

DIRECTION OF MINERAL AND ENERGY RESOURCES

“Potential Evaluation of the Mineral Deposits in the La Libertad and Ancash Regions, North Peru”



Chulcahuanca dome, Lagunas Norte (Alto Chicama) mine

METALLOGENY AREA

PROGRESS REPORT

Prepared by:

Humberto CHIRIF RIVERA, Koh SANG MO

Metallogenic Team

Jorge QUISPE CANGANA
Jorge ACOSTA ALE
Alexander SANTISTEBAN ANGELDONIS
Eder, VILLARREAL JARAMILLO
Dina, HUANACUNI MAMANI

Geochemistry Team

Jorge CHIRA FERNÁNDEZ
Luis VARGAS RODRIGUEZ
Michael VALENCIA MUÑOZ
Hismael RODRIGUEZ ILLACHURA
Ronald VÁSQUEZ OLIVA

Lima – Peru

November, 2007

INDEX

ABSTRACT

1. GENERALITIES

- 1.1. Introduction
- 1.2. Location and access
- 1.3. Previous studies
- 1.4. Mining properties

2. GEOLOGICAL SETTING

- 2.1. Introduction
- 2.2. Stratigraphy and magmatic evolution
- 2.3. Structural evolution and associated magmatism

3. ECONOMIC GEOLOGY

- 3.1. Ore deposits type
- 3.2. Spectral Anomalies
- 3.3. Metallogenic map

DISCUSSION

CONCLUSIONS

REFERENCES

APPENDIXES

MAPS

- I. Location map
- II. Topographic map
- III. Geological map
- IV. Volcanic and intrusives units map
- V. Aster satellite image
- VI. Structural map
- VII. Mineral deposit location map
- VIII. Samples location map
- IX. pH map
- X. Electrical conductivity map
- XI. Metallogenic map
- XII. Mining properties map

DATA BASE OF ORE DEPOSITS . KIGAM-INGEMMET PROJECT 2007

RESUMEN

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú (INGEMMET) en convenio con Servicio Geológico de Korea (KIGAM) realizó el estudio para evaluar potencial minero en las Regiones de La Libertad y Ancash en un área comprendida entre: 7°00'–9°30' Latitud Sur y 77°30'–79°00' Longitud Oeste.

Se realizaron dos salidas de campo donde se reconocieron 9 depósitos de minerales: Alto Chicama, Pasto Bueno, Rosario de Belén, Quiruvilca, Santa Rosa, La Virgen y Mundo Nuevo, Magistral y La Arena. Se reconocieron estructuras geológicas, litologías, alteraciones hidrotermales y se recolectaron 76 muestras de mena y rocas hospedantes para estudios de microscopía, y análisis geoquímicas.

La zona de estudio comprende 5 cuencas sedimentarias: carbonífera del Paleozoico, jurásica, Casma del Albiano-Cenomaniano, Cretácico superior-Paleoceno y Oligo-Mioceno.

La mineralización en las franjas metalogenéticas está controlada por 7 sistemas de fallas regionales: Sistemas de Fallas de Pataz, Punrre-Canchis, Quesquenda, Batolito de Cordillera Blanca; las fallas Cruz Alto-Quiruvilca, Conchao-Cocachacra y Casma. La dirección principal de las estructuras es NO-SE y cambia a E-O cuando se aproximan a la deflexión de Cajamarca.

A partir de las imágenes ASTER se determinaron 217 anomalías de alteración hidrotermal donde sólo se verificaron 10 anomalías que corresponden a alteraciones producidas por meteorización.

Según los dominios geotectónicos se definieron ocho franjas metalogenéticas: Mesotermiales de Au del Carbonífero-Pérmico, Depósitos de Cu, Fe y Au del

Cretáceo superior, Sulfuros masivos vulcanogénicos de Pb, Zn y Cu del Cretáceo superior-Paleoceno, Mesotermiales de Au, Pb, Zn y Cu del Cretáceo superior-Paleoceno, Pórfidos – Skarn de Cu, Mo y Au del Mioceno superior, Pórfidos de Cu y W del Mioceno superior, Pórfidos de Cu, Mo y Au del Mioceno superior y Epitermales de Au, Ag (Pb, Zn) del Mioceno superior.

1. GENERALIDADES

1.1. Introducción

El presente estudio se realizó con la finalidad de evaluar el potencial de los depósitos de minerales distribuidos en las regiones de La Libertad y Ancash (Fig. 1) dentro del marco de cooperación científica entre KIGAM (Instituto de Geociencias y Recursos Minerales de Korea) del lado coreano e INGEMMET (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico) del lado peruano.

El área de estudio está ubicado en la zona noroeste del territorio peruano y comprende 15 cuadrángulos de la Carta Geológica Nacional, a escala 1:100 000. El proyecto se llevó a cabo en dos etapas de campo, durante las cuales se realizaron observaciones desde el punto de vista estratigráfico, estructural y económico.

Los Trabajos de campo se dividieron en dos grupos, uno dedicado a trabajos de metalogenia y otro destinado a la prospección geoquímica de sedimentos de quebrada.

El grupo de metalogenia evaluó 217 anomalías de alteraciones hidrotermales (óxidos Fe, arcillas y óxidos Fe + arcillas) definidas a partir de imágenes ASTER y visitó un total de nueve depósitos metálicos: Alto Chicama (Lagunas Norte), Magistral, Pasto Bueno, Rosario de Belén, Santa Rosa, La Virgen, La Arena, Quiruvilca y Mundo Nuevo.

Se extrajeron un total de 72 muestras de estructuras mineralizadas y rocas hospedantes. De ellas 11 serán ensayadas por elementos mayores, 37 por elementos traza y tierras raras. Asimismo, se han seleccionado: 28 muestras para estudios petrominerales, 10 para PIMA, 37 para análisis de Au por ensayo al fuego. También se seleccionarán muestras para estudios de inclusiones fluidas, fluorescencia, difracción de rayos X, isótopos de Pb/Pb, y Sr/Nd y para dataciones.

Por otro lado, se extrajeron 921 muestras de sedimentos de quebrada, que se acompañaron con 26 duplicados, 33 estándares y 35 blancos.

