

CRITERIO DE EXPLORACIÓN DE DEPÓSITO MINERAL TIPO SKARN YACIMIENTO DE REFERENCIA: ANTAMINA

EXPLORATION CRITERIA OF MINERAL DEPOSIT SKARN TYPE DEPOSIT
OF REFERENCE: ANTAMINA

FECHA DE RECIBIDO: 9 DE OCTUBRE DE 2014

FECHA DE APROBADO: 17 DE OCTUBRE DE 2014

AMAT DAVID ZULUAGA GUERRA

Director del proyecto
de la Fundación Universitaria del Área Andina, sede Valledupar

ELIBETH KARELIZ MALDONADO HENRIQUEZ

Estudiante de Ingeniería de Minas
de la Fundación Universitaria del Área Andina, sede Valledupar

RESUMEN

El yacimiento de Antamina es un depósito de tipo skarn polimetálico, con mineralización de cobre, zinc, plata, molibdeno y bismuto; El depósito se constituyó como resultado de la formación de rocas sedimentarias y volcánicas del Mesozoico y Cenozoico, su tectonismo está ligado al levantamiento de la cordillera de los Andes que generó el emplazamiento del intrusivo de 10 MA y de otros cuerpos intrusivos porfiríticos relacionados a éste. El metasomatismo de contacto resultó de eventos hidrotermales y formación del skarn mineralizado a lo largo de los límites entre los intrusivos y la caliza generando eventos de brecha y el colapso del sistema hidrotermal, finalizando con la continuación de la orogenia de los Andes, erosión y exposición del depósito.

ABSTRACT

The Antamina deposit is a polymetallic skarn deposit, with mineralization of copper, zinc, silver, molybdenum and bismuth; The deposit was formed as a result of the formation of sedimentary and volcanic rocks of the Mesozoic and Cenozoic, is linked to the tectonic uplift of the Andes that generated the emplacement of intrusive of 10 Myr. And other intrusive porphyry bodies related to this tectonic environment. The contact metasomatism resulted from hydrothermal events and formed the mineralized skarn along the boundaries between intrusive and limestone, generating breccia events and the collapse of the hydrothermal system, ending with the continuation of the Andean orogeny, the erosion and finally the deposit exposure.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo conocer a fondo la geología del depósito polimetálico del tipo SKARN referentes al yacimiento Antamina; para lo cual fue necesario realizar consultas bibliográficas con el fin de establecer su importancia en el ámbito geológico y nos permita diferenciar los tipos de litología presentes en la zona, así como la descripción petrográfica y mineralógica de esta.

ANTAMINA Es un depósito tipo skarn con una formación mineral extremadamente irregular. La morfología está controlada por la litología. Las cumbres y flancos escarpados están formados por caliza masiva proveniente de la Formación Jumasha. Los valles consisten en esquistos y margas de la Formación Celendín que son más susceptibles al intemperismo y la erosión. Los valles más anchos con dirección noroeste-sureste muestran un suave relieve ondulado que es típico de la erosión glacial. Los fondos de los valles contienen depósitos glaciales compuestos de pequeñas morrenas laterales y frontales.

Este yacimiento se formó por un metasomatismo en las calizas de la Formación Celendín en aureolas de skarn, con mineralización polimetálica. Las rocas cajas del yacimiento están constituidas por una secuencia de calizas, margas y limolitas de la Formación Celendín del Cretácico superior que se encuentran intruidas por un intrusivo porfirítico del Mioceno. Tanto las rocas de la Formación Celendín y los estratos calcáreos y clásticos de las formaciones infrayacentes del Cretácico inferior, se

encuentran plegadas con fallamientos de sobreescorrimento que siguen un rumbo general noroeste.

Presenta un intrusivo central generalmente estéril con una incipiente alteración potásica, sericítica y silicea, especialmente desarrolladas cerca al contacto del endoskarn o en cercanía a brechas hidrotermales controladas estructuralmente. Es notoria la ocurrencia de mineralización de carácter subeconómico en Cu y Mo asociadas a disseminaciones y venillas.

