



DIRECCIÓN DE RECURSOS MINERALES Y ENERGÉTICOS

PROGRAMA DE METALOGENIA

PROYECTO GE-24

**“Evaluación del Potencial de los Depósitos Minerales
en el Batolito Andahuaylas - Yauri”**



Ocurrencias de Malaquita (cluster de Morosayhuas)

RESUMEN

INFORME TÉCNICO CIENTÍFICO

**DISPERSIÓN GEOQUÍMICA SECUNDARIA Y SU RELACIÓN CON LOS
DEPÓSITOS MINERALES DEL BATOLITO ANDAHUAYLAS YAURI**

Preparado por:

Raymond RIVERA & Alex SANTISTEBAN

Lima – Perú

Diciembre, 2009

RESUMEN

1.- GENERALIDADES

- 1.1 Introducción
- 1.1 Ubicación
- 1.2 Accesibilidad
- 1.3 Antecedentes
- 1.4 Metodología de Trabajo

2.- MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

- 2.1 Estratigrafía Regional
- 2.2 Rocas Intrusivas
 - Plutonismo Eoceno Medio – Oligoceno Inferior
 - Plutonismo Oligoceno Superior

3.- GEOLOGÍA ECONÓMICA

- 3.1 Introducción
- 3.2 Tipos de depósitos
 - 3.2.1 Pórfidos Au-Cu y Cu-Au-Mo
 - Proyecto Antilla
 - Prospecto Utupara
 - Prospecto Trapiche
 - Cluster de Cotabambas
 - 3.2.2 Skarn
 - Cluster Tintaya
 - Cluster Las Bambas
 - Cluster Katanga

4.- GEOQUÍMICA REGIONAL (STREAM SEDIMENT)

5.- INTERPRETACION METALOGÉNICA

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

RESUMEN

INGEMMET dentro de su programa de investigación consideró muy importante estudiar las características geológicas de la parte sureste del Perú, desarrollando el proyecto GE-24: "Metalogenia del Batolito de Andahuaylas – Yauri" ubicado entre las regiones de Cusco y Abancay.

La importancia de esta zona ha ido incrementado con el pasar de los años, durante los cuales muchos trabajos de exploración se han realizado y por consiguiente muchas ocurrencias minerales han ido siendo descubiertas. Considerada actualmente como una posible prolongación de unas de las franjas cupríferas de Chile (Perelló et al., 2003) la zona presenta casi un 70 % de su área concesionada por diferentes empresas mineras.

Inicialmente esta zona fue considerada como una zona exclusivamente rica en Fe, pero luego con estudios más detallados se llegó a la conclusión que esta zona de estudio alberga una serie de depósitos relacionados a posibles sistemas porfiríticos de Cu-Au-Mo.

Muy pocos lugares en el mundo albergan en una misma zona una serie de sistemas porfiríticos de asociaciones minerales muy diferentes (Cu-Au, Cu-Mo, Au), lo cual pone en duda muchas hipótesis acerca de que cada una de estas asociaciones minerales se encontraba relacionada a ambientes geotectónicos diferentes.

Esta investigación trata de recopilar toda la información relacionada al Batolito Andahuaylas – Yauri y con la ayuda de nuevos datos recopilados de campo y gabinete actualizar la información geológica con el objetivo final de que las empresas de exploración tengan una nueva herramienta regional que les permita desarrollar mejor sus campañas de exploración.

1.- GENERALIDADES

1.1 Introducción

El potencial minero del cinturón de Andahuaylas – Yauri es conocido desde hace muchos años (Santa Cruz et al., 1979., Noble et al., 1984), siendo siempre motivo de muchos trabajos de exploración e reinterpretación geológica. Con el pasar de los años las expectativas de esta franja siempre se han ido aumentando con el descubrimiento de nuevos proyectos que actualmente siguen siendo evaluados. Inicialmente se conocía como una franja que hospedaba depósitos de skarn de Fe – Cu, posteriormente con la reinterpretación y el descubrimiento de una serie de depósitos tipo pórfidos emergió como una prominente zona cuprífera. Después de muchos queda clara la idea que toda esta mineralización se encuentra relacionada estrechamente con el magmatismo del Eoceno medio al Oligoceno temprano (aprox. 48 a 32 Ma) que dio origen al batolito de de Andahuaylas – Yauri.

Desde un punto de vista regional toda esta zona se encuentra dentro del dominio del arco principal (Clark et al., 1990) el cual se encuentra ligado a un origen magmático profundo relacionado a la zona de subducción. Este magmatismo de características geoquímicas metaluminosas se encuentra separado del dominio del arco interno (Clark et al., 1990) por el alto estructural Cusco – Puno (Carlotto et al., 2005) donde se emplazan una serie de cuencas sedimentarias sintectónicas transtensionales y contraccionales (Perelló et al., 2003). Las diferentes características geoquímicas, isotópicas y los diferentes tipos de mineralización en cada uno de los dominios (principal e interno) permiten diferenciar dos provincias petrogenéticamente diferentes.

La asociación de skarn, pórfidos, vetas indica que el tipo de mineralización obedece más a un sistema porfirítico que exclusivamente a un depósito porfirítico. En tal sentido varios cluster han sido identificados (Perelló et al., 2003), teniendo entre los principales: Tintaya, Kananga, Las Bambas, Cotabambas y Morosayhuas.

Estos sistemas porfiríticos tienen una característica esencial que los hace económicamente muy importantes y es la presencia de Au dentro de sus elementos económicos y suelen clasificarse como Au-Cu-Mo y Cu-Au-Mo.

Actualmente el Batolito de Andahuaylas – Yauri sigue siendo ampliamente explorado con el objetivo de encontrar nuevos depósitos y los depósitos que ya están descubiertos siguen trabajando una intensa campaña de perforación con el fin de aumentar sus reservas.

1.1. Ubicación de la Zona de estudio

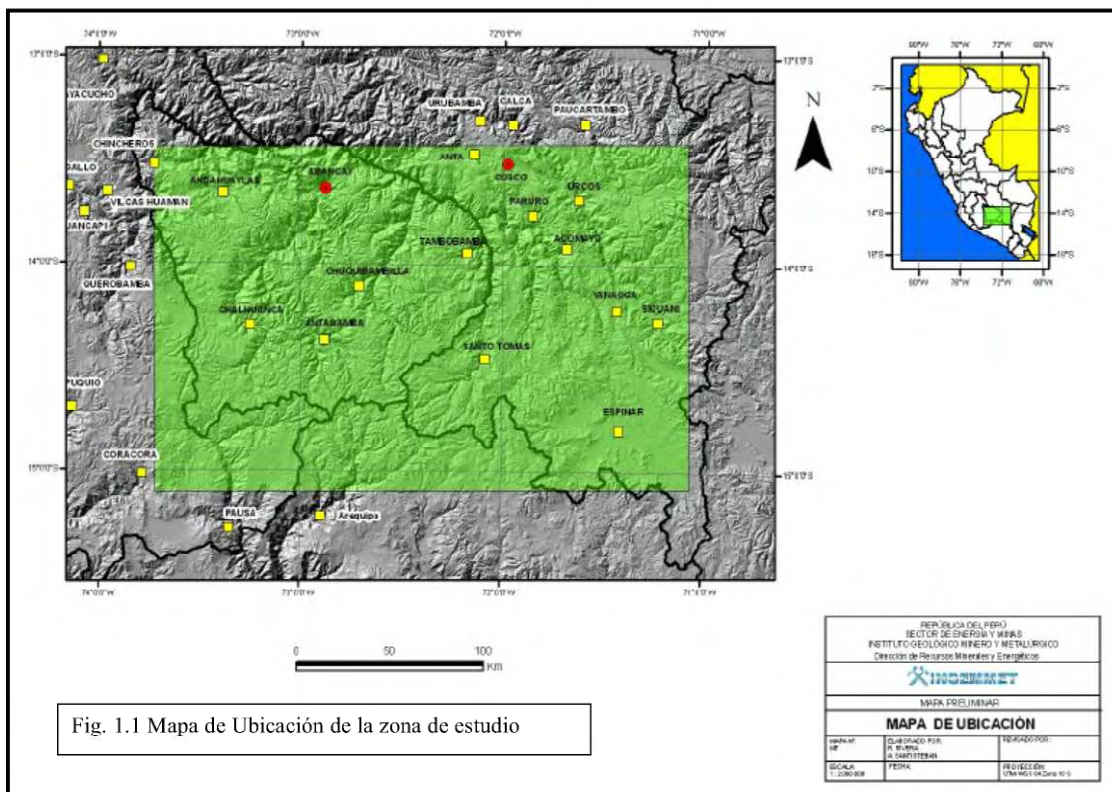
El presente estudio se ubica en la Cordillera Occidental en las regiones de Ayacucho, Apurímac, Cusco y Arequipa; la zona de estudio abarca aproximadamente 12 cuadrángulos (escala 1: 100 000) comprendiendo las provincias de Sucre y Anta en Ayacucho; Antabamba y Andahuaylas en Apurímac, Urubamba y Chumbivilcas en Cusco; Espinar y La Unión en Arequipa (Figura 01). El área de estudio esta encuadrada en las siguientes coordenadas:

13° 00' 00" – 15° 00' 00" LS

74° 00' 00" – 71° 00' 00" LW

El cinturón de Andahuaylas – Yauri cubre un área aproximada de 25 000 Km cuadrados, localizado a una distancia aproximada de 300 Km de la fosa peruano – chilena. Esta zona tienen una de las más potentes cortezas sílicas del orógeno andino (50 a 70 Km; James, 1971) y se encuadra en la zona de transición entre un régimen de subducción normal entre el sur del Perú y norte de Chile y una zona de subducción plana en el centro y norte del Perú (Cahill and Isacks, 1992). Esta localizada inmediatamente hacia el sureste de la deflexión de Abancay (Marocco, 1978). La región abarca parte de la depresión intermontaña entre el este y oeste de las Cordilleras y la extremidad norte del Altiplano (Carlier et al., 1996; Chavéz et al., 1996), la parte occidental del cinturón está caracterizado por una abrupta topografía montañosa donde los rangos de los picos nevados están por encima de los 4500 m y son cortados por profundos cañones de 2000 m. Esos cañones constituyen el principal sistema de drenaje de la región e incluye los ríos de Santo Tomás, Urubamba, Apurímac, Vilcanota, Mollebamba y Antabamba. Todos estos drenajes se dirigen hacia la cuenca Amazonas. La parte este y sur de la región está caracterizado por un suave ondulamiento topográfico de una plataforma (aprox. 4000 m.) que se extiende dentro del altiplano de Bolivia.

Metagenéticamente el Batolito de Andahuaylas se encuentra dentro del dominio del arco principal (Clark et al., 1990) y dentro del dominio de la franja XV denominada: Pórfidos – skarn de Cu – Mo (Au, Zn) y depósitos de Au – Cu - Fe relacionados a intrusivos del Eoceno – Oligoceno



REPÚBLICA DEL PERÚ SECTOR DE ENERGÍA Y MINERÍA INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO DIRECCION DE Recursos Mineros y Energeticos		
MAPA PRELIMINAR MAPA DE UBICACION		
TITULO: Nº:	ELABORADO POR: R. QUISPE A. SANTIESTEBAN	REVISADO POR: FECHA: REVISIÓN: 02/04/2010
ESCALA: 1:500000	FECHA: 02/04/2010	REVISIÓN: 02/04/2010

1.2 Accesibilidad

La principal y más rápida vía de acceso a la zona de estudio es por aire, partiendo desde el aeropuerto Jorge Chávez (Lima) y desembarcando en el aeropuerto Velazco Astete (Cusco), el vuelo dura aproximadamente 1 hora y 15 minutos. Otra ruta de vuelo sería Lima (aeropuerto Jorge Chavéz) hasta Juliaca (Aeropuerto Manco Capac), el vuelo dura aproximadamente 1 hora y 45 minutos y desde la ciudad de Juliaca hasta la ciudad de Cusco son aproximadamente 5 horas en vía asfaltada.

Desde Cusco hasta las localidades del interior de la región las rutas de acceso son generalmente mediante vía afirmada y en algunas ocasiones trocha carrozable.

Entre las principales carreteras afirmadas tenemos:

- Cusco – Abancay – Andahuaylas
- Lima – La Oroya – Huancayo – Ayacucho – Andahuaylas
- Nazca – Puquio – Andahuaylas.

1.1 Antecedentes

Hasta fines de los 80 el cinturón Andahuaylas Yauri había recibido limitada investigación geológica y fue principalmente reconocido por sus depósitos de skarn de magnetita con contenido de Cu (Terrones, 1985; Bellido et al., 1972; Sillitoe 1976, 1990; Santa Cruz et al., 1979; Enauide et al., 1981; Aizawa y Tomizawa, 1986),

Por muchos investigadores estas ocurrencias fueron consideradas a ser skarn de cobre asociadas con intrusiones estériles (e.g. Enauide et al., 1981; Noble et al., 1984), aunque la alteración potásica en los stocks porfiríticos hospedantes han sido descritos y caracterizados como tales. (Yoshikawa et al., 1976; Noble et al., 1984). A fines de los 80 un trabajo regional complementario de estudios geológicos al detalle en Tintaya y Katanga (Carlier et al., 1989), seguido por una fuerte exploración grass – roots en la región durante los 90, comprobó la alteración de los estilos

de alteración y mineralización porfiríticas (e.g. Fierro et al., 1997) y resultó en el descubrimiento de adicionales depósitos porfiríticos de Cu con potencial económico como Antapacay (Jones et al., 2000), Los Chancas (Corrales, 2001) y Cotabambas (Perelló et al., 2002), también como mineralización pórfidos – skarn en Coroccohuayco (BHP company Limited, 1999). Mineralización tipo Mississippi Valley rica en Zinc fue también descubierta en la región (Carman et al., 2000) agregándose a la diversidad metalogénica del cinturón.