Hasta la fecha estamos a la espera de los resultados geoquímicos, por tal motivo este informe no incluye el procesamiento e interpretación respectiva.

1.2. Ubicación y acceso

El área de estudio está ubicada al Noroeste del territorio peruano y está comprendida entre las coordenadas geográficas: 77°30' - 79°00' de longitud Oeste y 7°00'-9°30' de latitud Sur; entre los departamentos de La Libertad Ancash (Lamina N° 01).

Fisiográficamente el área del proyecto se encuentra ubicada en el flanco Oeste de la Cordillera Occidental de los andes; presentando una topografía muy accidentada con elevaciones que van desde los 400 hasta los 5000 metros de altitud (Lámina N°02).

El acceso a las zonas de interés se realiza por vía terrestre. Existen vías asfaltadas que llegan hasta las ciudades principales (carretera panamericana) hacia los cuales confluyen diversos caminos de herradura que conectan a los pueblos de la región.

1.3. Antecedentes

Son numerosos los estudios e informes de índole geológico minero que se han realizado en el área de estudio. Siendo la mayor parte de ellos relacionados con la ocurrencia y explotación de los yacimientos de carbón, así como también de minerales metálicos y no metálicos.

Los trabajos mas recientes son los realizados por- Rivera et al (2006), quienes actualizaron la geología del cuadrángulo de Santiago de Chuco a escala 1:50 000, realizando estudios estratigráficos y estructurales.

1.4. Propiedades Mineras

El proyecto KIGAM abarca un área de aproximadamente 4 056 000 has. de las cuales el 49% han sido ya denunciadas por empresas mineras y por terceros.

Las principales empresas mineras que tienen las mayores áreas de concesión son: Minera Yanacocha, White Rocks Internacional S.A.C., Minera Barrick Misquichilca S.A., Compañía Minera Miskimayo, Compañía Minera Poderosa S.A. entre otras-(Gráfico N° 01).

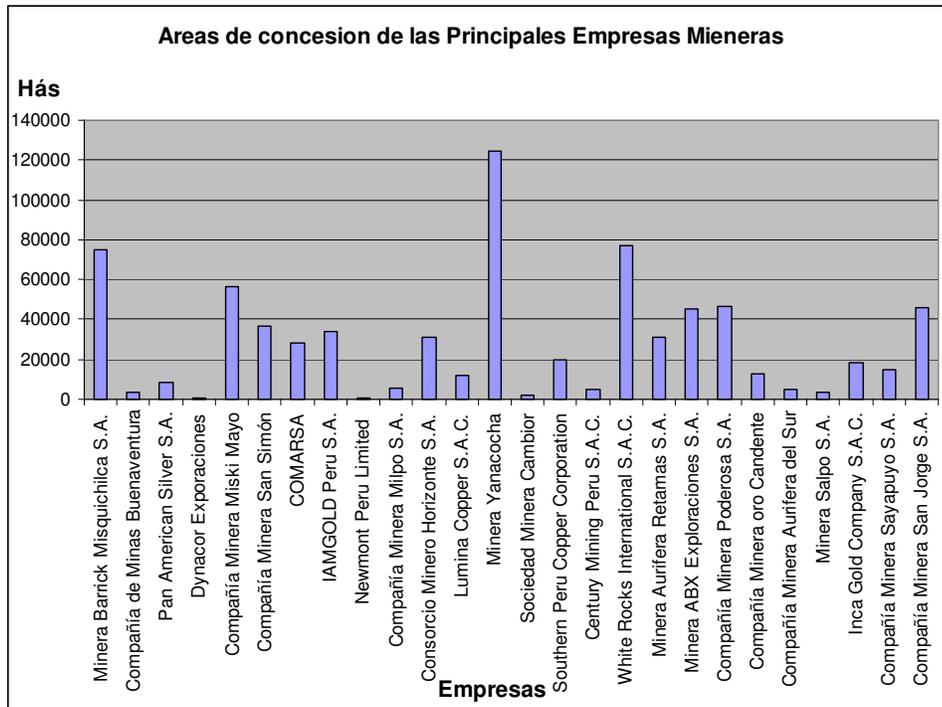


Gráfico N° 01

El departamento de La Libertad representa el 49% del total de áreas denunciadas; los departamentos de Ancash y Cajamarca representan el 25 y 26% respectivamente (Gráfico N° 02).

Región	Área (Hectáreas)
Ancash	518 624.0106
Cajamarca	541 543.6225
La Libertad	984 963.3982

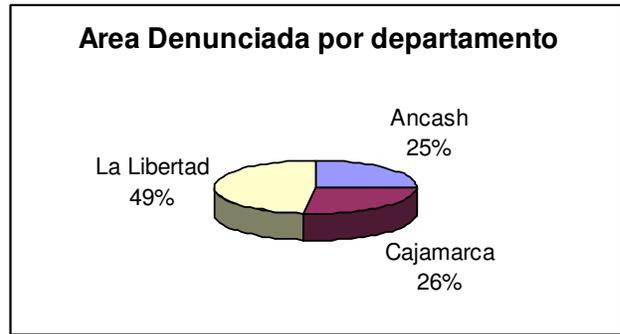


Gráfico N° 02

En el mapa de propiedades mineras (Lamina N°) se muestran la distribución de las diferentes concesiones efectuadas por el Instituto Nacional de Concesiones y Catastro Minero. (INACC).

2. GEOLOGÍA

2.1 INTRODUCCIÓN

El área del proyecto se encuentra dentro de un sistema de fallas regionales con una dirección preferencial NO-SE las cuales son cortadas por fallas transversales al sistema andino (orientación SO-NE). Dichos sistemas han permitido establecer dominios tectónicos que han delimitado la franja de epitermales de Au-Ag del oligoceno-plioceno y la franja de pórfidos de Cu-Au del mioceno.

Las rocas más antiguas afloran en el lado oriental y corresponden a un complejo metamórfico denominado complejo del Marañón; le sigue una alternancia de lutitas areniscas y calizas del Paleozoico. El Mesozoico se manifiesta con una potente secuencia sedimentaria que tiene como base las lutitas grises de la Fm. Chicama. Posteriormente en el Cretácico inferior se desarrolló una secuencia silicoclástica denominada Gpo. Goyllarisquizga, que se caracteriza por poseer mineralización de Au en su unidad inferior (Distritos de Huamachuco y Angamarca). El Cenozoico esta representado por una cobertura volcánica (Gpo. Calipuy) compuesta por secuencias de lavas y piroclastos intercalados con horizontes sedimentarios.