La skarnización del intrusivo se evidencia por la generalización de una delgada aureola de escasos metros de ancho de granate rosa, donde la estructura porfirítica es aún visible. La alteración retrógrada está muy difundida en esta unidad consistiendo en un ensamble de arcillas, clorita, epidota, esta alteración destruye los ensambles de granate dejando solamente una roca deleznable.

METODOLOGÍA

Este trabajo investigativo fue realizado en base a recopilación bibliográfica de la información relacionada con el depósito mineral de referencia "Antamina", para su posterior síntesis, análisis e interpretación. A través de la caracterización de los rasgos generales del depósito tipo Skarn se logró obtener y analizar datos relevantes como la geología, ambientes tectónicos, aspectos mineralógicos, tipo de magmatismo y características geoquímicas de la roca hospedadora, lo cual nos ayudó a definir criterios de exploración válidos como el ambiente tectónico en el cual se formó el yacimiento, la geología estructural regional y local, las litologías presentes

yacimiento y las mineralizaciones asociadas que nos permitieron determinar zonas que posean un ambiente tectónico, litológico, geoquímico y geofísico similar o equivalente en Colombia para así determinar áreas con potencial para la formación de este tipo de yacimiento.

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE ANTIMINA



FIGURA Nº1 Compañía Minera Antamina S.A (2006). 1er Simposio de Exploración de Yacimientos del Perú. Publicado por: Briones, J. (2010). GEOLOGIA DE ANTIMINA. [Ubicación metalogenetica de antamina]

Cuenta con dos zonas de operaciones: la mina y el puerto minero Punta Lobitos. El yacimiento se emplaza al norte de la cordillera de Huayhuash ubicado en la quebrada del mismo nombre en el Callejón de Conchucos, en San Marcos, en la provincia de Huari, en la Región Ancash, Perú, aproximadamente a 200 km. de la ciudad de Huaraz y a una altitud promedio de 4.300 metros sobre el nivel del mar, latitud 9°32'S, longitud 77°03'W.

El puerto punta lobitos está ubicado a un kilómetro al oeste del puerto de Huarmey el mismo que se halla a 140 kilómetros al sur de Chimbote y a 300

kilómetros al norte de Lima siendo sus coordenadas latitud 10 05.66 s y su longitud 78 10.84w



FIGURA Nº2 Nina, L. (2009). SKARN ANTIMINA. [Ubicación de antamina].

GEOLOGÍA

La geología regional puede caracterizarse en términos de rocas sedimentarias que se encuentran en el flanco este de la Cordillera Blanca y por las rocas predominantemente volcánicas e intrusivas, las cuales aparecen en la cuenca del Río Santa (que incluye el flanco occidental de la Cordillera Blanca).

Flanco Este de la Cordillera Blanca: Las rocas sedimentarias ubicadas en la zona de transición entre la Cuenca Chavín (miogeosinclinal¹) y la cuenca del Marañón (geoanticlinal²) dominan la geología regional en el flanco este. A continuación se describen las diferentes formaciones reconocidas en el área del emplazamiento de la mina propuesta, desde la más reciente hasta la más antigua, (también están representadas en la Tabla 3):

Formación Celendín, (Ks-ce): Margas calcáreas nodulares, pobremente estratificadas, de color amarillo plomizo, con intercalaciones de caliza, esquistos de barro plomo y margas. La formación tiene un grosor de aproximadamente 500 m y se observa como un centro de sinclinales con rumbo noroeste-sureste. La Formación Celendín es concordante con respecto a la Formación Jumasha.

Formación Jumasha, (Ks-j): Caliza gris masiva compuesta por estratos de aproximadamente 1 a 2 m de grosor. Esta formación resistente al intemperismo tiene un grosor menor que 700 m y se presenta como cadenas sobresalientes y elevadas. La Formación Jumasha es cárstica, contiene numerosas cuevas y sumideros, y es concordante con la Formación Pariatambo.

