorita (techo) inclinado hacia el SO, intruído por un dique diorítico y un stock de pórfido-monzonita, el cual aportó la mineralización.

El pórfido monzonita hornbléndica, se presenta generalmente con venillas de cuarzo tipo stock work débil con mineralización de calcopirita de baja ley, la diorita también es mineralizada en el contacto con el pórfido con algunas concentraciones de leyes de Cu, se tiene otro pórfido de monzonita biotítica que es post mineral. Todavía falta evaluar mas este yacimiento para que sea viable su explotación a gran escala.

2.4.3 ANTAPACCA Y (Cu, Au, Ag)

Se ubica a 19 Km. al Sur de la ciudad de Espinar, la estratigrafía es la misma que en Tintaya y Corcohuayco, las formaciones son cortadas por un stock intrusivo de composición cuarzo-monzonita a diorita del paleoceno-eoceno (skarn débil con baja mineralización), este intrusivo engloba a un porfido de Cobre de composición dacítica del mioceno, el pórfido tiene forma oval con rumbo NO-SE, la mineralización esta diseminada y en venillas (tipo stockwork).

La alteración potásica, se compone de venillas de feldespato potásico-cuarzo y biotita-magnetita, la alteración filica de cuarzo-sericita-pirita y alteración propilítica de venillas de cloritas. Se ha reconocido la paragénesis tanto en el endoskarn (granate-piroxeno-magnetita) como en el exoskarn (epídota-granate-cuarzo, anfíboles-epídota-hematita-calcita). La silicificación se superpone a la alteración potásica y atraviesa el skarn.

La mineralización en la zona hipogena se compone de calcopirita, bornita, pirita y molibdenita, en la zona enriquecida de calcosita y en la zona supergena de malaquita, crisocola, hematina, goethita, etc. El tamaño del cuerpo mineralizado es de 2500x1500 m por 500 m de alto, la prospección geoquímica arrojó valores altos en Cu, Au, Ag, Mo. Las mayores concentraciones de mineral se encuentran dentro de la diorita (zona de stockwork), seguido del porfido. Hasta el año 2010 se han perforado 48000 m (230 sondajes diamantinos) y se hallaron reservas por 817 MT con 0.52% de Cu, 0.11 g/t de Au, 1.44 g/t Ag (Bernabé, 2011).

2.4.4 YACIMIENTOS MENORES

En la provincia hay muchas ocurrencias minerales menores, pero cerca de la zona de estudio solo destacan cuatro, las cuales se describen a continuación:

Mina abandonada Joyel Brillante (Cu, Pb, Au)

Se ubica a 12 Km. al Oeste de la ciudad de Espinar, dentro de la zona de estudio, consiste de 2 vetas emplazadas en un cuerpo intrusivo tonalítico.

La primera es una veta hidrotermal (rumbo N55°E, buza 80°SE y una potencia promedio de 1.5 m) emplazada en cuarzo-monzonita. Las reservas calculadas en el año 1990 eran de 44 mil toneladas con una ley promedio de 12 g/t de oro, 2.5 g/t de plata y 2.5 % de cobre.

La segunda es una veta hidrotermal (rumbo N75°O, buzamiento vertical y una potencia promedio de 1 m) emplazada en tonalita, Las reservas calculadas en el año 1990 ascendían a 4 mil toneladas con una ley promedio de 9 g/t de oro y 1,5 onz/TM de plata.

Se estuvieron realizando trabajos mineros hasta el año 1995, actualmente se encuentra paralizada. Las vetas fueron trabajadas desde el año 1984 por el Sr. Emilio Ramos Valdivia, obteniendo a pequeña escala concentrados de oro y plata. Actualmente las operaciones mineras han sido abandonadas y es difícil su rehabilitación, se estima que durante 6 años de operación, se extrajeron aproximadamente 600 TM de mena (BMP, 1980).

Prospecto Rosandina (Cu, Au)

Se ubica a 15.5 Km. al Oeste de la ciudad de Espinar, consiste de series de vetillas (en stockwork y en sheeted-veins) emplazadas en capas de lava andesítica y conglomerado de la formación Ichicollo (Grupo Yura) y de la formación Anta respectivamente, las cuales se encuentran argilizadas.

Las vetillas se conforman de cuarzo con diseminaciones de limonita (goethita, hematita, etc.) y cobre supergeno (malaquita, crisocola, etc.). Dos muestras por canal reportaron 1.6 % de cobre, otras muestras reportaron valores anómalos de oro, no se conoce la magnitud de la mineralización porque la mayor parte de la zona se encuentra cubierta por material Cuaternario.

Mina abandonada Morro Solar (Cu, Pb, Zn)

Se ubica a 14 Km. al Oeste de la ciudad de Espinar, consiste de una red de vetas emplazados en capas de lava andesítica de la formación Ichicollo, las vetas son de poca potencia (hasta 0,5 m) y presentan una orientación SO-NE, su relleno se conforma de cuarzo con diseminaciones de limonita (goethita, hematita, etc.) y cobre supergeno (malaquita, crisocola, etc.). No se sabe que cantidad de recursos se han extraído, la ley promedio en las vetas es de 3.5 % de cobre. Actualmente no se realizan labores mineras.

Mina abandonada Huarca (Cu, Pb, Zn)

Se ubica a 17.5 Km. al Sur de la ciudad de Espinar, consiste de capas de skarn localizados entre diques de monzonita emplazados en bancos de calizas de la formación Acurquina. Los diques de monzonita tienen la misma orientación y buzamiento que los bancos de calizas, (orientación NO-SE y buzamiento 45°NE), algunos diques presentan impregnaciones de cobre supergeno (malaquita, crisocola), el skarn esta conformado por magnetita y granates verdes, y las calizas han sufrido recristalización.

CAPITULO III

GEOLOGIA DEL AREA DE ESTUDIO

3.1 LITOLOGIA Y MARCO ESTRUCTURAL

Dos stocks intrusivos pertenecientes al batolito Andahuaylas-Yauri (eoceno-oligoceno), dominan el área estudiada, ambos se encuentran parcialmente cubiertos por lavas andesíticas de la formación Ichicollo (mioceno). Las zonas bajas y planas, se encuentran cubiertas por material cuaternario reciente como; morrenas, coluvios y depósitos de suelo.

3.1.1 ESTRATIGRAFIA

La única unidad lito-estratigráfica reconocida en el área estudiada, son las capas de lava andesítica pertenecientes a la formación Ichicollo (grupo Tacaza)

Lavas de andesita-basalto

Dominan la zona Oeste del área estudiada, afloran en los cerros Senacchua, Quimsachata, Tintaya y Pucamocco. La roca fresca presenta magnetismo, tiene color gris negrusco y es de textura porfírica micro-porfídica (Fig. 3.2).

La litología consiste de diminutos fenos de plagioclasas, cuarzo, hornblenda y biotita englobados en una matriz félsica de composición calco-sódica. Las capas de lavas se encuentran casi horizontales y su espesor varía entre 0.5 y 2 m. Se considera a esta unidad como post mineral. En la zona central del área estudiada, en el cerro Pucamocco y la pampa Canllucollu, las lavas presentan alteración propílica y débil alteración argílica, debido a ello las rocas tienen color blanco grisáceo con manchas y puntos verdes de varias tonalidades, las plagioclasas están algo caolinizadas y las hornblendas y biotitas están alteradas a clorita y epidota. Las lavas que están en la parte alta del cerro Pucamocco presentan venillas enmarañadas con limonita y goethita que se encuentran fuertemente intemperizadas.



FOTO 3.1: Andesita basáltica de textura afanítica, ligeramente magnética (A), las muestras provienen de los cerros Quimsachata y Pucamocco (B), los macizos de lava presentan fracturas verticales que siguen los rumbos N80°E y N70°O (C).



FOTO 3.2: Andesita con alteración propilítica y argílica, los feldespatos se encuentran caolinizados y los maficos cloritizados y epidotizados (A), las muestras provienen del cerro Pucamocco (B), donde los macizos rocosos presentan fracturas verticales (C).

3.1.2 MARCO ESTRUCTURAL

En la zona de estudio hay dos alineamientos principales; el primero de ellos tiene dirección N35°W y coincide con el alineamiento regional de los andes y es ortogonal a la dirección de los esfuerzos del régimen compresional que ha ocurrido de forma interrumpida pero consecutiva desde el cretácico Superior, el segundo tiene dirección N55°E y es ortogonal a la dirección de los esfuerzos tensionales, que se produjeron por el régimen antes mencionado (Fig. 3.1).

Fallas compresionales: Son las más numerosas, tienen rumbo N25-45°W, afectan principalmente al intrusivo tonalítico generando pseudo-pliegues en su borde NE, en algunos casos han controlado el emplazamiento de algunas vetillas (con poca longitud). En algunos casos estas fallas tienen gran potencia o presentan relleno de brecha, lo cual indica que hubo una importante movilización de bloques de terreno (Fig. 3.2).

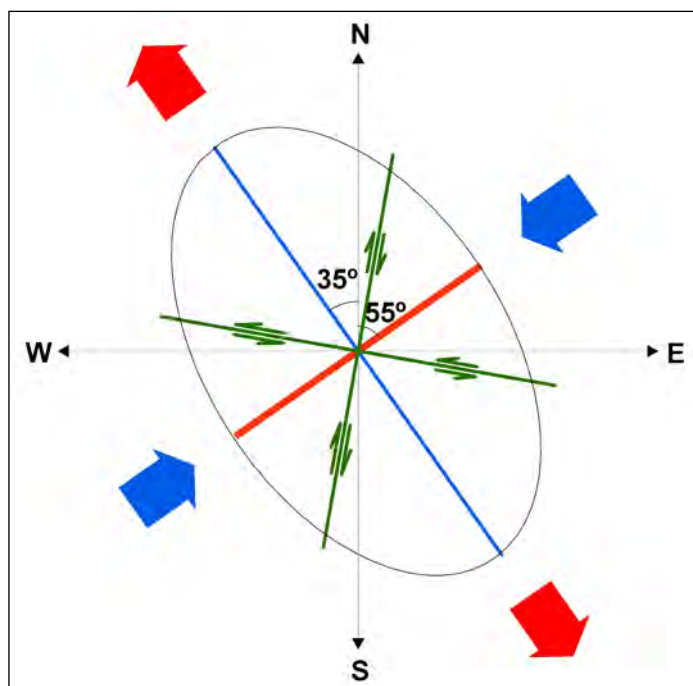


Figura 3.1: Interpretación del elipse de deformación en la zona de estudio, mostrando la orientación de los esfuerzos compresionales (en azul), esfuerzos tensionales (en rojo) y esfuerzos de cizalla (en verde)

Se interpreta, que los esfuerzos compresivos produjeron esfuerzos tensionales ortogonales a su orientación y esfuerzos de cizalla con orientaciones intermedias.

Hacia el oeste se encuentran cortando a las lavas andesíticas, en esta zona controlan la alteración y mineralización en la veta Puccamocco. Las fallas compresionales han sido reactivadas en varios periodos como producto del continuo acortamiento que causan los esfuerzos compresionales a lo largo de la cordillera occidental de los andes.

Fallas tensionales: Son escasas en el área estudiada pero presentan gran longitud, tienen rumbo N40-70°E y han controlado el emplazamiento de los stocks intrusivos, en el stock intrusivo tonalítico han controlado la alteración y mineralización de la veta Tambomate y el emplazamiento de vetillas de su borde NE (Fig. 3.2).

Fallas de cizalla: Presentan rumbo N0-20°E y N70-90°W, se encuentran principalmente en el stock intrusivo tonalítico, donde han controlado el emplazamiento de las vetas Minas, Nassaccara y de las vetillas de su borde NE (Fig. 3.2).

3.1.3 STOCKS INTRUSIVOS

Dos stocks intrusivos fueron reconocidos en el área estudiada. El emplazamiento habría sido controlado por fallas locales reactivadas durante el paleoceno-eoceno. Ambos tiene forma alargada con orientación SO-NE y hacia el Oeste se encuentran limitados por capas de lavas andesíticas de la formación Ichicollo.

Stock intrusivo Diorítico

Domina la zona Central del área estudiada, formando el cerro Huatanay. Es un pequeño cuerpo plutónico de forma alargada con orientación SO-NE, sus dimensiones son de 500 x 3000 m en un área aproximada de 600 hectáreas, su formación habría sido producto de la primera etapa intrusiva del Batolito-Andahuaylas Yauri ocurrida hace 48 a 43 Ma. (Carlotto et al, 2005). La roca fresca tiene color gris oscuro de textura fanerítica fina y equigranular granítica, se compone de pequeños cristales de plagioclasas, maficos y puntos de magnetita (Fig. 3.2).

Al NE del cerro Huatanay, la diorita presenta alteración propilítica débil, la roca tiene color gris con puntos verdes asociados a cloritas, la magnetita se altera a limonita.

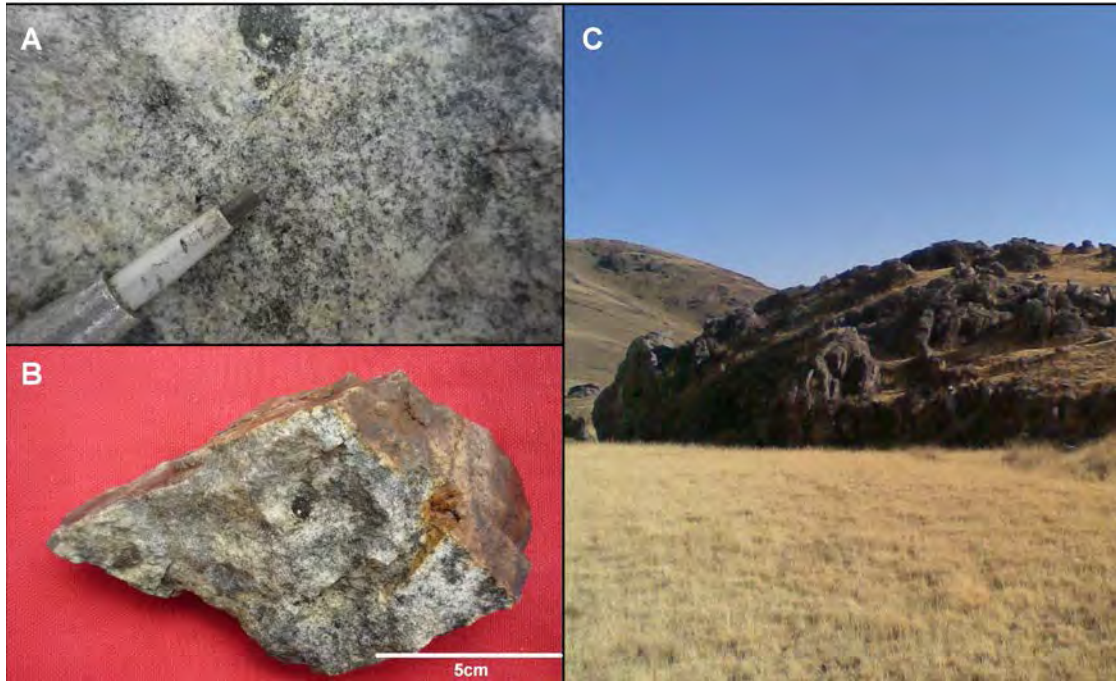


FOTO 3.3: Intrusivo Diorítico de textura fanerítica (A y B), el cerro Huatanay presenta fracturas verticales y con rumbos N30°E y N30°W.

Stock intrusivo Tonalítico

Domina toda la parte sur y este del área estudiada, formando lo cerros Ccusillo, Tambomate y Puyumarca. Es un cuerpo plutónico de forma alargada con orientación SO-NE, sus dimensiones son de 5 x 2 Km. en un área aproximada de 1000 hectáreas, su formación habría sido producto de la segunda etapa intrusiva del batolito-Andahuaylas Yauri ocurrida entre 42 a 30 Ma. (Carlotto et al, 2005). Su borde noreste se encuentra mayormente erosionado y alterado, mientras que en el borde suroeste presenta poca o nula alteración (Fig. 3.2).

Macrocópicamente presenta casi las mismas características que una granodiorita. Mineralógicamente son casi uniformes, aunque en ciertas áreas microscópicamente presenta variación de feldespato potásico, en algunos casos pasa a ser una adamelita. La roca fresca tiene color gris claro de textura fanerítica gruesa y equigranular granítica, se compone principalmente de cristales subhedrales a euhedrales de plagioclasa, granos de biotita, ojos de cuarzo y paquetes grandes y alargados de minerales máficos.

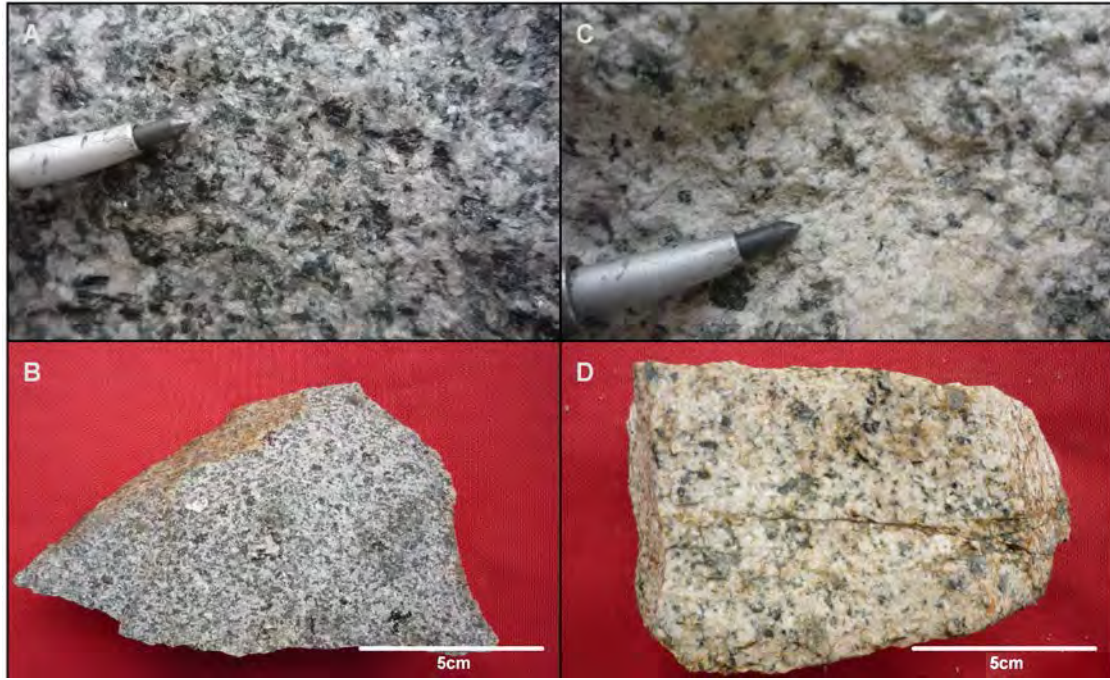


FOTO 3.4: Intrusivo tonalítico de textura fanerítica (A) las muestras fueron extraídas de los cerros Sallana y Minas (B), granodiorita propilitizada, los máficos están cloritizados y epidotizados (C) las muestras fueron extraídas del cerro Tambomate (D).

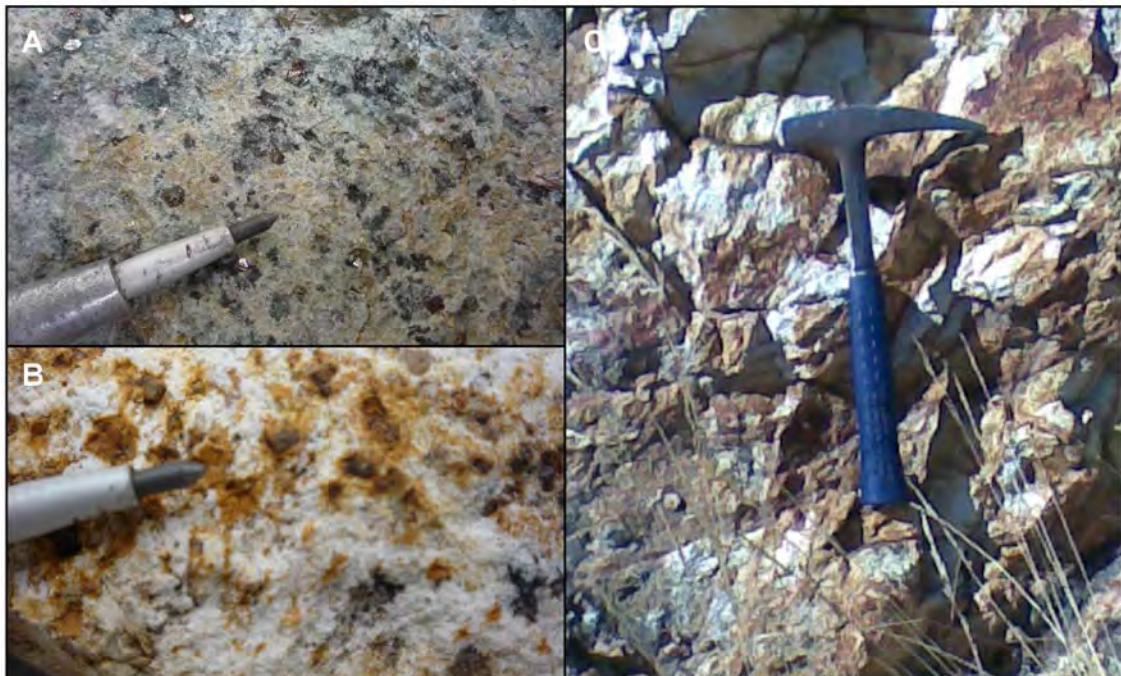


FOTO 3.5: Tonalita propilitizada con inclusiones de pirita (A), tonalita argilizada, con sulfuros limonitizados (B), las muestras fueron extraídas de las rocas argilizadas con venillas y diseminación de limonitas de los cerros Puyamarca y Nassaccara (C).