Las rocas intrusivas que afectaron la secuencia estratigráfica de la zona y que están relacionadas a los procesos de mineralización pertenecen al batolito andino cuya edad es del Cretácico superior a Paleógeno (Lámina N° 03).

2.2 ESTRATIGRAFÍA Y EVOLUCIÓN MAGMÁTICA

En la zona de estudio se pueden encontrar rocas que van desde el Paleozoico hasta secuencias plio-pleistocénicas cubiertas en algunos sectores por depósitos cuaternarios (Lámina N° 04). Así tenemos que las rocas paleozoicas afloran hacia el lado nororiental y pertenecen al Complejo Metamórfico del Marañón. Esta secuencia paleozoica está controlada por el Sistema de Fallas Pataz (SFP) con dirección NO-SE. El SFP divide la cuenca paleozoica de las secuencias calcáreas de la cuenca cretácica ubicada más hacia el Oeste. Durante el carbonífero inferior-superior se produjo el emplazamiento de cuerpos granodioríticos del Batolito de Pataz, el cual fue datado entre 287 – 305 Ma. (Schreiber et al.).

Hacia el flanco del Pacífico se desarrolló una cuenca compuesta mayormente de volcánicos andesíticos intercalados con areniscas y lutitas que corresponderían a la Cuenca Casma del Albiano-Genomaniano (Cobbing, 1981; Soler, 1990). El magmatismo en esta cuenca está representado por la primera intrusión del Batolito de la Costa de composición variable entre gabros, tonalitas y granodioritas (Soler, 1991). Dataciones realizadas Pichert et al. (1985), determinó que la edad de esta unidad intrusiva varía entre 90 a 105 Ma.

Hacia el este de la Cuenca Casma anteriormente descrita se localiza la cuenca del Cretáceo superior-Paleoceno compuesta principalmente de andesitas basálticas y rocas piroclásticas andesíticas y dacíticas (Romero, 2007). Esta secuencia volcánica ha sido emplazada por la tercera pulsación del Batolito de Costa (Soler, 1991), cuya edad fluctúa entre 60 a 70 Ma. según las dataciones realizadas por Picher et al. (1985).

Hacia el flanco oeste de La Cordillera Occidental se desarrolló extensamente la Cuenca del Paleógeno-Neógeno constituida por brechas, flujos piroclásticos y flujos de lavas andesíticas del Gpo. Calipuy. Esta cuenca presenta una dirección NO-SE y cambia hacia E-O a medida que se acerca a la deflexión de Cajamarca. Se han reconocido centros volcánicos ubicados desde el poblado de Macate hasta Otuzco con una orientación preferencial NO-SE. El magmatismo se manifestó con el emplazamiento de stocks de naturaleza granodiorítica datados entre 60 a 70 Ma. (Picher et al.; 1985).

En sector sureste el dominio geotectónico esta representado por el Batolito de la Cordillera Blanca, emplazado en las secuencias jurásicas de la Fm. Chicama. La dirección de la cuenca es NO-SE desde el pueblo de Yanama hasta Bambas, luego cambia a N-S hasta Pallasca y finalmente NE-SO hasta el centro poblado de Pampas. Edades K-Ar de 7 a 16 Ma. (Stewart et al., 1974) se le asignan al Batolito de la Cordillera Blanca.

2.3 EVOLUCIÓN ESTRUCTURAL Y MAGMATISMO ASOCIADO

Hacia el flanco oeste de la Cordillera Oriental se desarrolló una secuencia metasedimentaria controlada por el Sistema de Fallas Pataz de dirección SE-NO. Esta secuencia paleozoica fue intruída por granodioritas del Batolito de Pataz. Asociado a estas intrusiones y al Sistema de Fallas Pataz tenemos depósitos mesotermales de oro, siendo la Mina Poderosa la mas importante.

Hacia la zona costanera encontramos un dominio volcánico cretácico del Albiano-Aptiano de la Cuenca Casma, conformado por andesitas, riolitas y flujos piroclásticos. En esta cuenca se encuentran depósitos de Cu, Fe y Au (IOCG) asociados a intrusiones del Batolito de la Costa del Cretácico superior.

Hacia el lado SE de la Cuenca Casma en la zona de Studio, se encuentran las rocas volcánico-sedimentarias de la Cuenca Cretáceo

superior-Paleoceno restringida al lado oriental por la Falla Conchao-Cocachacra. Esta cuenca aloja depósitos de sulfuros masivos volcanogénicos, cuya mineralización estaría relacionada a rocas intrusivas paleocenas del Batolito de la Costa.

A lo largo del flanco oeste de la Cordillera Occidental encontramos una secuencia Cretácica inferior de areniscas y lutitas del Gpo. Goyllarisquizga y rocas volcánicas Oligo-Miocena de andesitas, flujos de lava y piroclastos del Gpo. Calipuy. Estas secuencias fueron controladas por un sistema de fallas regionales con rumbo NO-SE que cambia a E-O cerca a la deflexión de Cajamarca. Estas estructuras corresponden a: La Falla Casma, Falla Alto Cruz-Quiruvilca y Falla Quesquenda.

El magmatismo del Oligoceno-Mioceno se evidencia por un vulcanismo que dio origen al Gpo Calipuy, cuyos centros volcánicos se tienen rumbo andino. Esta unidad volcánica es muy importante desde el punto de vista metalogenético, ya que aloja depósitos epitermales de Au y Ag. Como ejemplo tenemos los yacimientos de Yanacocha y Pierina hospedados en rocas volcánicas oligo-miocenas; Alto Chicama, Santa Rosa y La Virgen hospedados en rocas sedimentarias cretácicas. Otros yacimientos y prospectos importantes son la Zanja, Tantahuatay, Los Pircos y Tumipamapa.