Formación Pariatambo, (Ki-pt): Margas de color marrón oscuro con intercalaciones de caliza con esquistos de color marrón. La formación tiene aproximadamente 100 m de grosor y es concordante con la Formación Pariahuanca.

Formación Pariahuanca, (Ki-ph): Caliza masiva de color plomo azulado, con estratos de 1 a 2 m de grosor. La formación tiene aproximadamente 100 m de grosor y sobre yace en concordancia con la Formación Carhuaz.

Grupo Goyarisquizga no diferenciado: Areniscas friables de color blanquecino, con estratificaciones transversales de 2 m de grosor o menos en ciertos casos, con intercalación de esquistos y lodolitas interestratificadas. Este grupo es el equivalente de las tres formaciones mencionadas a continuación que no podrían mapearse individualmente en

una escala regional. Formación Carhuaz, (Ki-ca): Se observan lutitas litificadas de color gris a gris verdoso, con algunos inerestratos de areniscas. La formación es de aproximadamente 600 m de espesor y es concordante con la Formación Santa.

Formación Santa, (Ki-s): Se puede observar caliza de color azul grisáceo, con estratos de 0.1 a 1 m de espesor, con nódulos horsteno grises a blancos. La formación tiene aproximadamente entre 100 y 150 m de espesor y es concordante con la Formación Chimú.

Formación Chimú, (Ki,ch): Arenisca de color blanco a blanco rojizo en láminas de aproximadamente 1 a 3 m de grosor. La formación tiene un grosor aproximado de 100 m.

Formación Oyón, (Ki-o): Arenisca parda y basáltica de fino grano y de color gris oscuro, con inserciones de esquistos de barro y carbón (lignita).

Formación Chicama, (Js-ch): Esquistos grises y areniscas.

GEOLÓGÍA ESTRUCTURAL

El rango estructural más importante del área es el sobre fallamiento regional de alto ángulo que se desplaza de sur a norte, esta estructura ha asignado plegamientos paralelos al rumbo general de la Cordillera.

Los plegamientos son del tipo arrastre en forma de pequeños anticlinales y sinclinales que han jugado un rol importante en la disposición de minerales.

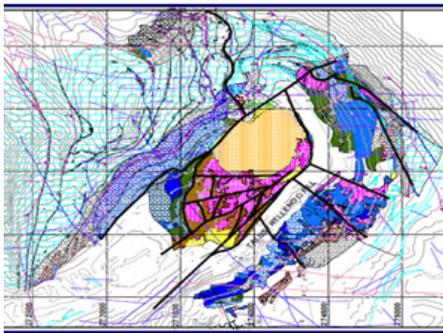


FIGURA Nº6 Mapa estructural del depósito de Antamina. Compañía Minera Antamina S.A (2006). 1er Simposio de Exploración de Yacimientos del Perú. Publicada por: Briones, J. (2010). GEOLOGIA DE ANTIMINA. [Mapa Estructural]

LITOLOGÍAS (ESTRATIGRAFÍA). DOMINIOS LITOLOGÍCOS

Intrusivo: La intrusión principal parece estar centrada debajo y al suroeste de la laguna Antamina. Tiene aproximadamente 0.3% de Cu, por lo cual no se considera de valor económico. Por lo tanto, en el contexto minero se considera como diluyente o desecho.

Endoskarn Café: Se caracteriza por ser de grano grueso contenida con calcopirita intersticial; generalmente Cu=1,3%, Mo= 0,03%

Endoskarn Rosa: Se caracteriza por contener salvandas de plagioclasas blancas y parches de epidota (generalmente Cu< 0.5%, ancho 2-5m).

Brecha Heterolitica Endoskarn: Endoskarn café fragmentado y venas de cuarzo en una matriz alterada de calcopirita, arcilla y pirita.

