

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO

ESCUELA DE POST GRADO

MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL



TESIS

**“CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA, GEOQUÍMICA Y POSIBILIDAD
DE DRENAJE ÁCIDO DE ROCA, EN PASIVOS MINEROS DEL CERRO
YANAORCCO”**

PRESENTADA POR:

Susana Gladis VILCA ACHATA

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAGÍSTER SCIENTIAE EN

TECNOLOGÍAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL



PUNO - PERÚ

2014

| | |
|---|-------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO | |
| BIBLIOTECA CENTRAL AREA DE TESIS | |
| Fecha Ingreso: | 14 OCT 2014 |
| Nº | 100701 |

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO

ESCUELA DE POST GRADO

MAESTRIA EN TECNOLOGÍAS DE PROTECCION AMBIENTAL



TESIS

**“CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA, GEOQUÍMICA Y POSIBILIDAD
DE DRENAJE ÁCIDO DE ROCA, EN PASIVOS MINEROS DEL CERRO
YANAORCCO”**

PRESENTADA POR:

Susana Gladis VILCA ACHATA

**PARA OPTAR EL GRADO ACADEMICO DE:
MAGISTER SCIENTIAE EN
TECNOLOGÍAS DE PROTECCION AMBIENTAL**

Puno-Perú

2014

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO

ESCUELA DE POST GRADO

MAESTRIA EN TECNOLOGÍAS DE PROTECCION AMBIENTAL

TESIS

“CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA, GEOQUÍMICA Y POSIBILIDAD DE DRENAJE ÁCIDO DE ROCA, EN PASIVOS MINEROS DEL CERRO YANAORCCO”

PRESENTADA POR:

Susana Gladis VILCA ACHATA

PARA OPTAR EL GRADO ACADEMICO DE:

MAGISTER SCIENTIAE EN TECNOLOGÍAS DE PROTECCION AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

:


M. Sc HECTOR RAUL MACHACA CONDORI

PRIMER MIEMBRO

:


M. Sc GERMAN COILLO COTRADO

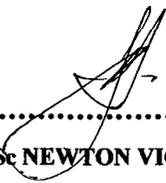
SEGUNDO MIEMBRO

:


M. Sc ANTONIO SARMIENTO SARMIENTO

ASESOR DE TESIS

:


M. Sc NEWTON VICTOR MACHACA CUSILAYME

**“CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA, GEOQUÍMICA Y POSIBILIDAD DE
DRENAJE ÁCIDO DE ROCA, EN PASIVOS MINEROS DEL CERRO YANAORCCO”**

CONTENIDO

| | Pag. |
|---------------------|-------------|
| Índice..... | iii |
| Agradecimiento..... | ix |
| Resumen..... | x |
| Abstract..... | xi |

CAPÍTULO I

I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

| | |
|--|----|
| 1.1. Generalidades | 1 |
| 1.2. Problema de Estudio | 3 |
| 1.3. Planteamiento del Problema | 4 |
| 1.4. Antecedentes | 5 |
| 1.5. Justificación | 5 |
| 1.6. Hipótesis | 7 |
| 1.6.1. Hipótesis general | 7 |
| 1.6.2. Hipótesis específicas | 7 |
| 1.7. Objetivos | 7 |
| 1.7.1. Objetivo general | 7 |
| 1.7.2. Objetivos específicos | 10 |
| 1.7.4. Matriz de consistencia | 10 |
| 1.7.3. Identificación de variables | 11 |

CAPÍTULO II

II. MARCO TEÓRICO

| | |
|--|----|
| 2.1. Marco teórico | 12 |
| 2.1.1. Pasivo ambiental minero | 12 |
| 2.1.2. Caracterización | 12 |
| 2.1.3. Protección ambiental | 12 |
| 2.1.4. Impacto ambiental | 12 |
| 2.1.5. Estándar de calidad ambiental (ECA) | 13 |
| 2.1.6. Límites máximos permisibles (LMP). | 13 |

| | |
|---|----|
| 2.1.7. Profundización del estudio de los medios | 14 |
| 2.1.8. Monitoreo sostenido | 14 |
| 2.1.9. Establecimiento de escalas para evaluar | 15 |
| 2.1.10. Manifestación de los minerales orogénicos | 15 |
| 2.2. Marco referencial | 17 |
| 2.2.1. Geomorfología | 17 |
| 2.2.2. Geología regional | 17 |
| 2.2.2.1. Estratigrafía | 17 |
| 2.2.3. Geología local | 21 |
| 2.2.4. Contexto estructural | 22 |
| 2.2.5. Estructuras vetiformes de Cuarzo – Oro | 23 |
| 2.3. Marco conceptual | 28 |
| 2.3.1. Drenaje ácido de roca (DAR) | 28 |
| 2.3.1.1. Fuentes de generación de DAR | 28 |
| 2.3.1.2. Medidas de mitigación | 29 |
| 2.3.1.3. Caracterización de materiales generadores de DAR | 29 |
| 2.3.2. Fenómenos asociados en la generación de DAR | 34 |
| 2.3.2.1. Fenómenos de acidificación | 34 |
| 2.3.2.2. Fenómenos de Neutralización | 37 |
| 2.3.3. Predicción de DAR | 38 |
| 2.3.3.1. Potencial de acidez (PA) | 38 |
| 2.3.3.2. Potencial de neutralización (PN) y Potencial de neutralización Neto (PNN) | 38 |
| 2.3.4. Determinación del balance entre los constituyentes generadores y consumidores de ácido | 38 |
| 2.3.4.1. Interpretación de pruebas estáticas | 40 |
| 2.4. Marco legal | 41 |

CAPÍTULO III

III. METODOLOGÍA

| | |
|---|----|
| 3.1. Determinación de la mineralización del área, paragénesis, zonamiento, alternaciones y Modelamiento para depósito | 43 |
| 3.1.1. Paragénesis | 43 |
| 3.1.2. Zonamiento | 44 |
| 3.1.3. Alteraciones | 45 |
| 3.1.4. Modelamiento para este tipo de depósitos | 45 |
| 3.2. Muestreo de campo | 47 |

| | |
|--|----|
| 3.3. Preparación de muestras | 47 |
| 3.4. Caracterización mineralógica | 47 |
| 3.4.1. Estudio petrográfico | 48 |
| 3.4.2. Análisis mineralógico | 49 |
| 3.4.3. Caracterización mineralógica por Difracción de Rayos X | 50 |
| 3.5. Caracterización geoquímica | 51 |
| 3.5.1. Color | 52 |
| 3.5.2. Determinación del pH | 55 |
| 3.5.3. Potencial de neutralización | 56 |
| 3.5.4. Máximo potencial ácido determinación de Azufre Total..... | 57 |
| 3.6. Caracterización del potencial de generación de ácido de muestra | 63 |

CAPÍTULO IV

VI. RESULTADOS

| | |
|--|----|
| 4.1. Mineralogía..... | 65 |
| 4.1.1. Composición mineralógica de las muestras | 66 |
| 4.1.2. Resultado del análisis de metales en muestra | 69 |
| 4.2. Minerales económicos | 70 |
| 4.3. Minerales de ganga | 72 |
| 4.4. Estudio minerográfico y petromineralógico | 74 |
| 4.5. Estudios especiales petrográficos | 79 |
| 4.6. Potencial de generación de DAR | 82 |
| 4.6.1. Potencial neto de neutralización, vetas 1, 2, 3 y estructura mineralizada | 82 |
| 4.6.2. Posibilidad de drenaje ácido de muestra | 83 |
| 4.7. Estimación de la movilidad de los metales y la calidad química de lixiviados | 85 |
| CONCLUSIONES | 86 |
| RECOMENDACIONES | 87 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 88 |

Lista de abreviaturas:

DAR = Drenaje ácido de roca

DAM = Drenaje ácido de mina

DREM = Dirección Regional de Energía y Minas

DGDM = Dirección General de Minería

DGAAM = Dirección General de Asuntos Ambientales

MINEM = Ministerio de Energía y Minas

Ilustraciones

- | | |
|---|---------------|
| 1.- Mapa N° 01: Mapa de Ubicación | Esc: Gráfica |
| 2.- Mapa N° 02: Mapa de Modelos de Elevación | Esc: 1/50 000 |
| 3.- Mapa N° 03: Mapa Geológico Regional | Esc: 1/50 000 |
| 4.- Mapa N° 04: Mapa Geológico local | Esc: 1/10 000 |
| 5.- Sección Geológica A – A', N80°W – S80°E | Esc: 1/5 000 |
| 6.- Imagen N°01: Imagen LANDSAT 8 RGB: 753 | |
| 7.- Imagen N°02: Imagen ASTER RGB: 468 | |
| 8.- Mapa N° 05: Mapa de Anomalías Espectrales | Esc: 1/50 000 |

Esquemas

Esquema 2..1. Modelo generalizado de los estilos estructurales de precipitación de metales en depósitos vetiformes de oro.

Esquema 2.2 Esquema general del evento de colisión de terrenos.

Esquema 4.3 Paragénesis y facies

Esquema 4.4. Fuente: Society of Economic Geologist

Figuras

Fig. 4.1. Muestra cristales de pirita y calaverita.

Fig. 4.2. Mostrando Micrografía de sección pulida.

Fig. 4.3 Muestra vetas 1, 2, 3: presencia de pirita masiva, cristalizada y carbonatos.

Fig. 4.4 Muestra Veta (estructura).

Fig. 4.5 Mapa mineralógico en microscopia.

Fig. 4.6 Muestra el patrón de difracción de Rayos X.

Fig. 4.7 Muestra el escaneo de los diferentes minerales económicos.

Fig. 4.8 Mostrando Micrografía de sección delgada.

Fig. 4.9 Muestra el patrón de difracción de Rayos X de la ganga.

Fig. 4.10 Muestra el escaneo de los minerales de ganga.

Fig. 4.11 Gráfico drenaje ácido de muestra de veta

Fig. 4.12. Gráfico drenaje ácido de muestra de estructura mineralizada.

Fotomicrografías

- 1.- Remanentes de arsenopirita (apy) que ha sido reemplazada por esfalerita (ef), calcopirita (cpy) y tenantita (tnn) diseminada en gangas (GGs).
- 2.- Agregados de piritita trambooidal (py I) se encuentra como diseminado en las gangas (GGs).
- 3.- Cristales de piritita II (py II) siendo reemplazados por galena (gn) diseminado en gangas (GGs).
- 4.- Cristales de piritita (py II) siendo reemplazados por galena (gn).
- 5.-Cristales de piritita (py) que han sido reemplazados por esfalerita (esf) a través de sus microfracturas.
- 6.- Cristales de carbonatos como reemplazamiento (CBs).

Tablas

- Tabla 3.1. Volumen y Normalidad de Ácido Clorhídrico usado para cada ratio de efervescencia.
- Tabla 4.1. Mineralogía de las vetas: 1, 2 y 3. Laboratorio UNI.
- Tabla 4.2. Mineralogía de la Estructura Mineralizada (5.0 m. entre ella 3 vetas). Laboratorio UNI.
- Tabla 4.3. Mineralogía de la Estructura (5.m entre ella 3 vetas) Laboratorio INGEMMETJ.
- Tabla 4.4. Análisis de metales en nuestra veta 1, 2, 3.
- Tabla 4.5. Análisis de metales en muestra de estructura mineralizada.
- Tabla 4.6. Potencial neto de neutralización, vetas 1, 2, 3. Laboratorio UNI.
- Tabla 4.7. Potencial neto de neutralización en estructura mineralizada. Laboratorio UNI.
- Tabla 4.8. Confirmación drenaje ácido, vetas 1, 2, 3 (muestra puntual).
- Tabla 4.9. Determinación drenaje ácido en estructura mineralizada.

Cuadros

- Cuadro 4.1. Archivo de difracción de Rayos X1
- Cuadro 4.2. Archivo de difracción de Rayos X2

Fotos

- Foto 1. Labores mineras abandonadas. Se observa vetas 1 y 2 dentro de la estructura mineralizada en cajas pizarrosas
- Foto 2.- Falla control que tiene relación con las vetas del C° Yanaorcco.
- Foto 3.- Vetas y Estructuras mineralizada expuestas a superficie.
- Foto 4.- Exposición de la estructura vetiforme en zona oxidada.

Foto 5.- Preparación de muestras en sección pulidas (briquetas).

Foto 6.- Briqueta, muestra mineral en condición pulida.

Foto 7. – Impregnado de láminas delgadas para estudio petrográfico.

Foto 8.- Mediante observación en microscopio se realiza la caracterización petrográfica de las muestras de investigación.

Foto 9.- Irradiación de muestra con Difractómetro de Rayos X, marca Shimadzu modelo XRD 6000 para la determinación de mineral.

Foto 10.- Digestión de muestras geoquímicas con tratamiento multiácido en campana extractora con lavador de gases, marca Esco.

Foto 11.- Análisis químico de muestras con Espectrómetro de Masas con fuente de Plasma de Acoplamiento Inducido (ICP-MS) Perkin Elmer, modelo Nexion 300D.

Foto 12.- Determinación de alteraciones y mineralogía de muestras de mano, con espectrómetro de Minerales TERRASPEC 4 Hi-Res.

AGRADECIMIENTO

Mi sincero agradecimiento a todas las personas que coadyuvaron a concretar este trabajo de investigación; especialmente al M. Sc NEWTON VICTOR MACHACA CUSILAYME, M. Sc WILSON SANGA YAMPASI y M. Sc NICOLAS GUEVARA ALVARADO, quienes me asesoraron en temas de Protección Ambiental, Química y Geología respectivamente.

Agradezco también a la Universidad Nacional de Ingeniería UNI y al Instituto Geológico Minero y Metalúrgico INGEMMET, porque ambas Instituciones han contribuido a la culminación exitosa de esta investigación al facilitar el acceso a sus respectivos Laboratorios para el análisis de muestras, interpretación e investigación de las mismas.

A mis hijos RONALD y RUSSEL, a mi madre y a la memoria de mi padre, ellos son mi motivación, les agradezco por su apoyo constante.

Ing. Susana Gladis Vilca Achata

RESUMEN

El trabajo de investigación se realizó en el Cerro Yanaorcco, de Cabanilla, Lampa, Puno; con el objeto de caracterizar la mineralogía y geoquímica del pasivo ambiental minero existente, en el marco de la posibilidad de generación de DAR, para la toma de medidas de protección ambiental. Se investigó la mineralización, expuesta al ambiente, en labor minera abandonada, considerada pasivo ambiental minero, convirtiéndose en un punto de preocupación de los habitantes aledaños a la zona, consideran se pueda convertir en una fuente de contaminación, la misma que afectaría la actividad económica principal como es la actividad agropecuaria en la zona. El pasivo ambiental, se enmarca en un yacimiento tipo vetiforme, cuyo generador principal de mineralización son intrusivos (dioritas Neogenas), episodios volcánicos recientes responsables de traer consigo soluciones mineralizantes en contenidos metálicos de oro, plata y trazas de minerales de cobre que se depositaron a partir de una solución inmediatamente después del fracturamiento que afectó al cuarzo, la pirita y arsenopirita de primera generación; mineralización asociada a fallas locales de tendencia NE – SO con escaso contenido de óxidos y mineralización primaria, relacionada a débiles alteraciones de sericitas. Yacimiento y mineralización tipo, que se asocia a la posibilidad de generación de DAR. La caracterización mineralógica, geoquímica, y determinación de la posibilidad de generación de DAR; aplicó metodología analítica, experimental y descriptiva, en las tareas de investigación propuestas, con cuatro muestreos. Se utilizaron métodos analíticos de: Microscopía, Digestión con tratamiento multiácido, Difractometría de rayos X, Espectrometría. La posibilidad de generación de Drenaje Ácido de Roca DAR, se determinó por el método estático. Resultado: bajo potencial ácido PA (0,31), alto potencial Neutro PN (18.13), indica azufre como sulfuro bajo en relación a carbonatos existentes, ayudando la neutralización del contenido ácido en drenaje. Se establece que no es generador de ácido ($PN/PA= 58,48$) relación de potencial neutro respecto a potencial de acidez mayor a 3; existe incertidumbre de generar ácido ($PNN = 17,82$) por valor del potencial neto de neutralización mayor a -20 y menor a $+20$. El pasivo ambiental, en las actuales condiciones de exposición es de bajo riesgo, no es una amenaza al medio ambiente que lo rodea. De existir interés económico, se recomienda efectuar pruebas cinéticas, para determinar el comportamiento geoquímico del material a través del tiempo.