Existen numerosos informes y artículos de carácter geológicos realizado por las diferentes empresas mineras que operan dentro del área de estudio, y entre los que podemos mencionar son los realizados en el yacimiento de Trapiche, Utopara, Cotabambas, etc.

Entre los estudios de carácter regional podemos mencionar el de Perello et al. (2003). "Porphyry-Style Alteration and Mineralization of the Middle Eocene to Early Oligocene Andahuaylas-Yauri Belt, Cuzco Region, Peru". Así como también los trabajos regionales realizados por INGEMMET publicados como los boletines de la Carta Geológica nacional de la Serie A.

1.2 Metodología de trabajo

Sobre la metodología de trabajo cabe subrayar que se realizó tomando como base una escala regional (escala 1: 300 000) abarcando en un 100% todos los afloramientos del Batolito de Andahuaylas. El desarrollo de todo el proyecto abarca tres grandes etapas bien diferenciadas. La primera de ellas conocida como la etapa de gabinete I, se caracteriza por una fuerte recopilación de información de carácter técnico y científica, la cual es sintetizada y proyectada en folios geológicos utilizando en software Arcgis versión 9.2. Todos ellos permiten evaluar la zona desde diferentes puntos de vista cojugando información geoquímica – estructural, geoquímica – geológica, etc. Además cada uno de estos folios tiene diferente peso geológico dependiendo de la confiabilidad de la información que ha sido proyectada en ellos. De esta manera nosotros podemos encontrar zonas con alto peso verdaderamente interesantes desde el punto de vista geológico – minero.

La segunda etapa es considerada por algunos geólogos como la más importante y tiene que ver directamente con la etapa de campo. Esta etapa se desarrolló en dos salidas al campo de aproximadamente 21 días cada una, durante la cual se visitaron primero los principales depósitos de la parte occidental del Batolito de Andahuaylas y seguidamente los principales depósitos de la parte oriental. El objetivo de las salidas al campo es comprobar e inventariar las ocurrencias reportadas en los trabajos previos, además de tomar muestras de roca (roca caja y roca huésped) de los depósitos visitados, así como describir las principales características de campo que nos permitan luego poder compararlos o diferenciarlos entre sí.

La última etapa es conocida como la etapa de gabinete II durante la cual se envía las muestras recolectadas al campo para sus respectivos análisis geoquímicas (Absorción atómica, elementos mayores, elementos traza y tierras raras). Se investigan también las secciones delgadas y pulidas de las muestras previamente seleccionadas. Una vez recibidos los resultados geoquímicos son interpretados y los folios geoquímicos son actualizados a la luz de los nuevos datos. Cruzando toda la información geológica se trata de encontrar algunas nuevas relaciones que nos permitan tener mejores guías de exploración, así como también se trata de entender la génesis de los diferentes tipos de depósitos minerales en nuestra zona de estudio.

PRELIMINAR

2.- MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

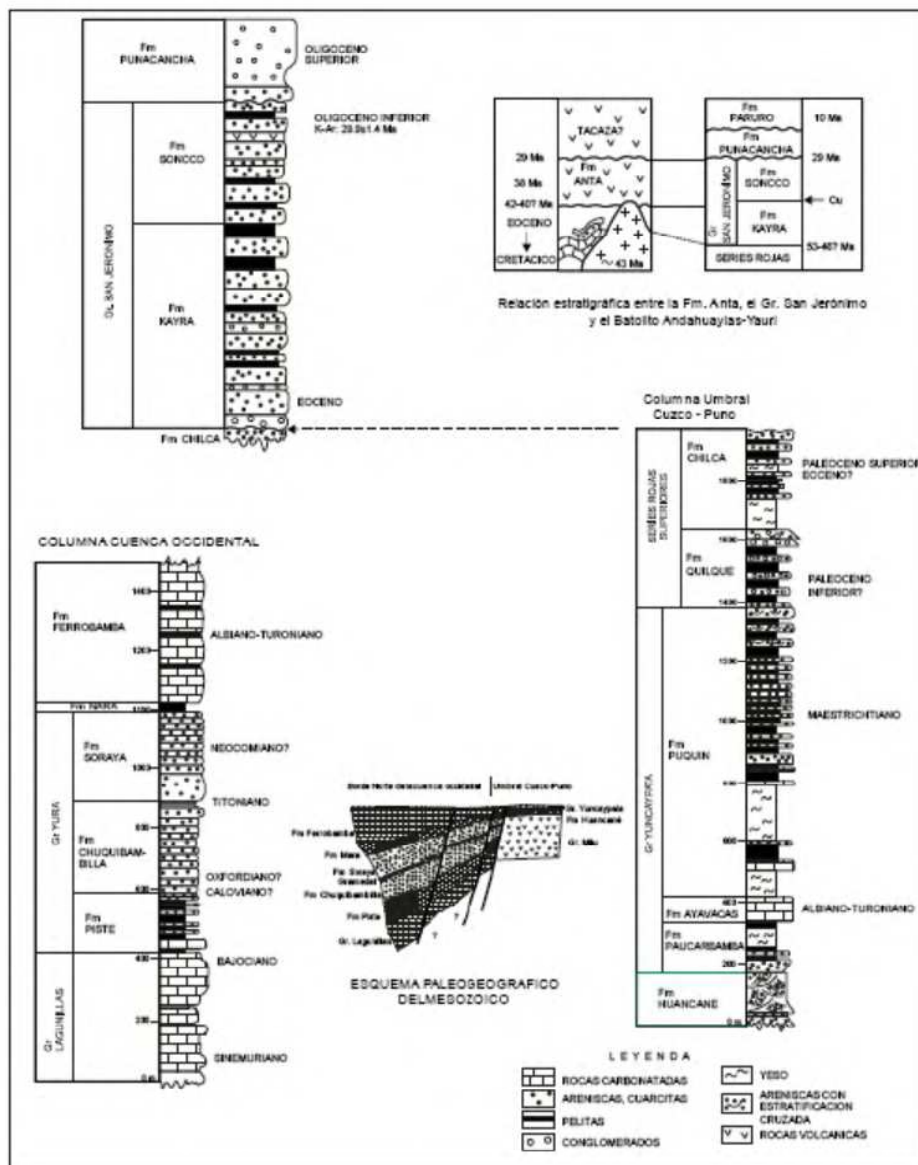
La geología de la región está dominada por un conjunto de plutones Cenozoicos denominados Batolito Andahuaylas – Yauri (Carlotto, 1988) que intruye una secuencia sedimentarias marina mesozoica constituida por las rocas clásticas del Grupo Yura (Jurásico) y los horizonte carbonatados de la Fm. Ferrobamba (Cretácico), y en menor proporción las rocas sedimentarias predominantemente lacustres de las formaciones Quilque y Chilca (Paleoceno – Eoceno). Hacia el norte la geología se encuentra dominada principalmente por varias secuencias volcánicas y volcano – sedimentarias (Fm. Anta; Eoceno medio – Oligoceno inferior) y sedimentarias continentales incluyendo la serie de las “capas rojas” del Grupo San Jerónimo (Eoceno inferior – Oligoceno inferior; Carlotto, 1998; Carlotto et al., 2000)

2.1 Estratigrafía Regional

En la zona de estudio las rocas más antiguas corresponden a unos gneises precambrianos que se encuentran al noroeste de Cusco (Carlotto, 1998), luego tenemos una secuencia paleozoica de más de 10 000 m de espesor de secuencias volcanosedimentarias, marinas y continentales del cambriano (¿) al Pérmico inferior (Marocco, 1978; Carlotto et al., 1996a; Carlotto et al., 1997). En la parte superior del basamento preandino donde tenemos una secuencia de rocas volcánicas y clásticas del Grupo Mitu, de más de 1000m de espesor, que van desde el Pérmico al Triásico inferior.

Durante el mesozoico y cenozoico la sedimentación es mayormente Jurásica y Cretácica y está se desarrollo en dos cuencas principales, la Cuenca Occidental o también conocida como la Cuenca Arequipa (Vicente et al., 1982) y la Cuenca Oriental o también conocida como la Cuenca Putina (Jaillard, 1994) ; estas cuencas estuvieron separados por un alto estructural conocido como el Alto Cusco-Puno que incluye alrededor de 900m de capas rojas interestratificados con lutitas, calizas y yeso (Carlotto et al., 1993; Jaillard et al., 1994).

La Cuenca Arequipa viene a ser lo que actualmente se conoce como Cordillera Occidental, y consta de una secuencia sedimentaria de alrededor de 4 500m de espesor, en la parte inferior tenemos turbiditas seguidos por areniscas cuarzosas en la parte media y en la parte superior presenta calizas (Vicente et al., 1982; Jaillard and



Santander, 1992). La Cuenca Putina, consta de una secuencia sedimentaria del cretáceo superior de rocas clásticas marinas y rocas carbonatadas, con un espesor alrededor de 2 600m (Jaillard et al., 1993, Jaillard, 1994; Cárdenas et al., 1997).

Desde el eoceno al oligoceno inferior tenemos básicamente dos unidades estratigráficas características en la zona de estudio: el Grupo San Jerónimo y la Formación Anta.

El Grupo San Jerónimo está constituido por las formaciones Kayra y Soncco, constituido por una secuencia de 4 500m de espesor de capas rojas compuestos por areniscas, lutitas y

microconglomerados volcánicos, el Grupo San Jerónimo ha sido datado en los horizontes tufáceos superiores de la Formación Soncco por K-Ar dando una edad de 29.9 ± 1.4 Ma y por Ar-Ar dando una edad de 30.84 ± 0.83 Ma (Carlotto, 1998; Fornari et al., 2002). Entre Cusco y Sicuani en las areniscas basales de la Fm. Soncco tenemos horizontes de mineralización de Cu estratiforme con calcocita hipógena y bornita y óxidos supergénicos de Cu (Cárdenas et al., 1999) y muestran algunas similitudes con los depósitos tipo Capas Rojas del Altiplano Boliviano (e.g, Corocoro; Sillitoe, 1989) y del norte de Chile (San Bartolo; Travisany, 1979). El Grupo San Jerónimo es el equivalente del Grupo Puno en el Altiplano peruano. La Formación Anta es una secuencia volcánica de alrededor de 1 000m de espesor, ésta secuencia ha sido datada en el suroeste de Cusco, en dos flujos dacíticos ricos en biotita de la parte media de la formación por el método K-Ar dando edades de 38.4 ± 1.5 y 37.9 ± 1.4 Ma, y de un horizonte basáltico de la parte superior de la unidad datado por el método K-Ar dando una edad de 29.9 ± 1.1 Ma.

En el oligoceno tardío al mioceno tenemos una sedimentación silicoclastica con potencias de 1500-5000m de espesor, Formación Punacancha, y de más de 1100m de espesor, Formación Paruro (Perello et al., 2003), luego en la región también tenemos rocas volcánicas que generalmente son de composición calcoalcalina en las secuencias de la Cordillera Occidental (Inner – Cordillera Occidental de Sanderman et al., 1995) y del Altiplano, que incluye al Grupo Tacaza y Sillapaca. EL Grupo Tacaza está dominado por traquiandesitas, andesitas, y tufos riolíticos (Klinck et al., 1986; Wasteneys, 1990; Carlotto, 1998) con rocas shoshoníticas en el área de Santa Lucía, al sureste de Yauri, y tienen una edad alrededor de los 32 y 24 Ma (Clark et al., 1990; Sanderman et al., 1995).

2.2 Rocas Intrusivas

El principal exponente de las rocas intrusivas está constituido de múltiples intrusivos que regionalmente se conoce como el Batolito Andahuaylas – Yauri y que afloran en una franja de dirección NO-SE, paralela a la dirección andina regional, entre las localidades de Andahuaylas por el noroeste y Yauri por el sureste, con una longitud aproximada de 300 kilómetros y un ancho variable entre 10 y 60 kilómetros (Marocco, 1977; Bonhome y Carlier, 1990; Carlotto, 1998). Los afloramientos más occidentales tienden a constituir el grueso del batolito (macizos de hasta 70 km de diámetro), mientras que al sureste la unidad se manifiesta como un rosario de cuerpos menores, de unos 10 km. de diámetro.

El batolito está conformado por varias unidades intrusivas que tienden a concentrarse en dos grupos mayores: un grupo de cuarzo, diorita y cuarzodiorita que constituye el 80% del batolito y un grupo de menor dimensión dominado por granodiorita, stocks menores de diorita y dacita y diques de microdiorita. Las relaciones de campo indican que por lo general las facies del primer grupo por lo general son más antiguas que las del segundo, lo que en general ha sido corroborado por dataciones geocronológicas (Carlotto, 1998)

Plutonismo Eoceno Medio – Oligoceno Inferior (~ 48–32 Ma)

Las rocas intrusivas de esta edad corresponden a las rocas del Batolito de Andahuaylas-Yauri (Carlier et al., 1989; Bonhomme and Carlier, 1990), aparentemente los afloramientos del batolito tienen una dirección noroeste, y los afloramientos se encuentran en el borde noreste de la Cordillera Occidental.

El emplazamiento del Batolito tuvo lugar en por lo menos dos estadios principales (Perello et al., 2003).

En el estadio temprano tenemos intrusiones de cumulos (gabro, troctolita, gabro olivínico, gabro-diorita y diorita), Carlier et al. (1989, 1996), expuestas principalmente a lo largo del borde norte del batolito entre Curahuasi y Limatambo (Carlier et al., 1989; Ligarda et al., 1993). Por medio de estudios petrográficos determina que estas rocas constituyen los típicos cumulos calcoalcalinos que cristalizan en la base de cámaras magmáticas poco profundas, con temperaturas de emplazamiento de alrededor de 1000°C y presiones entre los 2 y 3 Kbar.