El stock intrusivo tonalítico esta cortado por 3 vetas con menas de Au, Ag, Cu y Pb. En su extremo NE, en los cerros Nassaccara y Puyumarca, presenta zonas con series de vetillas de cuarzo y disseminación de limonitas (goethita y hematita), la roca tiene color blanco amarillento con manchas y puntos rojos asociados a limonitas, debido a la alteración supérgena la roca se disgrega con facilidad. En la parte central, en los cerros Tambomate y Chuquicana, los macizos rocosos presentan débil alteración propílica y argílica, la roca tiene color blanco grisáceo con manchas y puntos verdes asociados a cloritas y epidota, las zonas altas están fuertemente meteorizadas.

3.1.3 DIQUES TARDIOS

Se encuentran cortando al stock tonalítico, sus potencias varían de 1 a 20 cm (excepcionalmente pueden ser mayores a 50 cm).

Diques aplíticos:

Se encuentran cortando el stock intrusivo tonalítico, en los cerros Tambomate, Minas, Puyumarca y Nassacara, desde su parte central aumenta gradualmente hasta su extremo NE donde se presentan con mayor densidad y entrecruzadas, siguen diversos rumbos pero los principales son N30-40°O y N50-60°E, sus potencias varían de 1 a 20 cm, en cuanto a sus longitudes varían de unos pocos a varios metros.

La aplita se presenta en cristales euhedrales de albita, ojos de cuarzo y cristales alargados de moscovita, clorita y disseminación de sulfuros (pirita, calcopirita), en su mayoría los diques presentan alteración argílica, donde presentan manchas de limonitas (goethita y crisocola), malaquita y crisocola.

Los diques aplíticos, son considerados como las últimas pulsaciones del intrusivo tonalítico y están relacionados con el fracturas y el emplazamiento de las estructuras mineralizadas.

Diques dacíticos

Se encuentran cortando al stock intrusivo tonalítico, desde su borde suroeste hasta su parte central, en los cerros Ccusillo y Lauca, siguen los rumbos N20-30°E y N80-90°O y sus potencias varían de 1 a 20 cm (excepcionalmente 50 cm), la dacita tiene color blanco grisáceo, son de textura afanítica y presentan esferulitas, los diques presentan silicificación y se componen de una masa de sílice englobando cristales de plagioclasas, cuarzo y biotita.

Los diques dacíticos son considerados como producto de los eventos volcánicos ocurridos durante el Mioceno y posiblemente estén relacionadas al aporte de fluidos hidrotermales que contribuyeron con la alteración y mineralización de Au en las vetas.



FOTO 3.6: Dacita de textura afanítica, presenta esferulitas (A y B), los diques dacíticos tienen potencia menor a 50 cm y su buzamiento es casi vertical (C).

3.2 ALTERACIONES

En Coporaque ocurren dos grupos marcados de alteraciones, la primera asociada a la actividad de las soluciones hidrotermales denominada alteración hipógena y la segunda como producto de la oxidación supérgena.

3.2.1 ALTERACIONES HIPÓGENAS

Cada alteración hipogena está ligada a una cierta temperatura de la solución hidrotermal que durante su ascenso por zonas de debilidad (fallas y fracturas) reacciona con la roca caja y produce la precipitación de minerales de mena.

Como consecuencia de esta reacción, en la roca caja se produce: la formación de nuevos minerales, recristalización de minerales y cambio de condiciones físicas en la roca. Las alteraciones hipógenas encontradas se describen a continuación:

Silicificación

Es una alteración hidrotermal de alta temperatura, esta representada por una capa de diseminación de cuarzo en la roca caja, la cual oblitera su textura original.

La silicificación es fuerte y localizada cerca de las vetas (Tambomate, Pucamocco, Nasaccara y Minas), el halo de alteración varía de 0,5 a 2 m, comúnmente ocurre dentro de las vetas como fragmentos de roca caja silicificados englobados por un relleno de cuarzo, en la roca caja se le reconoce por su dureza (no se raya con la cuchilla) y ocurre como diseminación y microvenillas de cuarzo junto con algunos puntos de sulfuros (pirita) y limonitas.

Con menor intensidad se observa en las zonas con series de vetillas del borde NE del stock tonalítico, en estas zonas se presenta en forma de halos poco potentes, los cuales son físicamente más competentes que la tonalita argilizada (Fig. 3.3).

Alteración argílica

Es una alteración hidrotermal de temperatura intermedia (200 °C a 250 °C), se caracteriza por la presencia de diferentes tipos de arcillas (se distinguen caolinita y sericita) que son el resultado de la alteración de los feldespatos en los intrusivos.

La alteración argílica se extiende con intensidad por el borde NE del stock intrusivo tonalítico (cerros Nasaccara y Puyumarca), donde produce una roca blanca de textura terrosa y disgregable al ser cogida con la mano, mineralógicamente las arcillas han reemplazado a los feldespatos, hay algunos cristales de cuarzo y tanto los máficos como los sulfuros se han alterado a limonitas.

Se encuentra con menor intensidad y junto con alteración propilitica (telescoping) en los cerros Chuquicana y Tambomate, en la parte central del stock intrusivo tonalítico y en el cerro Pucamocco afectando capas de las lavas andesíticas, aquí la alteración produce una roca blanca casi compacta, con menor reemplazo de arcillas en los feldespatos, los máficos se han alterado a clorita y epidota (Fig. 3.3).

Alteración propilitica

Es una alteración hidrotermal de baja temperatura (generalmente 180 °C a 220 °C), se encuentra en las partes periféricas bordeando a la alteración argílica como una franja concéntrica o junto con esta (telescoping), está representada por el reemplazamiento de cloritas, epidota y calcita.

Se observa con mayor intensidad (de forma pervasiva) en los cerros Chuquicana y Tambomate, en la parte central del intrusivo tonalítico y en el cerro Pucamocco afectando a las capas de lavas andesíticas, en esta zona la alteración produce una roca verde con algunos relictos del protolito original, la clorita, actinolita y epidota se presenta reemplazando a los máficos y como matriz, además hay venillas de calcita y diseminación de piritita (Fig. 3.3).

Con menor intensidad se encuentra en las capas de lavas andesíticas del borde oeste del área estudiada, aquí la alteración se encuentra como venillas e impregnaciones de clorita y epidota en las rocas inalteradas.

3.2.2 ALTERACIÓN SUPÉRGENA

La alteración supérgena es un proceso de reequilibrio de la mineralogía hipógena (hidrotermal) a las condiciones oxidantes cerca de la superficie terrestre (sobre el nivel de las aguas freáticas). La mayoría de las asociaciones de minerales silicatados, carbonatados y sulfurados son inestables en estas condiciones y se descomponen o intemperizan para originar una nueva mineralogía estable a estas condiciones.

El agua meteórica interviene en la mineralización y en la alteración supergena de las estructuras mineralizadas, aportando iones metálicos de la superficie. Juega un papel importante en la meteorización química de las estructuras mineralizadas, produciendo una zona lixiviada de unos pocos metros de profundidad y con la acción del oxígeno se produce una zona de oxidación que desciende hasta la napa freática.

En las estructuras con oro, se produce una liberación del metal valioso que facilita su proceso metalúrgico, además de producirse una concentración residual de Au asociada a óxidos insolubles, aumentando la ley original de Au en la zona de oxidación.

En el área estudiada es muy frecuente este tipo de alteración y se observa en las partes altas de los cerros (Fig. 3.3), como producto tenemos:

Alteración supérgena en vetas y zonas con series de venillas: Arcillas, Cu supérgeno (malaquita, crisocola, etc.) y limonitas.

Alteración supérgena en el intrusivo tonalítico: Arcillas de composición montmorillonítica muy deleznable junto con limonitas.

Alteración supérgena en el intrusivo diorítico y las andesitas: El intemperismo es débil con presencia limitada de arcillas y limonitas.

En las zonas bajas predomina la meteorización, controlada por el nivel freático, grado de fracturamiento y porosidad de las rocas, ocasionando que estas se descompongan, generando limonitas, cloritas y arcillas, que forman suelos de arcillas colmatados de agua y cubiertos por vegetación.

3.3 MINERALIZACION

Los depósitos minerales presentan formas variadas, esto depende de la influencia de los controles de mineralización, los más importantes en el área de estudio son:

El control estructural, dado por fallas y fracturas que generan zonas de debilidad en las rocas, por donde fluyen las soluciones mineralizantes, produciendo *vetas masivas* y *series de vetillas mas finas*, las cuales se pueden encontrar entrecruzadas o paralelas.

El control litológico, dado por el tipo de roca, rocas con ciertas texturas presentan mayor permeabilidad o es mas fácil que se generen zonas de debilidad por donde fluyen las soluciones mineralizantes.

El control hidrotermal, dado por los parámetros que controlaron el ascenso de la solución hidrotermal (temperatura, presión, influencia de aguas meteóricas).

3.3.1 VETAS MASIVAS

En el área de estudio se han reconocido cuatro vetas, de las cuales 3 están localizadas en el stock intrusivo tonalítico, sus rumbos coinciden con los rumbos de las fallas tensionales (N40-70°E) y dextrales (N20-30°E y N80-90°E), la otra se localiza en lavas andesíticas y su rumbo coincide con el rumbo de las fallas compresionales (N25-45°O).

Veta Tambomate

Se ubica en el cerro Tambomate, en el stock intrusivo tonalítico, presenta una orientación N55°E y se inclina 78°NO, en algunas partes se adelgaza y se ensancha, también tiene formas cimoides, la estructura principal aflora en 50 m y tiene una potencia promedio de 1.5 m, pero en partes llega hasta 9 m, la estructura principal tiene una composición compleja hacia las cajas esta conformada por brechas con fragmentos de roca caja (tonalita con alteración hipógena) englobados en matriz de calcita y cuarzo.

La zona central se compone por varias bandas crustiformes de grano grueso, se reconocieron las siguientes: 1) cuarzo con granos de pirita; 2) óxidos de Mn; 3) cuarzo con diseminación de calcopirita; 4) cuarzo con granos de galena y esfalerita y 5) sílice con specularita. Las bandas tienen espesores que varían de pocos milímetros a varios

centímetros. Las reservas calculadas en el año 1990 (según Cadenas J.) son 44 mil TM con 12 g/TM Au, 2.5 onz/TM Ag y 2.5 % Cu. (Fig. 3.2 y Fig. 3.4)

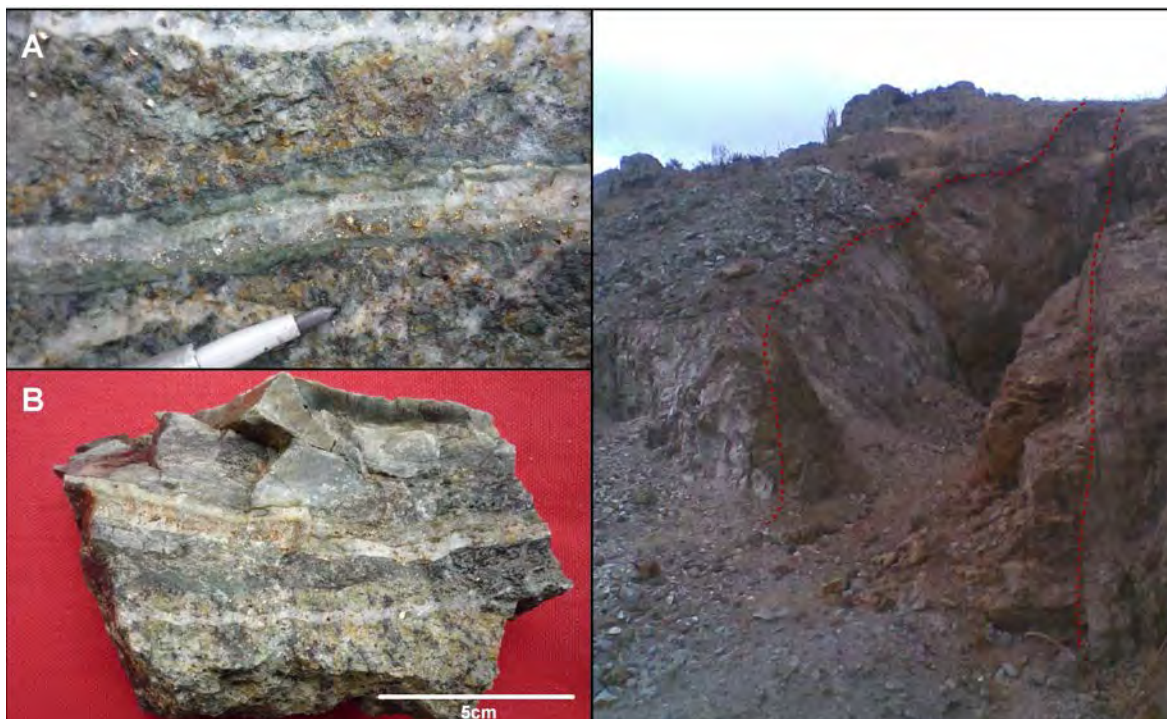


FOTO 3.7: Bandas crustiformes compuestas de cuarzo y calcita con diseminación de pirita (A y B), labor minera en la zona mas amplia de la veta Tambomate (C).

Veta Nasaccara

Se ubica en la parte central del cerro Nasaccara, emplazada en el stock intrusivo tonalítico presenta una orientación N75°O y inclinación 80°N, aflora en 50 metros y en partes y se adelgaza y ensancha, tiene una potencia que varía entre 0.6 y 2 m.

La veta se compone; hacia sus cajas por brechas con fragmentos de roca caja (tonalita argilizada y silicificada) englobados en una masa terrosa compuesta por cuarzo, calcita, arcillas y limonitas, y en la zona central por bandas de sílice roja con diseminación de espeularita. Las reservas calculadas en el año 1990 (según Cadenas J.) son 4 mil TM con una ley promedio de 9 g/TM Au, 1.5 onz/TM Ag (Fig. 3.2 y Fig. 3.5).

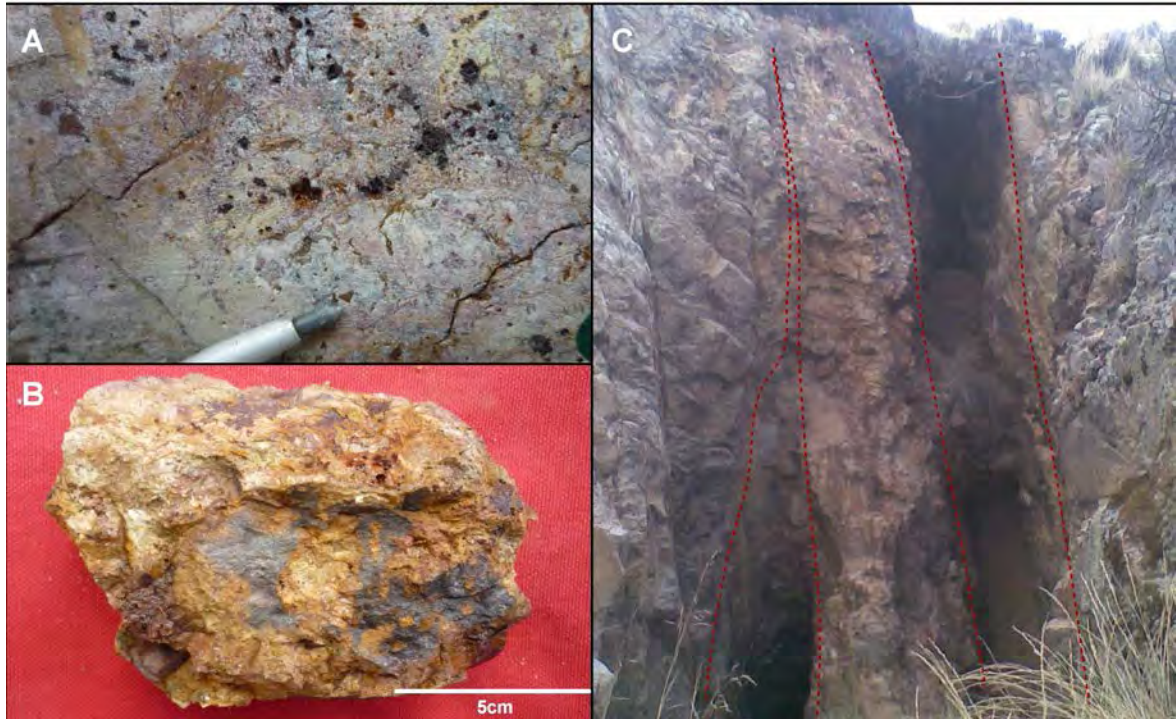


FOTO 3.8: Roca caja (tonalita silicificada) se observan cavidades rellenas de goethita provenientes de sulfuros (A), muestra de la veta compuesta por una masa terrosa de limonitas con cuarzo y calcita (B), labores mineras en un lazo cimoide de la veta Nasaccara (C).

Las vetas de Tambomate y Nassaccara corresponden a la Mina abandonada “Joyel Brillante”, fueron trabajadas desde el año 1984 por el Sr. Emilio Ramos Valdivia, obteniendo a pequeña escala concentrados de oro y plata. Actualmente las operaciones mineras han sido abandonadas y es difícil su rehabilitación, se estima que durante 6 años de operación, se extrajeron aproximadamente 600 TM de mena (BMP, 1980).

Veta Minas

Se ubica en la parte Sur del cerro Minas, emplazada en el stock intrusivo tonalítico, presenta una orientación N85°E y se inclina 76°NO, aflora en 20 m y se ramifica en su extremo este con una orientación N60°E, en la estructura principal tiene una potencia de hasta 1.6 m y en sus ramales tiene un espesor de hasta 0.1 m.

La veta esta conformada hacia sus cajas por delgadas brechas con fragmentos de roca caja (tonalita argilizada y silicificada) englobados en sílice, y en la zona central por bandas de grano grueso de galena y esfalerita en ganga de cuarzo, calcita y limonitas. Se han realizado labores mineras artesanales, pero se desconocen los recursos extraídos, la veta presenta una ley promedio de 14 onz/TM Ag y 1.6% Cu. (Fig. 3.2)

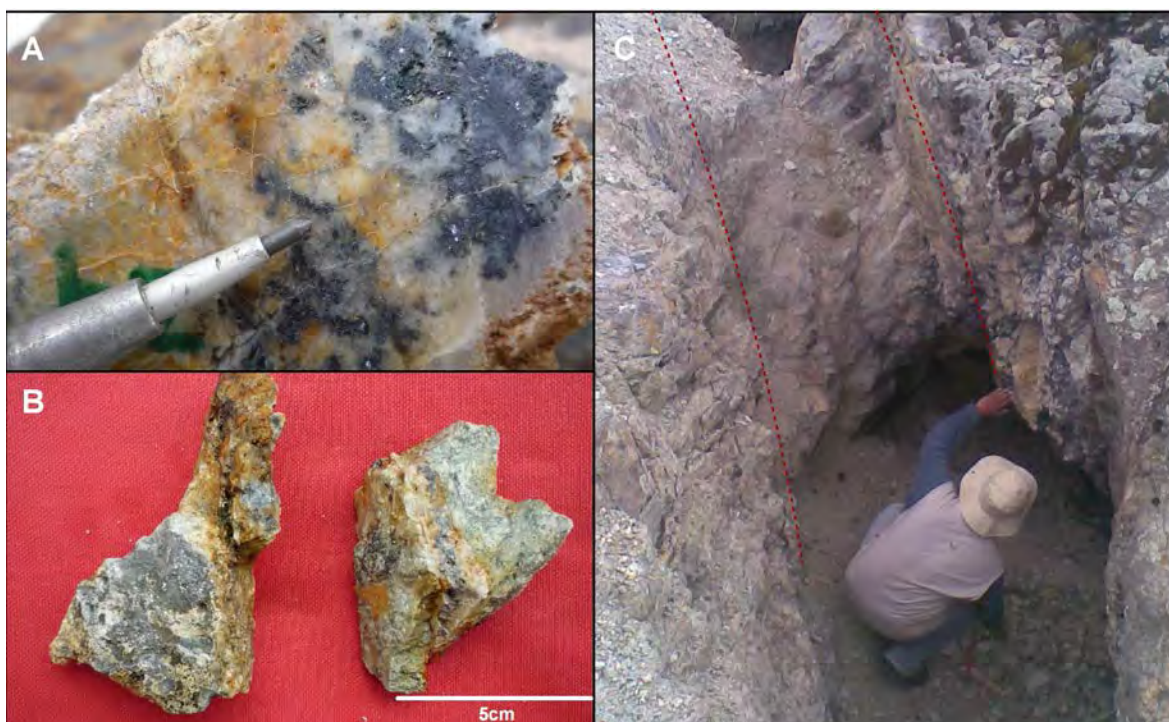


FOTO 3.9: Banda irregular de galena en cuarzo, calcita y limonitas (A), muestras de la brecha que se encuentra a los lados de la roca caja, presenta fragmentos de roca caja englobados en sílice B), labores mineras en la estructura principal de la veta (C).

La veta presenta algunos factores que hacen mas costosa su explotación, como su escasa elevación en el cerro con respecto a la pampa (casi no tiene encampane) y su inclinación que aumenta a medida que profundiza, además de presentar corto afloramiento (se ramifica hacia el este y se pierde hacia el oeste).