Palabras clave: Drenaje ácido, contaminación

ABSTRACT

The research was conducted at the Cerro Yanaorcco of Cabanillas, Lampa, and Puno; in order to characterize the mineralogy and geochemistry of the existing mining environmental liabilities in connection with the possibility of generating DAR, for taking environmental protection measures. Mineralization was investigated, exposed to the environment, in abandoned mining work, considered mining environmental liabilities, becoming a point of concern surrounding the area inhabitants consider can become a source of contamination, it would affect economic activity as is the main agricultural activity in the area. Environmental liabilities are part of a type field veined, the main generator of mineralization are intrusive (diorite Neogene), recent volcanic episodes responsible for mineralizing solutions bring in metal content of gold, silver and copper trace minerals that were deposited from solution immediately after fracturing that affected the quartz, pyrite and arsenopyrite first generation; mineralization associated with local faults trending NE - SW with low content of oxide and primary mineralization, related to weak disturbances sericites. Site and type mineralization, which is associated with the possibility of generation of DAR. The mineralogical characterization, geochemistry, and determining the possibility of generation of DAR; applied analytical, experimental and descriptive methodology, proposed research tasks, four samples. Analytical methods were used: Microscopy, multi- acid digestion treatment, X-ray diffractometry, Spec. The possibility of generation of Acid Rock Drainage DAR, was determined by the static method. Result: low potential acid PA (0.31), high potential Neutral PN (18.13), indicates low sulphide sulfur in relation to existing carbonates, helping neutralizing the acid contained in drainage. It is established that is not acid generator ($PN / PA = 58.48$) relative potential neutral regarding potential acidity greater than 3; there is uncertainty to generate acid ($PNN = 17.82$) worth of net potential greater than -20 and less than +20 neutralization. The environmental liability, under current exposure conditions is low risk, is not a threat to the surrounding environment. If there is economic interest is recommended that kinetic tests to determine the geochemical behavior of the material over time.

Keywords: acid drainage pollution.

CAPITULO I

PROBLEMÁ DE INVESTIGACIÓN

1.1. GENERALIDADES

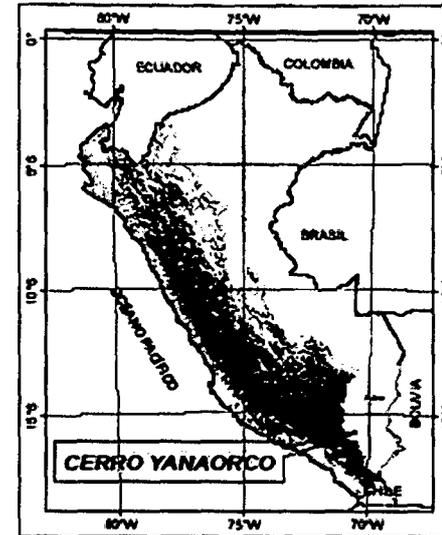
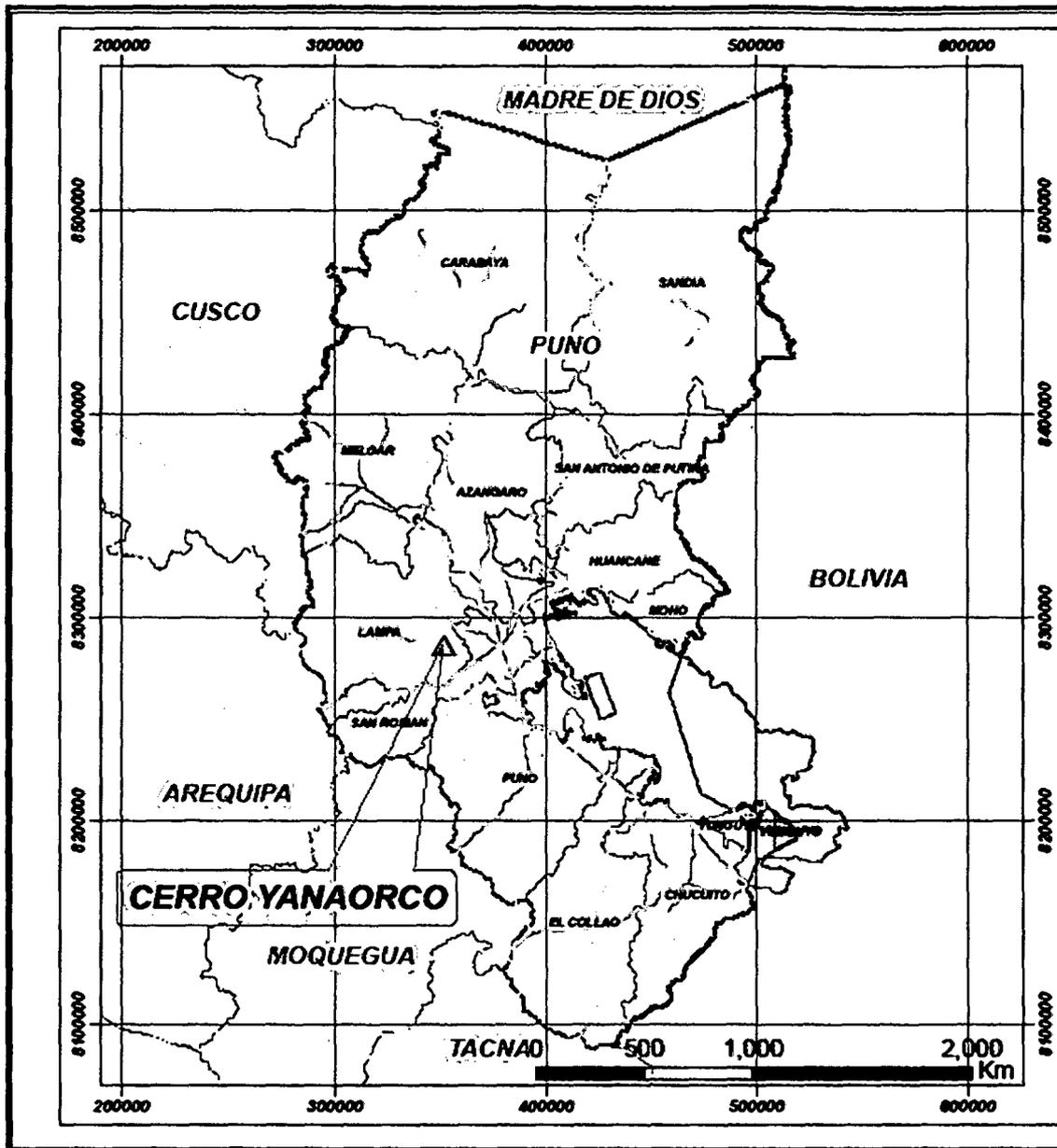
La tesis denominada “Caracterización Mineralógica, Geoquímica y Posibilidad de Drenaje Acido de Roca, en Pasivos Mineros del Cerro Yanaorcco”, es una contribución de importancia para la Universidad Nacional del Altiplano (UNA), constituye un nuevo aporte de investigación y de consulta en este género.

El área de estudio comprende el cerro Yanaorcco, Distrito de Cabanilla, Provincia de Lampa, Departamento de Puno, cuya coordenada UTM central corresponde a: 351,392.48-E, 8'286,187.51-N (Mapa N°01)

En la zona existen pasivos ambientales mineros, consistentes en labores mineras abandonadas, producto de una actividad minera de pequeña escala. Las mismas que ameritan estudios de investigación como el presente para determinar posibles generaciones de drenaje ácido de roca. (Foto N°1)



Foto N°1. Labores mineras abandonadas. Se observa vetas 1 y 2 dentro de la estructura mineralizada, en cajas pizarrozas



SIMBOLOGIA

- ▲ Cerro YANAORCO
- Trocha carrozable
- Vía afirmada
- Vía asfaltada
- Vía en construcción
- Vía en proyecto
- Vía sin afirmar
- Límite Provincial
- Límite Departamental

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA, GEOQUÍMICA Y POSIBILIDAD DE DRENAJE ÁCIDO DE ROCA EN PASIVOS MINEROS DEL CERRO YANAORCO

MAPA DE UBICACIÓN

| | | |
|--------------------|--|--------------------------------------|
| Mapa N°: 01 | Elaborado por: Ing. Susana Vilca A. | Revisado por: Ing. Newton Machaca |
| Escala: 1 : 50 000 | Fecha: Diciembre 2013 | Proyección: UTM-WGS 84 |

La posibilidad de generación del drenaje ácido de roca en la zona, provoca la hipótesis de algún riesgo en la contaminación de los cuerpos de agua, flujos de aguas subterráneas, entre otros el río Cabanillas que se encuentra aguas abajo.

Actualmente no hay drenaje en el área de estudio, sin embargo se observa la exposición de la labor abandonada con corte de la estructura mineralizada expuesta a los factores climáticos como la lluvia, vientos, cuya combinación podrían generar reacciones con los componentes químicos mineralógicos produciendo drenajes.

El clima varía, tiene un periodo frío, mucho viento, temperaturas bajas, máxima precipitación. Las temperaturas bajas y la altura limitan la variedad de la vegetación natural. El principal tipo de vegetación natural es el Ichu (*Stipa Obtusa*) y pequeños arbustos como la tola (*spydophillum quadrangulare*), sobre las pampas encima de los 3,900 m.s.n.m. el quíñar forma bosques residuales, estos arbustos constituyen recurso combustible para los habitantes de la zona.

El área de estudio se ubica pluviométricamente en una cuenca con buen rendimiento hídrico. La precipitación total anual en la cuenca varía de 595.5 mm. (Juliaca) a 870.8 mm. (Quillisani). Los valores más altos se registran en el entorno del Lago Titicaca y en el parte Alta de la cuenca.

El área del presente estudio, se ubica en el ámbito de la Cuenca del río Coata la que está conformada básicamente por las subcuencas de los ríos Cabanillas y Lampa. La cuenca Coata tiene una altitud máxima y mínima es de 5,300 y 3,800 msnm. (Mapas N°01, 02).

En el ámbito de la subcuenca del río Cabanillas se ubica la zona de estudio, se localiza también el Proyecto de Irrigación Sistema Integral Lagunillas (el más relevante de la Región Puno).

1.2. PROBLEMA DE ESTUDIO

El Perú aún vive un período de conflictos sociales muchas de ellas basados en reclamos, generados por posible contaminación ambiental, producidos por trabajos mineros, y en lo general por trabajos de minería informal, o aquellos generados por trabajos antiguos

considerados pasivos ambientales mineros, muchos de éstos a su vez se encuentran sin identificación de quienes dejaron éstos pasivos.

Es conveniente determinar la verdadera dimensión del impacto de éstos pasivos ambientales mineros, si éstas generan drenajes ácidos, y si se convierten realmente en una amenaza ambiental o no, sobre todo en áreas próximas a cuencas hidrográficas y áreas agropecuarias aguas debajo de los pasivos.

El cerro Yanaorcco, tiene pasivos ambientales mineros, consistentes en socavones, resultado de trabajos de actividad minera artesanal, las mismas que fueron abandonadas hasta la fecha. Las comunidades campesinas ubicadas aguas abajo, cuya actividad económica es agropecuaria, sienten desconfianza de la presencia de estos pasivos, considerando una amenaza de contaminación de sus aguas, sus cultivos y por ende el alimento de su ganado.

Generalmente las exposiciones de labores mineras abandonadas, así como afloramientos de estructuras mineralizadas en superficie, causan preocupación en las poblaciones del entorno, más aún cuando éstas se ubican en zonas que marcan épocas de precipitaciones pluviales intensas como la sierra peruana, periodos de vientos incidentes, y en áreas aguas abajo en zonas agropecuarias.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La complejidad estructural de los sedimentos metamórficos del Paleozoico superior, Grupo Cabanillas, lugar donde se han descubierto numerosos depósitos de minerales económicos como el oro, hace que las actividades de cateo, prospección, exploración se realicen con la intención de identificar zonas de explotación del preciado metal. (Imágenes N° 01 y 02).

En nuestro caso se investiga las exposiciones de vetas y estructura mineralizada, expuestas al ambiente, producto de antiguas labores mineras, consideradas pasivos ambientales mineros del Cerro Yanaorcco, la misma que presenta indicios de cateo artesanal; la presencia de ésta se convierte en un punto de preocupación de los habitantes aledaños a la zona, considerando se pueda convertir en una fuente de contaminación, las mismas que afectarían la actividad económica principal como es la actividad agropecuaria en la zona.

Se ha establecido las siguientes interrogantes:

- ¿Cuál es la relación de la geología, la génesis del yacimiento, la mineralización, en su comportamiento geoquímico?
- ¿Cuál es el potencial de acidez (PA) en el área estudiada?
- ¿Cuál es el potencial de neutralización (PN) en el área estudiada?
- ¿Cuál es el potencial de generación de Drenaje Acido de Roca (DAR) que tiene las vetas 1, 2 y 3, y estructura mineralizada del Cerro Yanaorcco?

1.4. ANTECEDENTES

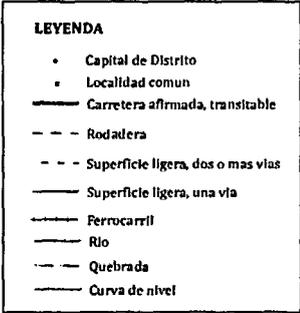
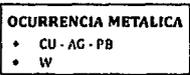
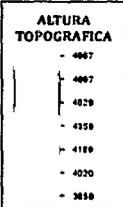
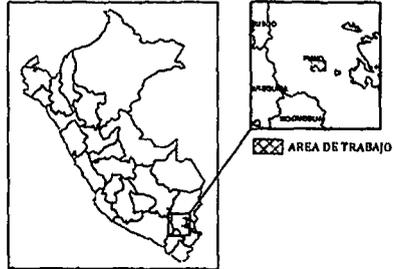
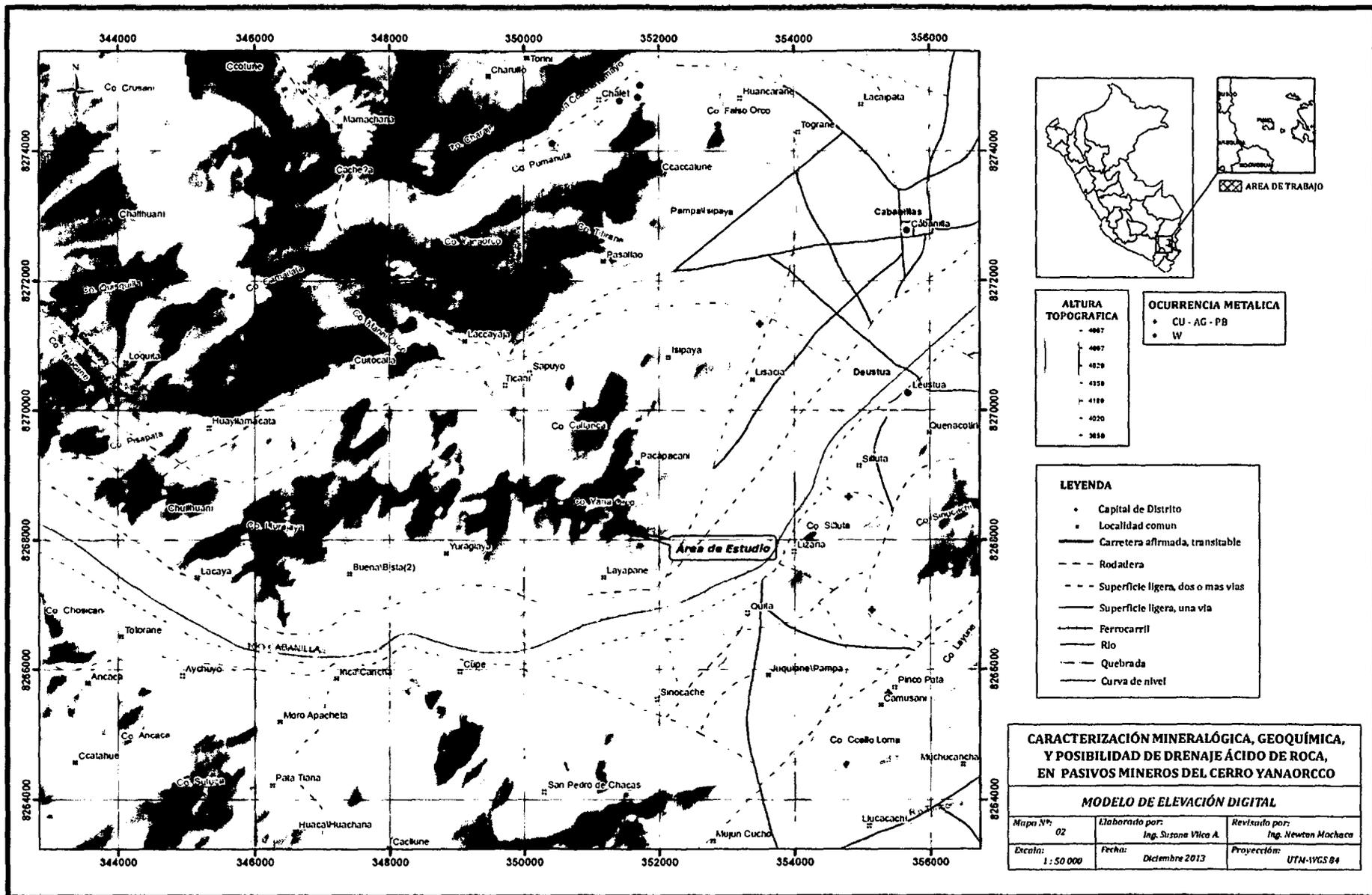
Existen diferentes investigaciones geológicas realizadas anteriormente, tanto de alcance regional como publicaciones limitadas a determinadas áreas de interés minero en la zona. En la revisión de antecedentes se observa que no se ha encontrado estudio ambiental alguno sobre trabajos tendientes a la exploración o explotación minera.