Luego en el estadio intermedio tenemos rocas de intermedia composición como monzodiorita, cuarzo diorita, cuarzo monzodiorita y granodiorita (Carlier et al., 1989; Bonhomme and Carlier, 1990; Carlotto, 1998) los cuales están distribuidos en toda la región constituyendo la principal masa del batolito. Luego tenemos rocas subvolcánicas de composición granodiorítica/dacítica principalmente y estas rocas están asociadas localmente con mineralización tipo pórfido de Cu.

El batolito de ha sido datado entre el Eoceno medio al Oligoceno temprano (~48-32 Ma) por métodos de k-Ar (Carlier, 1996; Carlotto, 1998; Perello et al., 2002; Perello et al., 2003). Los datos geocronológicos de Bonhomme and Carlier (1990) confirman que los cumulos son más antiguos (~48-43 Ma) que las rocas de intermedia composición (~40-32 Ma).

Plutonismo Oligoceno Superior (~ 29–26 Ma)

La actividad intrusiva en esta edad corresponde a una serie de pequeños stocks sieníticos con una edad de alrededor de 28 Ma en el área de Carahuasi (Carlotto, 1998). Estas intrusiones son parte de una larga provincia magmática que también incluye basanitas, fonotefritas y traquitas de la región Ayaviri, con edades entre 29 y 26 Ma (Carlier et al., 1996, 2000).

PRELIMINAR

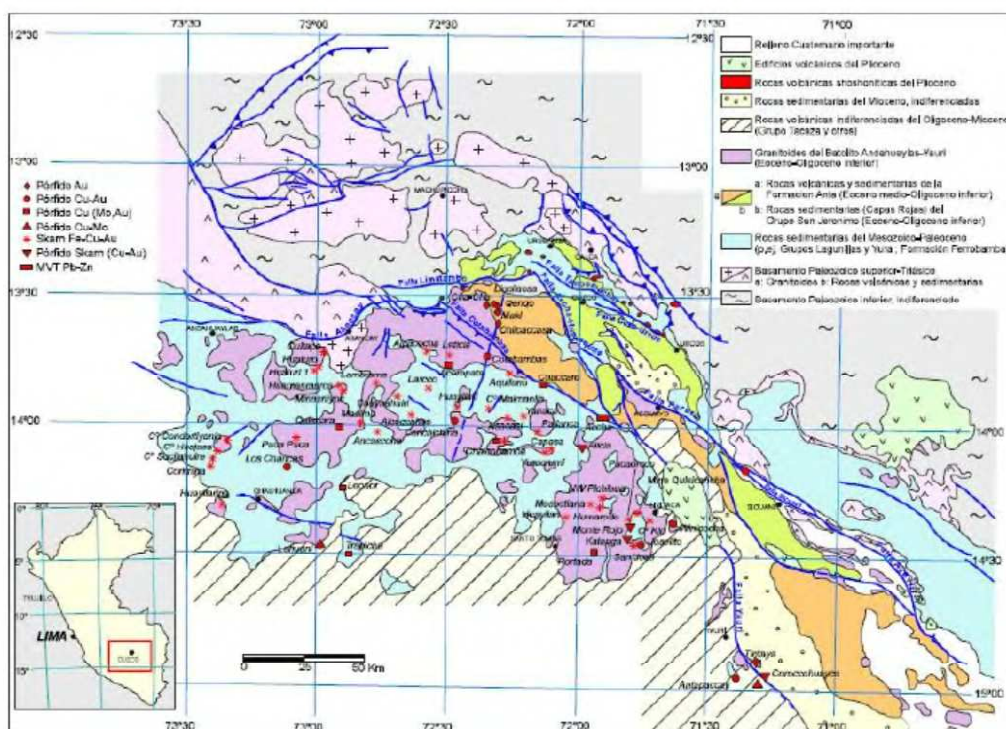


Fig.2.2.- Ubicación de principales estructuras y su relación con el Batolito Andahuaylas – Yauri (Perelló et al., 2003)

3.- GEOLOGÍA ECONÓMICA

3.1.- Introducción

Actualmente se mantiene en concepto (caso peruano) que los principales depósitos metálicos se formaron teniendo como base una actividad ígnea que se manifestó a través de varios episodios magmáticos en el tiempo geológico. Este pensamiento se vuelve más claro cuando se ha estudiado las características geológicas del batolito Andahuaylas – Yauri. Todos los estudios geológicos apuntan a que este magmatismo Eoceno – Oligoceno estuvo directamente relacionado a una zona de subducción que empezó a inicios del ciclo andino.

Desde el punto de vista geológico – minero esta actividad ígnea que dio origen al Batolito Andahuaylas – Yauri es una de las más importantes del Perú. Esto ha quedado demostrado por la gran cantidad de ocurrencias, prospectos, proyectos y minas que actualmente las empresas privadas vienen trabajando.

El análisis de la distribución zonal de los diferentes tipos de mineralización en el área, implicó un estudio preliminar del conjunto de datos existentes, así como los obtenidos en el curso de las investigaciones de campo ejecutadas durante el año 2009, confirmando datos como, rocas encajonantes, tipos de elementos y asociaciones geoquímicas, geometría (potencial mineral), ambiente mineralizados y zonas alteradas hidrotermales (anomalías espectrales de color). Conforme a estas investigaciones, el panorama geológico, presenta rocas encajonantes afectadas por cuerpos magmáticos batolíticos e hipabisales, con edades del Paleozoico hasta el Neógeno, donde los sistemas mineralizados guardan estrecha relación con eventos tectónicos y magmáticos desarrollados durante el terciario.

En relación a esta distribución zonal se pudieron reconocer varios grupos o cluster de depósitos minerales (Perelló et al., 2003), generalmente ubicados en la parte oriental del Batolito de Andahuaylas – Yauri. Estos cluster parecen estar relacionados a sistemas porfiríticos que involucran una serie de tipos de depósitos (principalmente, pórfidos, skarn, vetas), los cuales se desarrollan de acuerdo a su ambiente geológico. Entre ellos tenemos:

- El cluster de Tintaya.
 - Tintaya
 - Antapaccay
 - Coroccohuayco

- El cluster de Katanga
 - Kananga
 - San José
 - Monte Rojo
- El cluster de la Bambas
 - Chalcobamba
 - Ferrobamba
 - Sulfobamba
- El cluster de Cotabambas
 - Azulccacca
 - Ccarayoc
 - Ccallac
 - Huacile
- El Cluster de Morosayhuas
 - Llocllaca
 - Quenco
 - Maki
 - Cha - Cha

3.2 Tipos de depósitos

3.2.1 Pórfidos Au-Cu y Cu-Au-Mo

- **Proyecto Antilla**

Ubicación:

El proyecto Antilla está localizado muy cerca al pueblo que lleva su mismo nombre, el cual pertenece al distrito de Sabino, provincia de Antabamba, departamento de Apurímac, comprendido entre los 3300 a 4100 m.s.n.m. Geográficamente está ubicado en las Coordenadas UTM 8414000 N y 718500 E.

Geología Regional.-

El proyecto Antilla es un pórfido de Co-Mo con enriquecimiento secundario. Geológicamente, Antilla se ha formado en la secuencia clástica de las formaciones Chuquibambilla y Soraya, las cuales forman parte del Grupo Yura.

La mayor parte de la mineralización supérgena de Antilla se produce en la parte media del miembro basal, que también constituye la roca regional del pórfido de Chaluani.

Estudios y trabajos de campo complementario de mapeo geológico de superficie realizados por los geólogos, han distinguido al menos cinco tipos de pórfidos. Las relaciones de contacto entre ellos, en algunos casos, aún no han sido identificadas. Una secuencia tentativa, del más antiguo al más reciente, es la que sigue a continuación:

Pórfido principal

Antes llamado pórfido Chaluani (Informe Anual de Exploración, 2003) constituye la fase principal del pórfido actualmente identificado como la fuente de gran parte de la mineralización hipógena identificada en Antilla. En el área estudiada al menos dos de los pórfidos mapeados se han agrupado, nombrándolos pórfido principal A y B.

El pórfido principal A presenta una textura porfírica de grano medio a grueso, con fenocristales de plagioclasa de euhedrales a subhedral (25 - 30% vol; 0,1 a 0,3 cm), cuarzo redondeado (5% vol. 0,3 a 0,5 cm), con bordes de reabsorción, biotita (6% vol), ortoclasa (1% vol. 0,2 cm) y anfíboles (3% vol.), en un campo compuesto de agregados microcristalinos de cuarzo y feldespato potásico, con biotita intersticial, plagioclasas (0,5 mm), cristales de apatito y gránulos de sulfuro. Fenocristales de plagioclasa están alterados a sericita-illita. El anfíbol es una hornblenda, en cristales prismáticos y secciones romboidales, fuertemente reemplazado por biotita. Los fenocristales de biotita son tabulares, de color marrón, con bordes irregulares, reemplazado parcialmente por clorita y titanita.

Los mejores afloramientos se focalizan alrededor de la intersección del río Huancaspaco y la quebrada Chaluani, abarcando un área de 750 m x 600 m, con un rumbo predominantemente NW y localmente N-S en todas las terminaciones laterales.

El pórfido principal B está apenas expuesto en la superficie, y se limita a pequeños diques métricos y sills centimétricos en la parte oeste del proyecto, donde este presenta un característico color gris-marrón. Presenta una textura porfírica de grano medio con fenocristales de plagioclasa euhedrales a subhedral (30 - 60% vol, 0,1 a 0,3 cm), anfíboles (5% vol.) y biotita (15% vol.) en un campo compuesto por los agregados microcristalinos de cuarzo y feldespato potásico, plagioclasa y cantidades menores de ferromagnesianos.

Pórfido intermineral

Intrusivo de textura porfírica, con fenocristales de plagioclasa (25% vol, 0,2 a 0,6 cm), cuarzo (6 - 8% vol, 0,8 cm) y biotita (4% vol; 0,05 a 0,15 cm) con roca caja compuesta de plagioclasa (20 % vol.; 0,05 a 0,1 cm), agregados de cuarzo (30%) y feldespato potásico (15% vol. 0,03 -0,06 cm.) Existe una menor formación de sericita, clorita más de feldespatos. Los minerales accesorios incluyen abundantes circones, apatito, y relictos de magnetita con rutilo. La plagioclasa es oligoclasa con una débil alteración illita-sericita y una menor superimposición de calcita.

Pórfido tardío

Textura porfírica de grano medio, de color gris a gris oscuro. Presenta fenocristales de plagioclasa, específicamente oligoclasa-andesina (20 - 25% vol. 0,05 - 0,3cm) y, como minerales máficos, biotita (6%) con inclusiones de apatito, y abundantes anfíboles (5 -6% vol.; 0,05 -- 0,2 cm), especialmente hornblenda con inclusiones de apatito y magnetita.

Los ojos de cuarzo (hasta 3 mm de diámetro) son locales. La roca caja exhibe una textura traquítica desvitrificada o hialopilitica, con microlíticos de plagioclasa alterados a esmectita, cuarzo intersticial y zeolitas cálcicas.

El pórfido tardío es de composición dacítico y aparece como diques menores ocupando estructuras con rumbo E-O sin afectar el depósito mineralizado de manera significativa. Esto se pudo determinar en base a los resultados de perforación y estudios de magnetometría de suelo.

En general, todos estos pórfidos se encuentran en la forma de marcos de inmersión y / o diques a lo largo de un corredor estructural formado por los lineamientos Huancaspaco.

Pórfido Traquita-Dacita

Intrusivo de textura porfírica fluidal, constituida por fenocristales de plagioclasa (15% vol.; 0,01 a 0,02 cm), cristales de sanidina (3% en volumen), anfíboles (4 - 5% vol.) y pequeños ojos de cuarzo (4% vol.) con agujas de apatito.

La roca caja es microcristalina félsica, cuarzo libre y compuesto por plagioclasa y máficos, con magnetita magmática alterada, titanita y formación de rutilo.

Este conjunto está muy alterado a sericita, illita, clorita y calcita, con coloración blanquecina en la superficie.

Espacialmente, este cubre la parte externa la periferia NNE de la propiedad minera y no tiene relación directa con el sistema hidrotermal de Antilla. Es más se piensa que es parte del sistema hidrotermal del pórfido Leonor, que se encuentra fuera del área de estudio.

Alteración y mineralización

El depósito de la Antilla es descrito como una capa de calcocina supérgena hospedada en un conjunto de limonitas ligeramente inclinadas, areniscas, cuarcitas y areniscas de grano medio a fino. Se cree estar asociada con un sistema de intrusiones porfiríticas a manera de diques y sills lacolíticos, sin embargo, a excepción de un sondaje (ANT-17), cantidades limitadas de rocas intrusivas se han encontrado en las inmediaciones del depósito. A pesar de esta falta de intrusivos, un gran halo de alteración de biotita secundaria ha sido identificado por debajo de la capa, y la mineralización presenta muchas características típicas de pórfidos relacionados con la mineralización y la alteración.

La mineralización de Cu-Mo primario se presenta en forma diseminada, en fracturas y/o venillas de calcopirita, bornita y molibdenita en menor cantidad, y está acompañada principalmente por alteración potásica y sericitica. Un rasgo característico de la mineralización hipógena es su estrecha relación con algunos de los horizontes de la secuencia sedimentaria de la roca regional, lo que indica un intenso control litológico sobre la mineralización.

El depósito de la Antilla ocurre cerca de la intersección de dos fallas inversas de escala regional (> 10 km): la falla Piste con tendencia NE en la zona occidental, y la falla Matara de tendencia E-O hacia la zona sur. El depósito es cortado un sistema de fallas de rumbo del tipo dextral con una tendencia NE, fallas con rumbo NE y estructuras N-S sub verticales.