Veta Pucamocco

Se ubica en la parte Norte del cerro Pucamocco, emplazada en lavas andesítica-basálticas, presenta una orientación N35°O y se inclina 82°NE, aflora en 100 m en algunas partes se adelgaza y se amplia (tipo rosario) tiene una potencia que varia de 0.2 a 4 m, (aunque en la mayor parte de su afloramiento es delgada).

La veta está conformada por una brecha con fragmentos subangulosos de andesita con alteración hipógena, la matriz presenta diseminación de sulfuros (Pirita y Calcopirita) y manchas de Malaquita, Crisocola y Limonitas, junto con gangas de cuarzo y calcita. Se han realizado cateos y labores mineras, pero se desconocen los recursos extraídos, la veta tiene una ley promedio de 3 onz/TM Ag y 3% Cu. (Fig. 3.2)

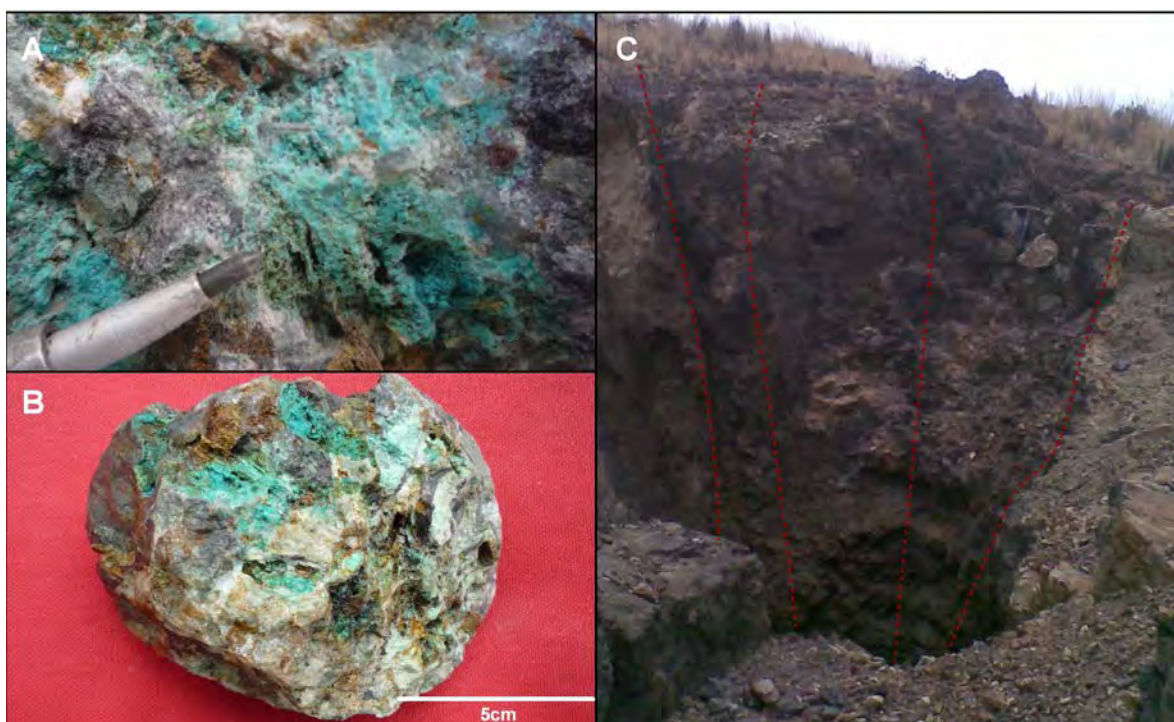


FOTO 3.10: Brecha hidrotermal, compuesta de fragmentos de andesita impregnada con limonitas y crisocola englobados en una matriz de cuarzo gris (A y B), la veta Pucamocco presenta zonas favorables donde ha sido explotada por su potencia (C).

Así como la veta Minas, ésta veta presenta factores que hacen más costosa su explotación, como la poca potencia que presenta en la mayor parte de su afloramiento y el adelgazamiento en profundidad, sin embargo la veta ha sido explotada en las zonas donde presenta mayor potencia.

3.3.2 ZONAS CON SERIES DE VETILLAS

Se encuentran en los cerros Nasaccara y Puyamarca, ubicados en el borde NE del intrusivo Tonalítico, las vetillas afloran en tramos cortos y presentan una potencia de hasta 0.1 m, están compuestas por una mezcla de sílice, arcillas y limonitas, se agrupan en series enmarañadas (tipo stockwork) y series casi paralelas (tipo sheeted-veins), la roca caja presenta silicificación débil y diseminación de limonitas (Fig. 3.2).

Las zonas que contienen estas series de vetillas tienen formas alargadas, orientación SO-NE y se presentan en áreas reducidas que alcanzan algunas decenas de metros.



FOTO 3.11: Vetilla con halo débil de silicificación (A y B), se observan en zonas con roca caja disgregable (tonalita argilizada) (C).



FOTO 3.12: Serie de venillas paralelas (Ay B), se encuentran en zonas fracturadas y cercanas a una estructura mayor (falla o veta).

CAPITULO IV

ESTUDIO MICROSCOPICO

4.1 METODOLOGIA Y ASPECTOS GEOLOGICOS

4.1.1 METODOLOGIA

El estudio microscópico fue realizado por el autor de la tesis, con la supervisión del Ing. Carlos Rojas León en el laboratorio de microscopia de la escuela de Geología de la Universidad Nacional de Ingeniería. El trabajo se realizó durante 5 días en el mes de diciembre del 2009, se analizaron 3 muestras en secciones delgadas y 6 muestras en secciones pulidas con el microscopio “*Olympus Bx 50*”.

MUESTRA	SECCION	ESTE	NORTE	OBSERVACIONES
Muestra 01	Delgada	229226	8359936	Tonalita con débil propilitización.
Muestra 02	Delgada	226638	8360902	Andesita propilitizada.
Muestra 03	Delgada	228964	8361066	Dique dacítico silicificado.
Muestra 04	Pulida	226634	8360902	Veta Puccamoco: zona central.
Muestra 05	Pulida	226636	8360903	Veta Puccamoco: brecha hidrotermal.
Muestra 06	Pulida	229271	8359939	Veta Minas: zona central.
Muestra 07	Pulida	229271	8359938	Veta Minas: brecha hidrotermal.
Muestra 08	Pulida	228962	8361063	Veta Nasaccara: zona central.
Muestra 09	Pulida	228965	83611062	Veta Nasaccara: zona central.

Tabla 4.1: Descripción de las muestras estudiadas con microscopio.

En las secciones delgadas se mencionan una serie de texturas petrológicas, con lo cual se clasifico a las rocas caja y se interpreto su formación, solo se estudiaron rocas intrusivas y volcánicas lavicas, por ello se utilizaron los criterios texturales empleados en “rocas ígneas no fragmentadas” (según Castro, 1989), los cuales son: el grado de cristalinidad, el tamaño y forma de los cristales y sus relaciones intergranulares.

Además se determinaron las texturas de los minerales de mena en las vetas, con lo cual se interpreto la secuencia paragenética del yacimiento, solo se estudiaron minerales de mena generados a partir de soluciones hidrotermales, por ello se utilizaron los criterios texturales empleados en “yacimientos precipitados a partir de soluciones hidrotermales (según Maksaev, 2001), los cuales son: texturas de cristalización, el tamaño y la forma de los cristales y su relación con otros minerales.

4.1.2 ASPECTOS GEOLOGICOS

La roca caja

La mineralización esta ligada a fallas y fracturas que cortan al stock intrusivo tonalítico, el cual presenta todas las características de un magma de composición calcoalcalina que cristalizó a profundidad (textura holocristalina fanerítica) y que tuvo un enfriamiento lento (cristales hipidiomorficos y equigranulares). Excepcionalmente, la mineralización se encuentra alojada en fallas y fracturas que cortan capas de lava andesítica, la cual presenta las características de una lava básica y de baja viscosidad (bajo contenido en SiO₂), la cual ha sido emplazada a una profundidad muy somera (textura holocristalina porfídica afanítica).

Es interesante considerar que la mineralización de las vetas es casi contemporánea al relleno de diques dacíticos, los cuales se han formado por flujos de lava acida y de alta viscosidad (alto contenido en SiO₂), la cual ha fluido lentamente generando esferulitas de sílice durante su movimiento (textura holocristalina esferulítica afanítica).

Las vetas

Las vetas Puccamoco, Tambomate, Minas y Nasaccara, presentan textura brechada hacia sus cajas y textura bandeada en la zona central. De la etapa hipógena se observan los siguientes minerales: cuarzo, pirita, calcopirita, arsenopirita, bornita, esfalerita, galena y specularita. Como minerales de la etapa supérgena se observan: oro nativo, cerusita, anglesita, malaquita y limonita.

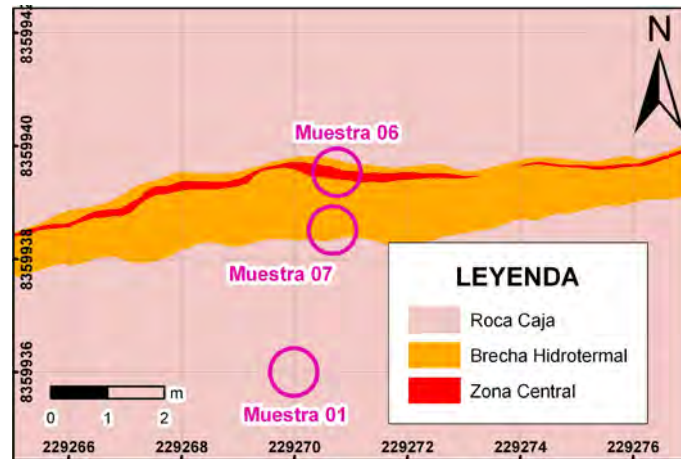


Figura 4.1: Ubicación de las muestras en la veta Minas.

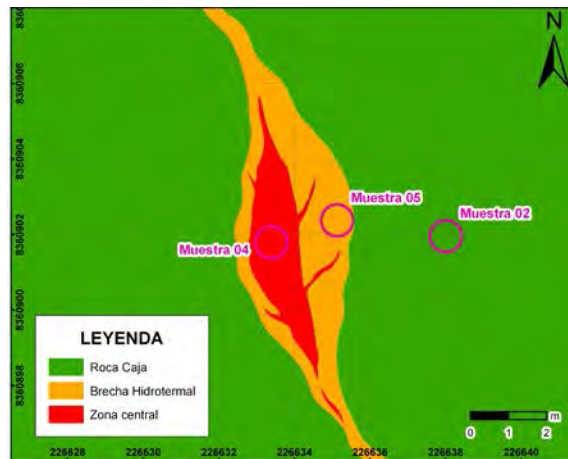


Figura 4.2: Ubicación de las muestras en la veta Puccamoco.

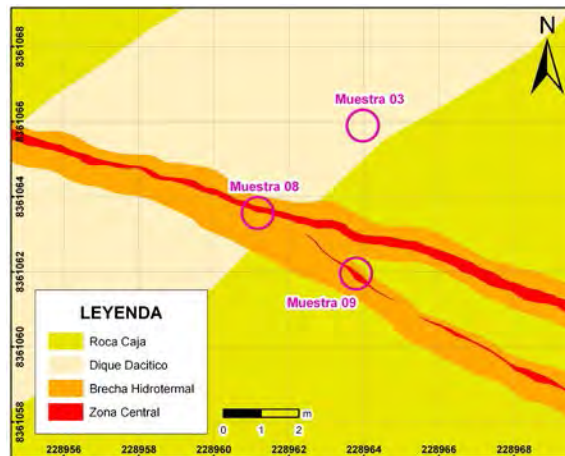


Figura 4.3: Ubicación de las muestras en la veta Nasaccara.

4.2 MINERALOGIA Y RELACIONES TEXTURALES

4.2.1 DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS

Muestra 01: Tonalita propilitizada - Cerro Minas

Textura: Roca de grano fino holocristalina fanerítica con textura hipidiomórfica equigranular.

Composición y forma de los cristales:

Minerales principales; cristales hipidiomórficos (2 a 5 mm) de plagioclasa (P ≈ 50 %) y cuarzo (Q ≈ 25 %).

Minerales secundarios; cristales hipidiomórficos (0.5 a 2 mm) de feldespato alcalino (A ≈ 10%), hornblenda y biotita (M ≈ 10 %).

Minerales accesorios; cristales idiomórficos (100 a 200 μm) de circón y opacos.

Alteraciones; propilitica (cloritización), reemplazo (en 90 %) en los cristales de hornblenda y biotita, por clorita y epidota pseudomórfica.

Nombre de la roca: Tonalita de grano fino holocristalina fanerítica con textura hipidiomórfica equigranular.

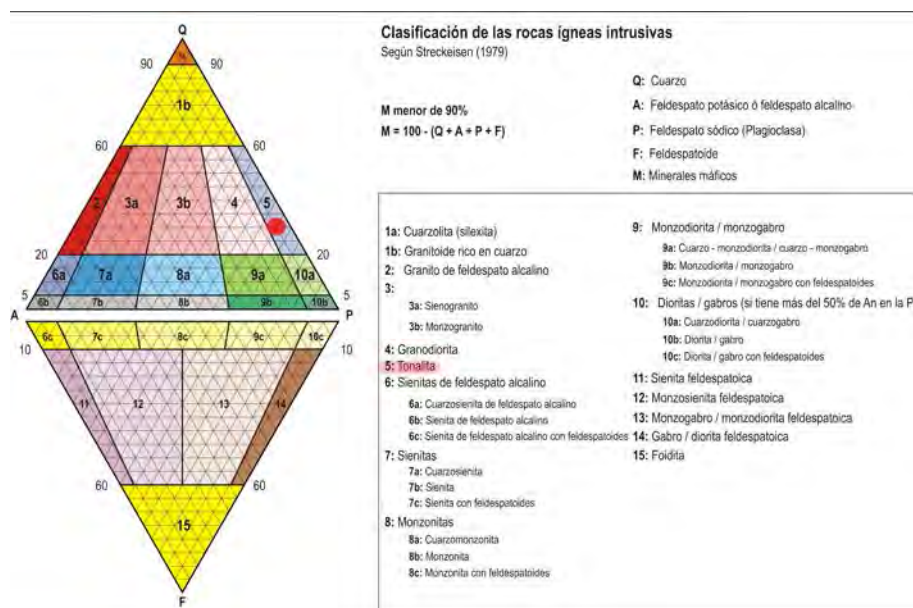
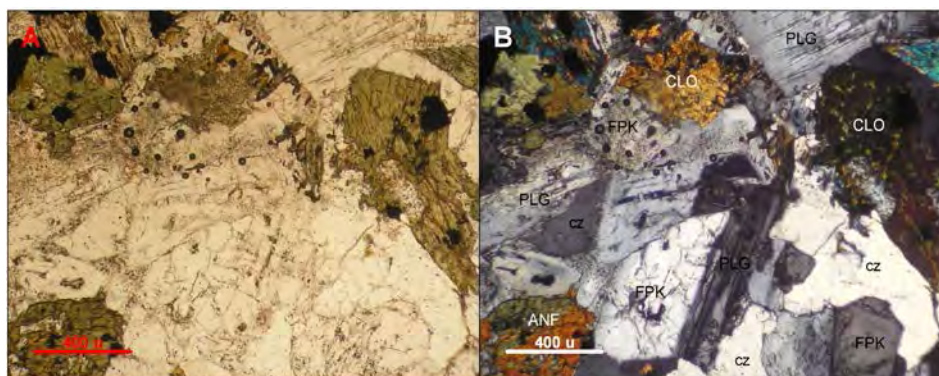
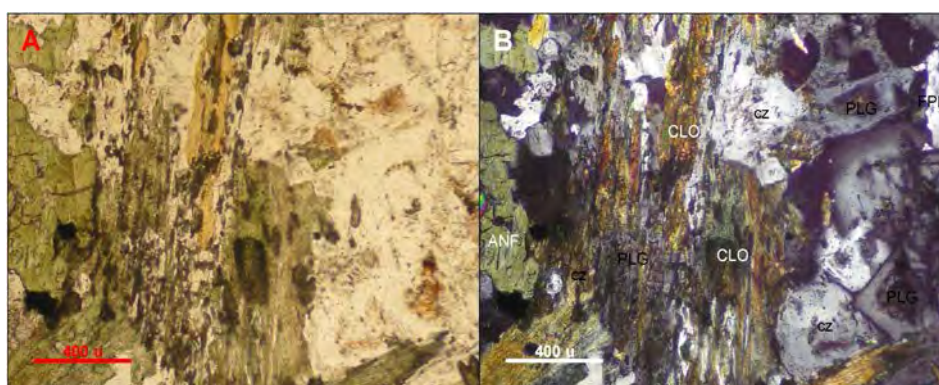


Figura 4.1: Clasificación por composición de las muestra 01 (según Streckeisen, 1979)

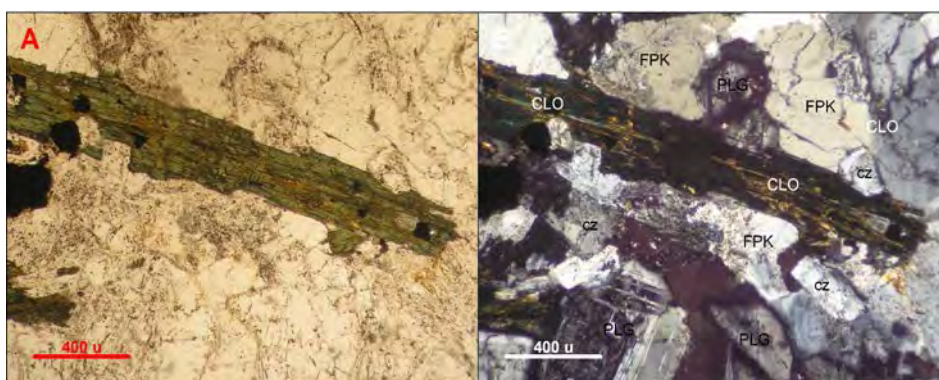
Lamina N° 1: Microfotografías de la Muestra 01.



N// (A) y NX (B): La roca se compone principalmente de cristales hipidiomórficos de plagioclasas, cuarzo y feldespato potásico.



N// (A) y NX (B): Las manchas verdes corresponden a clorita y epidota pseudomórfica reemplazando a cristales hipidiomórficos de hornblenda o biotita.



N// (A) y NX (B): También se observan minerales opacos y cloritas hipidiomórficas de hábito tabular.

Muestra 02: Andesita propilitizada - Cerro Puccamoco

Textura: Roca holocristalina porfídica afanítica, con fenocristales idiomórficos englobados en matriz criptocristalina.

Composición y forma de los cristales:

Fenos; cristales hipidiomórficos (20 a 100 μm) de plagioclasa, cuarzo, hornblenda y biotita.

Matriz; criptocristalina de composición félsica (cuarzo y feldespatos).

Alteraciones; propilitica (cloritización), reemplazo (en 90 %) en los cristales de hornblenda y biotita, por clorita y epidota pseudomórfica, también en algunos criptocristales de la matriz.

Observaciones; para determinar el contenido modal de Q-A-P-F fue necesario recurrir a la clasificación basada en la composición química, utilizando la tabla de aproximación de composición normativa (Norma de Rittman, 1974).

Nombre de la roca: Andesita calcoalcalina, holocristalina porfídica afanítica, con fenocristales hipidiomórficos englobados en matriz criptocristalina.

Muestra 03: Dique dacítico – Cerro Nasaccara

Textura: Roca holocristalina esferulítica afanítica, con esferulitas hipidiomórficas englobados en matriz microcristalina.

Composición y forma de los cristales:

Fenos; esferulitas hipidiomórficas (0,5 a 2 mm) de cuarzo y cristales alargados principalmente de biotita y otros de circón, apatito y esfeno.

Matriz; microcristalina de composición félsica (cuarzo y feldespatos).

Alteraciones; propilitica (cloritización), reemplazo (en 90 %) en los cristales de biotita, por clorita pseudomórfica, también en algunos microcristales de la matriz.

Observaciones; para determinar el contenido modal de Q-A-P-F fue necesario recurrir a la clasificación basada en la composición química, utilizando la tabla de aproximación de composición normativa, (Norma de Rittman, 1974)

Nombre de la roca: Dacita holocristalina esferulítica afanítica, con esferulitas hipidiomórficas englobados en matriz microcristalina.