En la bibliografía consultada, se tiene los informes de geología económica y cartografiado geológico regional realizado por el INGEMMET, los informes técnicos del ex Banco Minero, donde se dan a conocer algunas ocurrencias minerales trabajadas, también se consultó información de algunas empresas privadas, como informes de visitas de estudios de geólogos de la UNA Puno.

1.5. JUSTIFICACIÓN

Los pasivos ambientales mineros del Cerro Yanaorcco, no han sido estudiados o investigados anteriormente en materia ambiental.

Demostrar el grado de impacto que tiene la presencia del pasivo ambiental minero, para evitar desconfianza comunal hacia la actividad minera formal, responsable.



CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA, GEOQUÍMICA, Y POSIBILIDAD DE DRENAJE ÁCIDO DE ROCA, EN PASIVOS MINEROS DEL CERRO YANAORCCO

MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL

| | | |
|------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Mapa N°: 02 | Elaborado por: Ing. Susana Vilca A. | Revisado por: Ing. Newton Mochaca |
| Escala: 1:50 000 | Fecha: Diciembre 2013 | Proyección: UTM-VGS 84 |

Determinar si existe generación de drenaje ácido de roca (DAR), que implique tomar medidas de protección ambiental en la zona.

El presente estudio tiene además como propósito generar reflexión y debate académico sobre el conocimiento de metodologías en la caracterización mineralógica y geoquímica en muestras de pasivos ambientales mineros posibles de generar contaminación ambiental.

Asimismo, particularmente el informe servirá a la suscrita como Tesis para optar el Grado Académico de M.Sc. en Tecnologías de Protección Ambiental, la cual también pasará a incrementar el acervo cultural de la biblioteca especializada de la FIGIM-UNA-Puno y de la Escuela de Postgrado.

1.6. HIPÓTESIS

1.6.1. Hipótesis general

La contaminación ambiental en la zona del Cerro Yanaorcco, es factible de evaluación y tratamiento mediante la caracterización mineralógica y geoquímica.

1.6.2. Hipótesis específicas

- Las vetas 1, 2 y 3, y la estructura mineralizada del cerro Yanaorcco generan Drenaje Acido de Roca en el contexto del estudio.
- El Drenaje Acido de Roca genera daño ambiental como consecuencia de la acidez en el área de estudio.
- El ambiente geológico es propicio para la neutralización del área de estudio.

1.7. OBJETIVOS

1.7.1. Objetivo general

Caracterizar la mineralogía y geoquímica de pasivo ambiental minero del Cerro Yanaorcco del distrito de Cabanilla, Provincia de Lampa del Departamento de Puno, en el marco de la Predicción de la generación del DAR; para la toma de medidas de protección ambiental.

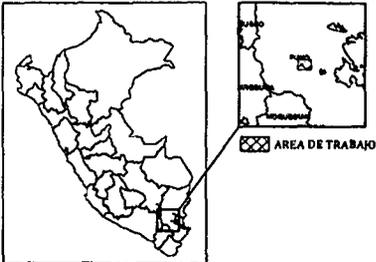
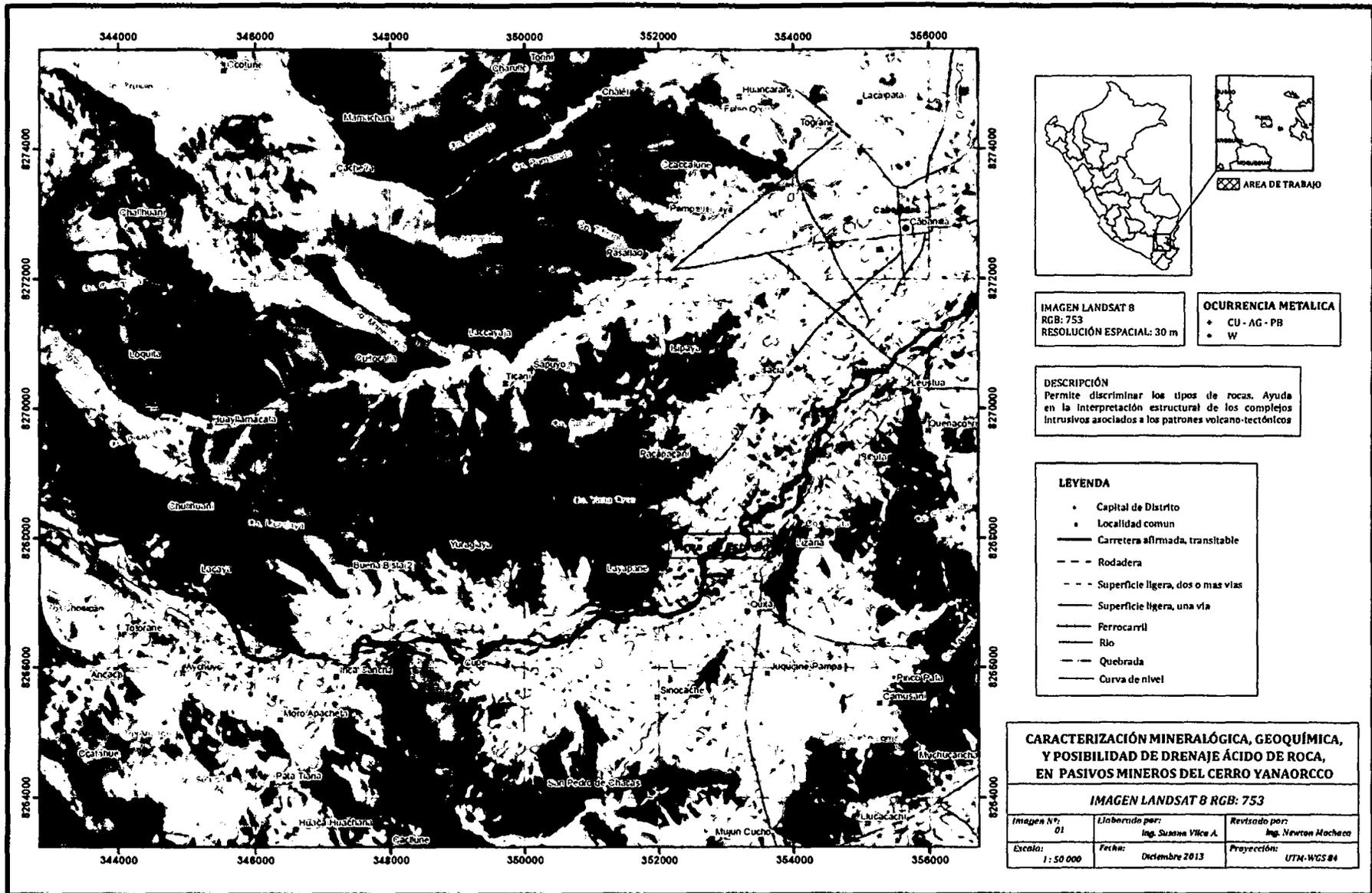


IMAGEN LANDSAT 8
 RGB: 753
 RESOLUCIÓN ESPACIAL: 30 m

OCURRENCIA METALICA
 • CU - AG - PB
 • W

DESCRIPCIÓN
 Permite discriminar los tipos de rocas. Ayuda en la interpretación estructural de los complejos intrusivos asociados a los patrones volcano-tectónicos

- LEYENDA**
- Capital de Distrito
 - Localidad comun
 - Carretera afirmada, transitable
 - - - Rodadera
 - - - Superficie ligera, dos o mas vias
 - Superficie ligera, una via
 - Ferrocarril
 - Río
 - - - Quebrada
 - Curva de nivel

**CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA, GEOQUÍMICA,
 Y POSIBILIDAD DE DRENAJE ÁCIDO DE ROCA,
 EN PASIVOS MINEROS DEL CERRO YANAORCCO**

IMAGEN LANDSAT 8 RGB: 753

| | | |
|-----------------------|--|-------------------------------------|
| Imagen N°: 01 | Elaborado por: Ing. Susana Vilca A. | Revisado por: Ing. Newton Mochea |
| Escala: 1 : 50 000 | Fecha: Diciembre 2013 | Proyección: UTM-WGS 84 |

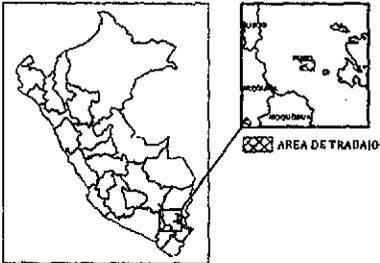
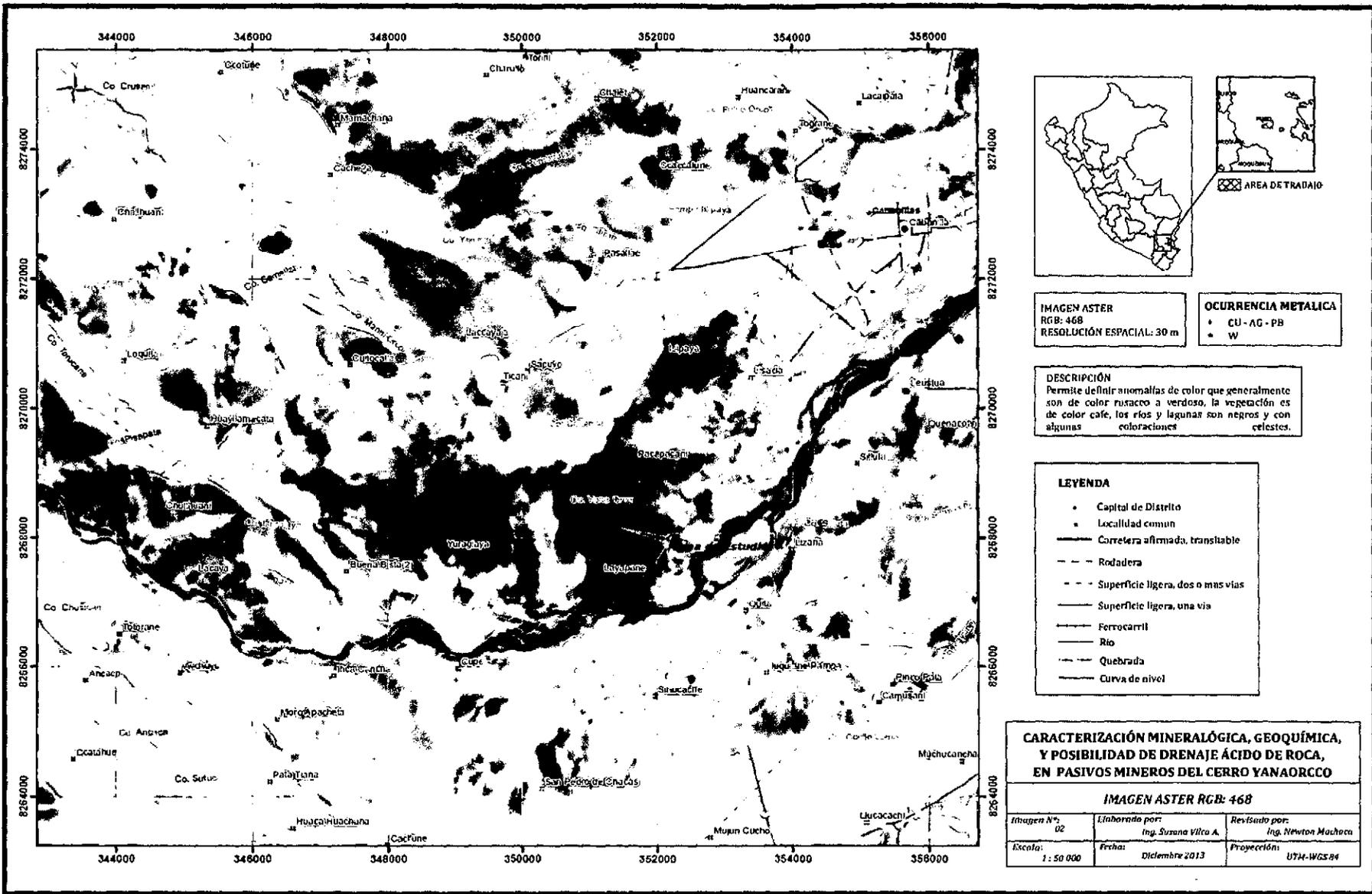


IMAGEN ASTER
 RGB: 468
 RESOLUCIÓN ESPACIAL: 30 m

OCURRENCIA METALICA
 • CU - AG - PB
 * W

DESCRIPCIÓN
 Permite definir anomalías de color que generalmente son de color rosáceo a verdoso, la vegetación es de color café, los ríos y lagunas son negros y con algunas coloraciones celestes.

- LEYENDA**
- Capital de Distrito
 - * Localidad común
 - Carretera afirmada, transitable
 - - - Rodadura
 - - - Superficie ligera, dos o más vías
 - Superficie ligera, una vía
 - Ferrocarril
 - Río
 - Quebrada
 - Curva de nivel

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA, GEOQUÍMICA, Y POSIBILIDAD DE DRENAJE ÁCIDO DE ROCA, EN PASIVOS MINEROS DEL CERRO YANAORCCO

IMAGEN ASTER RGB: 468

| | | |
|-----------------------|--|--------------------------------------|
| Imagen N°: 02 | Elaborado por: Ing. Susana Vilca A. | Revisado por: Ing. Newton Machaca |
| Escala: 1 : 50 000 | Fecha: Diciembre 2013 | Proyección: UTM-WGS84 |

1.7.2. Objetivos específicos

- Determinar el potencial de acidez del área estudiada.
- Determinar el potencial de neutralización del área estudiada.
- Determinar el potencial de generación del DAR que tienen las vetas 1,2 y 3, y estructura mineralizada del Cerro Yanaorcco

1.7.3. Matriz de Consistencia

| Problema General | Objetivo General | Hipótesis General |
|---|---|--|
| ¿Cuál es la relación de la geología y la génesis del yacimiento, la mineralización en su comportamiento geoquímico? | Caracterizar la mineralogía y geoquímica de los pasivos mineros del Cerro Yanaorcco del distrito de Cabanillas Provincia de Lampa del Departamento de Puno en el marco de la generación del DAR; para tomar medidas de protección ambiental | La contaminación ambiental en la zona del Cerro Yanaorcco, son factibles de evaluación y tratamiento mediante la caracterización mineralógica y geoquímica |
| Problemas Específicos | Objetivos Específicos | Hipótesis Específicas |
| ¿Cuál es el potencial de acidez (PA) en el área estudiada? | Determinar el potencial de acidez del área estudiada. | La exposición de Drenaje Acido de Roca ha generado acidez en el área de estudio. |
| ¿Cuál es el potencial de neutralización (PN) en el área estudiada? | Determinar el potencial de neutralización del área estudiada. | El ambiente geológico es propicio para la neutralización del área de estudio |
| ¿Cuál es el potencial de generación de Drenaje Acido de Roca (DAR) que tiene las vetas 1, 2 y 3, y estructura mineralizada del Cerro Yanaorcco? | Determinar el potencial de generación del DAR que tienen las vetas 1,2 y 3 del Cerro Yanaorcco | Las vetas 1, 2 y 3, y la estructura mineralizada, del cerro Yanaorcco generan Drenaje Acido de Roca en el contexto del estudio. |

1.7.4. Identificación de variables

| Variable Dependiente (VD) | Variables Independientes (Vi) |
|---|---|
| <p>VD, Caracterizar la mineralogía y geoquímica del pasivo ambiental minero en el Cerro Yanaorcco del distrito de Cabanilla, Provincia de Lampa del Departamento de Puno, en el marco de la generación del DAR; para tomar medidas de protección ambiental.</p> | <p>Vi₁, Determinar el potencial de acidez del área estudiada.</p> <p>Vi₂, Determinar el potencial de neutralización del área estudiada.</p> <p>Vi₃, Determinar el potencial de generación del DAR que tienen las vetas 1,2 y 3, y estructura mineralizada del Cerro Yanaorcco.</p> |

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1. Pasivo ambiental minero.