- **Prospecto Utupara**

Ubicación.-

El prospecto aurífero de Utupara se ubica en el paraje de Ccanccahuane, a 18 km del pueblo de mollebamba, en el distrito de Juan Espinoza Medrano, provincia de Antabamba, departamento de Apurimac a una cota promedio de 3900 m.s.n.m. a 437 Km. de Cusco. Sus coordenadas UTM son 8411586N y 735437E.

Geología Regional.-

Estratigráficamente se tiene cuarcitas de la formación Soraya del grupo Goyllarisquizga del Cretáceo inferior, areniscas y lutitas de la formación Mara del Cretáceo inferior, calizas de la formación Ferrobamba del Cretáceo medio y los volcánicos Tacaza del Terciario medio. Y como unidades intrusivas tenemos dioritas y monzonitas del Terciario superior. El ambiente ígneo predominante en el área lo conforman rocas dioríticas y estructuras dómicas o flow-dome de naturaleza dacítica y andecítica emplazados en al diorita del batolito a consecuencia de posteriores pulsaciones magmáticas las cuales se asocian a la mineralización de Cu-Au.

Las anomalías geoquímicas se ubican sobre cuatro domos, siendo el principal el domo El Cachorro, el cual presenta un anillo de brecha que comprende clastos de composición variada en una matriz argilizada que se confunden con tufos de explosión del domo originado en su ascenso, esta brecha es la de mayor interés presentando valores promedio de 137ppb de Au y 500 ppm de Cu, se distinguen dentro de la matriz venillas de óxidos, pirita y especuladita y poco diseminado de pirita, calcopirita y magnetita, posee alteración argílica intermedia y propilitización en la roca caja. El domo adyacente es el Antiguo de composición andesitita con algunos valores anómalos en Au y mayores que el domo Cachorro en Cu, no presenta brechamiento en su borde y al igual que el domo Cachorro presenta una facies de diques de brecha, estos se ubican generalmente en la parte central de ambos domos; el último domo y más pequeño es el Chiquito de composición andesitita que aflora aprox. En su mitad y más cercana al contacto entre la diorita del batolito y las cuarcitas Soraya en donde se ubica la antigua mina Utupara.

Alteración y Mineralización.-

Dentro del área de estudio se ha podido diferenciar una serie de alteraciones hidrotermales relacionados a las distintas fases intrusivas y eventos hidrotermales del intrusito Utupara. Estas alteraciones cubren en superficie un área aproximada de 4x3 km, teniendo como alteración dominante a la fase potásica con sobreimposición de fases sericiticas y propiliticas, características de varios sistemas porfíricos.

Entre las principales alteraciones hidrotermales tenemos:

- Alteración potásica temprana (bt-mt-Fk-py)

- Alteración propilítica principal (Fk-ab-bt-py)
- Alteración potásica tardía (Fk-ab+- py)
- Alteración propilítica (ClOs-ep-cac-py)
- Alteración Sericítica (Ser-py+-cz)
- Alteración argílica
- Alteración Calcosilicatada
- Alteración Prógrada (Grn-dio-wo)
- Alteración Retrógrada (act-mt-ca-esc-ab)

La mineralización en el área de estudio es diversa y se manifiesta en diferentes estilos, donde los principales minerales identificados son pirita, calcopirita, pirrotita, magnetita y en cantidades menores bornita, novelita, digenita y oro nativo. Todo esto debido a que el complejo intrusivo Utupara alberga distintos estilos de mineralización, mencionados entre los principales:

- Mineralización en zona de brecha intrusiva
- Mineralización en zona de Skarn
- Mineralización en mantos.



Fig. 3.1.- Muestras de sondaje mostrando estilos de mineralización en brecha intrusiva. (Bustamante, 2007).

- **Prospecto Trapiche**

Ubicación.-

El pórfido cuprífero Trapiche se ubica en el paraje Ccancahuane a 18 Km. al sur del pueblo de Mollebamba, perteneciente al distrito de San Juan Espinoza Medrano, provincia de

Antabamba, departamento de Apurímac. El acceso principal se realiza por la panamericana sur hasta Nazca, luego a Puquio – desvío Caraybamba con un recorrido de 809 Km. por carretera asfaltada, y a partir del cual 78 Km. por carretera afirmada hasta el yacimiento. Sus coordenadas UTM son 8395977N y 729386E.

Geográficamente se localiza en el flanco oriental de la Cordillera Occidental de los Andes, a una altitud de 3800 hasta los 4500 m.s.n.m. y estructuralmente dentro de la Deflexión de Abancay.

Geología Regional.-

De acuerdo a las características geológicas, mineralógicas y litológicas el yacimiento Trapiche corresponde a un depósito tipo pórfido de Cu-Mo con un enriquecimiento secundario incipiente, perteneciente a la provincia metalogénica de los pórfidos de Cu del Batolito Andahuaylas-Yauri.

El ambiente geológico está conformado por rocas sedimentarias mesozoicas y rocas intrusivas del Batolito Andahuaylas-Yauri, particularmente de la segunda etapa de emplazamiento entre los 40 y 33 Ma. (Carlotto, 1998). El basamento sedimentario está constituido particularmente por lutitas, limolitas, calizas margosas (unidad inferior) y limolitas, areniscas y cuarcitas (unidad superior), que conforman la formación Chuquibambilla del Grupo Yura (Llosa & Valencia, 2001). Las rocas intrusivas involucradas son la granodiorita, pórfido cuarzo dacítico y pórfido cuarzo feldespático de posible edad Eocena superior y perteneciente al Batolito Andahuaylas –Yauri.

Además se tienen brechas hidrotermales que se localizan en la parte norte, limitando con el pórfido cuarzo feldespático, pórfido cuarzo dacítico y las rocas sedimentarias. Presentan formas elípticas con orientación ENE-OSO y cuya dimensión total es de 900 por 400 m. aproximadamente. En profundidad, las brechas tienden a comportarse como estructuras angostas. Debido a su composición y grado de alteración las han clasificado en cuatro tipos: brecha de cuarzo-sulfuros, brecha ígnea, brecha cuarzo-turmalina y brecha de ruptura.

Alteración y Mineralización.-

Las alteraciones están presentes en casi todas las rocas existentes en el yacimiento, sufriendo variaciones y/o cambios tanto horizontal como verticalmente. La mayor parte de la

alteración se encuentra en la zona de brechas y el pórfido cuarzo feldespático, mientras que en las rocas sedimentarias es moderada y en los intrusivos es débil. Los tipos de alteración reconocidos son: alteración potásica conformado por feldespato potásico, cuarzo, biotita secundaria, albita, clorita, magnetita; la alteración fílica por cuarzo, sericita, illita, caolinita, pirita; la argílica por caolinita, montmorillonita, illita, dickita, y finalmente la alteración propilítica por clorita, epidota, calcita, pirita. La silicificación es evidente en venillas y microvenillas de cuarzo, existiendo también un skarn de cuarzo, magnetita, granates y actinolita.

La mineralización esta constituida principalmente por sulfuros primarios y secundarios que se albergan en el pórfido cuarzo feldespático, así como en los conductos de brecha y en menor proporción en las rocas sedimentarias. La mineralización es fundamentalmente en Cu-Mo; los sulfuros primarios de Cu son de calcopirita, molibdenita, pirita y trazas de bornita, en tanto que los secundarios son la calcosina, novelita y digenita. El molibdeno se presenta en venillas y frecuentemente con la calcopirita y pirita. En general, la mineralización se halla en diferentes tipos de venillas, clasificadas como venillas tipo A, B y D (Hunt & Gustafon, 1974), así como también en forma diseminada y en stockwork. La edad de la mineralización y alteración ha sido datada por el método K/Ar en 30.3 ± 0.8 Ma., aunque esta edad puede ser mas antigua (Perelló et al., 2003) por lo que este yacimiento pertenece a la provincia metalogénica de pórfidos del Batolito Andahuaylas-Yauri.

- **Cluster de Cotabambas**

Ubicación.-

El cluster de Cotabambas es un pórfido de Cu, Au y se localiza cerca de la ciudad de Cotabambas, aproximadamente 50 km. al suroeste de la ciudad de Cusco, con una elevación de 3400 a 3800 m.s.n.m. Sus coordenadas geográficas son $14^{\circ}10'52''$ Lat. sur y $72^{\circ}20'53''$ Long. oeste. El cluster contiene al menos cuatro centros porfiríticos en un área de 5 x 3 km, de los cuales Ccalla y Azulccacca son los más conocidos.

Geología Regional.-

La geología del área esta dominada por dos cuerpos plutónicos de naturaleza granodiorítica y diorítica además de pequeños stocks y diques de microdiorita y andesita, todos ellos pertenecientes al Batolito de Andahuaylas-Yauri. En Cotabambas las granodioritas han intruido a las dioritas siendo ambas a su vez intruidas por una serie de múltiples fases, de

stocks porfíricos y diques de composición granodiorítica a cuarzo-monzodiorítica con mineralización asociada a pórfidos de Cu, Au. Las principales estructuras consisten en la intersección de dos sistemas de fallas con direcciones NNE y ONO, las cuales se según interpretaciones serían las que habrían controlado el emplazamiento y la arquitectura de los centros porfíricos.

Alteración y Mineralización.-

La mineralización en Ccalla y Azulcacca esta presente en muchos ensambles asociados con estadios tempranos de alteración potásica, incluyendo fase múltiple, stockworks ricos en magnetita con cuarzo, feldespato potásico, biotita, calcopirita, bornita y trazas de pirita. Apatito, anhidrita y calcita son comúnmente comnstituyentes.



Fig. 3.2 y 3.3.- Diques andesíticos con mineralización de py y Oxidos de cobre.

3.2.2 Skarn

- **Cluster Tintaya Cu,Au,Ag,Mo**

Ubicación.-

Esta ubicada en el distrito de Yauri, provincia de Espinar, departamento de Cusco. Sus coordenadas UTM son: 8351320N y 249830E, a una altitud de 4100 m.s.n.m.

Geología Regional.-

En el área afloran calizas de la formación Ferrobamba, del Cretaceo, que sobreyacen a las areniscas de la formación Murco del Cretaceo inferior, las cuales han sido cortadas por intrusivos de composición diorítica, granodiorítica y monzonita porfirítica, y a su vez se encuentran flanqueados por dos fallas regionales semi-paralelas de dirección NE-SO. En el área se pueden distinguir hasta seis unidades intrusivas: monzonita porfirítica, aplita, pórfido latítico, pórfido diorítico, pórfido andesítico y pebble brecha. Se observa que las intrusiones monzoníticas iniciales están relacionadas a la formación del skarn y al emplazamiento de la mineralización de Cu, se ha reconocido la presencia de dos eventos de intrusiones monzoníticas. El primer evento es el más abundante, se caracteriza por una pobre textura porfirítica, 1-2% en volumen de fenocristales de cuarzo y biotita. El otro evento una textura porfirítica con fenocristales de hornblenda (6-8% volumen), menor contenido de biotita (3-5% volumen), ojos de cuarzo y magnetita.

Asimismo se presenta un plegamiento asimétrico anticlinal-sinclinal, cuyos ejes tienen una orientación general NO-SE. El pórfido monzonítico en contacto con las calizas Ferrobamba ha desarrollado un skarn con una zona de metasomatismo de contacto de 3.5 Km. de longitud y un ancho promedio de 100m. Una falla regional de rumbo N-S corta el skarn en dos diferentes zonas (Fierro, 1997); hacia el este de la falla se tienen cuerpos mineralizados de skarn, de forma continua, siguiendo una dirección preferencial E-O, en el contacto monzonita-caliza y al oeste, ocurre un skarn como techos colgados discontinuos dentro de la monzonita más tardía, con orientación NO.

Alteración y Mineralización.-

La mineralización se emplaza en los exoskarns de granate-progrado zonado, así como en el endoskarn. La monzonita antigua, se caracteriza por el contenido de feldespato potásico, con el desarrollo de biotita secundaria y se encuentra cortada por vetillas de cuarzo. La mineralización y alteración del segundo evento de monzonita se caracteriza por el reemplazamiento de biotita primaria por biotita secundaria.

Vetillas ocasionales compuestas por biotita-calcopirita con feldespato potásico, de 1 a 21 mm. de espesor así como vetillas de cuarzo-calcopirita-molibdenita de 3 mm. de espesor, cortan a ambos eventos de monzonita. Los ensambles de silicato de potasio en la monzonita son localmente sobreimpuestos por una alteración retrograda y mineralización de clorita-albita-calcopirita-pirita.

La mineralización económica esta compuesta por calcopirita, bornita, calcocita, covelina, digenita, malaquita y como ganga presenta magnetita, pirita, cuarzo, granates, y anfíboles. La alteración hidrotermal y mineralización ocurren a lo largo del contacto entre las calizas de la formación Ferrobamba y del Batolito Terciario monzonítico de Andahuaylas-Yauri.

- **Cluster las Bambas Cu, Au**

Ubicación.-

El proyecto se encuentra ubicado a 72 Km. al SO de la ciudad de Cusco, provincia de Cotabambas, departamento de Apurímac, sus coordenadas UTM son 8444000N y 786500E, y esta a una altitud variable de 3800 a 4650 m.s.n.m. Está comprendido dentro de la franja de skarn de Cu, Au asociados al Batolito de Andahuaylas-Yauri de edad Eoceno-Oligoceno, ubicado en la parte SE del Perú.

Geología Regional.-

Las Bambas se compone de tres áreas principales (Ferrobamba, Chalcobamba y Sulfobamba), asociadas a varias fases de intrusión de composición intermedia (monzonitas), algunas de estas fases con mineralización de tipo pórfido de Cu, Mo.