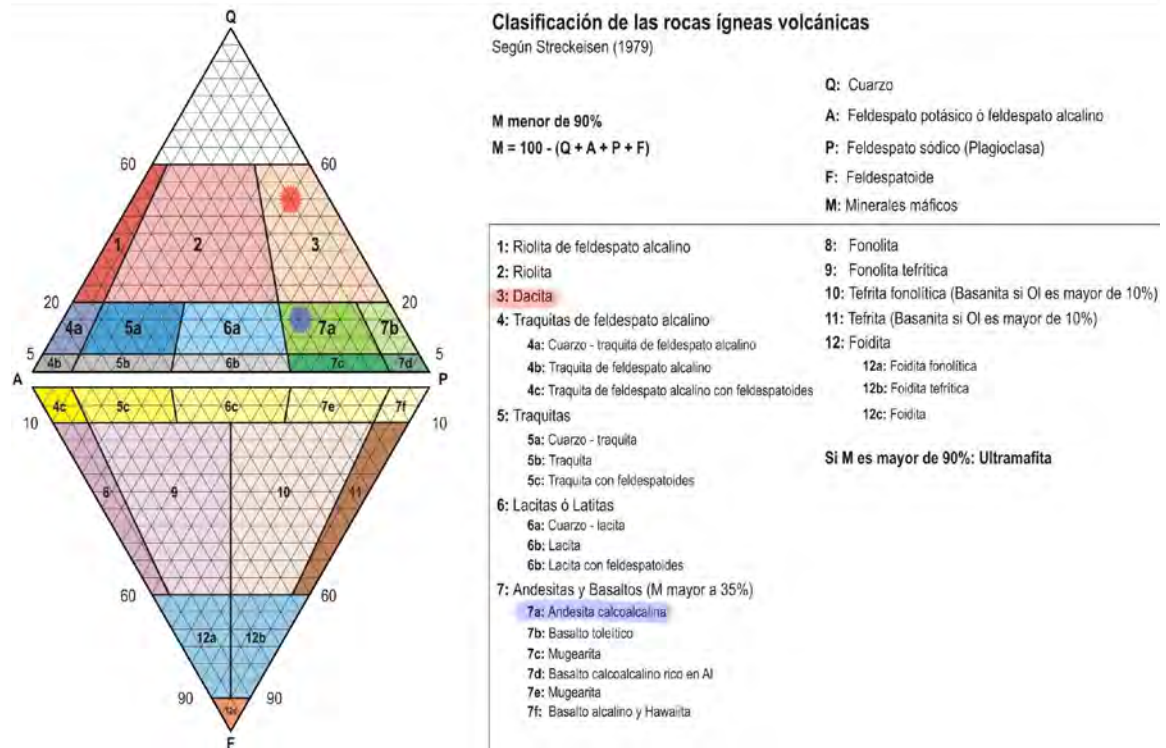
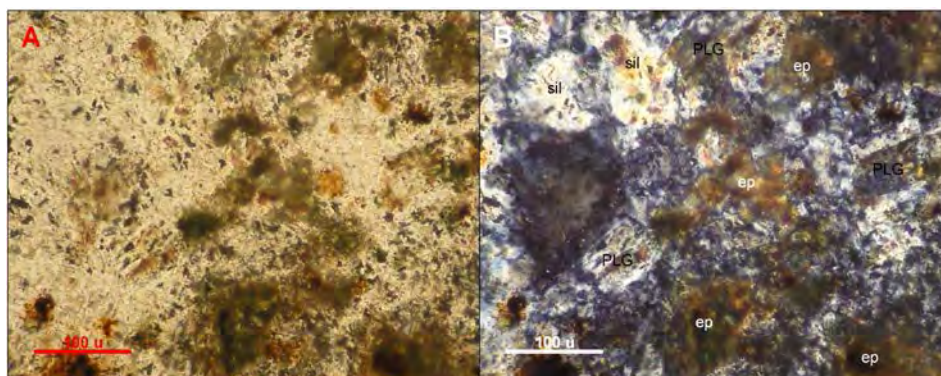
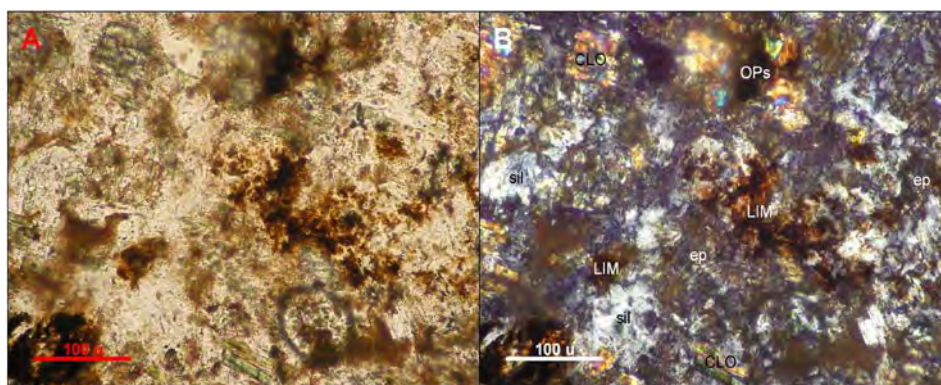


Figura 4.2: Clasificación por composición (según Strekeisen, 1979), de la muestra 02 (en rojo) y de la muestra 03 (en violeta).

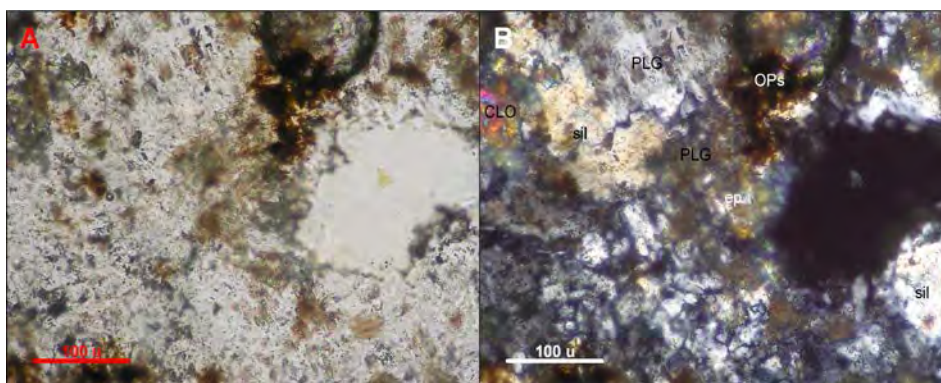
Lamina N° 2: Microfotografías de la Muestra 02.



N// (A) y NX (B): Fenocristales de plagioclasas, cuarzo, hornblenda y biotita englobados en una matriz criptocristalina de composición félsica con epidota.

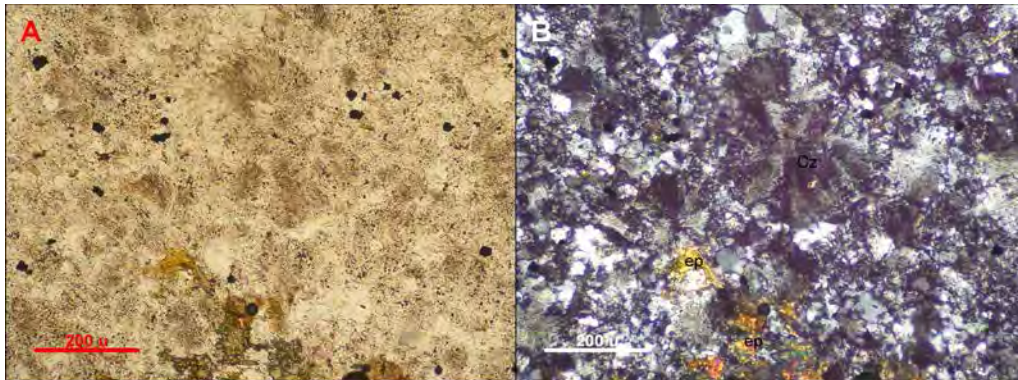


N// (A) y NX (B): Las manchas verdes corresponden a clorita y epidota en parches reemplazando a cristales xenomórficos de hornablenda o biotita.

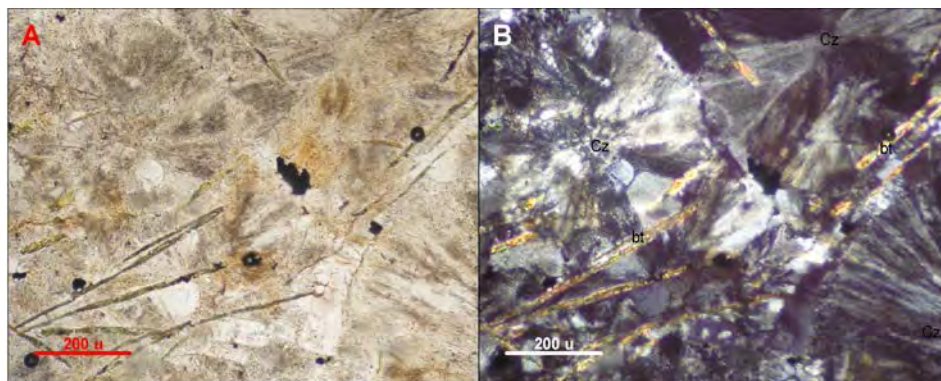


N// (A) y NX (B): se observan algunas playas e intersticios con vidrio, también algunos opacos.

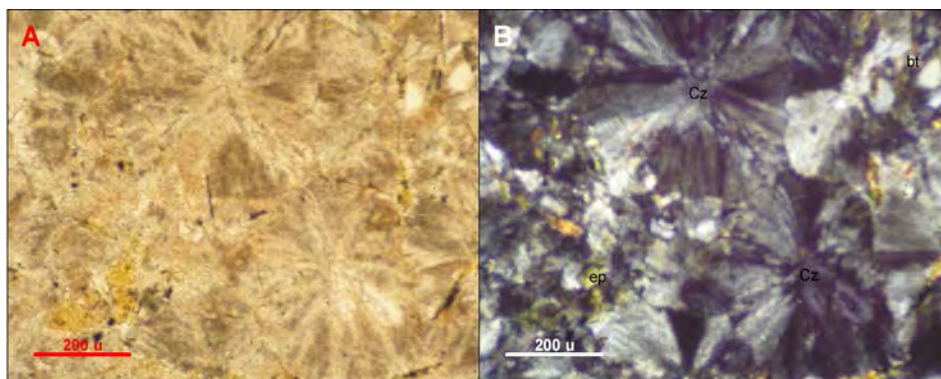
Lamina N° 3: Microfotografías de la Muestra 03.



N// (A) y NX (B): En la matriz se observan micro-cristales de minerales máficos, algunos de ellos han sido reemplazados por cloritas.



N// (A) y NX (B): Las manchas verdes corresponden a clorita pseudomórfica reemplazando a cristales hipidiomórficos alargados de biotita.



N// (A) y NX (B): Textura holocristalina esferulítica, esferulitas de cuarzo en matriz microcristalina de composición félsica.

Muestra 04 y 05: Veta Puccamoco

Descripción Microscópica:

Roca Caja: Lava andesítica (fuertemente silicificada y propilitizada) con abundante cuarzo y diseminación de clorita, carbonato y pirita

Brecha hidrotermal (muestra 05): Se compone de fragmentos de roca caja englobados en matriz de cuarzo con diseminación de pirita, calcopirita y malaquita.

Zona Central (Muestra 04): Se compone de bandas de cuarzo, pirita y limonita con diseminación de calcopirita y malaquita, presenta venillas finas de cuarzo y esfalerita con galena.

Composición mineralógica:

Mena; calcopirita, galena, esfalerita y malaquita

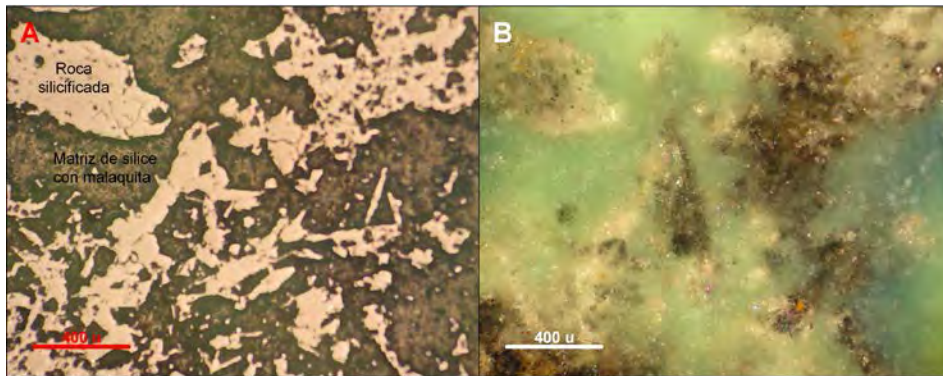
Ganga; cuarzo, pirita y limonita (hematita terrosa y goethita).

Alteración hipógena en la roca caja; cuarzo, clorita, carbonato y pirita.

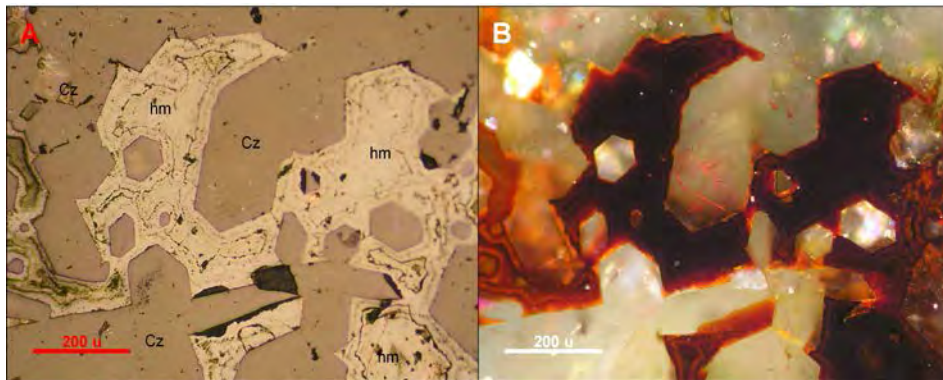
Texturas:

<i>En la brecha hidrotermal</i>	<i>En la zona central</i>
Fragmentos de roca caja silicificada con inter-crecimientos de pirita (en cristales 10 a 20 μm), parches de carbonatos y clorita pseudomórfica.	Bandas de cuarzo con inter-crecimientos de pirita (en cristales de 100 a 200 μm) y calcopirita (en cristales de 10 a 20 μm).
Matriz de cuarzo con inter-crecimientos de pirita y calcopirita (en cristales de 10 a 20 μm).	Venillas de cuarzo y esfalerita (potencia de 500 μm) con parches de galena (en cristales de 10 a 20 μm)
Parches de Malaquita en calcopirita	Limonita pseudomórfica en pirita.

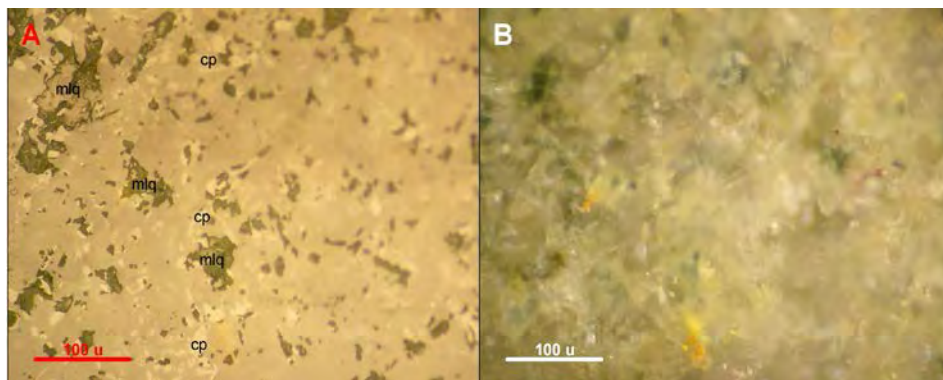
Lamina N° 4 Microfotografías de las Muestras 04 y 05.



N// (A) y NX (B): Fragmentos de roca caja (andesita silicificada y propilitizada) englobados en cuarzo con diseminación de pirita, calcopirita y malaquita.



N// (A) y NX (B): Banda de cuarzo con hematita pseudomórfica (procedente de pirita).



N// (A) y NX (B): Matriz de cuarzo con diseminación de calcopirita, se observa reemplazo de malaquita en parches.

Muestras 06 y 07: Veta Minas

Descripción Microscópica:

Roca Caja: Tonalita (fuertemente silicificada y argilizada) con abundante cuarzo y diseminación de arcilla, carbonatos y limonita (procedente de pirita).

Brecha hidrotermal (Muestra 07): Se compone de fragmentos de roca caja englobados en matriz de cuarzo con diseminación de pirita.

Zona Central (Muestra 06): Se compone de bandas de cuarzo, pirita y limonita con diseminación escasa de calcopirita y bornita, presenta venas de cuarzo, galena y escasa esfalerita (potencia de 2 a 5 cm).

Descripción Microscópica:

Mena; calcopirita, bornita, galena, esfalerita y minerales secundarios de plomo (cerusita, anglesita).

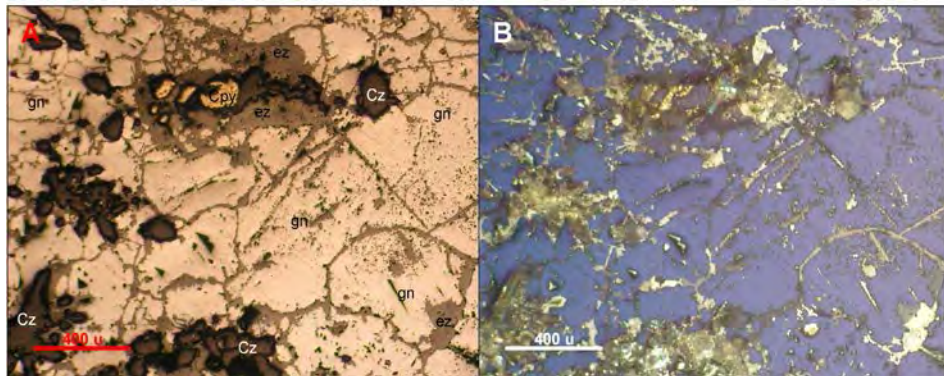
Ganga; cuarzo, pirita, limonita (hematita terrosa y goethita).

Alteración hipógena de la roca caja: cuarzo, arcilla, carbonato y limonita.

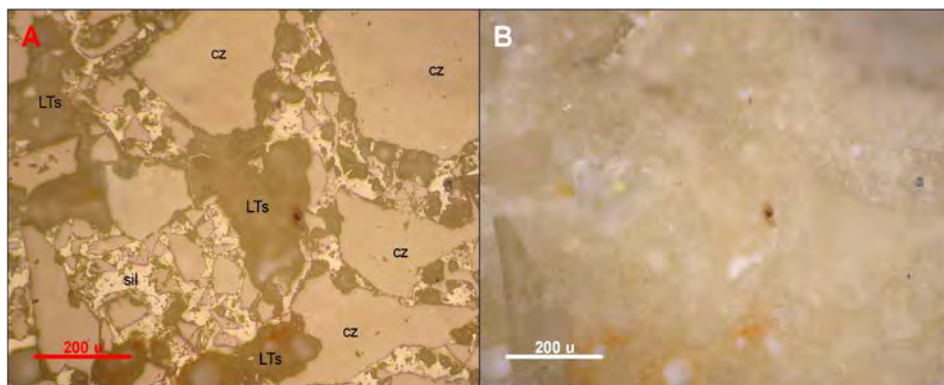
Texturas:

<i>En la brecha hidrotermal</i>	<i>En la zona central</i>
Fragmentos de roca caja silicificada con parches de arcilla y carbonato, presenta limonita pseudomórfica procedente de pirita (10 a 20 μm).	Bandas de cuarzo con íter-crecimientos de pirita, calcopirita y bornita (en cristales de 10 a 20 μm).
Matriz de cuarzo con íter-crecimientos de pirita (en cristales de 10 a 20 μm).	Venillas de grano grueso de cuarzo, galena y esfalerita.
Limonita pseudomórfica en pirita.	Formas pseudomórficas y/o parches de minerales secundarios de plomo en galena.

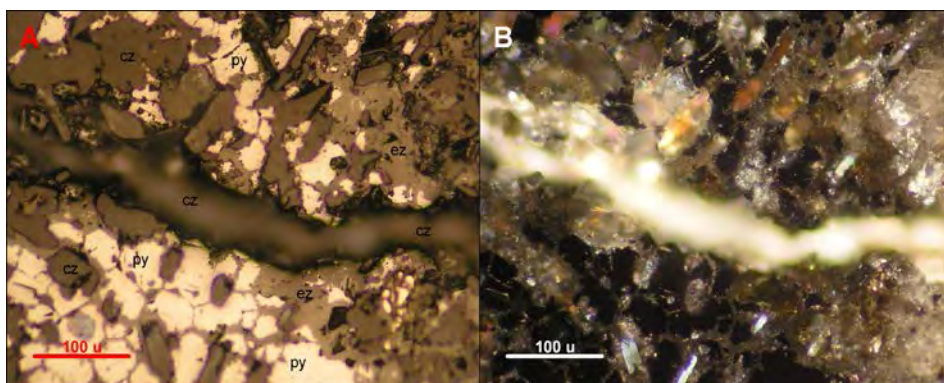
Lamina N° 5: Microfotografías de las Muestras 06 y 07.



N// (A) y NX (B): Galena parcialmente reemplazada a través de fisuras y bordes por minerales secundarios de plomo (anglesita y cerusita).



N// (A) y NX (B): En zonas no mineralizadas, la brecha hidrotermal, se compone de fragmentos de tonalita silicificada y cuarzo englobados en una matriz de sílice.



N// (A) y NX (B): Venilla tardía de cuarzo, cortando cristales de pirita y cuarzo intercrecidos.

Muestras 08 y 09: Veta Nasaccara

Descripción Microscópica:

Roca Caja: Tonalita (fuertemente argilizada y silicificada) con abundante arcilla y diseminación de cuarzo y limonita (procedente de pirita).

Brecha hidrotermal: Se compone de fragmentos de roca caja englobados en matriz de cuarzo con diseminación de limonita y malaquita.

Zona Central (Muestras 08 y 09): Se compone de rellenos envolventes de sílice y especularita en forma de escarpela, algunas capas de sílice tienen diminutos cristales de oro.

Descripción Microscópica:

Mena; Calcopirita, oro libre y malaquita.