Distribuido a lo largo de la Cordillera Occidental se encuentran los depósitos de pórfidos de Cu y W del Mioceno superior. Esta franja esta controlada por el Sistema de Fallas del Batolito de la Cordillera Blanca con rumbo NO-SE, que luego cambia a N-S y finalmente a NE-SO. La mineralización está asociada al emplazamiento de intrusivos subvolcánicos e intrusivos del Batolito de la Cordillera Blanca, todos de edad miocénica. Los proyectos más importantes son Pasto Bueno y Lacabamba.

3. GEOLOGÍA ECONÓMICA

3.1 TIPOS DE YACIMIENTOS

3.1.2 YACIMIENTOS EPITERMALES DE AU EN ROCAS SEDIMENTARIAS

ALTO CHICAMA

El yacimiento se ubica en la provincia de Usquil, departamento de La Libertad. Este yacimiento es del tipo epitermal de alta sulfuración. La mineralización se encuentra diseminada y hospedada en areniscas y cuarcitas del Cretácico inferior de la Fm. Chimú, y volcánicos cenozoicos del Grupo Calipuy. Casi el 70% de la mineralización económica se encuentra acompañada de óxidos de Fe y eventos silíceos, tanto en forma diseminada como en relleno de fracturas.

La fuente de aporte hidrotermal de este depósito correspondería a una diatrema con múltiples eventos de brechas (freáticas, freato-magmáticas y tectónicas).

Las alteraciones hidrotermales presentes son la argílica avanzada (alunita, dikita, pirofilita) y una intensa silicificación (vuggy silica), siendo esta última la que hospeda la mineralización.

El principal control estructural de la zona es una falla de rumbo N 30° O que coincide con el eje del anticlinal, que es resultado de la tectónica de tipo compresiva de rumbo NE-SO.

Alto Chicama inició su producción en Junio del 2005 calculando sus reservas en 9.1 M. de oz. Au. Según lo estimando, la mina tendrá una vida útil de 10 años con una producción de 1.1 M. oz. de Au por año con una ley de 0.036 oz. Au / T.

SANTA ROSA

El yacimiento se ubica en el distrito de Angasmarca, provincia de Santiago de Chuco, departamento de La Libertad.

La mineralización aurífera en el distrito minero Santa Rosa es del tipo de alta sulfuración similar al distrito de Yanacocha; sin embargo, el oro se presenta dentro de rocas sedimentarias, mayormente areniscas de la Fm. Chimú del Cretácico inferior. La mineralización de edad miocénica tardía, se localiza en sistemas de fracturas de poco espaciamiento, de alto ángulo, rellenas por brechas hidrotermales y tectónicas, cementadas por óxidos de Fe provenientes de la pirita.

En este yacimiento la Fm. Chimú se subdivide en 4 miembros:

Miembro A: Paquete de areniscas, limolitas y lutitas con intercalaciones de cuarcitas abundantes hacia el techo, algunas ocurrencias de capas lenticulares de carbón hacia el techo. Espesor 60–150 m.

Miembro B: Areniscas y cuarcitas blanco grisáceas de grano medio, en capas decimétricas con intercalaciones de lutitas y limolitas hacia el techo. En contacto con la Fm. Chicama se forman brechas fluidizadas oxidadas con alto contenido de Au (tajo tentadora). Espesor 60 – 150 m.

Miembro C: Paquetes de limolitas, lutitas con intercalaciones centimétricas de areniscas y cuarcitas. Ocasionalmente capas lenticulares de carbón en la base. En el techo finas intercalaciones de lutitas areniscas y cuarcitas. Espesor 150 – 200 m.

Miembro D: Potente secuencia de areniscas y cuarcitas blanco grisáceas de grano medio a grueso en capas decimétricas, con ocasionales intercalaciones decimétricas a métricas de lutitas limolitas y cuarcitas hacia el techo. Espesor 200 – 350 m.

La tendencia general estructural del distrito minero es de N 15° - 20° W siguiendo la estructura regional de los andes septentrionales. Estructuras E-O son también importantes controles de la mineralización.

Gran parte del oro fue depositado con pirita y arsenopirita; y muy poca cantidad con sulfuros de metales comunes.

Las alteraciones debidas a procesos hidrotermales son: silicificación, argilización y propilitización, esta última en las áreas distales.

LA VIRGEN

Este yacimiento se localiza en el distrito de Cachicadan, provincia de Santiago de Chuco, departamento de La Libertad.

El yacimiento La Virgen es del tipo epitermal de Au de alta sulfuración que ocupa un ambiente tectónico transicional entre sectores de la cordillera occidental del norte del Perú.

La roca huésped en este yacimiento corresponde a rocas sedimentarias de la Fm. Chimú, la cual se la puede dividir en tres niveles:

Un primer nivel Inferior que consiste en una alternancia de cuarcitas y limolitas; un segundo nivel más potente de cuarcitas y areniscas las cuales contienen la mineralización económica, y un tercer nivel con una granulometría más fina de limolitas.

Las rocas intrusivas afloran al norte y sur del río Suro y al lado este de la propiedad.

La mineralización de Au esta asociada a la intensa silicificación y argilización de las areniscas, cuarcitas y volcánicos. En las zonas de brechas el Au esta asociado a los minerales oxidados de hierro como hematina, jarosita y goethita. Los minerales de mena son pirita, enargita, calcopirita, casiterita y tetrahedrita.

La mineralización corresponde al mioceno medio y está dominada por un fallamiento en bloque que lo conforma la Falla Alumbre de rumbo N – S y la Falla Escalerilla de rumbo NE – SW. Desde el punto de vista estructural y económico, la falla alumbre es la mas importante. Consiste en una amplia

zona de falla, forma el borde oeste de las rocas volcánicas y trunca la estratigrafía mesozoica.

Se estiman recursos por 7,2 Mt con 1,4 g/t Au equivalentes a 334 mil onzas de Au. Hasta el momento se reporta 12,1 Mt.

LA ARENA

El proyecto se encuentra localizado en el distrito de Sánchez Carrión, provincia de Huamachuco, departamento de La Libertad.

El proyecto La Arena está ubicado en la base de los sedimentos de la Fm. Chimú. También se ha reconocido un pórfido de Cu – Au en profundidad dentro de los primeros 350 m.

Se tiene un sistema de hidrotermal con dos tipos de mineralización: Un pórfido Cu – Au (Mo) y una brecha de contacto con oro.