La litoestratigrafía de la zona se caracteriza por presentar una gruesa secuencia sedimentaria con una unidad inferior constituida por areniscas (Fm. Soraya-Jurásico superior a Cretáceo inferior), seguida por otra de limolitas y areniscas (Fm. Mara –Cretáceo inferior) con un cambio transicional hacia una unidad netamente calcarea (Fm. Ferrobamba – Cretáceo medio), constituido por horizontes de calizas masivas, calizas con chert, calizas bioclásticas y calizas con clásticos finos. Existen formaciones cuaternarias, tales como los volcánicos piroclásticos que afloran en los flancos del río Challhuahuacho y en otras quebradas ubicadas en la parte sur; así como, morrenas y sedimentos fluvio-glaciales ubicados en diferentes sectores del proyecto.

Existen diferentes pulsos magmáticos, habiéndose iniciado con una fase diorítica, seguido por una granodiorítica, ambas de alcance regional, cortados en varios sectores por diferentes fases locales de monzonitas, así como diques tardíos de latita y otros, como lo son en Ferrobamba, Chalcobamba, Sulfobamba y otros.

El proyecto Las Bambas se encuentra dentro de un importante control estructural denominado la Deflexión de Abancay, en este nivel, la Cordillera de los Andes tiene un cambio de dirección de aproximadamente Este a Oeste. La zona se encuentra dentro de un gran marco estructural de apertura (dilation zone), en la que se han identificado diferentes sistemas de fracturas de dirección NO-SE, NE-SO, N-S y ejes de plegamiento de dirección casi E-O, producto de varias fases tectónicas. Por lo tanto, el marco estructural existente en la zona, favoreció el emplazamiento de las diferentes fases de intrusión que están asociadas a la mineralización.

Ferrobamba, Chalcobamba y Sulfobamba son depósitos del tipo skarn asociado a sistemas de pórfidos poco avanzados, con características propias principalmente de alteración y mineralización. La formación de los cuerpos de skarn en las diferentes áreas, están relacionados a más de una fase de monzonita, cada una de estas fases han mineralizado ya sea, en menor o mayor grado los cuerpos de skarn. Por otro lado existen cuerpos grandes de skarn que han sido formados por la diorita en contacto con calizas Ferrobamba, como lo son el Chalcobamba y Sulfobamba, a excepción de las fases monzoníticas esta no tiene mineralización.

Alteración y Mineralización.-

La alteración presente en los skarn es:

- Programa: Granates, piroxenos y magnetita
- Retrograda: Epidota, anfíbol, especularita, clorita, calcita, ± cuarzo, limolitas
- Endoskarn: Granate, piroxeno, epidota, anortita, ± especularita y ± cuarzo ó epidota, granate, anfíbol, especularita y albita.

La mineralización de calcopirita, bornita y pirita en los cuerpos de skarn se presentan en forma diseminada, masiva, en vetillas irregulares, y en vetillas de cuarzo, este último generalmente relacionado a otras fases de monzonita que cortan a los cuerpos de skarn llegando a formar delgados halos de reacción, principalmente de granate. Mineralización de sulfuros de Cu: Ferrobamba (bornita y calcopirita), Chalcobamba (calcopirita) y Sulfobamba (calcopirita); en este último, se presenta además alto contenido de pirita respecto a las demás áreas. La molibdenita se presenta comúnmente en la zona de endoskarn.

En las tres áreas se han identificado sistemas mineralizados del tipo pórfido, las cuales están asociadas a dos o más fases de monzonita. Casi en todos estos sistemas, la alteración que predomina es potásica constituida principalmente de biotita secundaria, feldespato potásico, cuarzo y trazas de magnetita, también, parte de este ensamble es la presencia de venillas de cuarzo con halos de biotita secundaria o feldespato potásico \pm magnetita asociados con sulfuros o sin sulfuros. La intensidad es variable, de moderado a fuerte; en Ferrobamba el pórfido presenta una intensidad de grado débil a moderada; en Chalcobamba en algunas de las fases es intensa, con zonas que presenta una moderada sobre imposición de arcilla, sericita y clorita, y en Sulfobamba la intensidad es de moderada a fuerte principalmente en la primera fase de monzonita (QFP), y en la diorita y en menor grado en las demás fases. La mineralización de sulfuros de cobre en estos sistemas, se presentan diseminados, en venillas y en venillas de cuarzo; en Ferrobamba la mineralización es calcopirita y bornita, en Chalcobamba calcopirita con pocas cantidades de bornita y en Sulfobamba es calcopirita asociado con pirita. La mineralización de molibdenita generalmente se encuentra asociada a venillas de cuarzo.

Estos sistemas de pórfidos en Ferrobamba y chalcobamba, desarrollan un débil halo de alteración alrededor de los cuerpos mineralizados, e igualmente la evidencia de mineralización de sulfuros de cobre en superficie son muy débiles, llegando en profundidad a incrementarse. En Sulfobamba, el pórfido sí presenta un halo hacia la periferia del halo potásico, con minerales de alteración como clorita, epidota, \pm feldespato potásico, pirita y trazas de calcopirita y molibdenita.

La zona de óxidos (crisocola, malaquita, copper pitch, y otros) no se encuentra bien desarrollada, generalmente son superficiales o en profundidad están asociados a zonas de fractura (cobre nativo, cuprita y otros). Gran parte de los óxidos se presentan solo como patinas sobre los sulfuros de cobre. La presencia de calcosina secundaria en los cuerpos mineralizados generalmente se presenta como pátinas sobre bornita y calcopirita, se presentan a cualquier nivel de los cuerpos mineralizados.

- **Cluster Katanga Cu, Ag, Au**

Ubicación.-

Se ubica en el distrito de Chamaca, provincia de Chumbivilcas, departamento de Cusco, a 50 km. al NO de Yauri y 10 km. al NNE de Velille. Sus coordenadas UTM son 8403200N y 198000E, a una altitud de 4100m.s.n.m.

Geología Regional.-

Katanga es un yacimiento emplazado en rocas dioríticas y granodioríticas, comprende dos áreas: la primera, es la del cerro Cobreyoc al norte del río Quibio, conformada por dos cuerpos irregulares, pero esencialmente skarn en forma tabular; y la segunda ubicada al sur del mismo río y con iguales características. Las calizas muestran recristalización y marmolización en el contacto con la diorita y posteriores intrusiones de granodiorita.

El skarn presenta diferentes composiciones mineralógicas y ensambles. En un caso, el skarn es de aspecto claro, formado por diópsido, wollastonita, calcita y cuarzo, y otras veces totalmente reemplazado por calcita. En otro caso, el ensamble presenta una coloración oscura, compuesto por cuarzo, granate, calcita y algo de diópsido y es más abundante en la mina, en donde se obtuvo las mejores leyes de cobre, plata y oro. La matriz y fragmentos de las brechas han sido reemplazados por skarn, presentándose parcialmente en los fragmentos de roca intrusiva pero selectivamente a horizontes de caliza y brechas producidas por fallas menores, conformando cuerpos de forma tabular, semejante a mantos o vetas en la periferia de la mineralización principal. Los procesos hidrotermales que acompañaron al metasomatismo de las calizas, al contacto con los intrusivos, fueron la siccificación y epidotización limitada a escasos metros del contacto de la caliza marmolizada; la sericitación, caolinización y cloritización, que están circunscritas a las rocas intrusivas alrededor de los cuerpos de skarn extendiéndose unos metros del contacto. La oxidación y el enriquecimiento supérgeno de los sulfuros fue más favorable en el skarn oscuro, por su grado de porosidad y trituración. Los minerales hipógenos principales son bornita, calcopirita, magnetita y oro nativo; como minerales supérgenos se presentan malaquita, crisocola, cuprita, novelita, calcosita, hematita y limonita.

Estructuralmente el yacimiento de Katanga esta definido por el contacto intrusivo-calizas y la falla cimoidal Katanga. El brechamiento favoreció el reemplazamiento metasomático y la metalización. Los cuerpos tabulares de Katanga tienen un rumbo N10°O, buzamiento vertical, N80°E y buzamiento subvertical, en profundidad convergen formando una sola estructura.

La otra área desarrollada esta en la quebrada Quibio, encontrándose colgante al extremo sur del intrusivo diorítico en donde las calizas plegadas forman un anticlinal con rumbo N-S. Además en la periferia del intrusivo se encuentran vetas y mantos de magnetita, así como vetas de cobre-plomo-zinc de menor envergadura.

PRELIMINAR

4.- GEOQUÍMICA REGIONAL (STREAM SEDIMENT)

Los trabajos de geoquímica de sedimentos de quebradas realizados por INGEMMET en las Franjas 1 y 2 han servido como una buena herramienta para poder diferenciar el dominio del arco interno y del arco principal (Clark et al., 1990). Así como también se pueden diferenciar claramente el dominio que establecen las grandes sistemas de fallas regionales (Urcos – Sicuani – Ayaviri).

El Magmatismo del Batolito de Andahuaylas se encuentra relacionado al dominio del arco principal, donde los magmas tienen un origen profundo relacionado a la zona de subducción. Tomando como base la alcalinidad vs la sílice geoquímicamente este magmatismo es clasificado como calcoalcalino con medio contenido de potasio y tomando como base el índice de saturación de alúmina este magmatismo es clasificado como metaluminoso.

La figura 4.1 delimita claramente el dominio peraluminoso del magmatismo Permo - Triásico desarrollado en el segmento del Batolito de Carabaya y su prolongación hacia la deflexión de Abancay. Esto se debe a que las altas concentraciones de lantano está relacionado a este tipo de magmatismo peraluminoso altamente diferenciado.

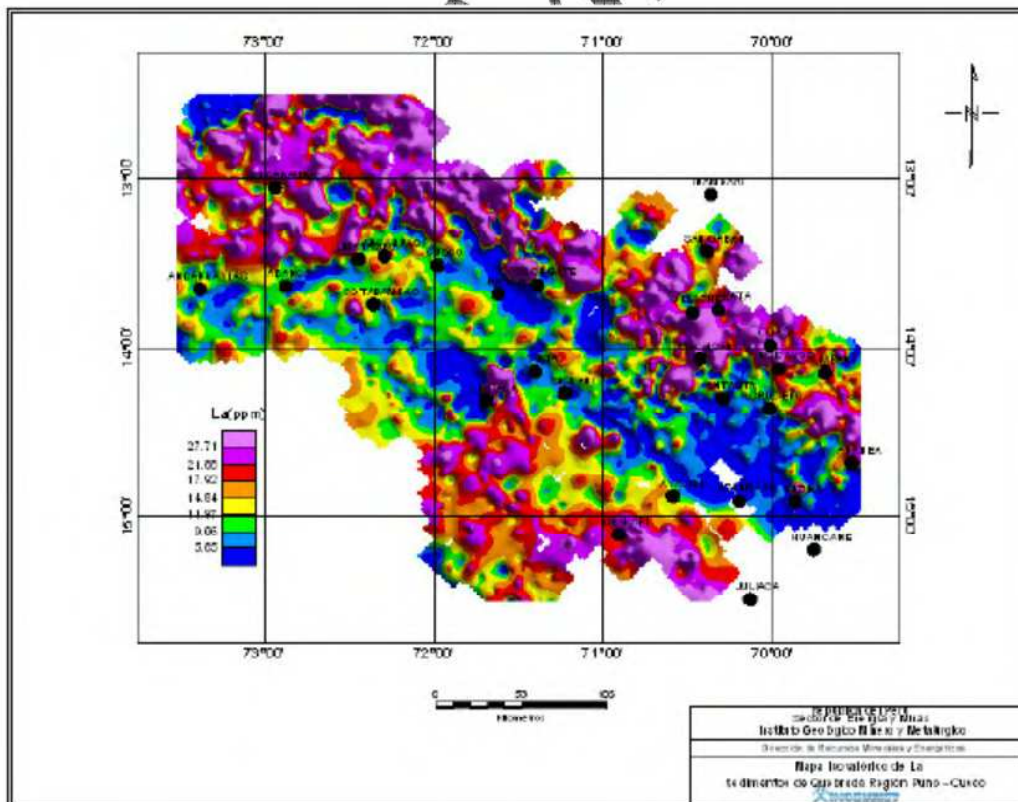


Fig. 4.1.- Mapa isovalórico del La.

Se puede observar el límite norte del magmatismo metaluminoso del Batolito de Andahuaylas – Yauri coincidiendo con el sistema de fallas ubicados en la parte sur de la deflexión de Abancay en las proximidades de las ciudades de Abancay y Andahuaylas.

Se puede interpretar un claro corredor geoquímica de bajo valores de La que coincide con la disposición espacial de los intrusivos metaluminoso del Batolito de Andahuaylas – Yauri y las cuencas sedimentarias cretácicas desarrolladas en el altiplano oriental (Cuenca Putina). En la parte se observa nuevamente valores ligeramente elevados de La lo cual estaría relacionado a todo el volcanismo metaluminoso moderadamente diferenciado desarrollado en el arco principal (ejemplo: Domo Ocuvi).