La Ley N° 28271 que regula los pasivos ambientales de la actividad minera define los Pasivos Ambientales Mineros como: "... todas las instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, en la actualidad abandonadas o inactivas y que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad", entre los cuales se tienen: bocamina, chimenea, cortes, depósito de desmonte, depósito de relave o relavera, edificaciones e instalaciones, media barreta, rajo, socavón, tajo.

2.1.2. Caracterización.

Desde una perspectiva investigativa la caracterización es una fase descriptiva con fines de identificación, entre otros aspectos, de los componentes.

La caracterización es un tipo de descripción cualitativa que puede recurrir a datos o a lo cuantitativo con el fin de profundizar el conocimiento sobre algo. Para cualificar ese algo previamente se deben identificar y organizar los datos; y a partir de ellos, describir (caracterizar) de una forma estructurada; y posteriormente, establecer su significado (sistematizar de forma crítica) (Bonilla, Hurtado & Jaramillo, 2009).

2.1.3. Protección ambiental

La protección ambiental, consiste en el conjunto de medidas que se toman a nivel público y privado para cuidar nuestro hábitat natural, preservándolo del deterioro y la contaminación.

2.1.4. Impacto ambiental.

Por impacto ambiental se entiende el efecto que produce una determinada acción humana sobre el medio ambiente en sus distintos aspectos. El concepto puede entenderse, con poca utilidad, a los efectos de un fenómeno natural.

Las acciones humanas, motivadas por la consecución de diversos fines, provocan efectos colaterales sobre el medio natural o social. Mientras los efectos perseguidos suelen ser positivos, al menos para quienes promueven la actuación, los efectos secundarios pueden ser positivos y, más a menudo, negativos.

2.1.5. Estándar de calidad ambiental (ECA)

Dentro de las definiciones que comúnmente encontramos sobre los estándares de calidad ambiental podemos destacar las siguientes:

- Son las concentraciones o grados de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, en el aire agua o suelo en su condición de cuerpo receptor, que no representan riesgo significativo para la salud de las personas ni del ambiente.
- Concentraciones máximas permisibles en el cuerpo receptor afectado por la descarga de residuos o desechos, fijados específicamente para cada sustancia o variable ambiental.

Normas, directrices, prácticas, procesos e instrumentos establecidos por la autoridad competente con el propósito de promover políticas de prevención, reciclaje, reutilización y control de contaminación en la industria, destinados a proteger la salud humana y la calidad del ambiente, incluyendo los límites máximos permisibles y otras normas técnicas a juicio de la autoridad ambiental competente.

2.1.6. Límites máximos permisibles (LMP)

El Límite Máximo Permissible - LMP, es la medida de la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su determinación corresponde al Ministerio del Ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Los criterios para la determinación de la supervisión y sanción serán establecidos por dicho Ministerio.

En Yanaorcco hay evidencia de sulfuros primarios como pirita y componentes de ganga (cuarzo y carbonatos) pero en bajas proporciones, los límites máximo permisibles son controlables

2.1.7. Profundización del estudio de los medios.

El mismo tendrá el objetivo de determinar cuáles fueron los elementos modificados y quienes lo alteran. Se sugiere un estudio detallado en las fases de gabinete, expediciones y levantamientos. En éste son sugeridas las siguientes indicaciones entre otras posibles de acuerdo al pasivo:

- Geomorfología: Observación de la geo-forma desde una vista superior y frontal, grado de inclinación de las pendientes, altimetría, formas de las laderas, erosión y predominio de la vegetación.
- Geología: Tipo de formación, litología, estratigrafía, buzamiento, forma de yacencia, contexto estructural, paragénesis, zonamiento, alteraciones y planteamiento de un posible modelo geológico.
- Hidrografía: Observaciones de existencia de redes hidrográficas superficiales y subterráneas, manifestaciones cársticas, transmisión de los acuíferos (ésta se comprobará a través de calicatas realizadas).
- Suelos: Tipos de suelos, avance de la erosión.
- Flora y fauna: Tipo de vegetación, discordancia, alineamientos y deforestación.
- Clima: Eventos ocurridos, precipitaciones, temperaturas promedios durante el año, humedad, influencia de anticiclones, lluvias convectivas.

Conocido el elemento o los elementos modificados se analizará la interacción entre el elemento alterador y los elementos modificados jugando un rol fundamental el conocimiento de los antecedentes ocurridos.

2.1.8 Monitoreo sostenido.

Estos establecen controles (cualitativos-cuantitativos) periódicos en dependencia de la incidencia de los elementos tóxicos alteradores con la dinámica de los procesos de contaminación. Adjunto deberán tomarse fotografías de los procesos para el análisis y la demostración de la veracidad investigativa. Durante el desarrollo de esta fase se deben utilizar instrumentales o dispositivos que le permitan establecer mediciones cuantificables o comparaciones cualitativas.

En algunos lugares por la magnitud de los pasivos y el poco acceso a colocar instrumentales, se realizará con métodos que permitirán tener una apreciación bastante cercana. El resultado del monitoreo le permitirá conocer el grado de

contaminación de la zonas afectadas de acuerdo al indicador ambiental ya establecido anteriormente.

2.1.9. Establecimiento de escalas para evaluar

El establecimiento de una escala estará en dependencia de los resultados obtenidos con relación a la manifestación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo ambiental. Se mantendrá el concepto internacional que él (Peligro X Vulnerabilidad) = Riesgo ambiental.

Debe estar muy bien compatibilizado el monitoreo con el grado de peligro, la intensidad y su influencia en la magnitud de los impactos. Acorde a lo mencionado conjugará los procesos destructivos progresivos ya experimentados en otros eventos con las áreas vulnerables y los factores de riesgo.

2.1.10. Manifestación de los minerales orogénicos

Las manifestaciones de este tipo de mineral corresponden a depósitos tipo orogénicos (Groves et al, 1998), sistemas hidrotermales que presentan un fluido regional inherente a un tectonismo a lo largo de márgenes convergentes, que a diferencia de otros sistemas vetiformes de oro como epitermales de baja sulfuración que no existen en los orógenos y son de sistemas extensivos locales, asociados con aguas magmáticas y meteóricas.

Estas estructuras en la zona de estudio se manifiestan mediante un sistema de vetas del tipo “echelon”, caracterizadas por estilos de mineralización de bajo tonelaje de corta longitud y relacionadas con amplias áreas de fracturamiento con oro y sulfuros asociados a redes de lentes de cuarzo (Alldrick, 1996).

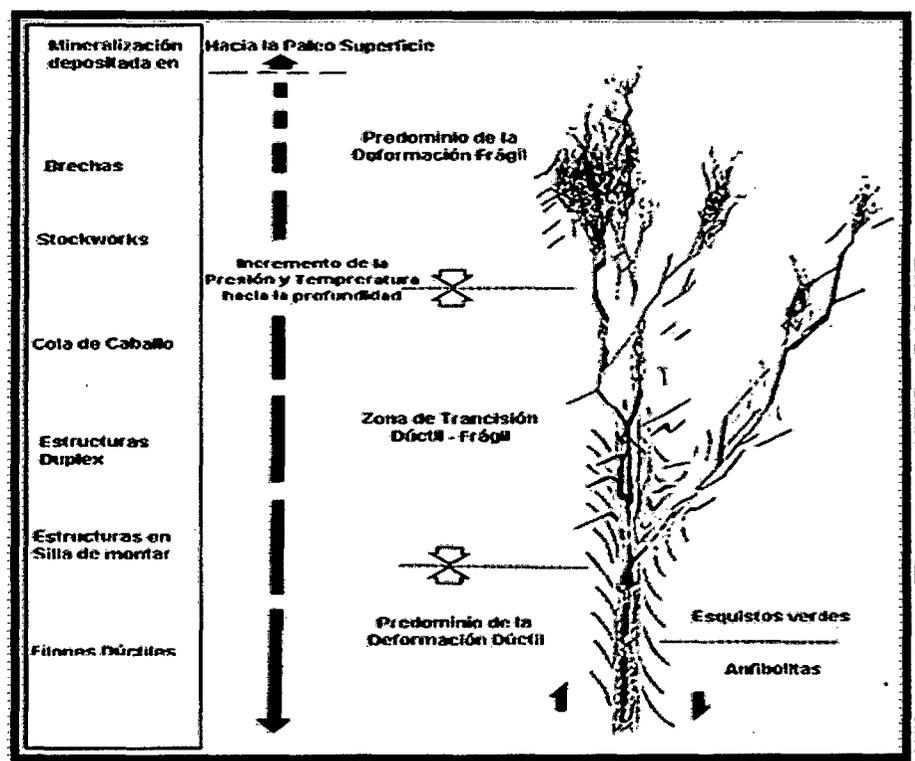
Este tipo de depósitos se forman aprovechando zonas de fractura como respuesta a la colisión de terrenos. Otros contribuyentes como fallas que actúan como conductores del fluido acuoso rico en CO₂ (5-30% mol (CO₂), baja salinidad (<3wt% NaCl), con regular a alto contenido de Au, Ag, As, (+Sb, Te, W, Mo) y bajo en metales como Cu, Pb, Zn.

Las ocurrencias minerales son filones en rocas competentes y lentes en litologías menos competentes.

Se ha comprobado una asociación directa entre la mineralización y fallas inversas de alto ángulo. Las fracturas son el medio de transporte de las soluciones mineralizadas y en ellas se dan las condiciones fisicoquímicas para la precipitación del oro.

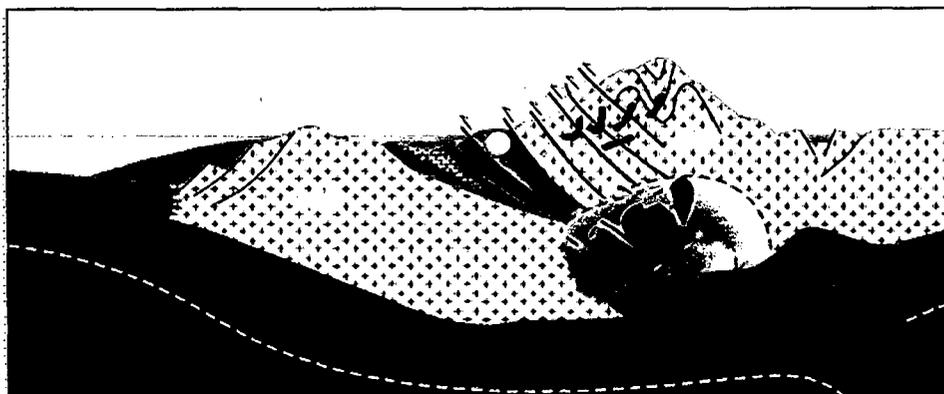
De esta manera aparece un modelo estructural dominante, teniendo las vetas un desarrollo sintectónico en compresión horizontal o régimen transpresivo (Sibson et al, 1988).

Si tales fluidos con sulfuros migran a través de fracturas, cuando éstas se ponen en zonas de fallas mayores son capaces de transportar oro lixiviado, que es depositado en fallas secundarias a niveles corticales del orógeno levantado.



Esquema 2.1. Modelo generalizado de los estilos estructurales de precipitación de metales en depósitos vetiformes de oro. (Goldfarb et al, 2001)

Si las temperaturas exceden los 700°C en las áreas fluidas los líquidos y fundidos migrarán simultáneamente (Goldfarb et al, 2001)



Esquema 2.2. Esquema general del evento de colisión de terrenos, la desarticulación de una zona de subducción y la creación del sistema de fallas profundas que alcanzan a provocar la fusión parcial en la base del arco, el ascenso de volátiles y la precipitación de metales en depósitos vetiformes de oro modificado (Canet, 2005).

El origen de los fluidos mineralizantes es polémico. Algunas de las teorías involucran modelos magmáticos, metamórficos y estructural (Goldfarb *et al*, 2001, Esquema 2.1.), aunque todos poseen debilidades en lo referente a las cantidades de oro que concentran y la eficiencia en los procesos requeridos para su deposición (Rocks y Groves, 1988). Han sido sugeridas fuentes magmáticas, metamórficas y mantélicas dentro de un ambiente de engrosamiento tectónico de la corteza en respuesta a la colisión del terreno (Esquema 2.2.), desvolatilización metamórfica o fusión parcial de la corteza más baja o del bloque subducido (Alldrick, 1996).

2.2. MARCO REFERENCIAL

2.2.1. GEOMORFOLOGÍA

El ámbito topográfico del área, se caracteriza por presentar una variada configuración; desde pampas, laderas leves y pronunciadas, elevaciones de cerros, quebradas accidentadas.

2.2.2. GEOLOGÍA REGIONAL

2.2.2.1. ESTRATIGRAFIA

El contexto geológico regional y local es como sigue:

(Siluro – Devoniano) (Grupo Cabanillas (SDcb)

Esta unidad litoestratigráfica tiene un grosor de 1,150 metros distribuido en cuatro sectores:

| Espesor (m) | Descripción |
|-------------|---|
| 400 m | Lutitas grises con capas delgadas de areniscas cuarcíticas gris oliva con numerosos braquiópodos en capas de areniscas, Tropidolephus sp , Conularia sp . Localidad típica representativa al Grupo Cabanillas |
| 200 m. | Lutitas negras con menor cantidad de areniscas laminadas, concreciones de calizas ferruginosas con Canularia sp . |
| 150 m. | Lutitas gris olivo oscuras, limosas y menor cantidad de areniscas cuarcíticas encubiertas en planos de estratificación con Taonurus sp |
| 400 m. | Cuarцитas argiláceas, verdosas de grano fino a medio con numerosas Australospirifer sp . en las capas inferiores |

La colección de fósiles indica una edad Devoniana inferior para la mayor parte del Grupo.

Los afloramientos principales del Grupo Cabanillas indiviso, se encuentran en los cuadrángulos de Puno, Acora e Have, encontrándose la secuencia expuesta se puede ver en LLacarimpa donde las lutitas grises oscuras con manchas de oxidación ferruginosa se encuentran cubiertas en discordancia por areniscas cuarcíticas del Cretáceo.

En el Cerro Yanaorcco se ha diagnosticado Eodevonaria cf. Katzeri, Conularia quyichua, Australocoelia sp. metacryphalus sp. Laubacheir (1978) informa de la presencia de Harringtonia acutiplicata y Armosina Fuertensis del Siluriano Superior en la parte inferior de la secuencia entre Cabanillas y Taya – Taya. (Plano Geológico Regional)

Cretáceo inferior (Neocomiano- Albiano) (Formación Arenisca Angostura

(ki-an)

Esta unidad constituida por areniscas cuarzosas de grano grueso, marrón-rojizo con estratificación cruzada subrayase a rocas paleozoicas (Siluro – Devonianas).