En el pórfido la mineralización es básicamente de sulfuros en forma de pirita y calcopirita diseminados en venillas de sílice asociados a una alteración fílica. En la brecha de contacto la mineralización aurífera esta contenida en las fracturas de los sedimentos clásticos, como areniscas y cuarcitas; y esta asociada a minerales oxidados como limonita, goethita y en menor proporción jarosita y hematina.

Las alteraciones hidrotermales dentro del pórfido son: fílica en la parte central con generación de cuarzo, illita-esmectita; argílica en la parte superior con presencia de cuarzo, illita-esmectita, ankerita; y propilítica en las partes marginales con presencia de clorita, epidota y pirita.

Dentro de la brecha de contacto (pórfido con cuarcitas) se observa una silicificación intensa previa al brechamiento; alunita inmersa en goethita con sericita y menor contenido de caolinita.

A finales de 1997 se han estimado 19,7 Mt con 1,07 g/t Au, con una ley de corte de 0,4 g/t, basados en 8 710 m de perforación diamantina.

Rosario de Belén

Es un yacimiento de oro y plata, que tiene una extensión de 12,471 hectáreas. El depósito se encuentra en la franja metalogenética del mioceno superior junto con Lagunas Norte y Yanacocha.

El yacimiento se encuentra en una secuencia sedimentaria grano y estrato creciente de areniscas y cuarcitas de grano medio a grueso con algunos niveles delgados de rocas volcánicas que se hacen mas potentes al tope. Esta secuencia probablemente pertenece a la Formación Tablachaca que corresponde a la base de los volcánicos del Grupo Calipuy.

Las alteraciones hidrotermales encontradas corresponden a una silicificación fuerte, sílice granular hacia la parte superior y una zona de argilización avanzada. En la parte distal se encuentra la alteración propilítica cerca al Río Angamarca. El Au esta asociado a la escorodita y a óxidos de hierro.

Las leyes de Au varían de 0.4 a 1 gr/tm. Las operaciones se iniciaron con una capacidad de procesamiento de 5,000 toneladas de minerales por día y se estima que la producción de la mina puede alcanzar aproximadamente las 30,000 onzas de oro por año.

3.1.2 YACIMIENTOS EPITERMALES EN ROCAS VOLCÁNICAS

QUIRUVILCA

Esta mina esta ubicada en el distrito de Quiruvilca, provincia de Santiago de Chuco, departamento de La Libertad.

La mina Quiruvilca es un depósito polimetálico de meso a epitermal emplazado en fracturas pre-existentes producidas por esfuerzos compresivos relacionados a la tectónica andina.

La mineralización se emplaza en fallas y fracturas preexistentes, estando constituida por varios pulsos o periodos mineralizantes. La mineralización del primer sistema está vinculada a minerales de cobre, tal es el caso de enargita y tetrahedrita, con pirita y cuarzo de complemento, el cual se emplaza en la parte central del distrito. Un segundo y tercer periodo está constituido por minerales de esfalerita, galena, galena argentífera, calcopirita, algo de tetrahedrita y arsenopirita, siempre acompañado de pirita y cuarzo, con relleno de calcita rodonita y yeso. Minerales más fríos, tal es el caso de estibina, oropimente, rejalgar, arsénico nativo y yeso conforman los minerales más distales del distrito. Las vetas de Quiruvilca son de diversas dimensiones, teniéndose estructuras de cizalla, del sistema E-W, que son de gran longitud, profundidad y potencia, con buen relleno mineralizante. Estructuras tensionales, de menores dimensiones pero al igual que las primeras con buen contenido metálico, corresponden al sistema NE-SW; finalmente se tiene vetas secundarias y ramales, de limitada longitud, profundidad y potencia, con mineralización muy irregular.

La mineralización se encuentra emplazada dentro de los volcánicos Calipuy. La configuración de las estructuras receptoras determina la característica de las vetas. Las vetas de Cizalla, potentes de gran longitud y buena mineralización fueron trabajadas antiguamente, quedando pocas por desarrollar en estos momentos. Las que priman en la actualidad son las vetas tensionales y las secundarias, que son estructuras sinuosas, delgadas y con relleno tipo "rosario".

El proceso hidrotermal ha afectado en diverso grado a las rocas circundantes, manifestándose en intensos halos de alteración entre los cuales sobresale la sericitización en diverso grado y aledaños a las vetas. Un poco más alejada y extensa se tiene argilización que va de fuerte a

débil. Finalmente más distal, se tiene una intensa propilitización para terminar en cloritización en halos sucesivos a partir de las vetas y de acuerdo al grado de mineralización.

Quiruvilca fue la unidad de producción más rentable en el 2004. Durante ese año, la mina produjo 2.5 millones de onzas de plata, 11,709 toneladas de zinc, 3,803 toneladas de plomo y 1,081 toneladas de cobre.

3.1.2 YACIMIENTOS TIPO PORFIDO / SKARN

PASTO BUENO

Se encuentra ubicada en el distrito de Pampas, provincia de Pallasca, departamento de Ancash. Pasto Bueno es pórfido de Cu-W-Zn, que se encuentra emplazado en rocas sedimentarias jurásicas de la Fm. Chicama y cretácicas del Gpo. Goyllarisquizga. La secuencia estratigráfica consiste de lutitas, lutitas carbonosas, areniscas, cuarcitas y calizas. Las rocas ígneas observadas en campo consisten en diques y sills volcánicos de edad Palógeno del stock cuarzo-monzonítico de Consuzo, y de rocas hipabisales del Neógeno que son probablemente comagmático con el stock.

La mineralización ocurre en sistema de vetas verticales de cuarzo que abarca cientos de metros entre el contacto del intrusivo de 9.5 Ma. con la secuencia de pizarras y cuarcitas del Jurásico-Cretácico (Fm. Chicama).

Estas estructuras mineralizadas presentan contenidos de cuarzo-sericita-fluorita-wolframatos-sulfuros y se distribuyen en tres zonas de interés: a) Consuzo, donde tienen rumbo de N 120°. b) Huayllapón con rumbo N-S y buzamiento 75° E. c) Huaura, con rumbo N 155° y buzamiento 80° NE (Tumialán & Gamarra, 1980).