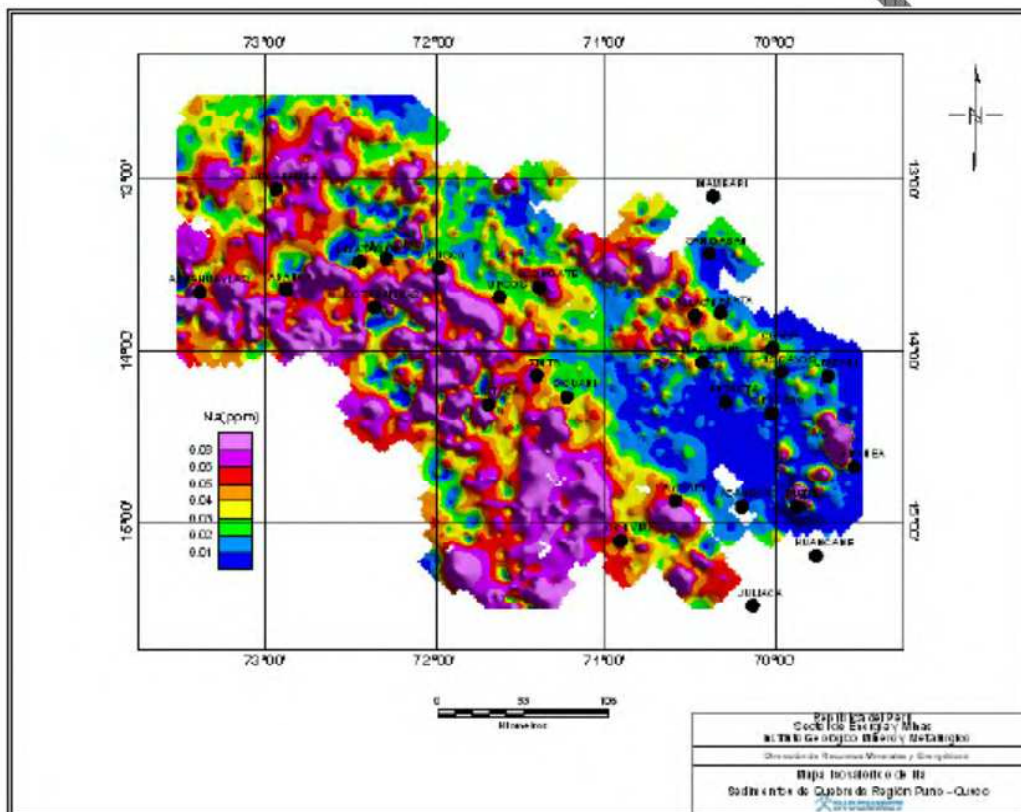


Fig. 4.2 Mapa isovalórico del Na

Por otra parte en la Fig. 4.2 el elemento Na claramente define el dominio del arco principal. El límite oriental de sus valores más altos coinciden con el sistema de fallas Urcos – Sicuani – Ayaviri de orientación NO – SE, con una ligera deflexión a la altura de la ciudad de Cusco hacia el E-O. Los afloramientos del Batolito de Andahuaylas – Yauri se encuentran incluidos dentro de la tendencia de los altos valores de sodio.

En las Fig. 4.3 y 4.4 se puede observar claramente como el Ca y Sr delimitan muy bien el dominio del arco principal. Ambos elementos delimitan muy bien el límite oriental del dominio del arco principal y coinciden espacialmente con el sistema de fallas Urcos – Sicuani – Ayaviri (Carlotto et al., 2005). Las anomalías más altas de Ca y Sr coinciden espacialmente con los afloramientos del Batolito de Andahuaylas – Yauri. Esto se debe a que el Ca y el Sr tiende a entrar en la red cristalina de la plagioclasa la cual es muy común en el magmatismo metaluminoso y escasa en los peraluminoso.

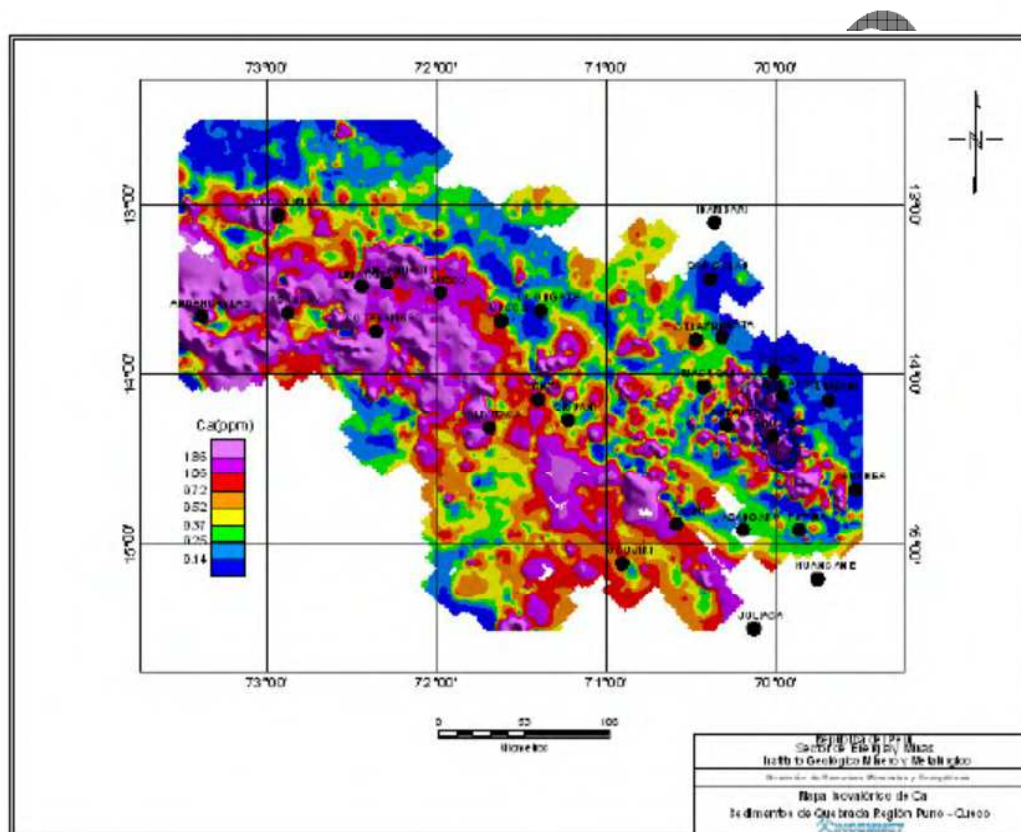


Fig. 4.3 Mapa isovalórico del Ca

Algunas anomalías de estroncio y calcio son observadas dentro del dominio de los intrusivos Permo – Triásicos de la deflexión de Abancay lo cual puede ser interpretado como una mezcla de magmas metaluminosos y peraluminosos. De igual manera pasa en los alrededores de la localidad de Antauta donde se observan anomalías aisladas de Ca y Sr, lo cual podría estar relacionado a pulsos aislados de magmas de origen profundo tipo I o metaluminosos (ejemplo: Cerro Moromoroni)

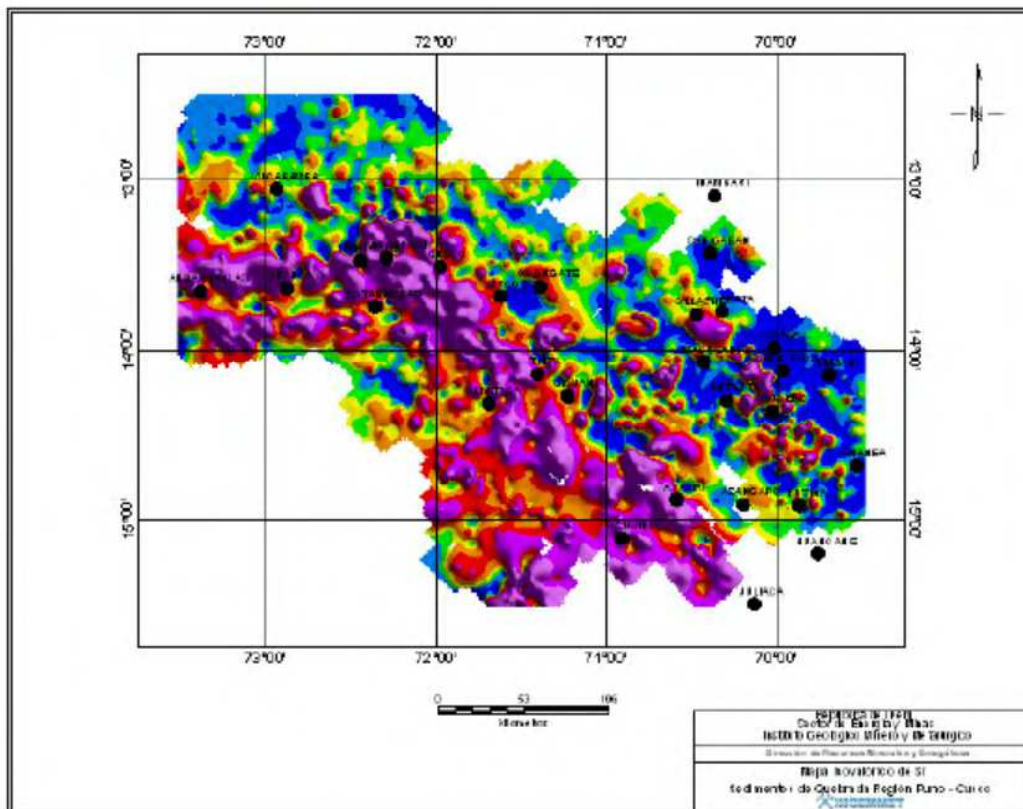


Fig. 4.4 Mapa isovalórico del Sr

El elemento potasio (Fig. 4.5) define muy bien el ambiente peraluminosos del segmento de Carabaya y los intrusivos Permo – Triásicos de la deflexión de Abancay. Se puede observar que las concentraciones de potasio en el Batolito de Andahuaylas son mucho menores en relación al magmatismo Permo – Triásico de la deflexión de Abancay. Esto es quizás producto del basamento Cretáceo sedimentario. Las anomalías puntuales de potasio dentro de esta zona se correlacionaría con los intrusivos del Batolito de Andahuaylas – Yauri.

La diferencia en la concentración de potasio entre el Batolito de Andahuaylas y el magmatismo Permo – Triásico generalmente no es mucha, pero la concentración de óxidos de Sílice si es un buen marcador, debido a que estos últimos provienen de un magmatismo relacionado a eventos anatéxicos.

Se observa un claro lineamiento OSO – ENE que delimita el Batolito de Andahuaylas de los intrusivos Permo – Triásicos de la deflexión de Abancay y que podría estar relacionada a las fallas transformantes descritas por Carlotto, 2005

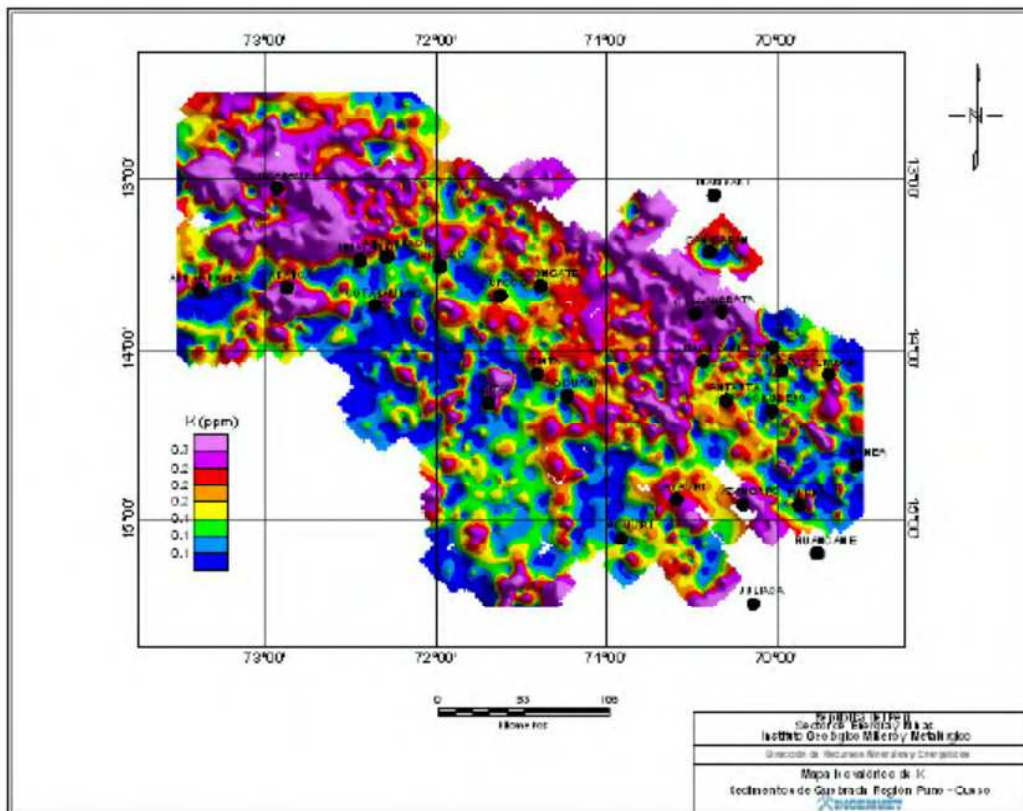


Fig. 4.5 Mapa isovalórico del K

En la Fig. 4.6 se observa la tendencia NO- SO de los altos valores del Al que coinciden espacialmente con los afloramientos de la Cordillera de Carabaya. Aproximadamente a 13° 30' esta orientación cambia a W-E coincidiendo espacialmente con los afloramientos peraluminosos de los intrusivos Permo - Triásicos de la deflexión de Abancay. Se aprecian también una pequeña franjas de anomalías de Al dentro del magmatismo metaluminoso del Batolito de Andahuaylas, los cuales primero tienen una clara orientación NO - SE para luego cambiar a la altura de la deflexión de Abancay a W-E. Este cambio de de rumbo permite interferir claramente un fuerte control geológico del tipo estructural controlando el límite de estos dos tipos de magmatismo que sería interpretado como las fallas transformantes descritas por Carlotto et al., xxxx.