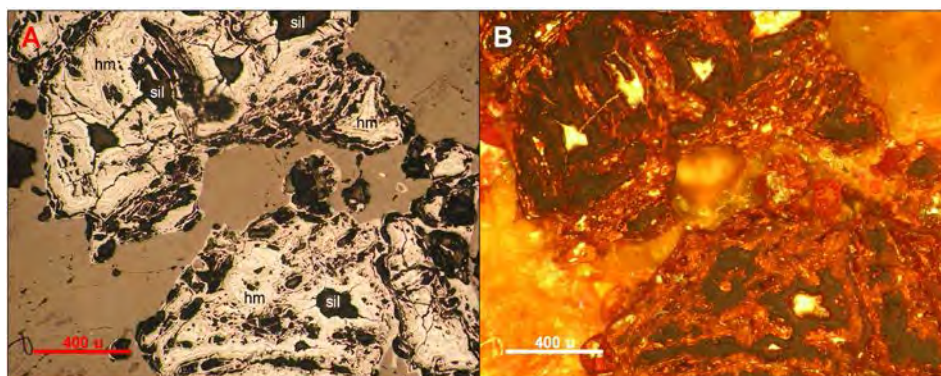
Ganga; Cuarzo, sílice, pirita, especularita, limonita (hematita terrosa y goethita).

Alteración hipógena de la roca caja: cuarzo, arcilla y limonitas.

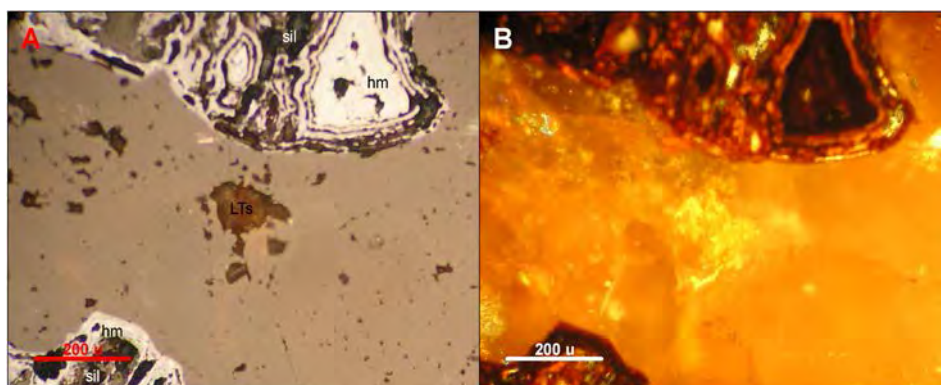
Texturas:

<i>En la brecha hidrotermal</i>	<i>En la zona central</i>
<p>Fragmentos de roca caja argilizada con una fina diseminación de cuarzo y parches de carbonato, presentan huellas de cristales (de pirita) con limonita.</p> <p>Matriz de sílice con abundante arcilla, presenta diseminación de limonita y malaquita.</p>	<p>Cristales xenomórficos de cuarzo intercrecidos con pirita y calcopirita como núcleos sobre los cuales se han producido rellenos envolventes de especularita y sílice en forma de escarpela.</p> <p>Algunas capas de sílice tienen diminutos granos de oro.</p> <p>Sílice con óxidos de hierro en su composición.</p>

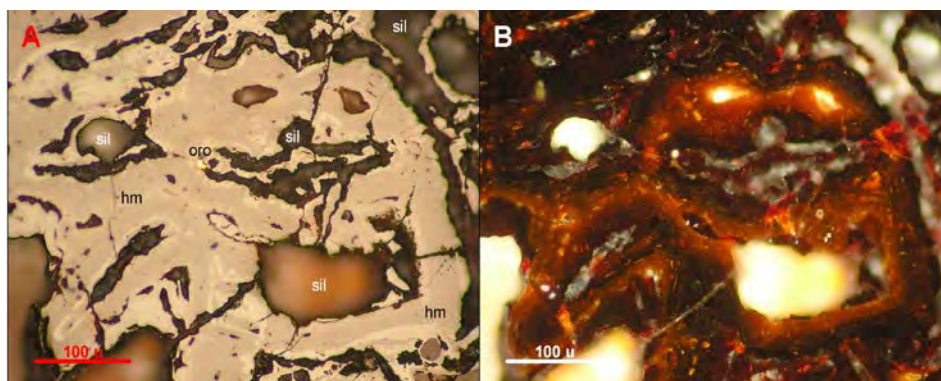
Lamina N° 6: Microfotografías de las Muestras 08 y 09.



N// (A) y NX (B): Rellenos envolventes en escarapela, con un núcleo de cuarzo xenomórfico y capas de especularita y sílice con limonitas.



N// (A) y NX (B): La matriz de la brecha hidrotermal presenta relictos de arcillas de la roca caja.



N// (A) y NX (B): En las primeras capas de sílice de los rellenos envolventes en escarapela, se pueden observar diminutos cristales de oro.

CAPITULO V

PROSPECCION GEOQUIMICA

5.1 MUESTREO GEOQUIMICO

5.1.1 METODOLOGIA DEL MUESTREO

La prospección geoquímica se realizó de manera sistemática y con herramientas convencionales (comba, cincel, pico y lampa), se extrajeron en total 200 muestras utilizando 4 tipos de muestreo (selectivo, chip, canal y trinchera), todas las muestras fueron reducidas con el método de cuarteo manual, utilizando mantas de plástico.

Las muestras fueron tomadas, tratando de completar un peso aproximado de 4 Kg., y posteriormente fueron reducidas en terreno al tamaño de chip (aproximadamente 1 cm de diámetro) y homogenizadas in situ, antes de ser enviadas a laboratorio, reduciendo el peso de la muestra a 1 Kg. aproximadamente.

De las 200 muestras de roca; 76 se extrajeron de canales, 16 de trincheras, 64 como chip y 44 se extrajeron de forma selectiva. El muestreo geoquímico se realizó en el año 2009 conjuntamente con el reconocimiento geológico, el trabajo fue llevado a cabo por los bachilleres en geología Flynn (autor de la tesis) y Ricardo Ayala. Los tipos de muestreo realizados en el campo se detallan a continuación

Muestreo selectivo

Se utilizó en la primera etapa del muestreo en afloramientos muy particulares (estructuras mineralizadas y zonas con vetillas), consiste en extraer una muestra puntual en una zona de interés, por lo general este muestreo reporta valores anómalos.

Muestreo por chip

Se utilizó para muestrear afloramientos de roca, se programó una malla de 800 x 600 m, el muestreo consistió en picar y extraer esquirlas de roca por puntos en un radio aproximado de 1 x 1 m en el afloramiento de roca.

Muestreo por canales

Se utilizó para muestrear estructuras (vetas, zonas con series de vetillas, fallas, etc.), el canal debe ser perpendicular a la orientación de las estructuras o cortar a la mayor cantidad de vetillas posible, en el muestreo realizado el ancho de los canales es de 10 cm, el largo varía desde 0,5 hasta 3 m como máximo y la profundidad de 5 cm. Las dimensiones de los canales dependen de la potencia de las estructuras, del cambio de alteración-mineralización y de la capa de roca lixiviada de la superficie.

Muestreo por trincheras

Se utilizó para muestrear estructuras mayores, consistió en tomar muestras en canales donde la trinchera corta a las estructuras, las muestras se tomaron del fondo de la trinchera. Se excavaron 2 trincheras con un ancho aproximado de 1 m y una profundidad que varía de 50 cm a 1 m.

El muestreo apunta a determinar los contenidos metálicos en los tipos de litología encontrados en la zona prospectada, teniendo en cuenta la relación espacial y el tipo de alteración que presentan. Por esta razón es que se decidió utilizar el método de líneas geoquímicas, las cuales están dispuestas de manera que corten a las unidades de interés. La distribución espacial de las muestras responde a la necesidad de cuantificar el contenido metálico, en las vetas y zonas alteradas. Además se describen los métodos utilizados para realizar un estudio geoquímico de exploración, tomando en cuenta tanto los análisis de roca como los controles realizados a los laboratorios, para asegurar la validez de los datos.

5.1.2 ANALISIS DE LAS MUESTRAS

Fueron analizadas 200 muestras de roca por ICP-AES (*Induced Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry*), para 34 elementos, con digestión por Agua Regia. Este tipo de ataque ácido no es capaz de disolver completamente la roca, razón por la cual se advierte de ciertos elementos para los cuales la digestión no es completa. Estos elementos han sido eliminados del posterior análisis estadístico.

Estas muestras fueron preparadas y analizadas por el laboratorio ALS Chemex. De las 200 muestras, 16 corresponden a controles (8 muestras estándar y 8 duplicados de terreno), que han sido analizadas independientemente para asegurar la calidad de los datos entregados por ALS Chemex.

5.1.3 MUESTRAS DE CONTROL

Las muestras duplicadas fueron generadas por el método de cuarteo manual de una muestra inicial, y han sido utilizadas para controlar todo el proceso de preparación y análisis de muestra. Las muestras estándar corresponden a roca molida bajo malla 150, las cuales fueron proveídas por la empresa Maxy Gold Perú S.A.C.

Para asegurar tanto la precisión como la exactitud de los análisis, se han insertado un total de 16 controles (cifra por debajo de lo normalmente utilizado, que corresponde al 8% de todas las muestras). De éstas, 8 corresponden a muestras estándar y 8 corresponden a duplicados de terreno.

Estándar (STD)

El estándar es un material ya pulverizado (-150 #) y que tiene un valor certificado. Corresponde a un material homogéneo con una composición similar al material que está siendo analizado. El análisis de los estándares permite detectar tendencias particulares en un laboratorio y evaluar la exactitud de los resultados. En este estudio se utilizaron muestras estándar preparadas con anterioridad por la empresa Maxy Gold Perú S.A.C.

Las muestras estándar han sido analizadas inicialmente, pero fue necesario enviarlas a analizar 5 veces más (solo por Oro y Cobre), para determinar los valores certificados

MUESTRA	ELEMENTO	Lab01	Lab02	Lab03	Lab04	Lab05	Lab06
STD01	Au ppb	916	877	893	893	890	937
	Cu ppm	3670	3620	3620	3610	3640	3660
STD02	Au ppb	943	941	862	892	956	889
	Cu ppm	3610	3600	3690	3730	3710	3590
STD03	Au ppb	886	939	841	941	851	921
	Cu ppm	3700	3660	3760	3640	3580	3720
STD04	Au ppb	924	902	918	929	869	947
	Cu ppm	3660	3670	3660	3680	3600	3510
STD05	Au ppb	853	998	960	920	919	989
	Cu ppm	3850	3610	3620	3730	3590	3640
STD06	Au ppb	869	970	903	881	829	877
	Cu ppm	3780	3630	3650	3590	3630	3690
STD07	Au ppb	931	983	878	862	888	868
	Cu ppm	3620	3570	3610	3680	3640	3610
STD08	Au ppb	910	944	913	953	861	848
	Cu ppm	3660	3580	3620	3610	3590	3620

Tabla 5.1: Resultados de las muestras estándar.

Duplicados (DUP)

El análisis de las muestras duplicadas es para determinar la reproducibilidad de los resultados, es decir, estimar la desviación que tiene el laboratorio al analizar muestras iguales. Además se utilizan como herramienta para de monitorear las rutinas de muestreo, como un esfuerzo por controlar posibles errores en las etapas de muestreo, reducción de muestras y análisis. Para lograr esto es necesario efectuar un análisis estadístico simple para originales y duplicados, y determinar la precisión y exactitud del proceso analítico.

MUESTRA	Au ppb	DUP	Ag ppm	DUP	As ppm	DUP	Cu ppm	DUP	Pb ppm	DUP	Zn ppm	DUP
MX-045	3350	2010	200,0	167,0	5064	4053	50600	30100	3500	2445	489	607
MX-053	499	231	14,9	8,0	34	14	50600	45010	5	5	27	11
MX-056	580	206	55,0	43,0	1010	1892	15300	10562	25	20	48	21
MX-080	3	3	60,0	16,5	11	5	9000	7082	375	292	1930	2748
MX-092	603	411	0,3	0,3	1010	592	66620	40780	7	5	10	10
MX-095	330	196	10,7	7,7	5064	4392	13540	9844	2110	2096	407	295
MX-004	930	1076	0,3	0,3	2417	3090	9400	7433	3500	2970	3030	2875
MX-165	8	3	0,3	0,3	45	30	1205	966	4	3	13	10

Tabla 5.2: Resultados de los pares original-duplicado

5.1.4 PRECISION Y EXACTITUD ANALITICA

Precisión es la habilidad de reproducir consistentemente una medida. Para evaluar la precisión se utiliza las “medidas de varianzas”. Exactitud es la proximidad de una medida al “valor verdadero”, el cual es siempre desconocido. Para evaluar la exactitud su utiliza las “medidas de tendencia central.

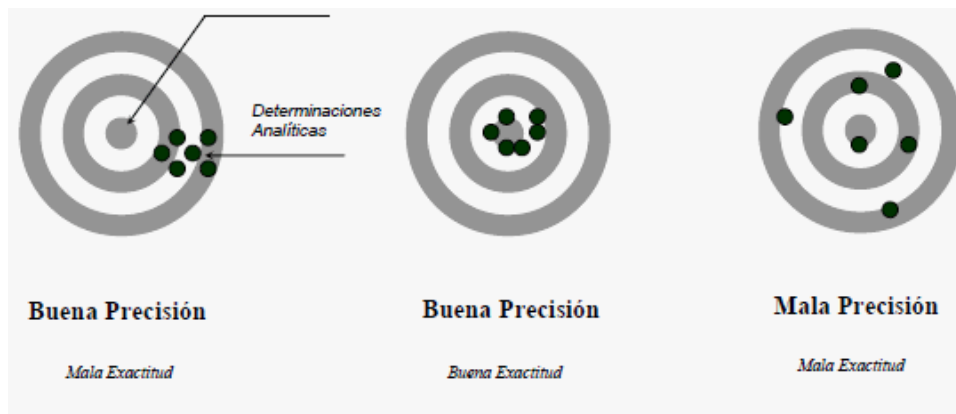


Figura 5.1: Precisión y exactitud analítica

Precisión Analítica:

Para evaluar la precisión analítica, se interpreta el coeficiente de determinación “**R²**” que resulta de las regresiones lineales de los pares de datos original-duplicado, el coeficiente de determinación **R²** debe ser mayor a 0.9 para que indique reproducibilidad de datos (**R²** = 0.9 valor crítico).

ELEMENTO	R ²	ECUACION LINEAL
Au ppb	0,92	Y = 15,64 + 1,49X
Ag ppm	0,96	Y = 7,18 + 1,17X
As ppm	0,92	Y = -107,58 + 1,1X
Cu ppm	0,93	Y = 456,04 + 1,4X
Pb ppm	0,97	Y = -4,19 + 1,22X
Zn ppm	0,94	Y = 22,59 + 0,88X

Tabla 5.3: Coeficientes de determinación y ecuaciones lineales por elemento.

Los valores de **R²** tendiendo a 1, nos indican una buena reproducibilidad. Mientras que las pendientes de las ecuaciones lineales con valores cercanos a 1, nos indican que los análisis realizados tienen buena precisión.

Exactitud Analítica

Para evaluar la Exactitud analítica se interpreta el Sesgo relativo: **S** = 100*(m - m_a)/ m_a, donde m es la media y m_a la mediana.

MUESTRA	SESGO RELATIVO Au ppb	SESGO RELATIVO Cu ppm
STD01	0,90	0,18
STD02	-0,29	0,14
STD03	-0,77	-0,09
STD04	-0,67	-0,82
STD05	-0,02	1,19
STD06	1,04	0,60
STD07	2,11	0,18
STD08	-0,73	-0,05

Tabla 5.4: Resultados estadísticos utilizados para evaluar la exactitud.

Los indicadores de Sesgo Relativo están en forma aleatoria en torno a cero (positivos y negativos), esto indica que no existe sesgo importante para las muestras estándar y duplicadas y que los análisis realizados tienen buena exactitud.

5.2 RESULTADOS GEOQUIMICOS

Los elementos que presentan una importancia como indicadores son el Oro, Plata, Cobre, Plomo, Zinc y Arsénico.

Para tener una visión más acertada de los resultados geoquímicos, éstos se han separado en diferentes grupos de muestras, los cuales son: *intrusivo*, *volcánico*, *sedimentario* y *vetas*. El grupo *volcánico* corresponde a lavas y tobas ácidas de los grupos Tacaza y Barroso. El grupo *vetas* corresponde a las muestras tomadas en vetas y vetillas mineralizadas, y sólo se ocupan como un referente del tipo de mineralización que poseen dichas vetas. El grupo *areniscas* corresponde a las rocas de la formación Hualhuani. El grupo *intrusivo* se refieren a las rocas del batolito Andahuaylas-Yauri.

5.2.1 TABLA DE RESULTADOS GEOQUIMICOS

A continuación se muestran los resultados geoquímicos de las 200 muestras extraídas del campo (Ver Tabla 4.5), solo se muestran las leyes por Au, Ag, Cu, Pb, Zn y As.

MUESTRA	ESTE	NORTE	TIPO	ROCA	Au ppb	Ag ppm	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	As ppm
MX-001	229957	8360706	Chip	Intrusivo	360	7,3	3	12	12	755
MX-002	229900	8360561	Chip	Intrusivo	54	17,6	4250	162	3400	26
MX-003	229871	8360623	Selectiva	Estructura	1256	0,4	1465	12	3	36
MX-004	229815	8360490	Chip	Estructura	930	0,3	9400	3500	3030	2417
DUP					1076	0,3	7433	2970	2875	3090
MX-005	229788	8360566	Chip	Estructura	3143	0,3	743	25	5	3175
MX-006	229762	8360746	Chip	Estructura	1635	0,5	180	3	5	119
MX-007	229745	8360485	Selectiva	Estructura	2150	0,3	10760	44	47	7079
MX-008	229678	8360989	Chip	Intrusivo	3	1,1	7	70	65	46
MX-009	229646	8360525	Chip	Intrusivo	25	0,2	2360	5	6	19
MX-010	229576	8360414	Chip	Estructura	1600	0,3	2120	13	36	5064
MX-011	229560	8360417	Selectiva	Estructura	10567	0,3	10000	8309	1270	8740
MX-012	229511	8360728	Chip	Estructura	582	0,4	60	77	18	12
MX-013	229506	8360293	Selectiva	Estructura	2700	0,3	11500	3310	8400	7081
MX-014	229457	8360467	Chip	Estructura	1717	0,3	1090	43	72	6530
MX-015	229412	8360134	Chip	Estructura	1220	34,0	24600	39	139	5063
MX-016	229410	8360265	Chip	Estructura	75	0,4	30600	10	15	43
MX-017	229325	8360704	Canal	Estructura	612	0,3	7	19	56	29
MX-018	229316	8360060	Chip	Estructura	677	100,0	1150	9000	1953	1519
MX-019	229144	8360955	Selectiva	Intrusivo	3	0,4	7	14	48	96
MX-020	229140	8360523	Chip	Estructura	810	2,0	12500	100	23	7080
MX-021	229129	8360344	Canal	Intrusivo	20	0,7	2910	47	11	28
MX-022	227086	8360267	Selectiva	Intrusivo	5	0,2	16	66	8	13

Tabla 5.5 (1ra parte): Resultados geoquímicos de las 200 muestras extraídas.

MUESTRA	ESTE	NORTE	TIPO	ROCA	Au ppb	Ag ppm	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	As ppm
MX-023	227450	8360394	Selectiva	Intrusivo	13	11,0	21	8	26	14
MX-024	227868	8360348	Selectiva	Intrusivo	5	0,2	58	15	8	13
MX-025	228021	8360023	Selectiva	Intrusivo	499	0,6	419	3	7	219
MX-026	228098	8360591	Selectiva	Intrusivo	20	0,3	83	17	35	112
MX-027	228294	8360333	Selectiva	Intrusivo	24	0,2	75	3	8	1518
MX-028	228632	8360728	Chip	Estructura	790	0,3	1090	215	3280	2026
MX-029	228655	8360718	Chip	Estructura	3046	1,6	1625	7	7	2027
MX-030	228679	8360711	Chip	Estructura	868	0,9	1120	66	2	47
MX-031	228704	8360708	Chip	Estructura	2970	0,3	15680	3880	6600	7081
MX-032	228736	8360703	Chip	Estructura	62	0,2	1540	5	18	65
MX-033	228742	8360938	Chip	Intrusivo	14	11,5	23	11	41	25
MX-034	228750	8361040	Chip	Intrusivo	12	13,9	18	13	33	24
MX-035	228756	8360825	Selectiva	Intrusivo	16	12,8	24	10	36	87
MX-036	228759	8360696	Selectiva	Estructura	1024	0,6	4500	22	25	3039
MX-037	228775	8361227	Selectiva	Estructura	783	0,3	2180	17	38	1870
MX-038	228783	8360686	Chip	Estructura	12646	25,8	1550	246	2290	10001
MX-039	228832	8361260	Selectiva	Estructura	980	0,3	6400	16	9	2978
MX-040	228047	8359323	Canal	Intrusivo	5	0,7	9	162	235	68
MX-041	228164	8359249	Chip	Intrusivo	4	0,6	54	22	92	25
MX-042	228182	8359532	Canal	Intrusivo	2	0,2	5	7	10	5
MX-043	228224	8359623	Canal	Intrusivo	239	14,8	3	26	74	406
MX-044	228329	8359912	Canal	Estructura	11510	152,4	1420	6500	1230	10001
MX-045	228365	8359937	Chip	Estructura	3350	200,0	50600	3500	489	5064
DUP					2010	167,0	30100	2445	607	4053
MX-046	228411	8359969	Selectiva	Estructura	9914	849,9	1400	22600	4250	3033
MX-047	228444	8360002	Canal	Estructura	5126	150,0	5	2300	134	3037
MX-048	228479	8360034	Selectiva	Estructura	270	0,2	2600	19	40	511
MX-049	228526	8360075	Canal	Estructura	1575	440,0	5	8200	181	3034
MX-050	228560	8360032	Canal	Estructura	660	35,2	14000	38	106	1514
MX-051	228568	8360109	Selectiva	Estructura	490	16,0	15280	29	59	985
MX-052	228572	8359677	Canal	Estructura	3	100,0	10	1460	4900	11
MX-053	228604	8360146	Selectiva	Estructura	499	14,9	50600	5	27	34
DUP					231	8,0	45010	5	11	14
MX-054	228630	8359741	Selectiva	Estructura	3	0,2	6	1600	6300	9
MX-055	228638	8360180	Chip	Estructura	1660	132,0	71	14200	6260	7084
MX-056	228671	8360219	Canal	Estructura	580	55,0	15300	25	48	1010
DUP					206	43,0	10562	20	21	1892
MX-057	228703	8360257	Canal	Estructura	629	29,8	10200	37	76	1505
MX-058	228740	8359794	Canal	Intrusivo	193	0,2	1020	40	53	290
MX-059	228775	8359930	Selectiva	Intrusivo	385	15,2	3	26	69	707
MX-060	228848	8359811	Chip	Estructura	1650	14,6	324	2154	3750	31
MX-061	228872	8359752	Selectiva	Estructura	1660	104,0	294	57300	6260	61
MX-062	228965	8359983	Selectiva	Intrusivo	3	0,5	6	14	68	110
MX-063	229000	8359559	Selectiva	Estructura	1435	449,0	1325	87000	2580	259
MX-064	229024	8359564	Selectiva	Estructura	7	35,2	1700	371	3290	21
MX-065	229046	8359567	Canal	Estructura	390	29,1	6	38	136	708
MX-066	229049	8359595	Canal	Estructura	508	180,0	1170	14300	3030	1005
MX-067	229069	8359572	Chip	Estructura	1390	530,0	2	58700	8600	712
MX-068	229077	8359600	Canal	Estructura	290	200,0	1170	5360	2800	606

Tabla 5.5 (2da parte): Resultados geoquímicos de las 200 muestras extraídas.