Las vetas más importantes del depósito Pasto Bueno forman tres sistemas principales:

- *El primer sistema:* Formado por vetas con rumbo N-S y buzamiento entre 55° a 75° E. Las vetas que pertenecen a este sistema son:

Chabuca (Cerro Huallapón), Tres de Mayo (Concesión Los Milagros), El Chorro, Loreto y Santa Rita.

- *El Segundo Sistema:* Formado por un mayor número de vetas que tienen una dirección N 35° a 45° O y buzamiento entre 55° a 80° NE. Pertenecen a este sistema las vetas: El Cable, El Plomo, San José, San Juan, Pedro, Kuki, Emilio, Vicente y Feliciano.
- *El Tercer Sistema:* Transversal a los dos anteriores y tiene dirección N 40° a 55 E y buzamientos de 55° a 75° NO, como por ejemplo las vetas de Jajarajao, La estrella, Maciste N° 1-2-3-4-5 y La Blanca.

Los principales minerales de mena son wolframita, tetrahedrita-tenantita, esfalerita, galena y como minerales de ganga la pirita, cuarzo, fluorita, sericita y carbonatos.

Las alteraciones hidrotermales identificadas son potásica, fílica-sericítica, argílica y propilítica, variando de mayor a menor temperatura (Landis & Rye, 1974).

Actualmente la producción diaria de la mina es de 300 T/día, obteniéndose leyes de 0.6% - 1.5% WO₃, 0.1% - 0.2% Cu.

MAGISTRAL

El Yacimiento Magistral se ubica en el distrito de Conchucos, provincia de Pallasca, departamento de Ancash. La estratigrafía está dominada por calizas gris oscuro de la Fm. Jumasha que ha sido intruida por un stock porfirítico de naturaleza diorítico a cuarzo diorítico. Los estratos presentan un moderado buzamiento de aproximadamente 45° hacia el Oeste. Remanentes de calizas o mármol dentro de la aureola de alteración del depósito son blanquecinos y generalmente de grano más grueso que los que se encuentran fuera de ella.

El stock porfírico es aproximadamente elíptico en planta y tiene un área de 900 m. E-O y 500 N-S. La inclinación de este intrusivo es de 60° hacia NO y ha generado una alteración metasomática, o skarn, en su periferia. Basado en el grado de alteración, intensidad de fracturamiento, y el grado de mineralización de Cu y Mo, se han definido tres diferentes facies de intrusión:

- Pórfido San Ernesto: Granodiorita de grano medio a grueso, compuesto predominantemente de fenocristales euhedrales y subhedrales de plagioclasas, anfíboles y biotita. Este intrusivo ha sido afectado por una intensa alteración hidrotermal, ligada a mineralización de sulfuros. Esta alteración, presenta un zoneamiento que incluye facies potásica en el centro, cuarzo – sericita y argílica en las zonas marginales.
- Pórfido Sara: Ha sido interpretado como una facie posterior a las facies de San Ernesto, habiendo invadido el núcleo de este complejo intrusivo. Ocupa un área importante dentro de la parte oriental del sistema hidrotermal, y está en contacto con los sectores de El Indio, La Gringa y Arizona. El pórfido Sara en contraste con el pórfido San Ernesto está ligeramente alterado, y presenta una intensidad de fracturamiento más débil.
- Pórfido H: Este nombre es dado a la fase de alteración muy débil o nula de la granodiorita la cual está casi desprovista de mineralización de Cu y Mo.

La mineralización en Magistral consiste de calcopirita y molibdenita los cuales han sido depositados tanto en el skarn como en el pórfido, siendo en el skarn donde se encuentra la mayor concentración de Cu y Mo. La mineralización en el intrusivo (especialmente San Ernesto) es, en general, menor que la alojada en el skarn, pero es importante por el volumen de roca dentro del cual se ha formado.

Así tenemos que la mineralización de interés económico ocurre en forma diseminada y en cuerpos controlados por fallas en el stock porfírico; y como diseminado, relleno de fracturas y en cuerpos tipo manto en el skarn distal y en la zona de retrogrado.

Las leyes promedio tanto de los minerales económicos como de los minerales menores son: Cu = 0.2 – 1.0 %; Mo = 200 – 1000 ppm.; Ag = 3 – 4 ppm. y en ocasiones con valores mayores o iguales a 10 ppm.; W = 200 – 400 ppm.; Zn = 250 – 500 ppm.; Pb = 30 – 60 ppm.; Sb = 25 ppm.; Bi = 25 ppm.; y Au = valores menores a 9 ppm.

Tres estilos distintos de alteración hidrotermal ocurren en este yacimiento, determinado por el tipo de roca el cual ha sido afectado:

- Alteración hidrotermal tipo pórfido en el stock.
- Alteración en el endoskarn, afectando los bordes del stock y los sills, los cuales han intruido las calizas de la Fm. Jumasha.
- Alteración metasomática de las Calizas Jumasha el cual se han formado en la aureola de contacto del intrusivo.

3.3 ANOMALÍAS ESPECTRALES

Para la interpretación de anomalías espectrales relacionadas a alteraciones hidrotermales se utilizaron imágenes Landsat TM y ASTER.

Para la interpretación de estructuras y geología se utilizó la combinación de bandas 7,4,2 (RGB) en falso color de Landsat TM. En esta imagen las zonas desérticas se ven en colores marrones a púrpura claro y la vegetación en color verde. Se logró reconocer centros algunos centros volcánicos del Grupo Calipuy, así como reconocer y diferenciar el Batolito de la Costa, la Cordillera Blanca, las secuencias sedimentarias cretácicas y las rocas volcánicas del Paleógeno-Neógeno.

Se interpretaron lineamientos con dirección principal NO-SE en la Cordillera Occidental, los cuales son intersecados por fallas locales de dirección E-O.

A partir del procesamiento digital de las imágenes ASTER se hizo la corrección atmosférica por el método del logaritmo residual y posteriormente se enmascaró los rasgos que interferían con la interpretación de las alteraciones hidrotermales: agua, vegetación, sombras y nieve. Luego se consiguieron las anomalías de óxidos de Fe y arcillas hidrotermales. Las anomalías de óxidos de Fe se obtuvieron a partir de los componentes principales de las bandas 1,2,4,5. Para obtener las anomalías de arcillas se hizo una operación lógica de unión entre los componentes principales de las bandas 1,4,6,7 y 1,3,5,6. De esta forma se obtuvo un mapa de anomalías de alteraciones hidrotermales con óxidos de Fe, arcillas y óxidos de Fe y arcillas hidrotermales.