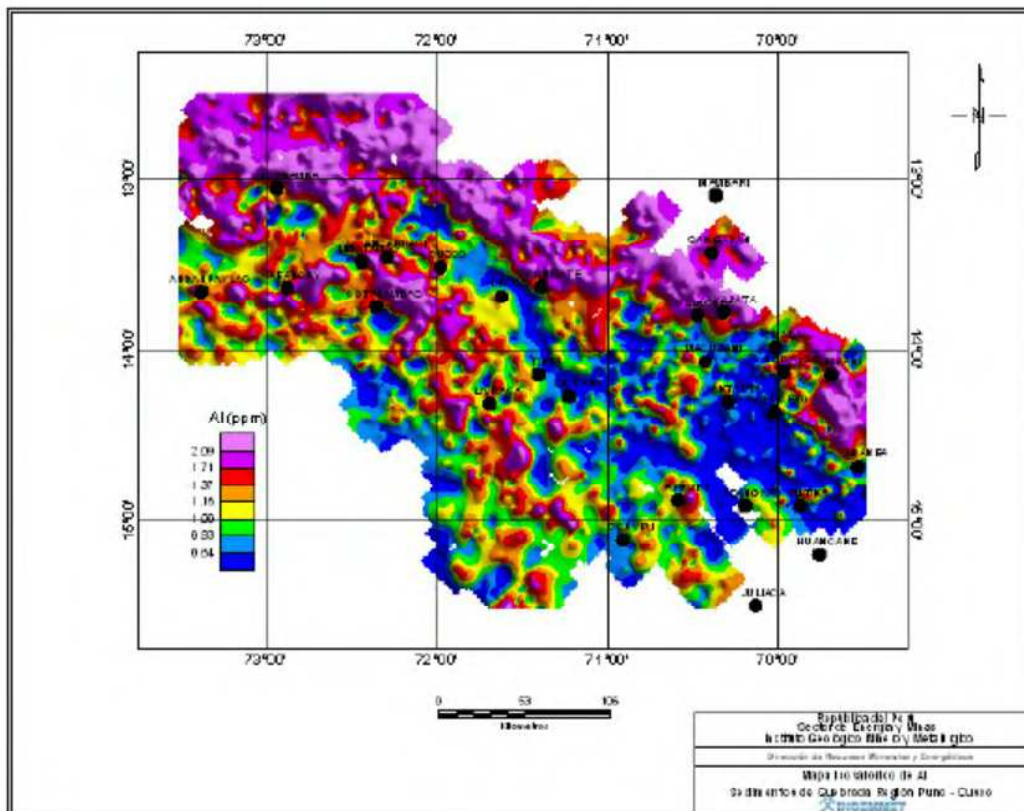


Fig. 4.6 Mapa isovalórico del Al

Desde un punto de vista más local relacionado solo exclusivamente a nuestra zona de estudio, los mapas isovalóricos muestran varias anomalías aisladas de Au, Mo, Zn. (Figuras 4.7, 4.8 y 4.9, respectivamente) La interpretación de lineamientos es relativamente difícil, pero aún así se pueden reconocer algunos lineamientos relacionados a posibles fallas de carácter regional. Muchas de estas anomalías coinciden espacialmente con la ubicación de los cluster de Tintaya, Las Bambas, Katanga, Morosayhuas. Así como también muchas anomalías no se encuentran relacionadas a ningún depósito conocido, convirtiéndose en áreas con alta potencial de exploración. Muchas de estas anomalías abarcan áreas kilométricas y algunas son solamente puntuales y aisladas.

Las interpretaciones geoquímicas regionales acerca de estos mapas deben tomarse con mucho cuidado ya que se trata de dispersiones de origen secundario y lo que generalmente demuestra son tendencias geoquímicas, permitiendo diferenciar diferentes ambientes geológicos (ejemplo: metaluminoso y peraluminoso).

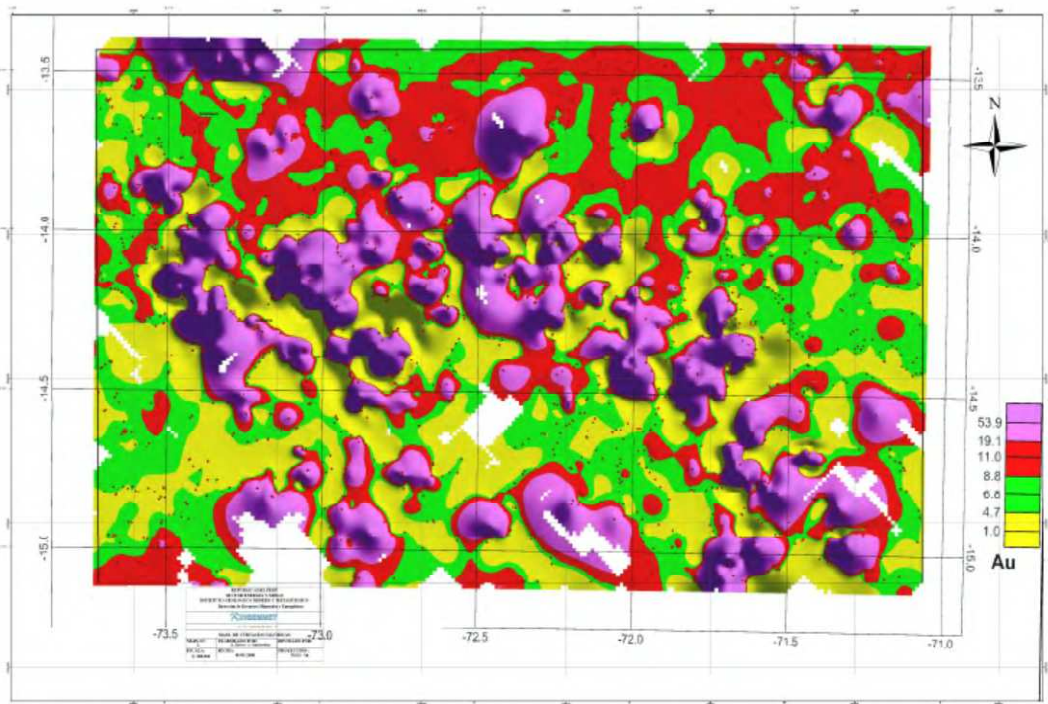


Fig. 4.7 Mapa isovalórico del Au

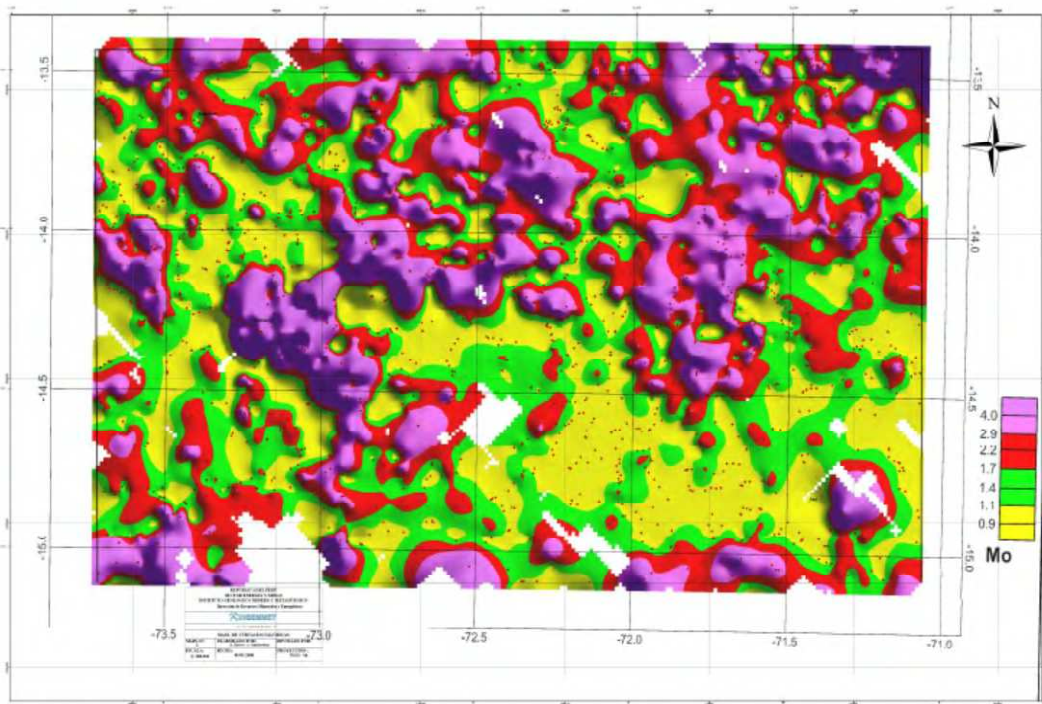


Fig. 4.8 Mapa isovalórico del Mo

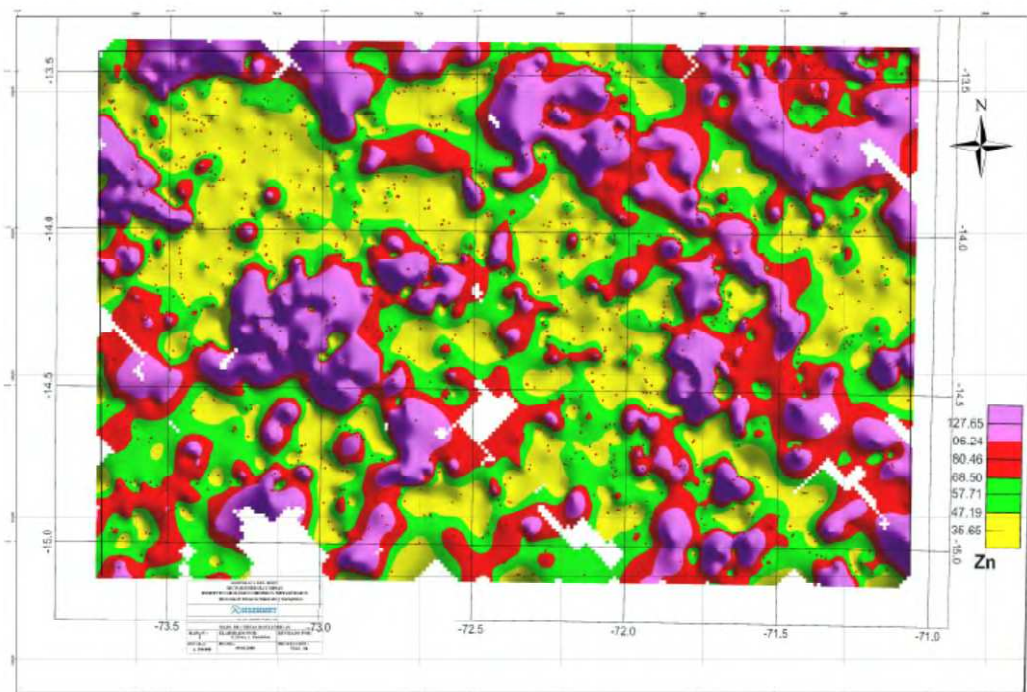


Fig. 4.9 Mapa isovalórico del Zn

5.-INTERPRETACIÓN METALOGÉNICA

Es muy claro que regionalmente la mineralización Cu-Au-Mo-Fe del Batolito de Andahuaylas obedece a un control estructural y magmático que permite diferenciar en la zona de estudio dos grandes dominios petrogenéticos muy diferentes. Ambos dominios se encuentran separados por un sistema de fallas regionales de posible origen cortical y rumbo NO-SE denominado como Urcos – Sicuani – Ayaviri. El primer dominio coexiste espacialmente con la cuenca Arequipa donde geoquímicamente se desarrolla un magmatismo Metaluminoso dominado por un magmatismo de origen profundo relacionado a la zona de subducción. El Batolito de Andahuaylas – Yauri se desarrolla por completo dentro de este dominio magmático. Por otro lado en la parte oriental del alto estructural Cusco – Puno se desarrolla un magmatismo predominantemente peraluminoso con un fuerte dominio cortical y con un potencial geológico Sn-W-U-Mo totalmente diferente al del Batolito de Andahuaylas.

El principal tipo de mineralización es de pórfidos Cu-Au – Mo, mantos de Fe y skarn ligados directamente al Batolito de Andahuaylas – Yauri. Relaciones de campo y dataciones geocronológicas indican que estos depósitos están relacionados al Eoceno superior – Oligoceno inferior.

Dentro de esta franja, la mineralización en los depósitos porfíricos abarca el espectro completo de asociaciones de metales, desde pórfidos de Cu-Au en Cotabambas y Winicocha, pasando por pórfidos de Cu-(Au) en Antapacay y de Cu-Mo en Lahuani, hasta pórfidos de Au en Morosayhuas. La mineralización de Skarn es comúnmente de tipo Fe-Cu-Au, rica en magnetita y se aloja en los horizontes carbonatados de la Formación Ferrobamba (Cretácico). Lo anterior contradice a la literatura, donde habla que la Franja Andahuaylas – Yauri sería exclusivamente de mineralización tipo skarn, sin presencia de pórfidos.

Al igual que en el caso chileno, en donde la franja de pórfidos está claramente ligada a un sistema de fallas regionales longitudinales (sistema de fallas Domeyko), la franja Andahuaylas – Yauri posee una íntima relación con un sistema de fallas regionales.

Estructuras mayores como las fallas Cotabambas, Cusco, Sicuani, Accha-Huanoquite y otras exhiben un corredor equivalente al sistema de fallas Domeyko del norte de Chile y habrían controlado la evolución tectónica y magmática del altiplano peruano. De hecho, la evolución de las cuencas de Cusco y Sicuani, ubicadas al este de dichas estructuras, similar al de las cuencas del Salar de Atacama en el norte de Chile, también ubicada en el sistema de fallas Domeyko. Siendo muy probable la continuidad de esta franja mineralizada en ambos países (Fig. 5.1).