MUESTRA	ESTE	NORTE	TIPO	ROCA	Au ppb	Ag ppm	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	As ppm
MX-069	229092	8359576	Canal	Estructura	15	52,0	23	12	61	18
MX-070	229259	8359760	Selectiva	Intrusivo	4	0,5	6	126	310	149
MX-071	228618	8359332	Canal	Intrusivo	3	0,1	7	16	99	111
MX-072	229513	8358867	Selectiva	Intrusivo	4	0,7	9	13	36	113
MX-073	228736	8358740	Canal	Intrusivo	5	0,4	7	39	53	46
MX-074	229392	8358671	Chip	Intrusivo	4	0,1	43	18	73	3
MX-075	228674	8358251	Trinchera	Estructura	180	60,0	4600	2201	1680	405
MX-076	228798	8358201	Canal	Estructura	774	22,0	4	29	63	1540
MX-077	228823	8358152	Selectiva	Intrusivo	146	17,6	3840	226	124	3247
MX-078	228724	8358075	Trinchera	Estructura	3	0,5	4220	5	11	20
MX-079	228994	8358025	Trinchera	Intrusivo	4	0,5	15	19	54	100
MX-080	228751	8358021	Trinchera	Estructura	3	60,0	9000	375	1930	11
DUP					3	16,5	7082	292	2748	5
MX-081	228773	8357977	Chip	Estructura	7	0,2	3150	12	12	32
MX-082	228802	8357935	Chip	Estructura	215	60,0	1130	75	1910	470
MX-083	225475	8361507	Chip	Volcánico	5	0,3	14	11	21	153
MX-084	224576	8361439	Chip	Volcánico	5	0,4	41	49	504	61
MX-085	224214	8361342	Chip	Volcánico	5	0,2	4	25	21	707
MX-086	226256	8361222	Canal	Volcánico	3	0,3	7	47	159	44
MX-087	226057	8361132	Canal	Volcánico	7	0,2	19	8	6	862
MX-088	224868	8360967	Canal	Volcánico	3	0,9	5	78	140	135
MX-089	226704	8360865	Chip	Volcánico	5	0,8	6	37	98	69
MX-090	226248	8360721	Canal	Estructura	3	1,1	1155	1675	2570	9
MX-091	226302	8360669	Canal	Estructura	660	220,0	2980	30050	6260	1514
MX-092	226333	8360634	Chip	Estructura	603	0,3	66620	7	10	1010
DUP					411	0,3	40780	5	10	592
MX-093	225451	8360610	Chip	Volcánico	24	2,4	120	190	60	95
MX-094	225026	8360583	Chip	Volcánico	3	0,2	5	7	22	5
MX-095	226375	8360583	Canal	Estructura	330	10,7	13540	2110	407	5064
DUP					3	0,3	966	3	10	30
MX-096	226431	8360534	Selectiva	Estructura	213	0,2	2800	22	41	405
MX-097	226477	8360490	Chip	Estructura	3	30,6	1095	195	1125	41
MX-098	226521	8360427	Chip	Estructura	459	0,2	1065	42	115	889
MX-099	226149	8360391	Canal	Volcánico	20	12,9	30	8	35	79
MX-100	226569	8360353	Canal	Estructura	3	60,0	4000	15	103	12
MX-101	224301	8360336	Canal	Volcánico	5	0,7	55	45	186	39
MX-102	226606	8360307	Canal	Estructura	395	60,6	180	3331	4700	263
MX-103	226214	8360273	Chip	Volcánico	3	20,0	5	16	10	10
MX-104	226639	8360269	Canal	Estructura	984	201,0	13200	15040	17000	87
MX-105	225928	8360072	Chip	Volcánico	3	0,8	144	21	17	278
MX-106	226079	8360060	Canal	Estructura	989	99,1	4	22	57	12
MX-107	226928	8360059	Selectiva	Intrusivo	3	0,2	5	136	2200	8
MX-108	226127	8360048	Chip	Volcánico	43	54,0	8	39	98	2
MX-109	225772	8360008	Chip	Volcánico	307	0,2	1030	41	47	673
MX-110	225932	8359963	Canal	Volcánico	3	0,2	23	39	52	8
MX-111	225999	8359943	Selectiva	Volcánico	180	0,4	5	11	8	29
MX-112	225512	8359930	Canal	Volcánico	5	0,3	16	54	21	14
MX-113	225139	8359926	Canal	Volcánico	10	0,2	17	6	4	51
MX-114	226639	8359910	Canal	Intrusivo	5	0,2	5	23	83	40

Tabla 5.5 (3ra parte): Resultados geoquímicos de las 200 muestras extraídas.

MUESTRA	ESTE	NORTE	TIPO	ROCA	Au ppb	Ag ppm	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	As ppm
MX-115	224368	8359556	Canal	Volcánico	6	0,4	6	23	144	9
MX-116	225249	8359381	Canal	Volcánico	5	0,2	15	24	10	221
MX-117	224736	8359158	Chip	Volcánico	11	0,2	29	6	13	24
MX-118	226086	8359120	Canal	Intrusivo	3	0,2	5	9	43	7
MX-119	225875	8358429	Canal	Arenisca	3	0,2	5	8	25	6
MX-120	226091	8358202	Canal	Arenisca	3	0,2	5	8	83	8
MX-121	226113	8357295	Selectiva	Intrusivo	12	13,4	18	10	32	10
MX-122	226561	8357518	Chip	Intrusivo	3	0,2	5	10	60	7
MX-123	226592	8358336	Canal	Dique	4	1,0	7	375	426	45
MX-124	226834	8358158	Chip	Dique	7	1,0	6	12	64	191
MX-125	226848	8359020	Canal	Intrusivo	3	0,2	10	7	10	7
MX-126	226956	8357873	Canal	Intrusivo	5	0,2	123	13	16	44
MX-127	227039	8358394	Chip	Dique	3	0,1	6	206	245	3
MX-128	227047	8357485	Canal	Intrusivo	5	0,3	91	72	11	54
MX-129	227269	8357799	Chip	Intrusivo	9	0,5	15	17	67	601
MX-130	227563	8358492	Chip	Intrusivo	5	1,3	44	230	515	150
MX-131	227593	8359292	Chip	Intrusivo	7	0,5	6	13	62	20
MX-132	227673	8359504	Canal	Intrusivo	5	0,2	29	15	28	64
MX-133	227727	8358275	Canal	Intrusivo	4	0,4	42	108	189	76
MX-134	227882	8358675	Chip	Intrusivo	387	24,0	3	27	85	708
MX-135	227911	8359745	Canal	Intrusivo	3	0,2	5	8	29	6
MX-136	227923	8359024	Chip	Intrusivo	3	0,2	5	7	27	6
MX-137	228024	8358947	Canal	Intrusivo	7	0,5	43	13	24	132
MX-138	228128	8358537	Chip	Intrusivo	3	0,2	5	7	15	5
MX-139	224492	8355860	Trinchera	Estructura	330	26,8	5	36	94	707
MX-140	224294	8355912	Canal	Arenisca	290	0,2	5360	22	5	568
MX-141	224388	8355946	Trinchera	Arenisca	3	21,4	1155	197	134	1010
MX-142	224466	8356015	Trinchera	Estructura	296	26,0	4	36	136	608
MX-143	224505	8356104	Canal	Arenisca	220	1,2	51	449	311	1035
MX-144	224019	8356194	Selectiva	Arenisca	5	0,2	42	14	18	27
MX-145	224604	8356210	Canal	Estructura	800	30,4	7	39	49	2027
MX-146	224708	8356311	Chip	Arenisca	28	0,5	28	12	16	1514
MX-147	224573	8356822	Canal	Arenisca	3	0,5	5	68	127	37
MX-148	225139	8357030	Selectiva	Arenisca	4	0,8	11	17	38	111
MX-149	223949	8357094	Canal	Arenisca	31	0,3	756	4	14	76
MX-150	224409	8357425	Canal	Arenisca	3	1,3	7	23	48	23
MX-151	225407	8357556	Canal	Arenisca	5	0,7	9	71	175	35
MX-152	224723	8357866	Selectiva	Arenisca	11	0,4	12	6	11	76
MX-153	223709	8358040	Canal	Volcánico	4	0,8	9	12	55	23
MX-154	225588	8358303	Canal	Arenisca	65	0,3	659	6	16	773
MX-155	225369	8358394	Selectiva	Arenisca	9	0,8	10	7	28	22
MX-156	223291	8358538	Canal	Volcánico	4	0,2	54	66	212	229
MX-157	224780	8358715	Selectiva	Volcánico	4	0,6	9	75	68	8
MX-158	224119	8358745	Selectiva	Volcánico	2	0,2	5	6	20	4
MX-159	222875	8358829	Canal	Estructura	864	0,3	1300	141	3280	2360
MX-160	222747	8358961	Canal	Estructura	548	0,3	802	18500	17500	1545
MX-161	222800	8359065	Canal	Estructura	532	100,0	1150	6200	1910	1010
MX-162	222612	8359108	Canal	Estructura	1010	0,3	1500	600	2800	3891
MX-163	222743	8359155	Selectiva	Estructura	3	0,2	200	2400	8150	9

Tabla 5.5 (4ta parte): Resultados geoquímicos de las 200 muestras extraídas.

MUESTRA	ESTE	NORTE	TIPO	ROCA	Au ppb	Ag ppm	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	As ppm
MX-164	222821	8359190	Canal	Estructura	11	0,4	120	25200	22000	1549
MX-165	222631	8359284	Canal	Estructura	8	0,3	1205	4	13	45
DUP					196	7,7	9844	2096	295	4392
MX-166	223502	8359309	Canal	Volcánico	2	0,2	5	2	98	4
MX-167	222707	8359344	Canal	Estructura	620	60,0	4500	230	1470	1411
MX-168	223906	8364724	Chip	Volcánico	96	0,2	3790	6	12	228
MX-169	223834	8364474	Canal	Estructura	2330	0,6	1400	4	3	13
MX-170	223726	8364282	Canal	Volcánico	1285	0,5	997	4	3	405
MX-171	223545	8364179	Trinchera	Volcánico	242	0,2	2200	19	40	406
MX-172	223658	8364044	Trinchera	Estructura	3670	0,7	27	49	8	3038
MX-173	223413	8364043	Trinchera	Volcánico	470	0,2	1690	13	22	102
MX-174	223314	8363962	Trinchera	Estructura	10450	1,4	222	21	21	4407
MX-175	223752	8363866	Canal	Estructura	690	3,5	6	20	54	11
MX-176	223513	8363857	Trinchera	Estructura	4080	10,6	2500	800	213	2026
MX-177	223146	8363832	Canal	Volcánico	27	0,2	2280	5	8	13
MX-178	223353	8363742	Trinchera	Volcánico	482	0,2	4000	13	36	920
MX-179	223175	8363694	Selectiva	Volcánico	217	0,4	15	22	44	12
MX-180	221714	8363533	Canal	Estructura	2770	1,1	1490	8	2	1790
MX-181	221502	8363469	Canal	Estructura	610	14,0	40900	26	70	1011
MX-182	223770	8363419	Chip	Volcánico	11	0,6	54	12	77	66
MX-183	221672	8363398	Selectiva	Volcánico	432	0,2	7200	23	9	744
MX-184	222928	8363381	Chip	Volcánico	7	0,8	78	1000	13	13
MX-185	221569	8363336	Trinchera	Volcánico	1155	0,3	974	6	3	1198
MX-186	221656	8363268	Canal	Volcánico	146	0,2	334	7	2	202
MX-187	221359	8363238	Trinchera	Volcánico	264	0,2	2160	15	38	478
MX-188	221525	8363213	Chip	Estructura	1014	1,4	1615	80	113	5062
MX-189	222404	8363169	Chip	Volcánico	4	0,4	15	15	33	16
MX-190	221452	8363006	Trinchera	Estructura	1690	1,7	1230	9	14	2027
MX-191	221384	8362871	Chip	Volcánico	171	0,2	23	8	4	42
MX-192	222757	8362726	Selectiva	Volcánico	20	0,5	28	2	17	12
MX-193	223390	8362615	Selectiva	Volcánico	9	0,5	7	11	52	17
MX-194	223254	8362179	Chip	Volcánico	3	0,1	6	98	174	20
MX-195	223638	8361968	Canal	Volcánico	36	0,2	739	6	23	72
MX-196	222501	8361938	Chip	Volcánico	4	0,1	6	18	86	211
MX-197	223106	8361492	Chip	Volcánico	8	1,5	44	49	74	24
MX-198	223653	8361243	Canal	Volcánico	44	0,2	424	3	4	27
MX-199	222781	8360773	Chip	Volcánico	3	0,2	14	19	7	6
MX-200	223370	8360569	Selectiva	Volcánico	5	0,8	9	21	17	21

Tabla 5.5 (5ta parte): Resultados geoquímicos de las 200 muestras extraídas.

5.2.2 ANALISIS ESTADISTICO BASICO

Los indicadores del análisis estadístico básico, son ocupados como guía, sin embargo no se pueden utilizar por si solos, debido a que hay que considerar factores estructurales y evidencias de terreno para poder elaborar una guía de exploración de la zona.

1 Valor promedio (VP): corresponde a la media aritmética de los resultados.

2 Background (BG): corresponde a la mediana de los resultados.

3 Desviación estándar (σ): Se calcula como $(1/n \sum (X_i - VP))^{1/2}$, “n” corresponde al numero de muestras, y “ $\sum (X_i - VP)$ ” es la sumatoria de las diferencias entre los resultados y el valor promedio.

4 Coeficiente de variación (CV): Se calcula como σ/VP .

5 Error Standard: Se calcula como $\sigma/n^{1/2}$,

6 Threshold: Se obtiene como el $BG + 2*\sigma$, corresponde al limite superior regional.

INTRUSIVOS	Au ppb	Ag ppm	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	As ppm
Muestras	50	50	50	50	50	50
Mínimo	2,00	0,10	2,66	3,00	6,00	3,00
Máximo	499,00	24,00	4250,00	375,00	3400,00	3247,00
Valor promedio (VP)	51,09	3,50	315,42	50,56	186,50	211,18
Background (BG)	5,00	0,50	12,25	15,50	50,50	46,00
Desviación estándar	116,78	6,20	938,32	76,26	561,85	516,15
CV	2,29	1,77	2,97	1,51	3,01	2,44
Error estándar	1,53	0,35	4,33	1,23	3,35	3,21
Threshold (TH)	238,56	12,91	1888,88	168,02	1174,20	1078,30

Tabla 5.6: Análisis Estadístico básico para el grupo intrusivo.

VOLCANICOS	Au ppb	Ag ppm	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	As ppm
Muestras	51	51	51	51	51	51
Mínimo	2,00	0,10	4,00	2,00	2,00	2,00
Máximo	1285,00	54,00	7200,00	1000,00	504,00	1198,00
Valor promedio (VP)	114,01	2,10	564,06	45,90	57,39	178,25
Background (BG)	7,00	0,30	23,00	16,00	23,00	44,00
Desviación estándar	258,15	8,09	1322,41	139,95	82,66	278,66
CV	2,26	3,85	2,34	3,05	1,44	1,56
Error estándar	2,25	0,40	5,09	1,66	1,27	2,34
Threshold (TH)	523,30	16,48	2667,82	295,90	188,33	601,33

Tabla 5.7: Análisis Estadístico básico para el grupo volcánico.

ARENISCAS	Au ppb	Ag ppm	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	As ppm
Muestras	15	15	15	15	15	15
Mínimo	2,50	0,20	4,50	4,00	5,00	6,00
Máximo	290,00	21,40	5360,00	449,00	311,00	1514,00
Valor Promedio (VP)	45,40	1,93	540,85	60,80	69,93	354,73
Background (BG)	5,00	0,50	12,00	14,00	28,00	76,00
Desviación estándar	87,77	5,40	1380,66	118,48	85,06	496,02
CV	1,93	2,79	2,55	1,95	1,22	1,40
Error estándar	2,42	0,60	9,59	2,81	2,38	5,75
Threshold (TH)	180,54	11,29	2773,33	250,96	198,12	1068,03

Tabla 5.8: Análisis Estadístico básico para el grupo areniscas

VETAS	Au ppb	Ag ppm	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	As ppm
Muestras	84	84	84	84	84	84
Mínimo	2,50	0,20	2,00	3,00	2,00	9,00
Máximo	12646,00	849,90	66620,00	87000,00	22000,00	10001,00
Valor Promedio (VP)	1602,45	60,79	6051,14	5051,61	2117,17	2020,30
Background (BG)	732,00	7,05	1400,00	70,50	124,50	1010,00
Desviación estándar	2605,80	131,78	12011,50	13709,61	3961,37	2507,23
CV	1,63	2,17	1,98	2,71	1,87	1,24
Error estándar	5,57	1,25	11,96	12,78	6,87	5,46
Threshold (TH)	5943,60	270,60	25423,00	27489,72	8047,24	6024,45

Tabla 5.9: Análisis Estadístico básico para el grupo Vetas.

5.3 ESTADISTICA MULTIVARIABLE

5.3.1 CORRELACION DE ELEMENTOS

En esta sección se analizan las correlaciones entre los diferentes elementos guía. Los datos son transformados a logaritmo y luego es calculada la Matriz de Correlación de Pearson, para cada unidad litológica.

Los valores que están por sobre 0,3 son considerados regulares, mientras que los valores que se encuentran sobre 0,7 son considerados excelentes (Townley, 1999). Estos datos solamente nos entregan una guía de cómo se distribuyen estadísticamente los elementos, las altas correlaciones pueden ser atribuidas a asociaciones mineralógicas, sin embargo, esta herramienta por si sola no es indicativa de dichas asociaciones.

	Au ppb	Ag ppm	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	As ppm
Au ppb	1,000					
Ag ppm	0,483	1,000				
Cu ppm	0,097	0,322	1,000			
Pb ppm	-0,086	0,059	0,282	1,000		
Zn ppm	-0,049	0,224	0,471	0,413	1,000	
As ppm	0,363	0,407	0,419	0,213	-0,070	1,000

Tabla 5.10: Matriz de correlación para las rocas intrusivas.

	Au ppb	Ag ppm	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	As ppm
Au ppb	1,000					
Ag ppm	-0,074	1,000				
Cu ppm	0,405	-0,099	1,000			
Pb ppm	-0,102	-0,012	-0,085	1,000		
Zn ppm	-0,214	0,033	-0,187	0,014	1,000	
As ppm	0,613	-0,134	0,510	-0,111	-0,182	1,000

Tabla 5.11: Matriz de correlación para las rocas volcánicas.

	Au ppb	Ag ppm	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	As ppm
Au ppb	1,000					
Ag ppm	-0,132	1,000				
Cu ppm	0,747	0,102	1,000			
Pb ppm	0,453	0,351	-0,050	1,000		
Zn ppm	0,255	0,243	-0,209	0,899	1,000	
As ppm	0,411	0,371	0,209	0,467	0,245	1,000

Tabla 5.12: Matriz de correlación para las areniscas.

	Au ppb	Ag ppm	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	As ppm
Au ppb	1,000					
Ag ppm	0,258	1,000				
Cu ppm	-0,049	-0,068	1,000			
Pb ppm	0,057	0,617	-0,117	1,000		
Zn ppm	-0,054	0,189	-0,112	0,432	1,000	
As ppm	0,659	0,000	0,088	-0,070	-0,016	1,000

Tabla 5.13: Matriz de correlación para el grupo "Vetas".

5.3.2 DISTRIBUCION GEOQUIMICA

Un método complementario al análisis estadístico multivariable para determinar zonas potenciales para la exploración es revisar gráficamente los valores y cómo éstos se distribuyen en la zona de estudio, identificando las zonas con poblaciones anómalas.