Brecha Heterolitica Exoskarn: Leyes muy altas de Cu.

Skarn Transicional: De granate marrón-

- Medio; contiene Cu,Zn + Mo + Bi.

Exoskarn Café Verde: De granate verde afanítico mezclado con venas de granate café. Pirita- Calcopirita en cavidades.

Exoskarn Verde: De granate verde pálido de grano medio con esfalerita café intersticial.

Exoskarn de Diopsida: contiene Zn, Cu, Ag, Bi, Pb.

Exoskarn Wollastonita Café: Concentrado de bornita con wittichenita intersticial, contiene inclusiones de wittichenita muy fina (sulfuro de Cu-Bi).

Exoskarn Wollastonita Verde: Wollastonita bandeada, bornita y esfalerita gris; a la izquierda se observan granates verdes con bornita intersticial. Generalmente Cu= 1.5 %, Zn=2.2%.

Hornfels: Gris con óxidos en las fracturas. Generalmente solo hay trazas de pirita –pirrotita. Hornferls café, débilmente oxidados. Generalmente transicional a Hornfels diópsido y Exoskarn verde.

Mármol- Calizas: Contiene Zn, + Pb, + Ag, +Bi.

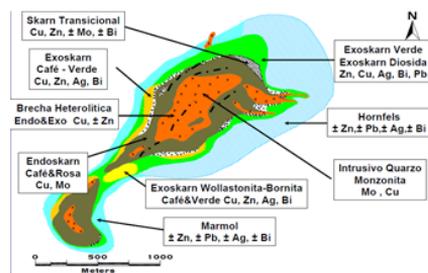


FIGURA Nº7 Compañía Minera Antamina S.A (2006). 1er Simposio de Exploración de Yacimientos del Perú. Publicada por: Briones, J. (2010). GEOLOGIA DE ANTIMINA. [Litología Esquemática].

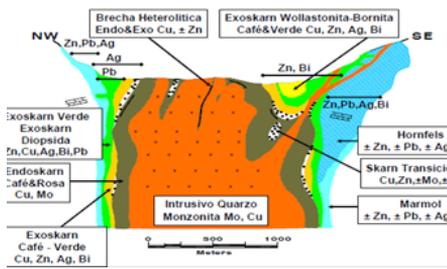


FIGURA Nº8 Compañía Minera Antamina S.A (2006). 1er Simposio de Exploración de Yacimientos del Perú. Publicada por: Briones, J. (2010). GEOLOGIA DE ANTAMINA. [Litología y Zonamiento].

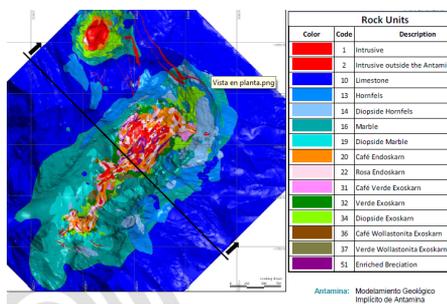


FIGURA Nº9 RIOS, A. MODELAMIENTO GEOLOGICO IMPLICITO DE ANTAMINA. [Geología superficial interpretada].

GEOMETRÍA DE LOS CUERPOS MINERALIZADOS

La monzonita se presenta en diques y capas intrusivas, como en la mayoría de los Cuerpos masivos. La intrusión principal parece estar centrada debajo y al suroeste de la laguna Antamina. Tiene aproximadamente 0.3% de Cu, por lo cual no se considera de valor económico. Por lo tanto, en el contexto minero se considera como diluyente o desecho.