Se determinaron 217 anomalías de alteración hidrotermal (Cuadro No. 1) las cuales tienden a concentrarse en las secuencias sedimentarias del Gpo. Goyllarisquizga y los volcánicos del Gpo. Calipuy. Las anomalías se ubican en la zona central del área de estudio y siguen un rumbo NO-SE. La mayor parte de las anomalías corresponden a alteraciones supérgenas por meteorización de las rocas.

Sin embargo, mapeos de campo realizados anteriormente en la zona de estudio, reconocieron 24 alteraciones hidrotermales que en algunos casos corresponden a zonas de silicificación (Rivera et al., 2004).

No. DE ANOMALÍAS DE ALTERACIÓN HIDROTERMAL		
Tipo de anomalía	AREA	
	< 1.5 Km²	> 1.5 Km²
Óxidos Fe	73	10
Arcillas	20	12
Óxidos Fe + arcillas	92	-
Sub Total	185	22
Total	217	

Cuadro 1. Anomalías de alteración hidrotermal obtenidas a partir de imágenes ASTER.

3.4 Mapa Metalogenético.

El Mapa Metalogenético del área de estudio a escala 1:250 000 ha sido preparado en base a dominios geológicos o geotectónicos y a los conocimientos actualizados de los yacimientos y/o prospectos metálicos. Como resultado de este estudio se definieron 8 franjas metalogenéticas que muestran la edad dominante de las unidades tectónicas y la edad de mineralización de los yacimientos y prospectos principales. Los límites de las franjas por lo general corresponden a fallas regionales o contactos litológicos.

I. Franja de Mesotermiales de Au del Carbonífero – Pérmico.

Se ubica dentro de la Cordillera Oriental del norte del Perú. La mineralización esta principalmente en rocas intrusivas graníticas del Carbonífero (Batolito de Pataz) y en algunos casos en rocas metamórficas del Paleozoico inferior. En general, las vetas se hayan en zonas de cizalla y están controladas por fallas NO-SE. Las estructuras mineralizadas están constituidas por cuarzo-oro-sulfuros, dispuestas como vetas y mantos. Son conocidos los yacimientos de Poderosa, Horizonte y Rematas. Las edades de mineralización oscilan entre 315 y 286 Ma.

II. Depósitos de Cu, Fe, Au del Cretáceo inferior.

Se localiza en la zona costanera y borde oeste de la Cordillera Occidental. Comprende los intrusivos del Batolito de la Costa y la cuenca albiana Casma. Los niveles volcánicos del Gpo. Casma registran estructuras mineralizadas con Au controladas por fallas NO-SE. Su limite oriental esta definido por la falla regional Casma.

III. Sulfuros Masivos Vulcanogénicos de Pb, Zn y Cu del Cretáceo superior-Paleoceno

Se ubica en el flanco oeste de la Cordillera Occidental. Los yacimientos vulcanogénicos están distribuidos en secuencias volcánicas submarinas de una cuenca atribuida al Cretáceo superior que era antes considerada como parte de la cuenca Casma del Cretáceo inferior (Romero, D., 2007). Esta franja se encuentra delimitada por lado occidental por la Falla Casma y por el lado oriental por la Falla Conchao – Cocachacra, ambas con dirección NO-SE.

IV. Mesotermiales de Au, Pb, Zn y Cu del Cretáceo superior – Paleoceno

Se ubica en la zona suroeste del área de estudio, y esta delimitado en su lado occidental por la falla regional Conchao – Cocachacra. La mineralización esta relacionada a intrusiones del Batolito de la Costa dadas durante el Cretáceo superior al Paleoceno. Entre los yacimientos ubicados en esta franja tenemos: La Cantera, Cantera 1, Tres Minas, Chuncas y Socavon.

V. Pórfidos – Skarn de Cu, Mo, Au del Mioceno superior

Esta franja esta constituida por dos sub provincias, una ubicada en el flanco occidental de la Cordillera Occidental, al sur del área de estudio y la otra al norte de la misma. La primera la constituye los volcánicos del Gpo. Calipuy así como las secuencias calcáreas cretácicas de las formaciones Inca, Chulec y Pariatambo. El magmatismo en esta franja esta asociada a pequeños cuerpos intrusivos en forma de stocks de naturaleza granodiorítica de edad miocénica. El principal control estructural es la falla regional Alto

Cruz-Quiruvilca, que a su vez ha delimitado el límite occidental de la franja. La dirección de los principales sistemas de fallas es NNO-SSE.

Entre los principales depósitos minerales tenemos El Extraño y Los Latinos.

La segunda lo constituye una franja estrecha delimitada a ambos lados por un sistema de fallas N-S denominado Punrrre-Canchis. La mineralización esta asociada al emplazamiento de intrusivos subvolcánicos e intrusivos del Batolito de la Cordillera Blanca, todos de edad miocénica. Los proyectos más relevantes son Michiquillay, El Toro, Magistral. Las edades de mineralización están entre 16 y 13 Ma.

VI. Pórfidos de Cu, W del Mioceno superior

Lo constituye una franja estrecha a lo largo del Batolito de la Cordillera Blanca, el cual se ha emplazado casi en su totalidad en las lutitas de la Formación Chicama asignada al Jurásico. Esta franja esta afectada por un sistema de fallas de dirección NO-SE, el cual ha permitido delimitar su flanco occidental. A estos lineamientos se le conoce con el nombre de Sistema de Fallas de la Cordillera Blanca.

Entre los principales depósitos tenemos: Lacabamba, Pasto Bueno.

VII. Pórfidos de Cu, Mo, Au del Mioceno superior

Se extiende a lo largo del Batolito de la Costa siguiendo una dirección NO-SE. Esta intrusión múltiple y compleja esta formada predominantemente por tonalitas y granodioritas emplazadas en

tanto rocas cretácicas del Gpo. Goyllarisquizga como en los volcánicos del Gpo. Calipuy. Su lado oeste está definido por la falla regional Casma.