Aparte de tener en cuenta la mineralogía de alteración es necesario hacer consideraciones acerca del comportamiento geoquímico de los elementos indicadores de mineralización Au, Ag, As, Cu, Pb y Zn (Figuras. 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, 5.10, 5.11 y 5.12).

Se establecieron 8 zonas con poblaciones anómalas las cuales son:

Tambomate-Minas (Au, Cu Ag, Pb): Se encuentra en la parte central del stock intrusivo Tonalítico, presenta las vetas Tambomate y Minas. Tiene poblaciones anómalas en Au (1.7 g/t), Ag (198 g/t), Pb (1.1 %) y Cu (0.67 %), algunas muestras en estructuras presentan valores anómalos en Zn y As.

Puyamarca-Nasaccara (Au, Cu, As): Se encuentra en el borde NE del stock intrusivo Tonalítico, presenta zonas con series de vetillas (enmarañadas y paralelas) con poblaciones anómalas en Au (1.7 g/t), Cu (0.52 %) y As, algunas muestras en estructuras presentan valores anómalos en Ag, Pb y Zn.

Pucamocco (Ag, Pb, Zn): Se encuentra al lado oeste del stock intrusivo Diorítico, en capas de lava andesítica, presenta la veta Pucamocco. Tiene poblaciones anómalas en Cu (0.67 %), Ag (46 g/t), Pb (0.3 %) y Zn (0.2 %), algunas muestras en estructuras tienen valores anómalos en Au y As.

Succachaca y Tocco tocco (Au, Cu, As): Se encuentra al norte del área de estudio, presenta zonas con vetillas enmarañadas. Tiene poblaciones anómalas en Au (2 g/t y 1 g/t respectivamente), Cu (0.2 % y 0.1 % respectivamente) y As.

Minas Huayco (Au, Zn, As): Se encuentra al oeste del área de estudio, presenta zonas con vetillas paralelas. Tiene poblaciones anómalas en Au, Zn y As, algunas muestras presentan valores anómalos en Cu, Ag y Pb.

Otras zonas con poblaciones anómalas son: **Chillarana** (Ag, Zn con menor Cu y Pb) y **Checcane** (Cu, As con menor Ag).

5.4 CONSIDERACIONES TOMADAS DE LA PROSPECCION GEOQUIMICA

1. Los resultados geoquímicos, indican que todas las evidencias de Au, Ag, Cu, Pb, Zn y As encontradas en la zona de estudio, están dentro de vetas masivas o zonas con series de vetillas. Las muestras que no corresponden a estructuras mineralizadas y sus rocas cajas, tuvieron resultados bajos y en algunos casos apenas superaron el background de su litología.
2. De las tablas de correlación de Pearson se puede señalar lo siguiente: Existe correlación Au-As en todas los grupos litológicos, sin embargo no se observo su relación mineralógica; existe alta correlación Ag-Pb en las vetas, observable en terreno por la presencia de galena argentífera; existe correlación Cu-As en las rocas intrusivas y volcánicas, observable en terreno por la asociación calcopirita-arsenopirita; existe una excelente correlación Pb-Zn en los grupos intrusivo, areniscas y vetas, observable en terreno por la asociación galena-esfalerita.
3. En cuanto a la distribución geoquímica, presenta una mayor concentración de Au, Cu y As hacia el NE del área de estudio, mientras que hacia el SO presenta una mayor concentración de Ag, Pb y Zn. Otro dato importante es la distribución geoquímica vertical en las estructuras mineralizadas, esto se observa en la concentración de Au en los niveles superiores de la veta Nasaccara y en su disminución progresiva de espesor y leyes a medida que profundiza. En las vetas Pucamocco y Minas, no hubo producción minera por debajo de los 20 metros de profundidad, debido a las bajas leyes metálicas.
4. Los resultados de las muestras duplicadas, dieron valores lejanos a su par original, esto sucedió por el método de preparación. Las muestras se redujeron al tamaño de chip (aprox. de 1 cm²) y luego fueron cuarteadas manualmente, esto comprueba que este método no es recomendable para lograr la reproducibilidad de los pares original-duplicado.

CAPITULO VI

INTERPRETACION DE RESULTADOS

5.1 INTERPRETACION GEOLOGICA REGIONAL

5.1.1 SINTESIS GEOLOGICA

A finales del mesozoico, el relieve geológico en la región, presentaba dos rasgos geomorfológicos principales; la cordillera occidental de los andes (compuesto por el arco magmático precedente) y el altiplano andino (altiplanicie que sucedió a la cuenca de retroarco del cretácico superior), ambos presentaron dos dominios paleo-geográficos que tuvieron evoluciones geológicas diferentes durante el cenozoico, la provincia se ubica en el límite de estos dos dominios, por lo cual presenta características geológicas muy particulares.

Durante el eoceno-oligoceno, movimientos dextrales ocurridos a lo largo de los sistemas de fallas regionales Cusco-Lagunillas-Mañazo (C-L-M) y Urcos-Sicuani-Ayaviri (U-S-A), ocasionan la formación de cuencas tectónicas a lo largo de estos sistemas.

Posteriormente se emplazan intrusivos de composición calco-alcalina del batolito Andahuaylas-Yauri (50-43 Ma.). En este periodo la provincia formaba parte de la cuenca Anta (cuenca de *piggy-back* formada detrás del sistema de fallas C-L-M), en esta cuenca se depositaron conglomerados y sedimentos proximales provenientes de la erosión de los intrusivos del batolito Andahuaylas-Yauri, conocidos como la formación Anta (53-44 Ma.)

Durante el mioceno, esfuerzos compresivos afectaron a los sistemas de fallas regionales Mollebamba-Caylloma-Condorama (M-C-C) y Cuzco-Lagunillas-Mañazo (C-L-M), ocasionando que las fallas jueguen como inversas y produciendo la formación de cuencas sin-orogénicas. La cuenca Yauri se origino durante este periodo, a partir de un régimen compresivo que condicione a los sistemas de fallas Langui-Descanso (sistema de fallas C-L-M) y Yauri-Ocoruro (sistema de fallas C-C-M).

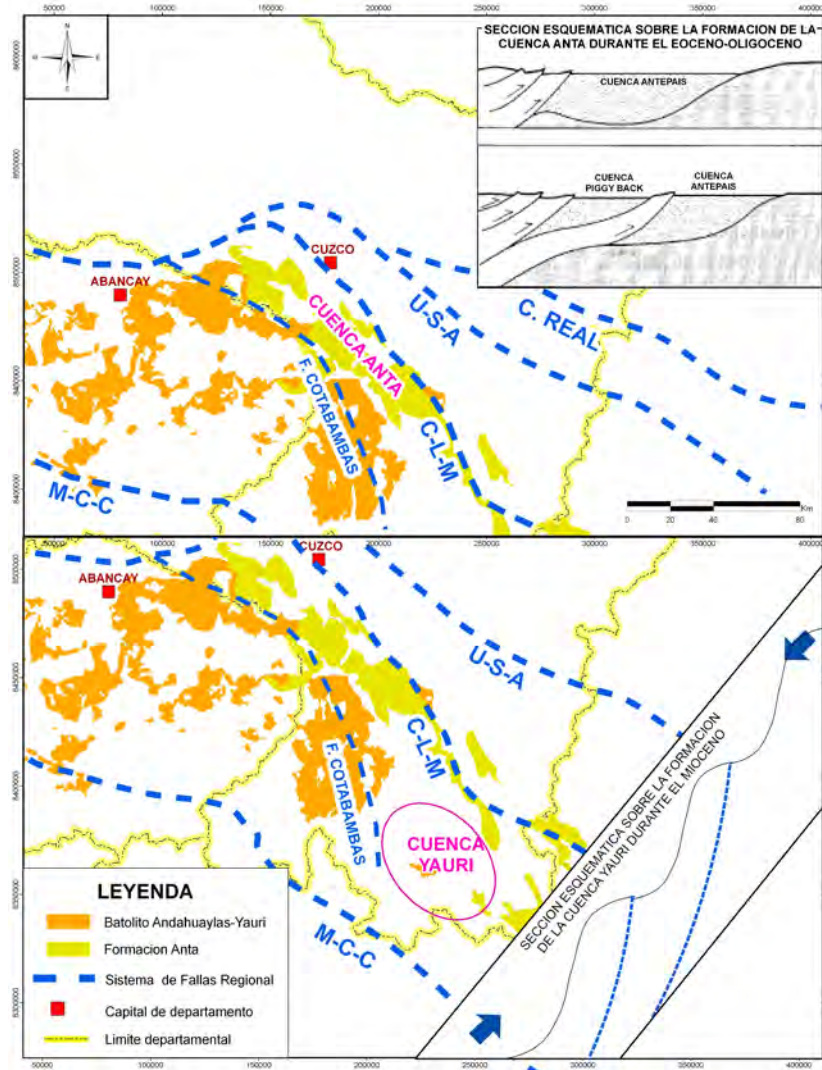


Figura 6.1: Mapa de ubicación indicando los principales factores que condicionaron la formación de las cuencas Anta y Yauri durante el eoceno- oligoceno-mioceno (hecho por Ayala, F. basado en Carlotto et al, 2009).

Posteriormente, eventos volcánicos ocurridos de forma interrumpida pero consecutiva en toda la margen activa de la cordillera occidental, emplazó el material volcánico del grupo Tacaza (30-22 Ma.) y Barroso (6-3 Ma.). Se trata de flujos de lavas y piroclásticos calco-alcalinos ligados a la subducción de las placas.

Por ultimo la cuenca Yauri es rellenada de material volcánico-sedimentario, el cual corresponde a una sedimentación aparentemente continua que se desarrolló hace 20 Ma. acompañada de niveles piroclásticos expulsados por eventos volcánicos.

5.1.2 VETAS HIDROTERMALES EN LA CUENCA YAURI

La mayoría de los filones hidrotermales conocidos en la región, están situados alrededor del margen continental activo, asociados al termalismo tardío de los eventos volcánicos que han ocurrido desde el mioceno (Velarde *et al.*, 2004).

Existe un importante control de este tipo de depósitos por parte de fallas de escala regional, sin embargo se ha observado que la mineralización se dispone de forma preferencial en fallas subsidiarias (Hedenquist & Lowenstein, 1994).

Según el INGEMMET (2009), la cuenca Yauri esta ubicada entre las franjas metalogénicas: XVI, denominada “*Franja de pórfido-skarn de Cu-Mo (Au, Zn) y Fe relacionados con intrusivos del Eoceno-Oligoceno*” y XXII denominada “*Franja de depósitos epitermales de Au-Ag y depósitos polimetálicos con superposición epitermal del Mioceno*” (Fig. 6.2)



Figura 6.2: Mapa metalogénico del sur del Perú. (Carlotto et al, 2009).

Algunos estudios geocronológicos realizados en los principales yacimientos de vetas hidrotermales de la región, dieron los siguientes resultados; Caylloma (18.35 ± 0.17 Ma.; Echavarría, 2006), Orcopampa (18.8 Ma.), Selene (14 Ma.; Palacios, 2008), Shila (13 Ma.) y Poracota (13.6 Ma.; Miranda y Vidal, 2006).

Se interpreta que las vetas y vetillas del área estudiada y alrededores, fueron formadas durante el Mioceno, esta edad es asignada con respecto a las unidades litológicas que son cortadas por las vetas y a las unidades litológicas que cubren a estas. Las estructuras mineralizadas se encuentran cortando al un cuerpo intrusivo tonalítico perteneciente al Batolito Andahuaylas-Yauri (Eoceno-Oligoceno) y a capas de lavas andesíticas pertenecientes a la formación Ichicollo del grupo Tacaza (mioceno). Asimismo están cubiertas por material volcánico-sedimentario perteneciente al relleno de la cuenca Yauri (mioceno-holoceno). (Fig 6.3)

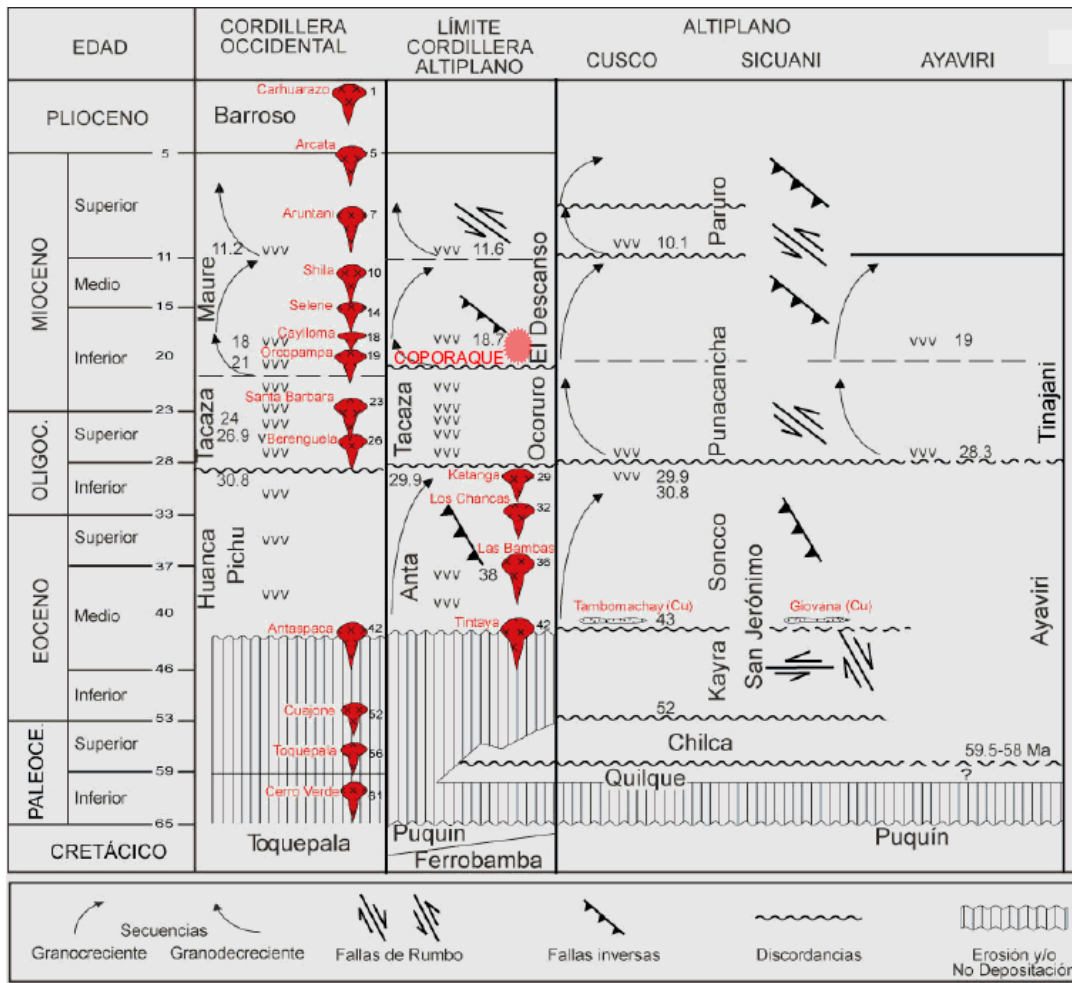


Figura 6.3 Cuadro crono-estratigráfico del cenozoico con los eventos volcánicos, sedimentarios y tectónicos en el sur del Perú. (Carlotto, 2005).

5.2 INTERPRETACION GEOLOGICA DEL AREA DE ESTUDIO

5.2.1 SINTESIS GEOLOGICA

Durante el eoceno (53 a 34 Ma.), la provincia formaba parte de la cuenca Anta, la cual estaba conformada por un substrato paleozoico que a su vez estaba cubierto por las formaciones Hualhuani (areniscas) y Arcurquina (calizas) durante este periodo, emerge un stock intrusivo diorítico, como producto de la primera fase intrusiva del batolito Andahuaylas-Yauri.

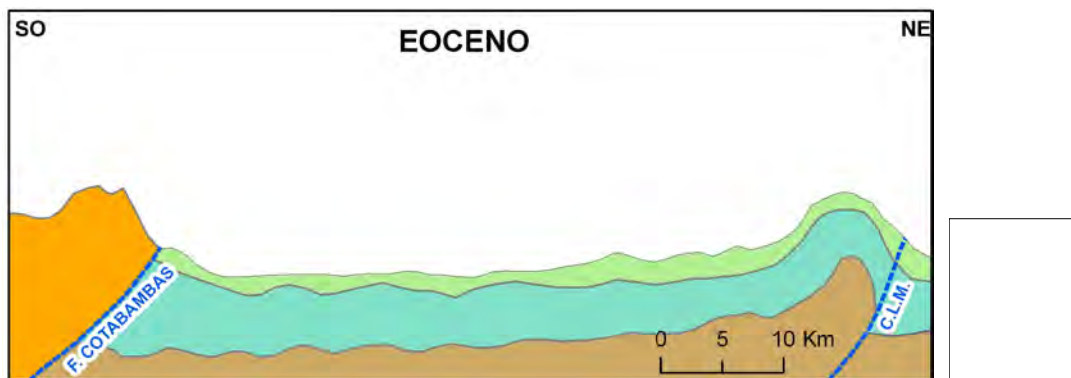


Figura 6.4: Sección esquemática de la geología en el Eoceno.

Durante el oligoceno (34 a 23 Ma.) emerge un stock intrusivo tonalítico, como producto de la segunda fase intrusiva del batolito Andahuaylas-Yauri, el cual intruye a las unidades litológicas pre-existentes (substrato paleozoico, areniscas Hualhuani y calizas Arcurquina). Posteriormente la actividad erosiva afecta a los intrusivos del Batolito Andahuaylas-Yauri y deposita los conglomerados y sedimentos proximales de la formación Anta.

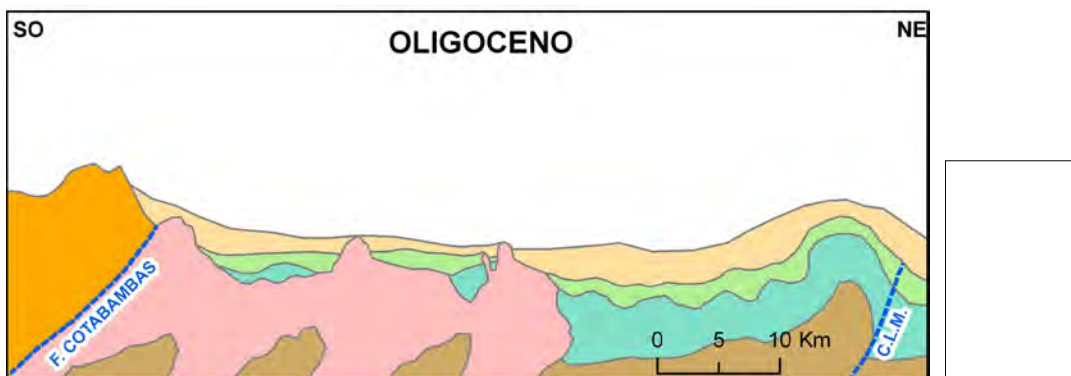


Figura 6.5: Sección esquemática de la geología en el Oligoceno.

A partir del mioceno (23 a 6 Ma.), esfuerzos tectónicos compresivos forman la cuenca Yauri, contemporáneamente ocurre una intensa actividad volcánica efusiva, que emplaza lavas andesíticas (formación Ichicollo del grupo Tacaza). Asimismo, emergen intrusivos de composición intermedia que originan yacimientos tipo skarn (Tintaya) y porfido (Antapaccay) ricos en Cu y Au.

A finales del mioceno, se forma el sistema de drenaje fluvial de la cuenca Yauri, el cual deposita las secuencias sedimentarias de la formación Casablanca.

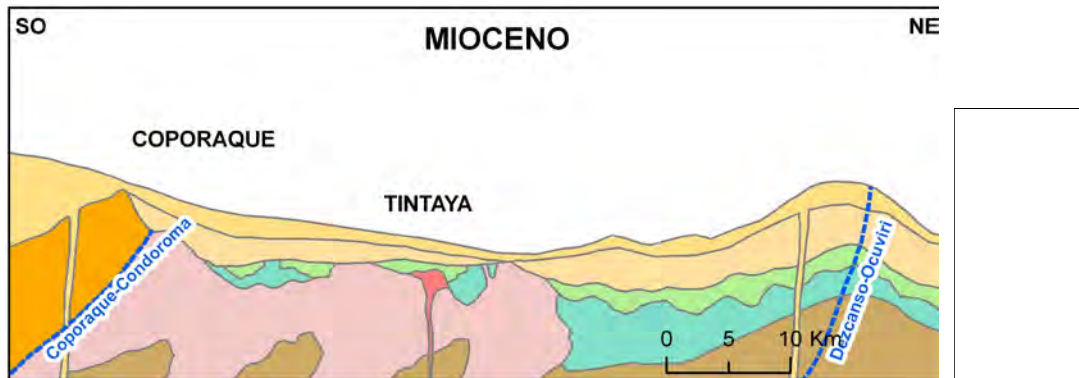


Figura 6.6: Sección esquemática de la geología en el Mioceno.

Durante el Plioceno (5 a 2 Ma.), el sistema de drenaje de la cuenca Yauri evoluciona a un sistema lacustre, el cual en combinación con eventos volcánicos ocurridos durante este periodo, deposita los sedimentos de la formación Yauri. Hacia el SO de la zona de estudio, se emplaza material volcánico (formación Huaycha del grupo Barroso).

Durante el Cuaternario, la cuenca Yauri es atrapada por la actividad erosiva del río Apurimac y pasa a formar parte de su sistema de drenaje, en este periodo se depositan sedimentos fluviales, aluviales y glaciares cuaternarios en las riveras de los ríos.