El skarn está compuesto de granate, sulfuros y magnetita, y de menores cantidades de minerales como diópsido, actinolita, clorita, epidota y calcita. Los sulfuros son la calcopirita, esfalerita y

calcita. Los sulfuros son la calcopirita, esfalerita y pirita y con menor cantidad, molibdenita, galena y diversas sulfosales. Se distinguen dos zonas mineralizadas. Los dos tercios centrales adyacentes al cuerpo intrusivo se caracterizan por la presencia de calcopirita, pirita y molibdenita. Una capa externa que representa un tercio del depósito contiene esfalerita, calcopirita, pirita y galena en menores cantidades. Se ha designado a estas dos zonas como: una zona sólo de Cu, que contiene el 67% de la mineralización, y una zona Cu-Zn que contiene el 33% de la mineralización.

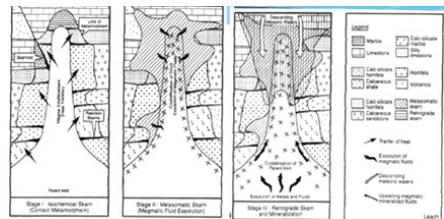


FIGURA Nº12 Acosta, Jc (2013 Mayo). Deposito Tipo Skarn. [Etapas de evolución de un Skarn].

1. Formado principalmente en rocas calcáreas ya que pueden disolverse o reemplazarse más fácilmente por los fluidos hidrotermales.
2. Ascenso del magma formando una aureola de metamorfismo de contacto en las rocas de caja.
3. Fluidos hidrotermales que reaccionan con la roca caja iniciando la formación de un skarn de alta temperatura (700-600°C).
4. Fase de enfriamiento (450-300°C) donde se precipitan los sulfuros y algunos óxidos.
5. Por percolación de aguas meteóricas se puede producir alteración en algunos minerales (fase de enriquecimiento supergénico)

6. El exoskarn se forma en las rocas sedimentarias calcáreas y el endoskarn en los intrusivos.

ALTERACIONES DE LA ROCA CAJA Y MINERALIZACIÓN ASOCIADA

Las rocas cajas del yacimiento están constituidas por una secuencia de calizas, margas y limonitas de la Formación Celendín del Cretácico superior que se encuentran instruidos por un intrusivo porfíritico del Mioceno. Tanto las rocas de la Formación Celendín y los estratos calcáreos y clásticos de las formaciones infrayacentes del Cretácico inferior, se encuentran plegadas con fallamientos de sobrecurrimiento que siguen un rumbo general noroeste.

La intrusión de la monzonita porfírica de Antamina ha producido por metasomatismo en las calizas de la Formación Celendín aureolas de skarn, con mineralización polimetálica.

- La parte interna del intrusivo es fresca, en una parte externa se observa alteración con cloritización, de los ferros magnesianos.

- Seritización y argilización de los feldespatos. En la zona de skarn, áreas de clorita, calcita, epidota, cuarzo y albita representan una hidratación del granate.

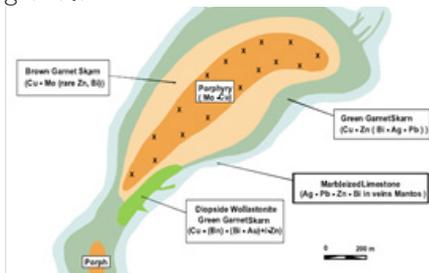


FIGURA Nº13 Mamani, E (2013, jun). Yacimiento de minerales. Universidad Nacional del Altiplano Puno. LIMA, PERU.

QUÍMICA DE LOS MINERALES DE MENA Y GANGA

Mena: consistente principalmente en mena de cobre (skarn de granate marrón) y menas de cobre/zinc (skarn de granate verde) en proporciones aproximadamente iguales, con algo de intrusivos mineralizados y mármol.

El skarn está bien definido por zonas en ambos lados de la intrusión central, con la siguiente secuencia que empieza en el intrusivo y termina en la caliza:

- skarn de granate marrón con cobre como calcopirita (mena de cobre).
- skarn de granate verde con calcopirita y esfalerita (mena de cobre zinc).
- skarn de wollastonita/ diópsido /granate verde con bornita, esfalerita, y bismuto irregular.