Hay numerosos afloramientos de la arenisca Angostura que yacen en discordancia sobre el Grupo Cabanillas en el valle del mismo Cabanillas y donde la Formación llega tener entre 45 a 100 m. de grosor (Newell 1949). Las areniscas son cuarzosas

de grano medio ligeramente ferruginosas de color ocre a marrón rojizo generalmente bien cementadas siendo localmente sacaroideas.

En la Hacienda Taya –Taya las capas basales de la arenisca Angostura están pobremente sorteadas engrosando hacia arriba a conglomerados con clastos angulares, tabulares y formas discoidales del Grupo Cabanillas hasta de 10 cm. En una matriz areniscosa- limolítica de color marrón – rojizo.

No hay una fauna reportada pero basados en su correlación se le asigna una edad probable del Neocomiano a Albiano para esta formación y estratigráficamente infrayace a las calizas Ayabacas.

Cretáceo Inferior – Superior (Cenomaniano) (formación Calizas Ayabacas (Kis-ay)

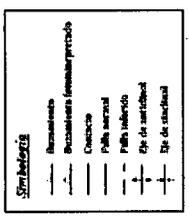
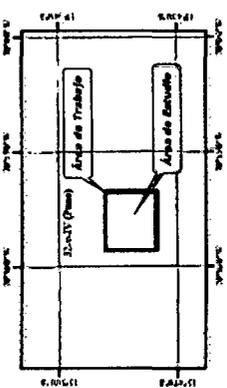
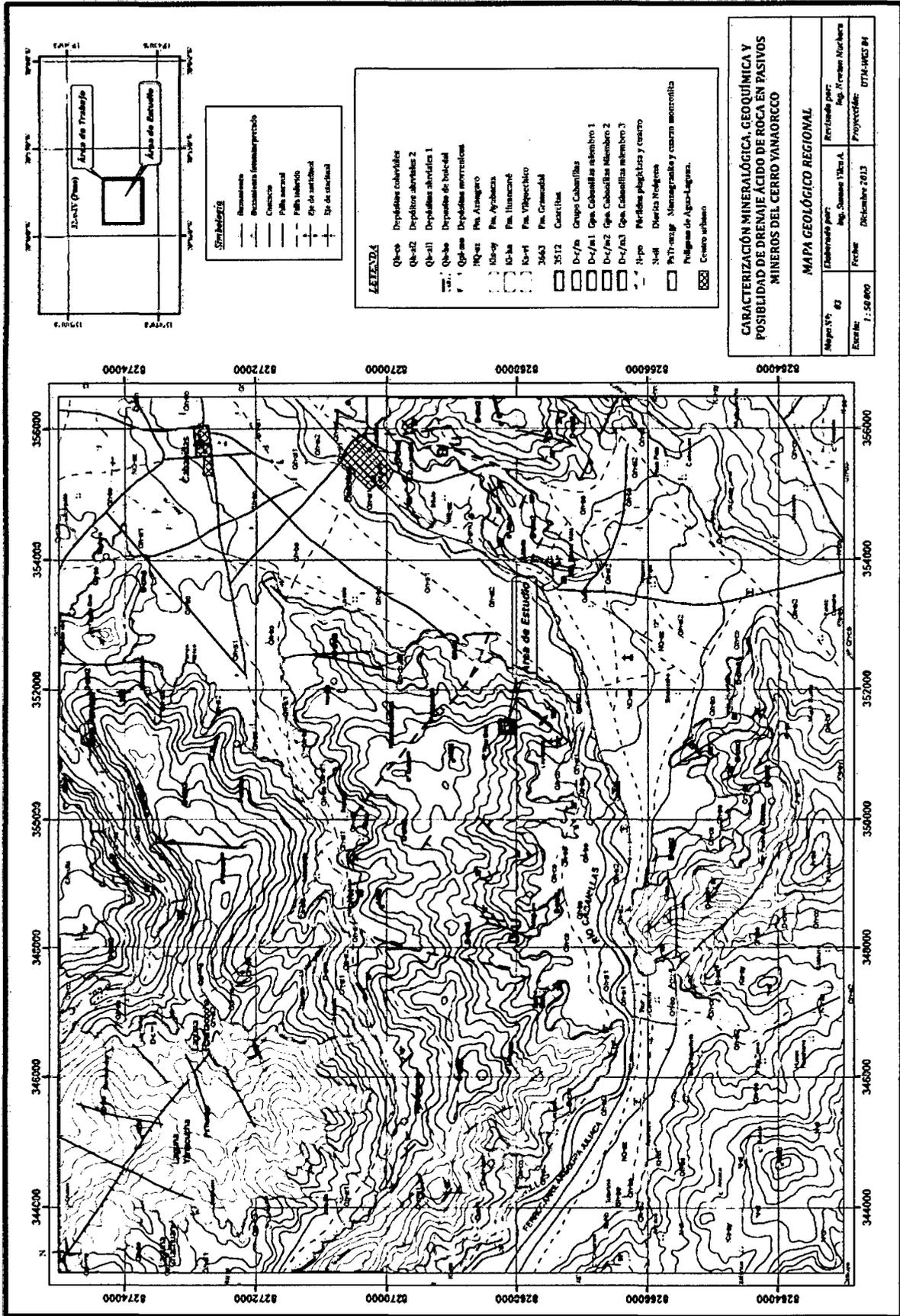
En el cuadrángulo de Puno al suroeste de Cabanillas y en la Hacienda Taya – Taya la formación parece descansar concordantemente sobre la Formación Angostura, esta formación está constituida por una matriz fangolítica roja alrededor de bloques y escamas de caliza fallada y plegada completamente. Su potencia en los cuadrángulos de Juliaca y Puno es estimada entre 200 a 300 metros, de igual manera en Puno la caliza se presenta localmente oolítica como en forma de venas delgadas anostomasadas de dolomita color marrón-naranja paralelas a la estratificación.

Se acepta una edad Cenomaniana para las calizas Ayabacas (Newell, 1949)

Intrusiones Permo – Triásicas (Intrusivo San Judas Tadeo (PsTr – msgr)

Inrusivo ubicado al NO del poblado de Cabanillas aflora sobre un área de aproximadamente de 40 km² en el cuadrángulo de Puno. Intruye a las cuarcitas y lutitas del Grupo Cabanillas en la cual se desarrolla una zona de contacto de cornuvianita metamórfica, estando superpuesto por los volcánicos del Grupo Palca.

El intrusivo consiste de un monzogranito de grano medio gris pálido a rosado pálido ubicado en el cerro Camallata.



LEYENDA

- Qe-cs Depósitos coluviales
- Qe-a2 Depósitos aluviales 2
- Qe-a1 Depósitos aluviales 1
- Qe-ba Depósito de bancal
- Qe-aa Depósitos arenosos
- HQ-a2 Fm. Aranzaga
- HQ-a1 Fm. Aguilares
- IC-ka Fm. Ilincacané
- IC-va Fm. Vilquechico
- 3663 Fm. Cruzmaldá
- 3512 Cuartitas
- D-7/a Grupo Caballitas
- D-7/a1 Gps. Caballitas miembro 1
- D-7/a2 Gps. Caballitas miembro 2
- D-7/a3 Gps. Caballitas miembro 3
- N-po Morfología plegada y resaca
- N-ll Divergia Redonda
- P-17-100g Manto gravas y cuarcas arenolíticas
- Peligros de Agua-Lagunas.
- Centro urbano

**CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA, GEOQUÍMICA Y
POSIBILIDAD DE DRENAJE ÁCIDO DE ROCA EN PASIVOS
MINEROS DEL CERRO YANAROCO**

MAPA GEOLÓGICO REGIONAL

| | | |
|------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| Mapa N.º: 02 | Elaborado por: Ing. Juanes Viteri A. | Revisado por: Ing. Cristian Nuñez |
| Escala: 1:50 000 | Fecha: Diciembre 2013 | Proyector: UTM-10K 84 |

Los máficos son biotita parcialmente alterada a clorita y epidota en un 15%, con escasa plagioclasa euhedral a subhedral, apatita y algunos cuarzos y opacos.

Una datación por K/Ar de biotita (Kontak et al., 1985) proveniente de una fase granodiorítica de intrusión, da una edad de 270 m.a. Pérmico medio y una muscovita hidrotermal proveniente de vetas de minerales asociados a Mo-W-Fe, dentro de una aureola metamórfica dio una edad similar.

Intrusiones cenozoicas (Diorita - neógeno)

Se evidencian a la vez intrusiones más jóvenes pertenecientes al Cenozoico como es el caso de dioritas la cual se clasifica como dioritas, cuarzodioritas y cuarzomonzoníticas de acuerdo al esquema de clasificación de STRECKEINSEN (1976).

Las dioritas son generalmente son de color gris pálido, de grano fino, comúnmente de textura porfirítica con fenocristales de plagioclasa y máficos situados en una matriz de grano muy fino, siendo más correctamente descritas como microdioritas porfíricas, estos intrusivos jóvenes se exponen al lado sur del río Cabanillas como del Cerro Yanaorcco. (Mapa N° 03)

2.2.3. GEOLOGIA LOCAL

(Siluro – Devoniano) (Grupo Cabanillas (SDcb)

Así como se presentan lutitas también hay un predominio importante de rocas metamórficas como pizarras de color gris oscuras con manchas blancas por presencia de carbonatos, presenta textura foliada de esquistosidad baja. Se presenta silicificada y fracturadas rellenas por carbonatos cuarzo y pirita (Estudio petrográfico MP-01, Daniel Plasencia D., Enero, 2013).

Gran parte del Cerro Yanaorcco se hospeda en rocas paleozoicas del Grupo Cabanillas e infrayace a rocas Cretácicas como Areniscas Angostura y calizas Ayabacas.

Se evidencia además rocas intrusivas al lado noroeste del Cerro Yanaorcco

constituidos por monzogranitos de grano medio gris pálidos de edad Permo – Triásica (intrusivo San Judas Tadeo).

Las rocas encajonantes corresponden a lutitas pizarrosas del Grupo Cabanillas y los rellenos de las estructuras lo constituyen venillas con carbonato, microgranoblastos de cuarzo y algunos feldespatos milimétricos (D. Plasencia, Ene, 2013); asimismo se puede apreciar la presencia de minerales primarios como piritita, arsenopiritita dentro de las tres vetas definidas cuyas potencias promedio van entre 20 y 40 cm.

El ancho promedio de la estructura principal es de 5 metros de orientación N50E y buzamiento promedio de 55° al NW, estructura con ramificaciones internas en delgadas vetillas las mismas que tienen contenido metálico importante en Oro, plata y otros minerales accesorios.

Con respecto a elementos de alteración suele presentarse silicificación, sericitita, carbonatación en condición débil a moderada y oxidación incipiente. (Mapa N° 04).

2.2.4. Contexto estructural

El comportamiento estructural en el área de estudio se definen en:

- 1. Control estructural de tendencia NW –SE.-** De orientación andina expuesta al nor noreste del Cerro Yanaorcco, es una falla de carácter regional que invade gran parte de terrenos paleozoicos y a la vez controla a algunas estructuras vetiformes polimetálicas. (Foto N° 2).
- 2. Sistema NE – SW.-** Este tipo de Fallamiento es local y está relacionado en especial a las estructuras que existen en el cerro Yanaorcco, cuya tendencia principal de las 3 estructuras es de N 40° a 60°E con inclinaciones 50 a 60 NW. Hay que recalcar que el tipo de estructuras que ocurren en el lugar son del tipo echelón o cola de caballo cuyas orientaciones tienden a ser variantes pero en entornos locales, de igual forma hay que indicar que estas estructuras son de corto alcance, en algunos casos de formas lenticulares e irregulares y de poca profundidad

En las partes inferiores del Cerro Yanaorco también ocurren otras estructuras como sistema de pliegues (anticlinales / sinclinales) cuyo eje principal tiene

una tendencia NE – SW, similar orientación con las estructuras mineralizadas principales del sector.



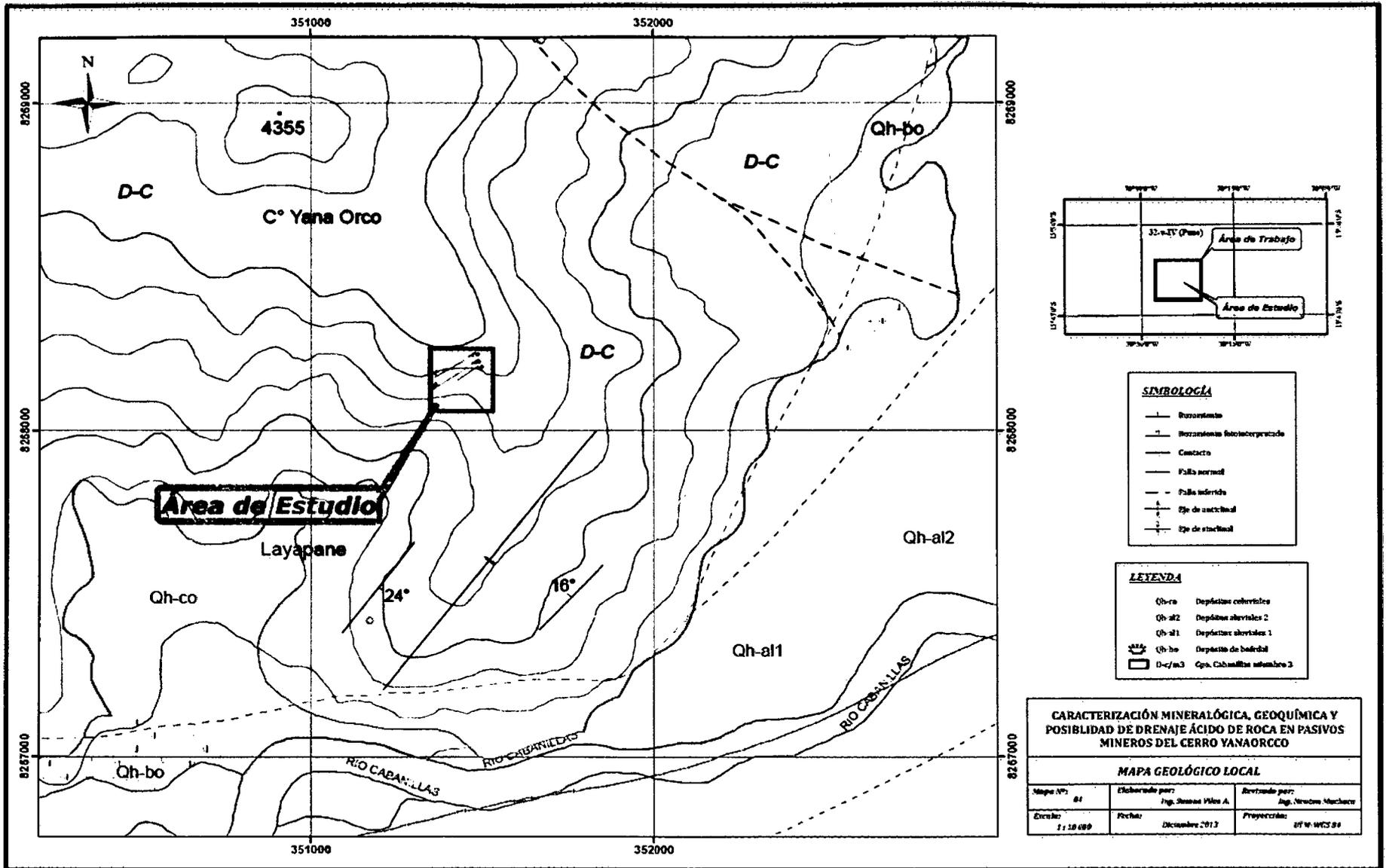
Foto N° 2. Falla control que tiene relación con las vetas de C° Yanaorcco