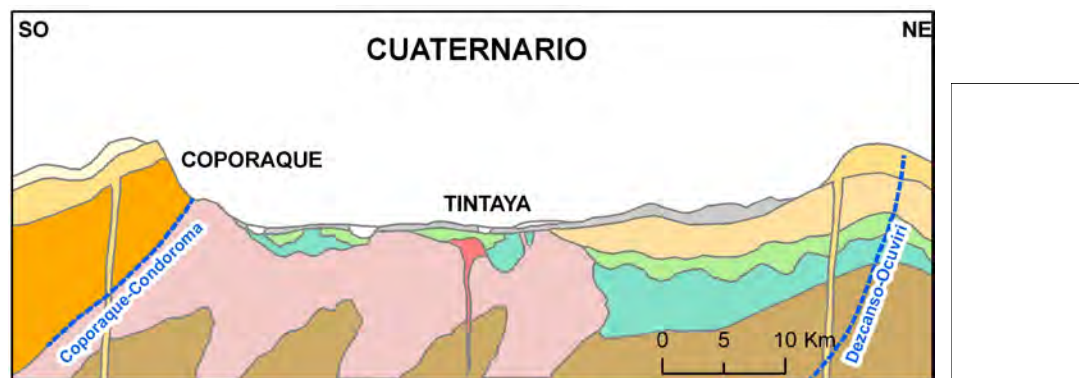


Figura 6.7: Sección geológica esquemática.

5.2.2 DESARROLLO DE LA ALTERACION Y MINERALIZACION

Desde el punto de vista genético, la actividad hidrotermal que origino las alteraciones y mineralización en el proyecto Coporaque, está relacionada a las cámaras magmáticas que originaron las rocas volcánicas del mioceno. Las soluciones hidrotermales ascendieron por fallas profundas produciendo alteraciones hipógenas en las rocas y precipitando minerales de mena cerca de la superficie.

El estudio microscópico revelo que las vetas presentan asociaciones paragenéticas características. Cada una de estas asociaciones es típica para el estadio determinado del proceso mineralizador. Los cambios en las asociaciones paragenéticas son indicios de la influencia geoquímica en determinada zona o de la superposición de estadios diferentes.

Estadios Tempranos y Primer estadio productivo

Se interpreta que la alteración hipógena en la roca caja de las vetas, ha sido producida por estadios tempranos de alteración y mineralización, esta alteración se observa de la siguiente manera: una capa de silicificación, bordeada por un halo de argilización, que su vez esta bordeado por un halo externo de propilitización.

Hacia el SO del área prospectada, predomina la propilitización mientras que hacia el NE predomina la argilización, presentándose zonas intermedias con alteración propilitica y argilica sobre-impuesta (“Telescoping”). Fig. 6.8

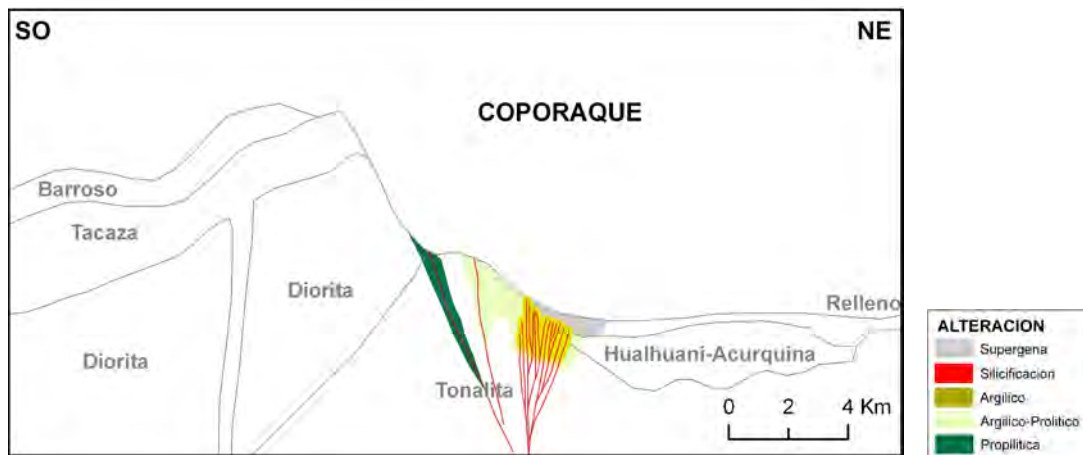


Figura 6.8: Sección esquemática mostrando las alteraciones hidrotermales en la zona de estudio.

La asociación mineral de cuarzo-pirita-calcopirita, se interpreta como el primer estadio productivo de mineralización, porque presenta minerales de interés económico como pirita aurífera y calcopirita. Principalmente se encuentra en los flancos de brecha hidrotermal de las vetas, en forma matriz englobando a los fragmentos de roca caja alterada. Excepcionalmente se encuentra en la zona central de las vetas, en forma de bandas ínter-crecidas.

Segundo estadio productivo y Estadios Tardíos

En las vetas Pucamocco, Tambomate y Minas, se observa la asociación mineral de cuarzo-galena-esfalerita, la cual se interpreta como el segundo estadio productivo de mineralización. Esta asociación mineral se localiza exclusivamente en la zona central de las vetas, en forma de venillas de variado espesor (de 0,1 a 10 cm) que cortan las bandas de cuarzo-pirita-calcopirita del primer estadio productivo de mineralización.

Se observan asociaciones minerales de cuarzo-especularita, cuarzo-carbonatos y cuarzo solo, en todas las vetas, estas asociaciones se encuentran en forma de venillas que cortan a las asociaciones minerales antes mencionadas y se interpreta como estadios tardíos. Una de estas asociaciones minerales se observa en la veta Nasaccara, en donde la zona central de la veta, esta conformada por cuarzo-especularita.

Resultados Geoquímicos

Las evidencias de Au, Ag, Cu, Pb, Zn y As encontradas en la zona de estudio, están dentro de vetas o vetillas. Las muestras que no corresponden a estas, tuvieron bajos resultados y apenas superaron el background de su litología.

En cuanto a la distribución geoquímica, la zona de estudio, presenta una mayor concentración de Au, Cu y As hacia el NE del área de estudio (veta Nasaccara y series de vetillas), mientras que hacia el SO presenta una mayor concentración de Ag, Pb y Zn (vetas Tambomate, Minas y Puccamoco).

Otro dato importante es la distribución geoquímica vertical en las vetas, esto se observa en la concentración de Au en los niveles superiores de la veta Nasaccara y en su disminución progresiva en espesor y leyes a medida que profundiza. En las vetas

Puccamoco y Minas, no hubo producción minera por debajo de los 20 metros de profundidad, debido a que la ley y el espesor no era económicamente explotable.

5.2.3 MODELO GEOLOGICO

Se interpreta que los yacimientos fueron originados por el ascenso y deposición de metales mediante soluciones hidrotermales, estas soluciones aprovecharon los espacios abiertos a lo largo de fallas y fracturas, las cuales se manifiestan en superficie como vetas y vetillas, que en la mayoría de los casos contienen oro, plata, cobre, plomo o zinc.

Con base a las características geológicas y mineralógicas observadas en el prospecto, se concluye que; las estructuras mineralizadas del Proyecto Coporaque presentan características similares a aquellas que se presentan en un “*sistema de vetas de ambiente mesotermal de metales base y metales preciosos*”. En la tesis se propone tomar como modelo de exploración el realizado por Buchanan (1981).

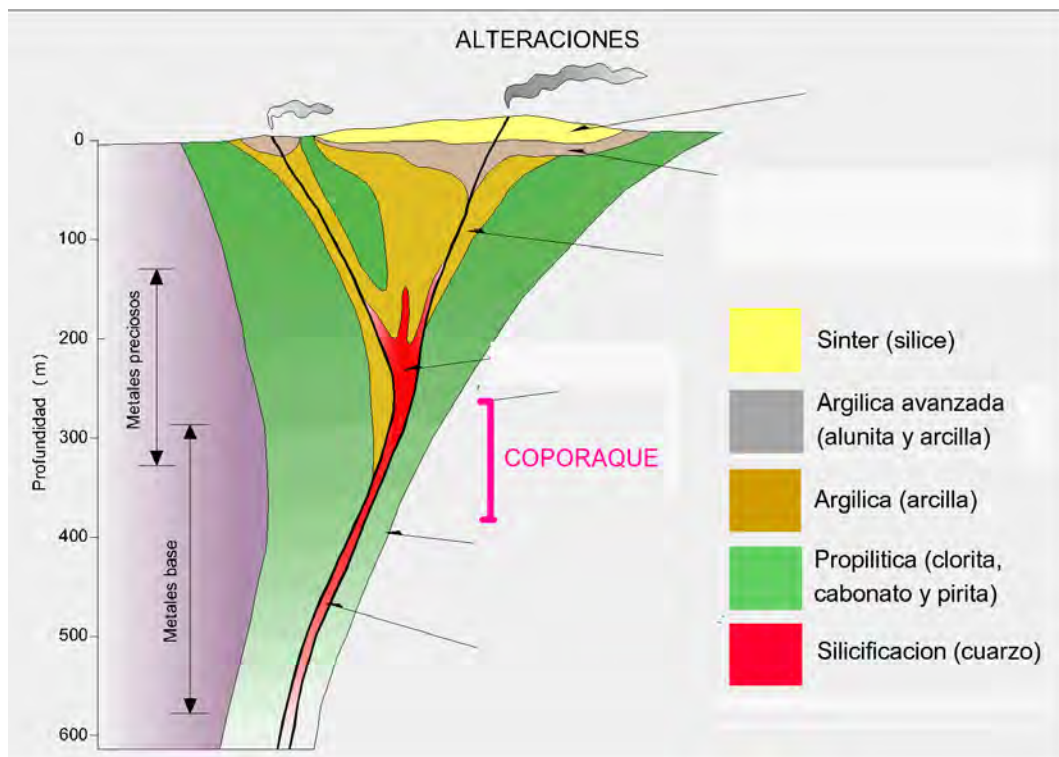


Figura 6.9: Zonamiento típico de alteración para los depósitos hidrotermales (modificado de Buchanan, 1981).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- La zona prospectada se encuentra en una zona muy favorable para alojar veta y vetillas, la cual esta formada por la intersección de fallas NO-SE de extensión regional y fallas locales NE-SO. El marco estructural consiste de fallas tensionales con orientación N55°E, fallas compresionales con orientación N35°W y fallas dextrales con orientación N20-30°E y N80-90°E.
- Las vetas y vetillas se encuentran alojadas en un intrusivo tonalítico del Batolito Andahuaylas-Yauri (eoceno-oligoceno) y en lavas andesíticas de la formación Ichicollo (mioceno). Asimismo están cubiertas en parte por el relleno volcánico-sedimentario de la cuenca Yauri (mioceno-plioceno), por ello se interpreta que las vetas y vetillas son de edad miocénica.
- Desde el punto de vista genético, la actividad hidrotermal que origino las alteraciones y mineralización en el proyecto Coporaque, están relacionadas a las cámaras magmáticas que originaron las rocas volcánicas miocénicas que afloran en la zona prospectada. Las soluciones hidrotermales ascendieron por fallas produciendo aliteración hipógena en la roca caja y precipitando minerales de mena cerca de la superficie.
- La alteración hipógena, está estrechamente relacionada con las estructuras mineralizadas y presentan una zonación tanto vertical como horizontal, siendo esta ultima la mas observada, se conforma desde la estructura mineralizada por un halo silicificado (venillas y diseminación de cuarzo), rodeado por un halo argilizado (reemplazamiento de arcillas), y un halo externo de propilitización (diseminación y venillas de clorita, calcita y pirita), siendo comunes zonas con alteración sobre-impuesta (Telescoping).
- Las estructuras mineralizadas mas resaltantes en la zona prospectada son las vetas; Tambomate (aflora 50 m, tiene rumbo N55°E, buzamiento 78°NW y potencia promedio 1,5 m), Nasaccara (aflora 50 m, tiene rumbo N75°W,

buzamiento vertical y potencia promedio 1 m), Minas (aflora 20 m, tiene rumbo N85°E, buzamiento 76°NW y potencia promedio 1 m) y Puccamoco (aflora 100 m, tiene rumbo N35°W, buzamiento 82°NE y potencia promedio 0,5 m). Además hay zonas con series de vetillas emplazadas en el borde NE del intrusivo tonalítico.

- Las vetas presentan textura brechada hacia sus cajas y textura bandeada en la zona central, la etapa hipógena se caracteriza por tener los siguientes minerales: cuarzo, pirita, calcopirita, arsenopirita, borníta, esfalerita, galena y especularita. Como minerales de la etapa supérgena se tiene: oro nativo, cerusita, anglesita, malaquita y limonita.
- El estudio microscópico reveló que las vetas presentan asociaciones paragenéticas características. Cada una de estas asociaciones es típica para el estadio determinado del proceso mineralizador. Los cambios en las asociaciones paragenéticas son indicios de la influencia geoquímica en determinada zona o de la superposición de menas de estadios diferentes.
- La alteración hipógena de la roca caja, esta relacionada a los estadios tempranos de alteración y mineralización. La asociación cuarzo-pirita-calcopirita esta relacionada al primer estadio productivo de mineralización, mientras que la asociación cuarzo-galena-esfalerita está relacionada al segundo estadio productivo de mineralización. Además se han observado otras asociaciones relacionadas a estadios tardíos de alteración y mineralización.
- La distribución geoquímica horizontal de la zona prospectada, presenta una mayor concentración de valores anómalos de Au, Cu y As hacia el NE (veta Nasaccara y zonas con series de vetillas), mientras que hacia el SO presenta una mayor concentración de valores anómalos de Ag, Pb y Zn (vetas Tambomate, Minas y Puccamoco).
- La distribución geoquímica vertical en las vetas, presenta una mayor concentración de valores anómalos en los niveles superiores y disminución progresiva de espesor y leyes a medida que profundiza.
- El método de preparación tradicional para sacar duplicados de las muestras, el cual consiste en reducir las muestras al tamaño de chip (aprox. de 1 cm²) y luego

cuartearlas manualmente en una manta, no es recomendable para lograr la reproducibilidad de los pares original-duplicado.

- Tomando en cuenta, que hacia el NO del área prospectada, en las pampas de Succachaca y Tocco Tocco, existen vetas y vetillas con contenidos importantes de Cu y Au, se puede concluir que la mineralización económica del distrito de Coporaque se concentra en una franja con orientación NO-SE, reconocida como sistema de fallas Coporaque-Condorama, pero aunque este sistema ejerce un control directo sobre el emplazamiento de la mineralización, esta se dispone de forma preferente en fallas subsidiarias.
- Con base a las características geológico y mineralógicas observadas en el área prospectada, se puede concluir que el proyecto Coporaque es un yacimiento de *“vetas de ambiente mesotermal de metales base y metales preciosos”*

RECOMENDACIONES

- Para el proyecto Coporaque se recomienda realizar pruebas metalúrgicas en las vetas Tambomate, Puccamoco, Minas y Nassacara para la recuperación de metales económicos.
- Realizar un programa de perforación diamantina de 12 sondajes con 100 m, con un total de 1200 m, en las vetas Tambomate, Puccamoco, Nassacara y Minas, (tres sondajes por veta), con la intención de verificar su verdadero potencial y su continuidad a profundidad.
- Realizar prospección geofísica con líneas de IP/MAG en toda el área estudiada para verificar en profundidad las posibles anomalías de cargabilidad y resistividad.
- Realizar muestreo sistemático con malla 10 x 10 m, en el borde NE del área estudiada (cerros Nassaccara y Puyumarca) para comprobar el tamaño de las zonas mineralizadas con contenido de oro.
- En zonas aledañas al área de estudio, en donde el muestreo geoquímico ha reportado valores anómalos de Au, Ag, Cu, Zn etc. Como en Tocco Tocco, Succachaca, Minashuayco y Checcane. Realizar mapeo geológico a escala 1:5000,
- En las zonas aledañas antes mencionadas, realizar muestreo sistemático con malla geoquímica 10 x 10 m, y prospección geofísica con líneas IP/MAG.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Andrade, Y. & Sotomayor, M. (1995). *Yacimientos de minerales metálicos agrupados en metalotectos entre Cusco y Tintaya*. Tesis para optar al Título de Ing. Geólogo, Facultad De Ingeniería Geológica Y Geografía, Universidad Nacional San Antonio Abad Del Cusco, Cusco, Perú.
- Benavides, V. (1962). Estratigrafía Pre-terciaria de la Región de Arequipa. *Sociedad Geológica del Perú, Boletín*, 38, 20-31.
- Benavides, V. (1999). Orogenic evolution of the Peruvian Andes: the Andean cycle. *Society of Economic Geologists, Special Publication*, 7, 61-107.
- Bernabé, H. & Anzardo, a. (2008, octubre). *Potencial geológico del depósito de pórfido-skarn de Cu (Ag,Au-Mo) de Antapaccay*. Trabajo presentado en el XIV Congreso Peruano de Geología y XIII Congreso Latinoamericano de Geología, Sociedad Geológica del Perú, Lima, Perú.
- Buchanan, L. J. (1981). Precious Metal Deposits associated with Volcanic Environments in the Southwest, En Dickinson, W. R. & Payne, W. D. (Eds.), *Relations of Tectonics to Ore Deposits in the Southern Cordillera* (pp. 237-262). Arizona: Geological Society Digest, Volumen XIV.
- Cadenas, J. (1991). *Geología de las estructuras mineralizadas de la zona de Coporaque*. Tesis para optar por el Título de Ing. Geólogo. Facultad de Ingeniería Geológica y Geográfica, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú.
- Carlotto, V., Jaillard, E., Carlier, G., Cárdenas, J., Cerpa, L., Flores, T., Latorre, O. & Ibarra, I. (2005). Las Cuencas Terciarias Sin-orogénicas en el altiplano y la cordillera occidental del sur del Perú. *Sociedad Geológica del Perú, Publicación Especial*, 6, 103-126.
- Carlotto, V., Quispe, J., Acosta, H., Rodríguez, r., Romero, d., Cerpa, l., Mamani, m., Díaz, E., Navarro, P., Jaimes, F., Velarde, T., Lu, S & Cueva, E. (2009). El Control de los Dominios Tectónicos en la Metalogénesis del Perú, *Sociedad Geológica del Perú, Boletín*, 103, 41-73.
- Castro, A. (1988). *Petrografía Básica*. Madrid, España: Paraninfo.

- Cereceda C., Cerpa L., Torres D., Muñoz L., Aguilar R. & Rodriguez G. (2010). *Estratigrafía Volcánica Cenozoica del Sur del Perú, en el límite de la cordillera occidental y el altiplano*. Arequipa, Cuzco y Puno: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico.
- Cerpa, L., Meza, P., Carlotto, V., Fornary, M. & Sempere, T. (2004) Paleogeografía y evolución de la cuenca Miocena de Descanso-Yauri (Cuzco), *Sociedad Geológica del Perú, Publicación Especial, 5*, 175-182.
- Craig, J. & Vaughan, D. (1994). *Ore microscopy and ore petrography* (2da Ed.). Wiley Interscience Publication, New York: John Wiley & Sons.
- Davila, J. (2006). *Diccionario Geológico* (4ta Ed.), Lima, pp. 103-410
- De la Cruz, N. (1995). *Geología de los cuadrángulos de Velille, Yauri, Ayaviri y Azangaro*. Boletín 58, Serie A. Lima: INGEMMET.
- Hedenquist, J. W. & Lowenstein, J. B. (1994). The role of magmas in the formation of hidrothermal ore deposits. *Nature*, 370, August, 519-527.
- Jenks, W. (1984), *Geología de la hoja de Arequipa*. Boletín 9. Lima: Instituto Geológico del Perú.
- Kaneoka, I. & Guevara, C. (1984), Determination of Late Terciary and Quaternary Andean Volcanic Rock, *Southern Peru Geochemical Journal*, 18, 20-23
- Marocco, R. & del Pino, M. (1966). *Geología del cuadrángulo de Ichuña*. Boletín 14, Lima, Servicio de Geología y Minería.
- Mackenzie, W. S., Donalson, C. H. & Guilford, C. (1984). *Atlas of Igneous Rocks and their Textures* (2da Ed.). England: Longman Group Limited.
- Mendivil, S. (1965). *Geología de los Cuadrángulos de Maure y Antajave*. Boletín 10, Lima Comisión para la carta geológica nacional.
- Noble, D.C. & Vidal, C. (1994). Gold in Peru. *SEG Newsletter*, 17, 6–13.
- Newell, N. (1949). *Geology of the Titicaca region, Perú and Bolivia*. Memory 36, Denver, Geological Society of America.
- Pecho, V. (1981), *Geología de los Cuadrángulos de Chalhuanca, Antabamba y Santo Tomas*. Boletín 6, Lima, INGEMMET.

- Sillitoe, R. H. (1977). *Metallic mineralization affiliated to subaerial volcanism: Volcanic processes in ore genesis*. Special Publication 7, London, Geological Society of London, January 21-22, pp. 99-116.
- Tejada, J., Baez, D., Gamarra, J., Salas, R. (2009). *Los mamíferos del Mioceno y Plioceno de Espinar (Cuzco)*. Bulletin 38, Paris, l'Institut Francais d'Etudes Andines.
- Tumialan, P. H. (2003). *Compendio de Yacimientos Minerales del Perú*. Boletín 10, Serie B. Lima, INGEMMET.
- Velarde, T. (2006). *Geología y estratigrafía de la zona de Chivay - Río Condoroma*. Tesis para optar por el título de Ing. Geólogo, Universidad Nacional San Antonio Abad Cusco, Cusco, Perú.