Resultados de dataciones en biotita mediante el método K/Ar le asignan una edad de 43 Ma. (Stewart).

VIII. Epitermales de Au, Ag (Pb, Zn) del Mioceno Superior

Esta franja se distribuye ampliamente ocupando la zona noroeste del área de estudio. Está controlada por el sistema de fallas Alto Cruz-Quiruvilca y Quesquenda, con orientación NO-SE que van cambiando a ONO-ESE al aproximarse a la deflexión de Cajamarca.

En este sector se encuentran los yacimientos de Au y Ag más representativos del Perú, como el caso del distrito minero de Yanacocha, Sipán y Pierina hospedados en rocas volcánicas oligo-miocénicas. Adicionalmente se tiene, a Alto Chicama, La Arena, La Virgen hospedadas en rocas sedimentarias del Cretácico inferior.

Otros yacimientos y prospectos importantes son la Zanja, Tantahuatay, Los Pircos y Tumipampa.

CONCLUSIONES

Se reconocieron 5 cuencas sedimentarias: carbonífera del Paleozoico, jurásica, Casma del Albiano-Cenomaniano, Cretácico superior-Paleoceno y Oligo-Mioceno.

Se definieron 7 sistemas de fallas regionales que controlaron la mineralización de las franjas metalogenéticas: Sistemas de Fallas de Pataz, Punrre-Canchis, Quesquenda, Batolito de Cordillera Blanca; las fallas Cruz Alto-Quiruvilca, Conchao-Cocachacra y Casma.

La dirección principal de las estructuras es NO-SE y cambian a E-O cuando se aproximan a la deflexión de Cajamarca.

Se encontraron 14 centros volcánicos con dirección NO-SE y ubicados en el flanco oeste de la Cordillera Occidental.

Se determinaron 217 anomalías de alteración hidrotermal a partir de las imágenes Aster. Sólo se verificaron 10 anomalías las cuales corresponden a alteraciones producidas por meteorización.

Según los dominios geotectónicos se definieron ocho franjas metalogénicas: Mesotermales de Au del Carbonífero-Pérmico, Depósitos de Cu, Fe y Au del Cretáceo superior, Sulfuros masivos vulcanogénicos de Pb, Zn y Cu del Cretáceo superior-Paleoceno, Mesotermales de Au, Pb, Zn y Cu del Cretáceo superior-Paleoceno, Pórfidos – Skarn de Cu, Mo y Au del Mioceno superior, Pórfidos de Cu y W del Mioceno superior, Pórfidos de Cu, Mo y Au del Mioceno superior y Epitermales de Au, Ag (Pb, Zn) del Mioceno superior.

REFERENCIAS

- Chira, J. (2000): Análisis de anomalías espectrales aplicado a la exploración minera en la zona central de Cajamarca. X Congreso Peruano de Geología. Trabajos Técnicos Tomo II, pp. 431-437.
- Cobbing, F. (1981): The Geology of the Western Cordillera of Northern Perú, pp. 4-21.
- Cossío, A., 1964, Geología de los Cuadrángulos de Santiago de Chuco y Santa Rosa: Carta Geológica Nacional, Serie A, Boletín N° 8, 69 p.
- Romero, D. (2007): Tesis de Maestría “La cuenca Cretáceo Superior-Paleoceno del Perú Central: Un Metalotecto para la exploración de SMV ejemplo Mina Maria Teresa”
- Gauthier A., Díaz N., Quirita V., Yacimientos La Arena – La Virgen: Sociedad Minera Cambios Perú. S.A., p. 73 – 91.

- Hidalgo, Q. L., y Tumialan, P., 1981, Mineralización de la veta Papelillo-Mina Quiruvilca: Minería, N° 162, p. 29-37.
- INGEMMET, 2001, Proyectos de Inversión minera y Prospectos en Estudio: p. 3,4, 62-64,78, 79.
- Landis, G. P., and RYE, R. O., 1974, Geologic Fluid Inclusion, and Stable Isotope Studies of Pasto Bueno Tungsten-Base Metal Ore Deposit, Northern Peru: Economic Geology, v. 69, p. 1025-1057.
- Lawrence A. D., 2004, Inca Pacific Resources Inc. Magistral Copper-Molybdenum Project Department of Ancash Perú: Economic Geology Consultant, Technical Report, p. 18, 27, 28, 29.
- Lewis, R. W., 1956, Geología y depósitos minerales de Quiruvilca-Perú: Minería, v. 5, p. 27-39.
- Norman, D.I., 1983 Source of Mineralizing Components in Hydrothermal Ore Fluids as Evidenced by $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ and stable Isotope Data from the Pasto Bueno Deposit, Peru: Economic Geology, v. 78, p. 451-465.
- Palacios, O., 1995, Geología del Perú: Bol serie A: Carta Geológica Nacional N° 55, p. 68 - 84.
- Petersen, U., 1999, Magmatic and Metallogenic Evolution of the Central Andes: Society of Economic Geologists, Special Publication N° 7, p.109-118.
- Perales, F. (1994): Glosario y tabla de correlaciones de las unidades estratigráficas del Perú.
- Revista del Capitulo de Ingeniería de Minas Colegio de Ingenieros del Perú- Año XIII-N° 47 Marzo-Abril 2007 Pág. 18-20.
- Reyes, L. 1995, Geología de los cuadrángulos de Pallasca, Tayabamba, Corongo, Pomabamba, Carhuaz y Huari: Carta Geológica Nacional, Serie A, Boletín N° 60, p. 20-22, 44.
- Vicharra, M. (2003): Rasgos geológicos regionales de Quiruvilca, Huamachuco y Angasmarca. Sociedad Geologica Del Perú, vol 96, pp. 17-34.
- Wilson, J., Reyes, L. (1964): Geología del Cuadrángulo de Pataz; Boletín N° 9 Serie A. Carta Geológica Nacional INGEMMET Lima, pp. 20-49
- Zúñiga y Guzmán, E., 1985, El Tungsteno en la Provincia de Pallasca: Boletín de la Escuela Nacional de Ingenieros, Tomo XXV, p. 30-39.