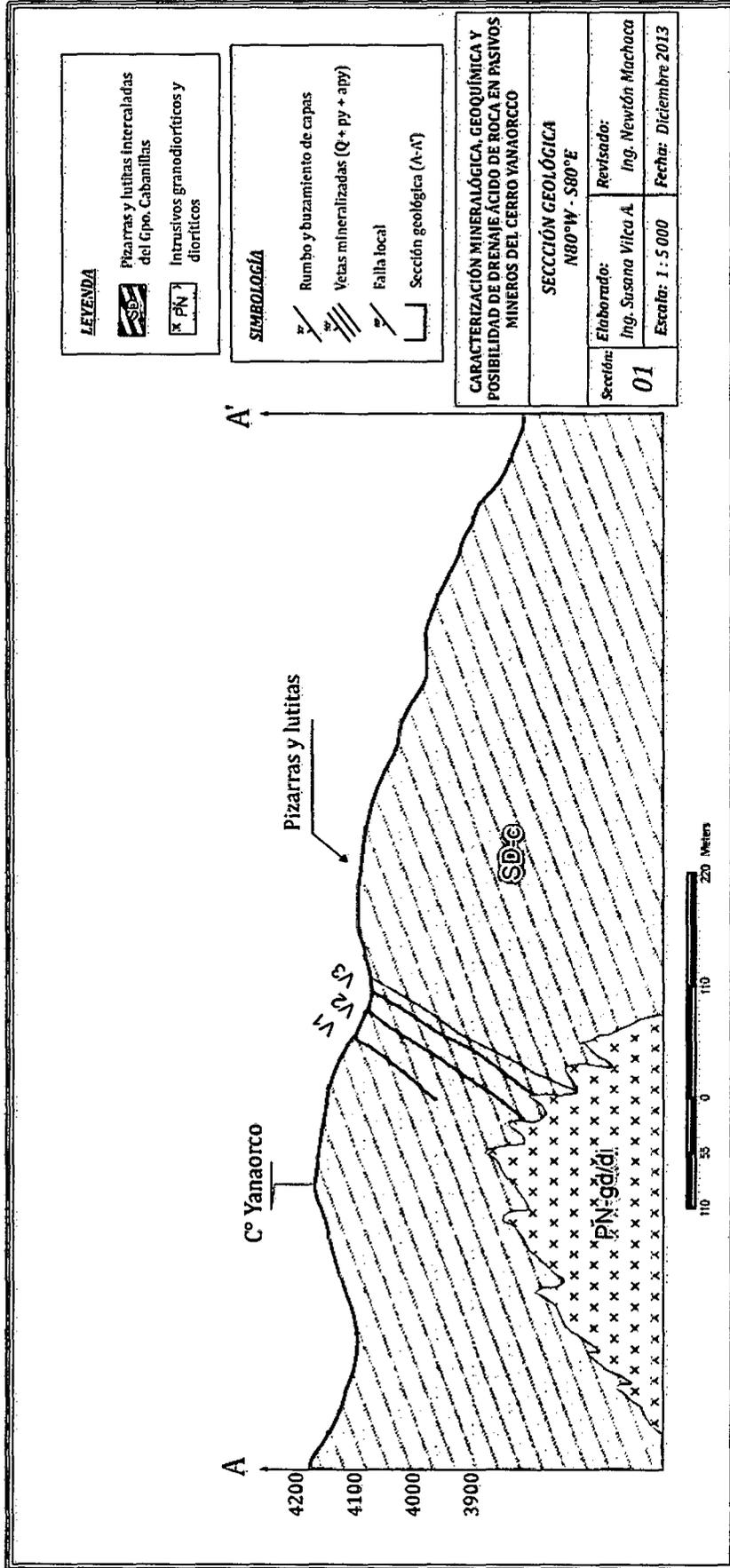
Las estructuras y terrenos plegados que ocurren en el cerro Yanaorcco es producto de la intrusión aledaña del lado noroeste donde ocurren intrusivos monzograníticos del Permo-triásico y otros más jóvenes del lado sur de composición diorítica de edad Paleógeno – Neógeno.

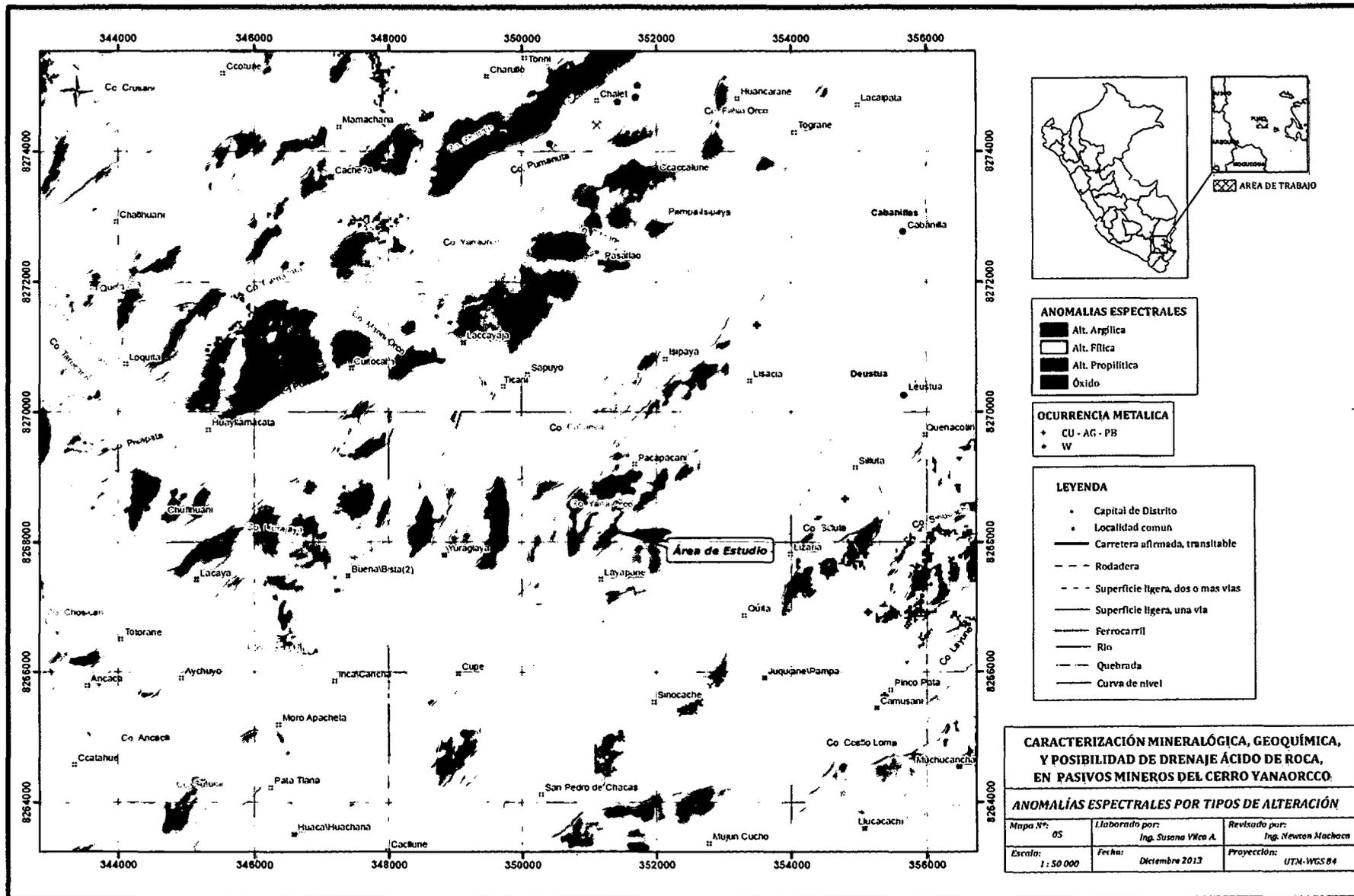
La tectónica en el sector ha sido moderada con la evidencia de escasas fallas regionales en terrenos de topografía suave y de alguna forma asociadas a eventos mineralizantes (mineralización orogénica) de edad Paleozoica hasta edades recientes.

2.2.5. Estructuras vetiformes de Cuarzo – Oro

El oro se halla libre raras veces en el cuarzo, es común encontrarlo como aleación natural con la plata formando electrum 76,64 gr/Au – 23,28 gr/Ag y/o como Teluros (calaverita con Au y Ag), también como granos finos incluidos a menudo y aislados en la pirita, muy escasamente en la arsenopirita en menor proporción en la calcopirita y pirrotita. Podemos referir que los elementos de oro y plata se depositaron a partir de una solución casi inmediatamente después del fracturamiento que afecto al cuarzo, a la pirita y arsenopirita de primera generación.







Estructuras que tienen la asociación mineralógica de cuarzo, Oro, plata y electrum perteneciente a depósitos epi - mesotermiales alojadas en ambientes desde precámbricos, Jurásicos, volcánicos recientes hasta el Plioceno. (Foto N° 3).



Foto N° 3 Vetas y Estructura mineralizada expuestas a superficie.

En el Cerro Yanaorcco se han podido ubicar 3 estructuras vetiformes, formando en conjunto una estructura mineralizada potente, con los siguientes datos:

| Estruct | Rumbo | Buzamie | Potencia (m) | Características |
|----------------|--------------|----------------|-------------------------|---|
| Veta 1 | N50E | 55°NW | 0,40 m. | Lutita pizarrosa con horizontes carbonosos y niveles lutáceos |
| Veta 2 | N55E | 50°NW | 0,20 m. | Lutitas grises con delgadas capas de arenisca cuarzosa con cajas de pizarra con presencia de carbonatos |
| Veta 3 | N60E | 60°NW | 0,30 m. | Lutitas gris olivo oscuras, con diseminaciones de pirita, arsenopirita |

Las manifestaciones de este tipo de mineral corresponden a depósitos tipo orogénicos (Groves et al, 1998), sistemas hidrotermales que presentan un fluido regional inherente a un tectonismo a lo largo de márgenes convergentes, que a diferencia de otros sistemas vetiformes de oro como epitermales de baja sulfuración que no existen en los orógenos y son de sistemas extensivos locales, asociados con aguas magmáticas y meteóricas.

2.3. MARCO CONCEPTUAL

2.3.1. DRENAJE ÁCIDO DE ROCA (DAR).

Está referido también al drenaje ácido de mina (DAM), este drenaje es causado por minería superficial y excavación de minas profundas o residuos de pilas de carbón con contenido de sulfuros, el resultado del drenaje puede ser altamente ácido con elevado número de metales pesados, el drenaje ácido puede migrar en el sistema de flujo de aguas subterráneas y finalmente en cuerpos de aguas superficiales causando ancha y frecuente polución.

El DAR es un serio problema ambiental mostrándose en sitios de minas inactivas y activas alrededor del mundo. Restos de roca conteniendo sulfuros minerales como el sulfuro de hierro FeS_2 (Pirita y Marcasita) y Pirrotita (FeS) generan drenaje ácido de roca en presencia de oxígeno, agua y microorganismos (Murray M., 2006).

El DAR También es como un fenómeno de ocurrencia natural. La oxidación de la pirita es la mayor fuente de acidificación en roca en la minería abierta o de excavación profunda.

En resumen el DAR es el resultado de la oxidación de sulfuros en presencia de agua y oxígeno catalizado por bacterias, produciendo ácido acompañado de metales y sulfatos. (Esquema 2.3.)

2.3.1.1. Fuentes de Generación de DAR

La generación de DAR puede producirse en los siguientes sitios:

1. Mina Subterránea.

2. Dique de Colas.
3. Zonas de derrame.
4. Zonas de escorrentía.
5. Depósitos de desmonte o acumulación de estériles.
6. Rellenos sulfurosos.
7. Labores y cateos artesanales

2.3.1.2. Medidas de mitigación

Las medidas de mitigación para la generación de DAR, se considera:

1. **Eliminación de sulfuros;** mediante esta técnica se aísla el material con contenido de sulfuros, con el objetivo de disminuir el volumen de exposición.
2. **Recubrimiento;** el recubrimiento puede efectuarse con tierra o con geosintéticos u otro material con el objetivo de aislar el material del agua y de la difusión de oxígeno.
3. **Inundación;** ésta técnica permite aislar sobre todo la difusión de oxígeno en el material.
4. **Relleno en pasta;** se emplea cemento con la finalidad de encapsular el material y a su vez utilizarlo como relleno especialmente de cámaras.

2.3.1.3. Caracterización de materiales generadores de DAR

En el manejo ambiental de residuos mineros, como en labores abandonadas o minas inactivas, la caracterización de los materiales permite establecer una base para efectuar la predicción del DAR y comprende caracterización física, química, mineralógica y bacteriológica (Sherlock, 1995).

a.) Caracterización física

La caracterización física comprende:

- a. la determinación del tamaño de las partículas, pudiendo efectuarse por:
 - Tamizado en seco o húmedo
 - Por Láser

- Por sedimentometría
- b. Determinación de la superficie específica
 - Deducida a partir de la granulometría
 - Método BET (Brunauer, Emmett y Teller)
- c. La determinación de la densidad
 - Picnómetro de agua
 - Picnómetro de gas
- d. Determinación del contenido de agua.
 - Por secado.

b.) Caracterización Química

La caracterización química permite cuantificar los elementos mayores, menores y trazas.

- Carbono inorgánico.
- Na, Mg, Al, Si, K.
- Ca (Ca procedente del tratamiento y Ca del mineral).
- S total, sulfato, sulfuro, polisulfuro, tiosales
- Ti, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se...
- Mo, Ag, Cd, In, Sn, Sb...
- Ba, W, Au, Hg, Pb, Bi...

Métodos de análisis

- ICP AES (Espectrometría de emisión atómica con Plasma acoplado por Inducción).
- ICP MS (Espectrometría de masas con Plasma acoplado por Inducción).
- Absorción atómica

c.) Caracterización mineralógica

- Observaciones visuales
- Cálculos mineralógicos
- Observación con microscopio óptico
- Difracción de rayos X (DRX)
- Microanálisis: ME (Microscopía electrónica), MEB (Microscopía electrónica de Barrido), SIMS (Espectrometría de masas de iones secundarios)

Los minerales implicados en el DAR o DAM, se clasifican en tres grandes familias:

1. Minerales acidogénicos: Son generadores de acidez, la pirita es el de mayor relevancia desde el punto de vista de abundancia. Se tiene la siguiente lista de sulfuros de metales (Schrenk et al., 1998; Wolkersdorfer 2006; Lottermoser 2010):

a. Minerales del Hierro (Fe):

| | | |
|-----------|---|---------------------------|
| Greigita | : | Fe_3S_4 |
| Marcasita | : | FeS_2 |
| Pirita | : | FeS_2 |
| Pirrotita | : | $\text{Fe}(1-X)\text{S}$ |
| Troilita | : | FeS |
| Bornita | : | Cu_3FeS_4 |

b. Minerales del Cobre (Cu):

| | | |
|--------------|---|---------------------------------------|
| Bornita | : | Cu_3FeS_4 |
| Chalcopyrita | : | CuFeS_2 |
| Chalcocita | : | Cu_2S |
| Covelita | : | CuS |
| Cubanita | : | CuFe_2S_3 |
| Enargita | : | Cu_3AsS_4 |
| Tennantita | : | $\text{Cu}_2\text{As}_2\text{S}_{13}$ |

c. Minerales del Níquel (Ni):

| | | |
|-------------|---|------------------------------|
| Pentlandita | : | $(\text{Fe,Ni})_9\text{S}_8$ |
| Millerita | : | NiS |
| Violarita | : | FeNi_2S_4 |

d. Minerales del Zinc:

| | | |
|------------|---|--------------|
| Esfalerita | : | ZnS |
| Wurtzita | : | ZnS |

e. Minerales del Plomo, Molibdeno, Antimonio:

| | | |
|--------|---|--------------|
| Galena | : | PbS |
|--------|---|--------------|

| | | |
|-------------|---|-------------------------|
| Molibdenita | : | MoS_2 |
| Estibnita | : | Sb_2S_3 |

f. Minerales del Cobalto, Cadmio y Mercurio:

| | | |
|-------------|---|-------------------------|
| Cobalita | : | CoAsS |
| Linaeita | : | Co_3S_4 |
| Greenockita | : | CdS |
| Cinabrio | : | HgS |

g. Minerales del Manganeso:

| | | |
|------------|---|----------------|
| Alabandita | : | MnS |
| Hauerita | : | MnS_2 |