Caliza metamorfozada con venas o mantos de skarn de wollastonita/granate verde con mineralización de zinc, plomo y plata.

La mineralización de sulfuros es posterior a la formación de granatita y ocurre en tres formas: intersticial a cristales de granate, zonas de sulfuros masivos, o vetillas transversales. Las zonas de sulfuros masivos son generalmente mezclas consistentes en una variedad de cantidades de pirita, calcopirita y esfalerita con menor cantidad de molibdeno, galena y varias sulfosales. Se puede distinguir dos zonas mineralizadas.

Los dos tercios centrales, adyacentes al cuerpo del intrusivo, caracterizados por calcopirita, pirita y molibdeno. Una corteza exterior, que representa un tercio del depósito, contiene esfalerita, calcopirita, pirita y menores cantidades

de galena y sulfosales.

Las formaciones principales de roca usadas para la clasificación de la mena y de la roca de desmonte son las siguientes:

- Mena de cobre con bajo contenido de bismuto.
- Mena de cobre con alto contenido de bismuto.
- Mena de zinc con bajo contenido de bismuto.
- Mena de zinc con alto contenido de bismuto.
- Mena de bornita con bajo contenido de zinc.
- Mena de bornita con alto contenido de zinc.

La mena de cobre con bajo contenido de bismuto está definida como mena que contiene hasta 0.5% de zinc y menos de 25 ppm de bismuto. La mena de cobre con alto contenido de bismuto es la que contiene hasta 0.5% de zinc y más de 25 ppm de bismuto. La mena de zinc con bajo contenido de bismuto contiene más de 0.5% de zinc y menos de 25 ppm de bismuto. La mena de zinc con alto contenido de bismuto es aquella que contiene más de 0.5% de zinc y más de 25 ppm de bismuto.

La bornita es una zona definida en el modelo, en la que la bornita es el mineral de cobre dominante. La mena de bornita con bajo contenido de zinc contiene hasta 0.5% de zinc, mientras que la bornita con alto contenido de zinc contiene más de 0.5% de zinc.

La mena de baja ley, definida como toda aquella cuya ley está entre 0.7% y 1.0% de cobre equivalente, totaliza 92.1 millones de toneladas y ha sido incluida

en las Reservas totales minables. Estas estarán colocadas en una pila de almacenamiento adyacente al tajo y la pila de desmonte sur en el valle de Antamina y serán procesadas en la planta concentradora durante los últimos años de la operación.

RESULTADOS

Implicaciones en la exploración de nuevos depósitos minerales de similares características.

CRITERIOS DE EXPLORACIÓN ARCOS MAGMÁTICOS EN MARGENES CONTINENTALES CONVERGENTES 5%.

Ascenso del magma formando una aureola de metamorfismo de contacto en las rocas de caja. Fluidos hidrotermales que reaccionan con la roca caja iniciando la formación de un skarn de alta temperatura (700-600°C).

RASGOS ESTRUCTURALES 17%

Fallas transversales plegamiento

MINERALOGÍA 40%

Roca carbonatada asociada por una secuencia de margas y limonita; los principales minerales que se dan son la piritita, calcopiritita, y esfalerita con ocurrencia local de cuarzo y calcita.

LITOLOGÍA 38%

Secuencia estratigráfica volcanosedimentaria y rocas plutónicas, calizas monzoníticas y cuarzos.

POSIBLES ÁREAS POTENCIALES EN COLOMBIA



Fig. N°15: mapa político de Colombia

El área delimitada se encuentra en la cordillera occidental entre los límites del departamento de Antioquia y Chocó; correspondiente a un cuerpo intrusivo de forma elongada (Batolito de Farallones), entre el 60% y 90% del batolito está constituido por rocas tonalítica-monzonítica.