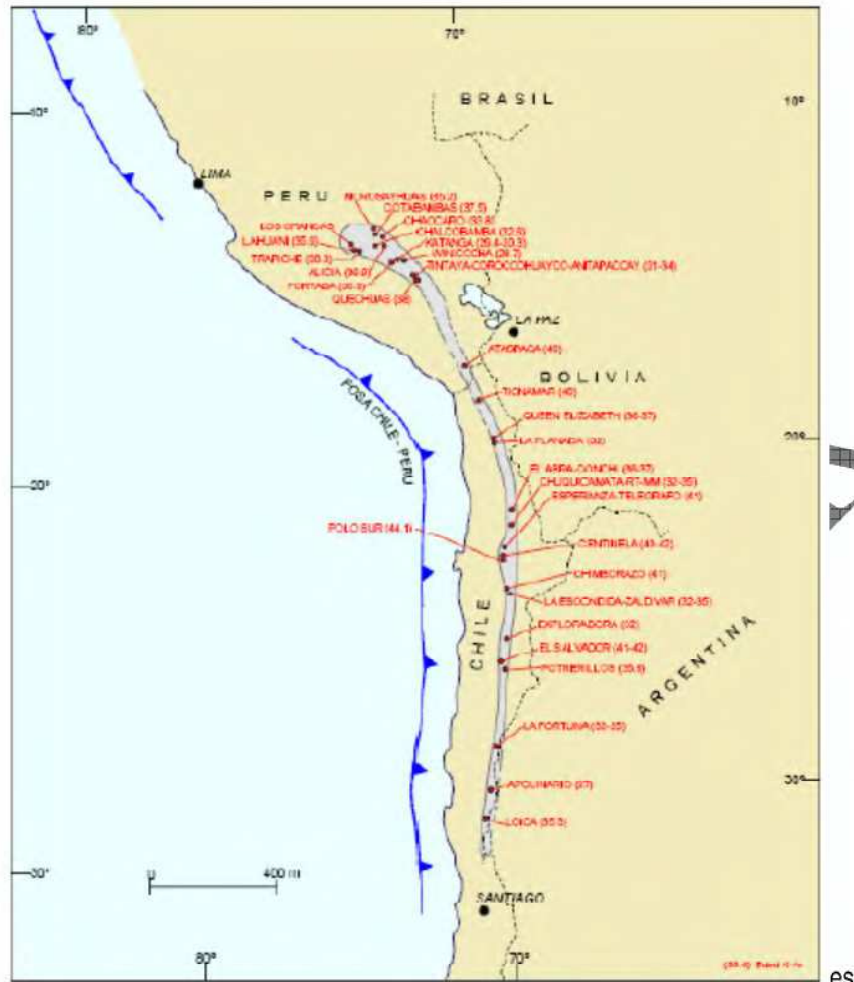


Fig. 5.1.- Prolongación de la Franja de pórfidos en territorio peruano - chileno

La mineralización de los pórfidos en el Batolito Andahuaylas – Yauri es típica de los pórfidos de Cu-Au-Mo de distribuidos mundialmente, al igual que todos sus tipos de alteraciones hidrotermales.

La coexistencia de pórfidos de Cu-Au, Cu-Mo y Au en una misma franja metalogénica de ambiente córdillerano, constituye evidencia adicional en el sentido que la asociación metálica de los sistemas tipo pórfido, no guardan relación alguna con el ambiente tectónico, roca caja ni espesor de la corteza (Sillitoe, 1979). Sino más bien depende de otros factores más locales, inherentes a cada sistema en particular.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las características geológicas indican que el batolito Andahuaylas-Yauri es un gran cuerpo intrusivo que se encuentra relacionado a la subducción. La zona de estudio muestra un alto potencial por seguir encontrando en la parte central y norte depósitos minerales tipo pórfido y skarn, mientras que la zona sur debido al afloramiento de rocas volcánicas el potencial cambia a depósitos epitermales.

Las visitas técnicas de campo demuestran que la mayor parte de estas ocurrencias minerales se encuentran en la etapa de proyecto, con etapas de perforación avanzada.

Las características geológicas locales son diferentes muchos de estos pórfidos presentan amplias zonas de oxidación de cobre (malaquita, azurita y crisocola), además del cambio de facies dentro de las rocas intrusivas.

Actualmente los relaves dejados por muchas de estas minas (ejemplo Katanga) a promovido el trabajo artesanal, de donde sacan directamente los óxidos de cobre (antes no económicos) y los venden a empresas que compran relaves.

Las leyes de Cu y Au del cluster de Cotabambas están directamente relacionadas a la intensidad del stockwork de cuarzo-magnetita-calcopirita-bornita. Dicha intensidades mayor hacia los contactos entre el Pórfido Principal y su caja diorítica, disminuyendo notoriamente hacia el núcleo del mismo. Las altas leyes de Au en sectores de Ccalla y Azulccacca son comparables con las de aquellos pórfidos de Cu-Au más ricos en oro conocidos, como es el caso de Grasberg en Papúa Nueva Guinea y Far Southeast en las Filipinas. Ambos promedian >1ppm Au. (Perelló et al, 2003).

Al igual que en el caso chileno, en donde la franja de pórfidos está claramente relacionada a un sistema de fallas longitudinales de distribución regional (Sistema Fallas Domeyko), la Franja Andahuaylas-Yauri peruana posee una íntima relación con estructuras y lineamientos regionales, los que recién están comenzando a ser identificados.

Bibliografía

- Bellido Bravo, Eleodoro; De Montreuil Díaz, Luis Angel (1972). Aspectos generales de la metalogena del Perú. En: Servicio de Geología y Minería. Boletín. Serie B: Geología Económica, n. 1, 149 pag.

- Bonhomme, M.G., y Carlier, G., 1990. Relations entre magmatisme et mineralisations dans le Batholite d'Andahuyalas-Yauri (Sud Perou): Donnees geochronologiques. Simposio Internacional Geodinámica Andina, Grenoble, Francia, pag. 329-331
- Cárdenas Revilla, Agustín; Hentschel, Thomas (1999). Advances in the implementation of clean technologies in bolivian small scale mining to mitigate mercury emissions, liquid and solid waste. En: Congreso Internacional de Minería y Medio Ambiente, Lima, PE, 12-16 julio 1999, International Mining and Environment Congress "Clean technology: third Millennium challenge". Lima: Colegio de Ingenieros del Perú 1999, Pag. 269-279.
- Cárdenas Cabrera, Jorge Luis (1997). Estudio técnico económico de la aplicación de celdas columna en el circuito de flotación de la concentradora Condestable. En: Minas, año 3, n. 6, pag. 26-83.
- Calotto, V., Jaillard, E., Carlier, G., Cárdenas, J., Cerpa, L., Flores, T., La Torre, O., Ibarra, I. (2005) Las cuencas terciarias sinorogénicas en el Altiplano y en la Cordillera Occidental del sur del Perú. En: Volumen especial N° 6 Alberto Giesecke Matto, pag. 103 – 126.
- Carlotto Caillaux, Víctor Santiago; Cárdenas Roque, José Dionicio; Romero Fernández, Darwin; Valdivia Vera, Waldir; Jaimes Salcedo, Fredy (1998). Geología de los cuadrángulos de Soledad y Alegría. Hojas 25-x y 25-y En: INGEMMET. Boletín. Serie A: Carta Geológica Nacional, n. 107, 176 pag.
- Carlotto Caillaux, Víctor Santiago; Jaillard, Etienne; Carlier, Gabriel; Mascle, Georges H. (1997). Las cuencas sin-orogénicas (Eoceno-Mioceno) de la terminación NO de Altiplano (Cusco) En: Congreso Peruano de Geología, 9, Lima, PE, agosto 1997, Resúmenes extendidos.
- Carlotto Caillaux, Víctor Santiago; Gil Rodriguez, Willy Fernando; Cárdenas Roque, José Dionicio; Chávez, Richard (1996a). Geología de los cuadrángulos de Urubamba y Calca. En: INGEMMET. Boletín. Serie A: Carta Geológica Nacional, n. 65, iv, 245 pag.
- Carman, G.D.; Winkelmann, G.; Nicholson, P. (2000). Epithermal gold mineralization hosted by Casma group volcanics at Chorobal and Tanguche - a recently discovered gold district in the department of La Libertad, Peru. En: Congreso Peruano de Geología, 10, Lima, PE, 19-22 julio 2000, Resúmenes. Lima: Sociedad Geológica del Perú. pag. 227.
- Clark, Alan H.; Farrar, Edward; Kontak, Daniel J.; Langridge, Robert J.; Arenas Figueroa, Mario J.; France, L.J.; McBride, Sandra L.; Woodman, P.I.; Wasteneys, Hardolph A.; Sandeman, Hamish A.I.; Archibald, Douglas A. (1990). Geologic and geochronologic constraints on the metallogenic evolution of the Andes of southeastern Peru. En: Economic Geology, vol. 85, n. 7, pag. 1520-1583.

- Fierro R., Jorge; Zweng, Paul L.; Gamarra R., Hubert; Gárate Ll., Godofredo (1997) Chabuca este Cu-(Au,Ag) skarn deposit at Tintaya, Peru. En: Congreso Peruano de Geología, 9, Lima, Resúmenes extendidos. Lima:Sociedad Geológica del Perú 1997, pp. 37-39. Sociedad Geológica del Perú. Publicación Especial.
- Fornari, Michel; Mamani Huisa, Mirian Irene; Ibarra Chipa, Ivanoff; Carlier, Gabriel (2002). Datación del periodo volcánico "Tacaza" en el altiplano del Perú y Bolivia. En: Congreso Peruano de Geología, 11, Lima, PE, 25-28 setiembre 2002, Resúmenes. Lima: Sociedad Geológica del Perú 2002, pag. 21.
- Gustafson L. B. & Hunt. P. (1975). The porphyry Copper Deposit at El Salvador Chile. Economic Geology, Vol. 70 N° 5.
- INGEMMET., 2002. Estudio de los Recursos Minerales del Perú Franja N°2, 392 p.
- Jaillard, Etienne; Feist, Monique; Grambast-Fessard, Nicole; Carlotto Caillaux, Víctor Santiago (1994). Senonian-Paleocene charophyte succession of the Peruvian Andes En: Cretaceous Research, vol. 15, pag. 445-456.
- Jaillard, Etienne; Santander, Genaro (1992). La tectónica polifásica en escamas de la zona de Mañazo - Lagunillas (Puno, sur del Perú) En: Instituto Francés de Estudios Andinos. Bulletin, vol. 21, n. 1, pag. 37-58.
- Jones, Alison P.; Omoto, Kunio (2000). Towards establishing criteria for identifying trigger mechanisms for soft sediment deformation: a case study of late Pleistocene lacustrine sands and clays, Onikobe and Nakayamadaira basins, northeastern Japan. En: Sedimentology, vol. 47, n. 6, pp. 1211-1226, December 2000
- Llosa, F., Valencia, R., 2001. Resultados campaña de exploraciones 2002 Proyecto Trapiche. Informe CEDIMIN.
- Marocco, René (1997). Géologie des Andes Péruviennes; un segment EW de la chaîne des Andes péruviennes: la déflexion d'Abancay-Etude géologique de la Cordillere Orientale et des hauts plateaux entre Cuzco et San Miguel (Sud du Pérou). Docteur d'Etat mention Sciences. Université Des Sciences Et Techniques Du. Académie. De Montpellier, 141 pag.
- Marocco, René (1978). Estudio geológico de la Cordillera de Vilcabamba En: Boletín. Serie D: Estudios Especiales, vol. 4, 157 p., 1978
- Marocco, R. (1977) Un segment E-W de la chaîne des Andes peruviennes: La deflexión d'Abancay. Tesis Doctorado, Universidad de Languedoc, Francia, 141p.
- Noble, Donald C.; Mckee, Edwin H.; Eyzaguirre Parra, Víctor Raúl; Marocco, René (1984). Age and regional tectonic and metallogenetic implications of igneous activity and mineralization in the Andahuaylas-Yauri belt of southern Perú. En: Economic Geology, vol. 79, n. 1, pp. 172-176, Jan.-Feb. 1984.
- Perello, José; Carlotto Caillaux, Víctor Santiago; Zárate, Alberto; Ramos, Pedro; Posso, Héctor; Neyra, Carlos; Caballero, Alberto; Fuster, Nicolás; Muhr, Ricardo (2003)

Porphyry-style alteration and mineralization of the Middle Eocene to early Oligocene Andahuaylas-Yauri belt, Cuzco region, Peru. En: Economic Geology, vol. 98, n. 8, pag. 1575-1605.

- Perelló, José; Harman, P.G.; Cabello, José; Devaux, C.; Fava, L.; Etchart, E.; Rojas, Nivaldo (2002). Discovery of the Agua Rica porphyry Cu-Mo-Au deposit, Catamarca province, northwestern Argentina. Part I: exploration and discovery. Part 2: Geology. En: Porter, T. Michael, ed., Porphyry and hydrothermal copper and gold deposits: a global perspective. pag. 111-132 ,
- Terrones Langone, Alberto J. (1985) La potencialidad de los recursos minerales de América Latina. En: Geomimet, ns. 133-134, pp. 23-60,33-69.
- Sillitoe, Richard H. (1990) Copper deposits and Andean evolution. En: Erickson, George E., ed.; Cañas Pinochet, María Teresa, ed.; Reinemund, John A., ed., Geology of the Andes and its relation to hydrocarbon and mineral resources. . Houston, Texas: Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, 1990, pp. 285-311, Earth Science Series.
- Sillitoe, Richard H.(1989) Gold deposits in Western Pacific island arcs; the magmatic connection. En: Keays, Reid R., ed.; Ramsay, W.R.H., ed.; Groves, David I., ed., The geology of gold deposits: the perspective in 1988. . Texas: Economic Geology Publishing Company, 1989, pag. 274-291. Economic Geology Monograph, n. 6
- Sillitoe, R.H. (1979) Some thoughts on gold-rich porphyry copper deposits. Mineralium Deposita, v. 14, pág. 161-174.