2. Minerales acidívoros: Son neutralizantes.

a. Carbonatos (Jambor and Blowes, 1994):

| | | |
|-------------|---|---|
| Aragonita | : | CaCO_3 |
| Calcita | : | CaCO_3 |
| Dolomita | : | $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ |
| Magnesita | : | MgCO_3 |
| Ankerita | : | $\text{Ca}(\text{Fe},\text{Mg})(\text{CO}_3)_2$ |
| Kutnohorita | : | $\text{CaMn}(\text{CO}_3)_2$ |
| Siderita | : | FeCO_3 |
| Smithsonita | : | ZnCO_3 |
| Cerrusite | : | PbCO_3 |

b. Hidróxidos (Blowes et al, 2003; Blowes and Placek, 1994;

Bologo et el, 2012):

| | | |
|-----------|---|--------------------------|
| Gibsita | : | $\text{Al}(\text{OH})_3$ |
| Manganita | : | MnOOH |
| Goethita | : | FeOOH |
| Brucita | : | $\text{Mg}(\text{OH})_2$ |

c. Silicatos (Ritchie, 1994):

| | | |
|---------|---|--|
| Clorita | : | $(\text{Mg},\text{Fe})_5\text{Al}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ |
| Ortosa | : | KAlSi_3O_8 |
| Albita | : | $\text{NaAlSi}_3\text{O}_9$ |

| | | |
|-----------|---|--|
| Anortita | : | $\text{CaNaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ |
| Muscovita | : | $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ |
| Biotita | : | $\text{K}(\text{Fe},\text{Mg})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ |

3. Minerales secundarios: Es el producto de los acidogénicos y acidívoros (Hammarstrom, 2005):

| | | |
|----------------|---|---|
| Gypse | : | $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ |
| Basanita | : | $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ |
| Anhidrita | : | CaSO_4 |
| Melantenita | : | $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ |
| Hexahidrita | : | $\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ |
| Epsomita | : | $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ |
| Barita | : | BaSO_4 |
| Alunite | : | $\text{K}_2\text{Al}_6(\text{SO}_4)_4(\text{OH})_{12}$ |
| Jarosita | : | $\text{KFe}_2(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ |
| Rozenita | : | $\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ |
| Chalcantita | : | $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ |
| Alunógena | : | $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ |
| Schwertamanita | : | $\text{Fe}_8\text{O}_8(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$ |
| Gostanita | : | $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ |
| Brocantita | : | $\text{Cu}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4$ |
| Anglesita | : | PbSO_4 |
| Morenosita | : | $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ |
| Siderotil | : | $\text{FeSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ |

Otros minerales secundarios

| | | |
|------------|---|--------------------------|
| Gibsita | : | $\text{Al}(\text{OH})_3$ |
| Manganita | : | MnOOH |
| Goetita | : | FeOOH |
| Brucita | : | $\text{Mg}(\text{OH})_2$ |
| Boemita | : | $\text{AlO}(\text{OH})$ |
| Picroita | : | $\text{Mn}(\text{OH})_2$ |
| Diaspora | : | $\text{AlO}(\text{OH})$ |
| Teofrasite | : | $\text{Ni}(\text{OH})_2$ |
| Hematita | : | Fe_2O_3 |

| | | |
|------------|---|-------------------------|
| Magemita | : | Fe_2O_3 |
| Magnetita | : | Fe_3O_4 |
| Tenorita | : | CuO |
| Zincita | : | ZnO |
| Cuprita | : | Cu_2O |
| Delafosita | : | CuFeO_2 |
| Bunsenita | : | NiO |
| Hausmanita | : | Mn_3O_4 |
| Pirolusita | : | MnO_2 |

d.) Caracterización Bacteriológica

Las bacterias implicadas en la formación de DAM, están relacionados con el PH. (Rehm y Reed 2001), entre ellos:

pH=0-3:

Thiobacillus: ferrooxidans, thiooxidans

Leptospirillum ferrooxidans

pH=3-5 también pH= 0-3:

Sulfolobus Acidocaldarius

Acidianus brierleyi

Acidofille heterotrophs

pH=6-8:

Thiobacillus novellus

Thiobacillus denitrificans

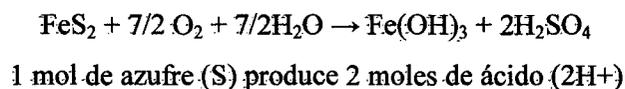
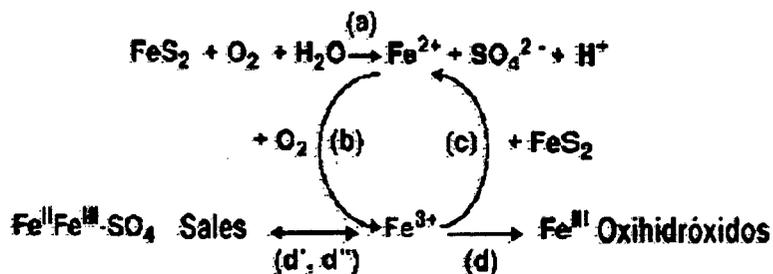
Thiobacillus thioparus

2.3.2. Fenómenos asociados en la generación de DAR

Entre los fenómenos asociados en la generación de DAR están los fenómenos de acidificación y fenómenos de neutralización:

2.3.2.1. Fenómenos de acidificación

El fenómeno de acidificación se manifiesta según Singer y Stumm (1970), bajo las reacciones a, b, c y d como se muestra a continuación:

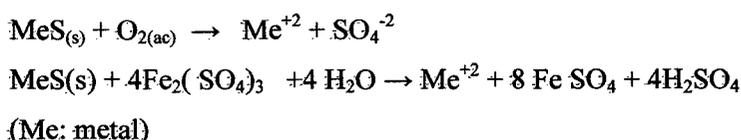


ETAPAS

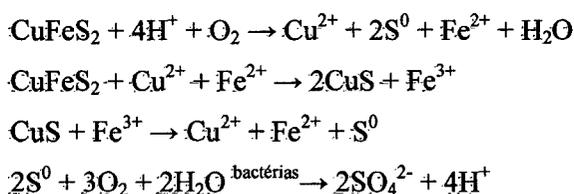
- (a) $\text{FeS}_2 + 3.5\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+$
 (b) $\text{Fe}^{2+} + 0.25\text{O}_2 + \text{H}^+ \rightarrow \text{Fe}^{3+} + 0.5\text{H}_2\text{O}$
 (c) $\text{FeS}_2 + 14\text{Fe}^{3+} + 8\text{H}_2\text{O} \rightarrow 15\text{Fe}^{2+} + 2\text{SO}_4^{2-} + 16\text{H}^+$
 (d) $\text{Fe}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+$
 (d^I) $2\text{Fe}^{3+} + \text{Fe}^{2+} + 4\text{SO}_4^{2-} + 14\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}^{\text{II}}\text{Fe}_2^{\text{III}}(\text{SO}_4)_4 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$
 (d^{II}) $3\text{Fe}^{3+} + \text{K}^+ + 2\text{SO}_4^{2-} + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{KFe}_3^{\text{III}}(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6 + 6\text{H}^+$

Otros sulfuros metálicos (MeS), pueden contribuir a la disolución de iones metálicos (Me: Fe, Zn, Cd, Pb, Cu, Ni, etc.), según las siguientes reacciones (Mejía Restrepo, E 2010) :

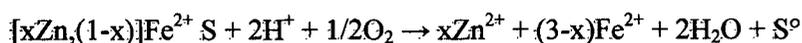
Ecuación general:



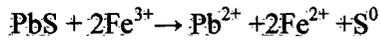
Disolución de la calcopirita en medio ácido



Disolución de la esfalerita en medio ácido



Disolución de galena en presencia de Fe^{3+}

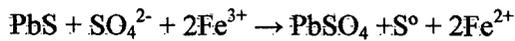
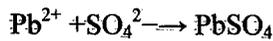


Oxidación del Fe^{2+}



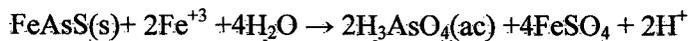
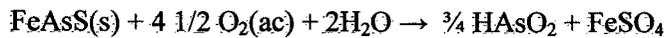
el Pb^{2+} y el SO_4^{2-} en solución reaccionan para formar anglesita. Esta fase formada tiene un producto de solubilidad muy bajo, K_{ps} , es igual $10^{-7.89}$ indicando la baja estabilidad de las anglesitas bajo estas condiciones

Formación de anglesita



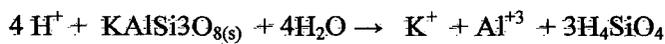
Disolución de la arsenopirita

Si arsenopirita se encuentra presente se oxidará directa o indirectamente:

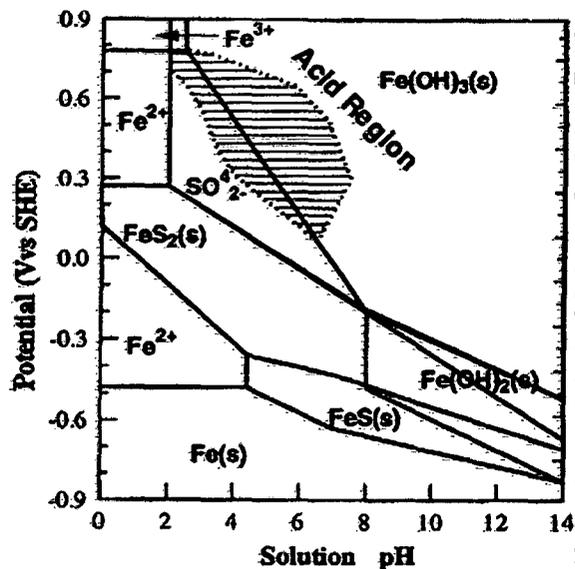
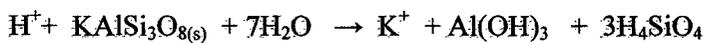


Reacción de aluminosilicatos

A $\text{pH} < 4.5$:



A $\text{pH} > 6$:



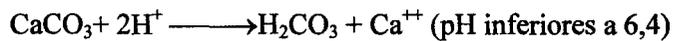
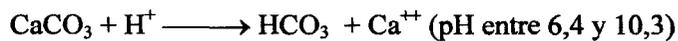
Esquema 2.3. Diagrama Eh-pH sistema pirita- agua -oxígeno (Kleinmann Erickson 1982)

2.3.2.2. Fenómenos de Neutralización

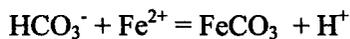
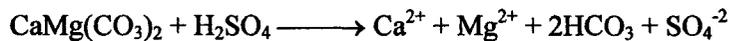
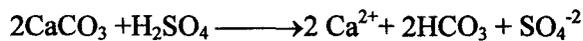
Se tiene un número variado de minerales que pueden ejercer acción neutralizante al fenómeno de generación de drenaje ácido (Sherlock, Lawrence y Poulin, 1995) de los cuales los principales son

- **Carbonatos** (de calcio, de magnesio y de hierro)
- **Óxidos e hidróxidos** (de calcio, de magnesio y de aluminio)
- **Silicatos solubles**
- **Fosfatos** (principalmente apatita)

Reacciones de la calcita:



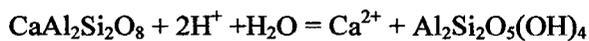
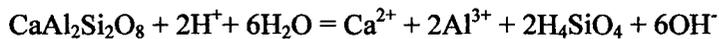
Dilución de la calcita y de la dolomita:



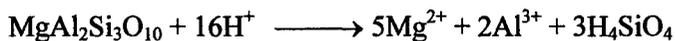
Según la capacidad de neutralización tienen el siguiente orden, empezando con la calcita el que tiene mayor capacidad de neutralización:

Calcita \geq dolomita \geq ankerita Mg \geq ankerita $>$ siderita

Reacciones de los silicatos:



La clorita consume más acidez de acuerdo a la siguiente reacción:



2.3.3. Predicción de DAR

2.3.3.1. Potencial de acidez (PA)

El potencial de acidez (PA), se determina calculando la cantidad teórica de ácido que puede ser producido si todo el azufre contenido en el material es convertido en ácido sulfúrico, asumiendo que todo el azufre ocurre como piritita.

2.3.3.2. Potencial de neutralización (PN) y Potencial de Neutralización Neto (PNN)

El potencial de neutralización (PN), se determina experimentalmente al agregar HCl en exceso a la muestra, esto en comparación a la cantidad necesaria para disolver o consumir todos los minerales consumidores de ácido o neutralizadores. El ácido que permanece después de efectuar la reacción se determina por titulación y la cantidad consumida se calcula por diferencia.

El potencial de neutralización neto (PNN) está dado por:

$$\text{PNN} = \text{PN} - \text{PA}$$

2.3.4. Determinación del Balance entre los constituyentes generadores y consumidores de ácido

Uno de los problemas que representa la minería frente a los cursos de aguas naturales es la posibilidad de formación del denominado drenaje ácido de mina que consiste en la emisión o formación de efluentes de agua de gran acidez, por lo general ricas en sulfatos y con contenidos variables en metales pesados, dicho drenaje se desarrolla a partir de la lixiviación de sulfuros y sulfatos metálicos.

Estudios sobre la generación de drenajes ácidos sugieren que la formación de los mismos dependen directamente de varios factores: de la mineralogía primaria (sulfuros y minerales neutralizadores), presencia de agua (Clima), difusión de oxígeno, tamaño del grano, interacción microbiológica (bacterias), entre otros. Para estudiar estas variables y relacionarlas con las variables geológicas se han

desarrollado ensayos estáticos (test ABA) y dinámicos (celda húmeda), entre otros.

En estos estudios se realizaron ambos en donde las pruebas estáticas determinaron el pH en pasta, cuyo objetivo es determinar la eventual presencia de una acidez acumulada por oxidación o meteorización previa de los sulfuros contenidos en el material y, por otro lado, un balance ácido base (ABA) el cual es un análisis cualitativo e indica sólo la existencia o no de un potencial de generación de ácido. Este último test no entrega información sobre la calidad de las aguas de los drenajes. El ensayo permite definir un balance entre los minerales potencialmente generadores de ácido (minerales sulfurados reactivos) y aquellos que son potencialmente consumidores de ácido.

A diferencia de las pruebas estáticas, las pruebas cinéticas comprenden la ejecución de pruebas repetitivas durante diferentes periodos de tiempo según la mineralogía de la muestra. Esto implica el monitoreo de las aguas de drenaje procedentes de las celdas de laboratorio.

A partir de las pruebas cinéticas se pueden evaluar las velocidades de reacción de los minerales primarios y los controles de la precipitación de los minerales secundarios en la química del lixiviado. Estos resultados pueden ser utilizados para evaluar el desarrollo futuro de la geoquímica de las muestras. Dichas velocidades pueden ser aplicadas para extrapolar las futuras tendencias geoquímicas, incluyendo los tiempos de agotamiento del mineral. En combinación con la información hidrológica e hidrogeológica, permiten predecir las concentraciones de contaminantes que se podrían esperar en las aguas de contacto.

Con respecto a la metodología experimental se sigue la siguiente secuencia: las muestras se homogenizaron y se tomaron diferentes porciones representativas para análisis químico, estudios mineralógicos y para realizar los diferentes test programados, los cuales se enfocan en determinar la concentración y la presencia de diferentes compuestos que generen efluentes. En cuanto a los análisis químicos se realizaron estudios mineralógicos aplicando las técnicas de microscopía óptica, microscopía electrónica de barrido y difracción de Rayos X.

En donde se determinó que existe en una de las muestras mayor cantidad de azufre aportado generalmente por sulfuros metálicos mientras que en otras existe la presencia de carbonatos.

Los resultados obtenidos determinan que el potencial de generación de drenaje ácido está dado por la razón entre las variables de potencial de neutralización y potencial ácido, es decir, NP/PA.

Si esta razón es mayor a tres, se considerará que el material no es potencial generador de drenaje ácido, mientras que si la razón es menor o igual a tres se considerará que el potencial si es generador de drenaje ácido. En los test se determina que uno de los minerales es generador de ácido mientras que el otro no debido principalmente a la existencia de piritita (FeS_2) que es el principal causante de los drenajes ácidos, esto se debe a la oxidación de la piritita ya que tiene una alta capacidad total de producir hidrogeniones (H^+), que son los causantes de la disminución de pH y la posterior liberación de metales contenidos en los sulfuros.