El emplazamiento de este batolito modificó las estructuras regionales de dichos departamentos, formando en las rocas sedimentarias cretácicas el grupo Cañas gordas (Miembro Urrao) con un metamorfismo de contacto. Esta unidad consta de una secuencia de más de 3.000m de espesor de sedimentarias tipo flysch, plegadas y falladas que aparecen intercaladas o transicionales a las secuencias de lidita y calizas; litológicamente predominan limolitas que se encuentran en bancos de espesor variable, 0,05 a 1m, intercaladas en las

secuencia de grauvacas, las cuales son rocas macizas finamente estratificadas de color gris oscuro o a negro con alto contenido de materia orgánica y las arcillolitas se encuentran interestratificadas con bancos de grauvaca y limonitas, lodolitas, y arenitas lodosas.

En esta zona se cumplen los criterios de exploración formulados, como ambientes de arcos magmáticos en márgenes continentales convergentes, rasgos estructurales, litologías comunes y mineralizaciones similares.

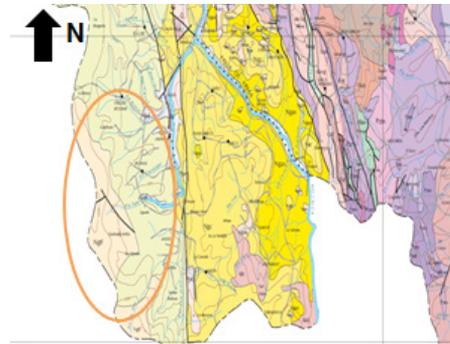


Fig. N°14: mapa geológico sur del departamento de ANTIOQUIA.

CONCLUSIONES:

- La zona propuesta como depósitos potencial tipo Skarn de cobre en Colombia en la cordillera central ubicado en el departamento de Huila, son cuerpos intrusivos Monzoníticos y tonalíticos que están asociados a un control estructural que corresponde a los sistemas de fallas que habrían permitido el ascenso de estos cuerpos y controlarían la mineralización de edad Cretácico superior tardío a neógeno.
- Los depósitos tipo skarn se caracterizan por tener intrusiones de áreas emplazadas en rocas carbonatadas, presentando una minera-

lización en cuerpos con forma irregular y/o tabular, con minerales de cobre, zinc, plomo, plata y molibdeno.

- En el área de estudio también se ubican rocas ígneas que afloran en forma de pequeños y medianos cuerpos (stocks) como también en forma de diques y Sills, y la composición de estos intrusivos es del tipo pórfido cuarzo monzonita.

BIBLIOGRAFÍA

- Briones, Jm (2010, Agos). Primer Simposio de Exploración de Yacimientos del Perú. Compañía Minera Antamina S.A, Cajamarca (Sep. 2006).

- Compañía Minera Antamina S.A.(1998 Marzo). Geología y Fisiografía. Estudio de Impacto Ambiental, LIMA, PERÚ.

- <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/dgaam/publicaciones/evats/mosna/MOSNA4.pdf>.

- Compañía Minera Antamina S.A. (1998 Marzo). Geología, Reservas de mineral y Geoquímica. Estudio de Impacto Ambiental, LIMA, PERÚ.

- Acosta, J (2013, Mayo). Depósito Tipo Skarn, Lima, PERÚ.

- García, M (2013, Nov). Modelamiento Geológico Implícito de Antamina. Ángel Ríos Espinoza, LIMA, Perú.

- Mamani, E (2013, jun). Yacimiento de minerales. Universidad Nacional del Altiplano Puno. LIMA, PERU.

- James, Sc. (2011).Minera Antamina. Proyecto Final de Investigación. Universidad Nacional de Moquegua, LIMA, PERÚ.

- <http://www.actualidadambiental.pe/?p=19346>.

- <http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/libros/2007/cyamientos/cap03.pdf>

WEBGRAFÍAS:

- <http://www.esan.edu.pe/publicaciones/2011/02/25/mineria-y-poblacion.pdf>.

- <http://espanol.mapsofworld.com/continentes/suramerica/colombia/colombia-mapa.html>