2.3.4.1. Interpretación de pruebas estáticas

Primer criterio

Está basado en la determinación del valor de PNN, y según los resultados se interpreta según:

| Parámetro | Potencial Generador de ácido | Incertidumbre | No generador |
|-------------------------------|------------------------------|-----------------|--------------|
| PNN: <i>Ferguson-Morin</i> | < -20 | -20 < PNN < +20 | > +20 |

Segundo Criterio de Relación (PN/PA)

- Si la relación de PN/PA es mayor que 3, los materiales son considerados no productores de ácido.
- Si la relación de PN/PA esta entre 1 y 3, los materiales son considerados inciertos con respecto a su potencial de generar ácido.
- Si la relación de PN/PA es menor que 1, los materiales son considerados productores de ácido. (Fig, 2.1.)

| Parámetro | Potencial Generador de ácido | Incertidumbre | No generador |
|-----------|------------------------------|---------------|--------------|
| PN/PA: | <1 | 1 < PN/PA < 3 | >3 |

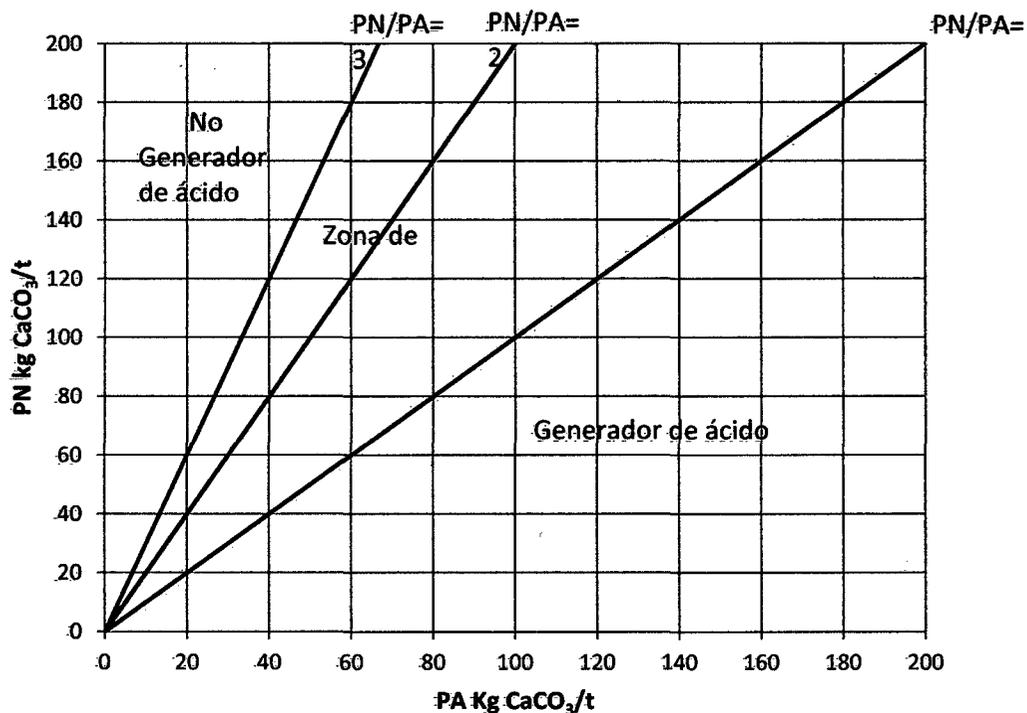


Fig. 2.1. Gráfico de Relación PN/PA para interpretación de pruebas estáticas

2.4. MARCO LEGAL

El marco legal actual para pasivos ambientales mineros, está sujeta a las siguientes normas:

Constitución Política del Perú 1993.

Es la norma principal que rige el sistema legal; la misma que, dentro de su normativa, determina derechos especiales como lo dispuesto en el artículo 2 numeral 20 que consagra el derecho de petición que tienen los administrados para solicitar a una autoridad (en este caso el Ministerio de Energía y Minas) la aprobación de los diferentes Estudios Ambientales; así mismo, se consagra en el numeral 22 que vela por el derecho de vivir en un medio ambiente equilibrado y poder gozar de él. Ello concuerda con los artículos 66 a 68 sobre el ambiente y los recursos naturales.

Ley N° 28611 - Ley General del Ambiente.

Norma marco para la política ambiental.

Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA);

Ley N° 28245, Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental, y su Reglamento, aprobado por Decreto Supremo N° 08-2005-PCM. Estas normas en su conjunto determinan como objetivo el mejorar la calidad de vida de las personas, mediante la protección y conservación del medio ambiente.

Ley N° 28090 - Ley que regula el Cierre de Minas y su Reglamento Decreto Supremo N° 033-2005-EM Reglamento para el Cierre de Minas.

La Ley N° 28271 que regula los pasivos ambientales de la actividad minera, y su Reglamento Decreto Supremo N° 059-2005 Reglamento de Pasivos Ambientales de la Actividad Minera. Decreto Supremo N° 003-2009-EM Modifican Reglamento de Pasivos Ambientales de la Actividad Minera aprobado por D.S. N° 059-2005-EM

Ley N° 28526 Modifica los artículos 5, 6, 7, 8 y la primera disposición complementaria y final de la ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera y le añade una tercera disposición complementaria y final.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

La presente constituye un resultado de la investigación que fue sustentada sobre la base experimental de estudios realizados por la autora y estudios de otros autores (complementarios) que han sido publicados en artículos y eventos en el ámbito nacional e internacional. El objetivo de la misma es mostrar el procedimiento metodológico para el desarrollo de las investigaciones relacionadas a labores abandonadas (pasivos ambientales) dejados por las actividades mineras de prospección y exploración de recursos minerales metálicos del Cerro Yanaorcco.

Etapas de la investigación que originaron la metodología.

- Caracterización mineralógica.
- Caracterización geoquímica.
- Análisis del DAR.

3.1. DETERMINACIÓN DE LA MINERALIZACIÓN DEL ÁREA, PARAGÉNESIS, ZONAMIENTO, ALTERACIONES Y MODELAMIENTO PARA DEPÓSITOS

Se aplicó como referencia el Atlas de Alteración de Ensamblajes, Estilos y Zonamiento en Orogénicos Lode Gold depósitos en una variedad de rocas y Agrupaciones Metamórficas, como se ilustra en el esquema 3.1. Para el modelamiento se toma como una referencia como muestra la Sociedad de Geólogos Economistas como se muestra en el esquema 3.2. el flujo y respuesta para compactación de rocas en una faja pegada y corrida.

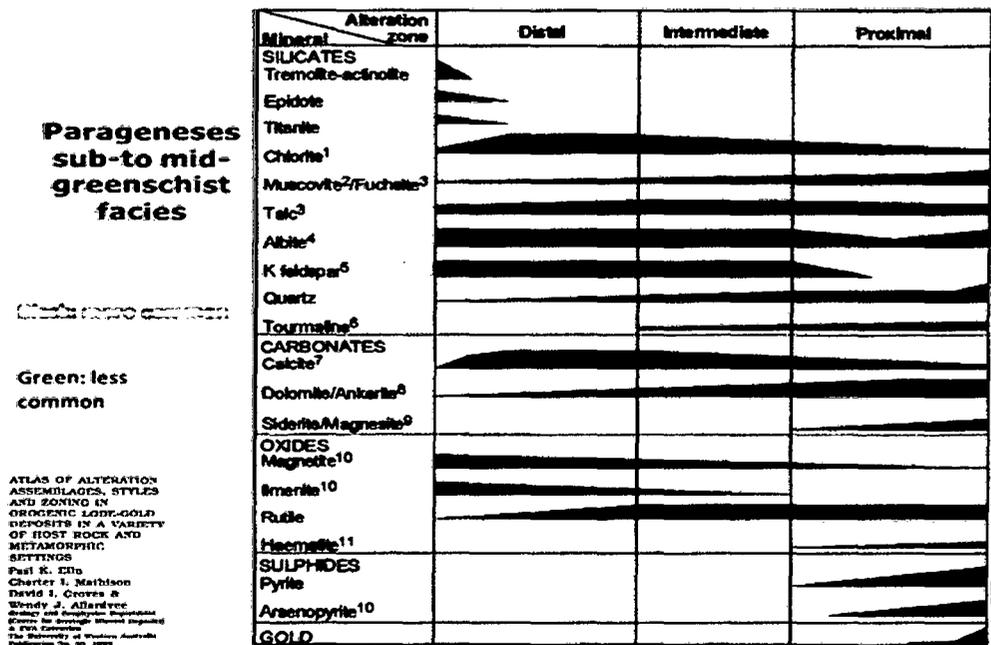
3.1.1. Paragénesis

Una revisión macroscópica de la mineralización permite determinar una composición homogénea. Corresponden a cuarzo lechoso, en partes masivo, en ocasiones fracturado. Posee zonas con oquedades y crecimiento de cristales de cuarzo de diverso tamaño formando enjambres de cristales. En ocasiones la masa de ganga cuarzosa posee fracturamiento y cierto *boudinage* concordante con los planos de buzamiento a manera de una foliación ondulada. (Esquema 3.1.)

Los filones presentan bandas continuas de rupturas por distensión con efectos de cizalla, bandeamiento y arrastre de la roca de caja. Aparecen desbandes tipo cola de caballo y venillas de cuarzo en cintas o bandas de deformación y fracturamiento sigmoidal. Se observan superficies de fricción en el respaldo deleznable de carácter arcilloso que aparece en el contacto entre la estructura vetiforme y la roca caja.

Los minerales metálicos aparecen como parches y láminas alargadas sinuosas, muchas veces con desbandes que se abren y que aparecen como crecimientos de vetillas por las aperturas en el cuarzo foliado. Sin embargo, en algunas zonas la mineralización metálica es casi nula, y en otras aparecen criaderos donde los parches son muy abundantes.

El mineral metálico más abundante es la piritita visto como inclusiones dentro del cuarzo con contactos bien definidos hacia la roca caja. También aparecen galena y esfalerita, las cuales indistintamente pueden estar en mayor o menor cantidad. Pero de manera empírica, aquellas de mayor cantidad de galena se asocian con altos valores de oro libre.



Esquema 3.1. Paragénesis (Pasi, Ellu Charter, Mathison, 1999)

3.1.2. Zonamiento

Los depósitos de oro orogénico presentan una zonación lateral que incluye carbonatos (ankerita, dolomita o calcita), sulfuros del tipo piritita, pirrotita, arsenopiritita. Metasomatismo potásico y albitización y minerales máficos altamente

cloritizados. Los fluidos de mena generalmente son de baja salinidad, con pH cerca de lo neutral y contenidos importantes de $H_2O-CO_2-CH_4$ y elevado contenido de CO_2 .

3.1.3. Alteraciones

En los depósitos de oro orogénico la roca caja se altera a cuarzo, pirita y muscovita con otras variantes menores como sericita y arcillas a manera de patinas y en zonas de fractura dentro de un halo de alteración más amplio de carbonato. (Fotos N°1 y 3).

Las venas de cuarzo con oro y venillas con pocos sulfuros cortan una gran variedad de rocas caja la misma que se encuentra alterada con algunos óxidos. Las estructuras comúnmente expuestas en Cerro Yanaorcco muestran un tránsito desde el ambiente dúctil al ambiente frágil con el tiempo, y son los conductos más importantes para la migración de fluidos.

A nivel de distrito la mineralización se caracteriza por escasa a débil alteración hidrotermal. Los contactos de los cuerpos vetiformes con la roca de caja son precisos y cortantes, en ocasiones se desarrolla una zona de contacto con arcillas grises que poseen mineralización metálica de pirita diseminada. A esta zona se le denomina el *respaldo* de las vetas y son característicos.

Si profundizamos en la presencia de alteración hidrotermal en el entorno de la mineralización filoniana podemos argumentar, que en la mayoría de los casos, donde la mineralización sucede en fisuras rellenas de material hidrotermal y la roca encajante consiste en sedimentitas metamorfizadas se manifiesta alguna alteración al ser observada al microscopio petrográfico.

3.1.4. Modelamiento para este tipo de depósitos

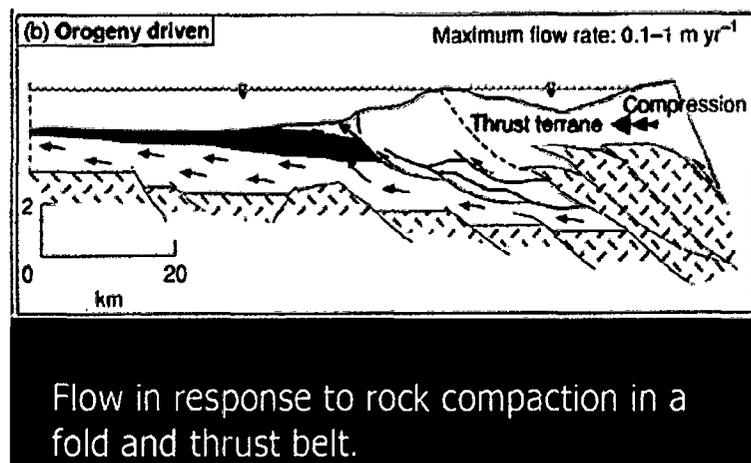
La mayoría de investigadores relaciona la génesis a procesos de desvolatilización cortical; aún, continúa el debate en cuanto a la procedencia y la concentración de los fluidos metalíferos.

Originalmente los modelos se concentraban en el mecanismo de secreción lateral, por el cual fluidos y metales eran derivados principalmente por eventos metamórficos hacia los terrenos que los alojaban, pero no de material subductado.

Los fluidos producidos en los límites de facies metamórficas y liberado durante el incremento de la presión de poros, canalizado dentro de estructuras mayores y levantamiento de la corteza, particularmente durante eventos sísmicos.

La depositación del oro ocurre a niveles corticales menos profundos en rocas en las que es probable la ocurrencia de metamorfismo retrógrado de 10 a 50 millones de años. (Esquema 3.2.)

La aplicación universal de modelos magmáticos para la mayoría de sistemas auríferos en un orógeno en evolución es improbable en base a la asociación espacial y temporal del oro con una variedad de composición del magma, argumentos geocronológicos, elementos traza características geoquímicas y la distribución espacial de mineral y ganga típicamente restringida a márgenes de plutones.



Esquema 3.2. Fuente: Society of Economic Geologist

Según la sección geológica se indica la posición de 3 vetas alojadas en el Cerro Yanaorcco manifestando que corresponde a un depósito del tipo vetiforme (Deposito de oro orogénico), vetas V1, V2 y V3 de corta longitud, muy delgadas (0,20 a 0,40 m) del tipo radial o ramificadas del tipo cola de caballo. Con mineralización económica de Oro y plata (Electrum, Calaverita). (Sección 01)

El generador principal de la mineralización son intrusivos (dioritas Neogenas) y episodios volcánicos recientes los responsables de traer consigo soluciones mineralizantes en contenidos metálicos en oro y plata y trazas de minerales de cobre que se depositaron a partir de una solución casi inmediatamente después del fracturamiento que afectó al cuarzo a la pirita y arsenopirita de primera generación.

La mineralización está asociada a fallas locales de tendencia NE – SO con escaso contenido de óxidos y mineralización primaria como pirita y arsenopirita, relacionada a débiles alteraciones de sericitas.

3.2. MUESTREO EN CAMPO

Por un tema académico y para mejor diferenciación y comparación, se practicó muestreo puntual en exposiciones visibles de concentración de sulfuros en cada una de las veta (vetas V1, V2 y V3); y se hizo también otro muestreo representativo en toda la potencia de la estructura mineralizada. (Foto N° 4)



Foto N° 4. Exposición de Vettillas en cajas pizarrosas alteradas, muestreo puntual (vetas 1, 2, 3) e integral (estructura mineralizada)

3.3. PREPARACIÓN DE MUESTRAS

En laboratorio de petromineralogía se prepararon las muestras, para la obtención de láminas delgadas en caso de muestras de roca, y briquetas en caso de muestras de mineral; para la lectura en microscopio. (Fotos N° 5, 6 y 7)

Para Caracterización mineralógica por Difracción de Rayos X, se prepara la muestra a una granulometría adecuada (malla < 400), pulverizada (debe de estar seca).

3.4. CARACTERIZACIÓN MINERÁLOGICA

La caracterización mineralógica y geoquímica se trabajó con los laboratorios de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), y los Laboratorios del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), con la finalidad de contribuir con este análisis en la protección de la posible generación del Drenaje Acido de Roca-Lixiviación de Metales.

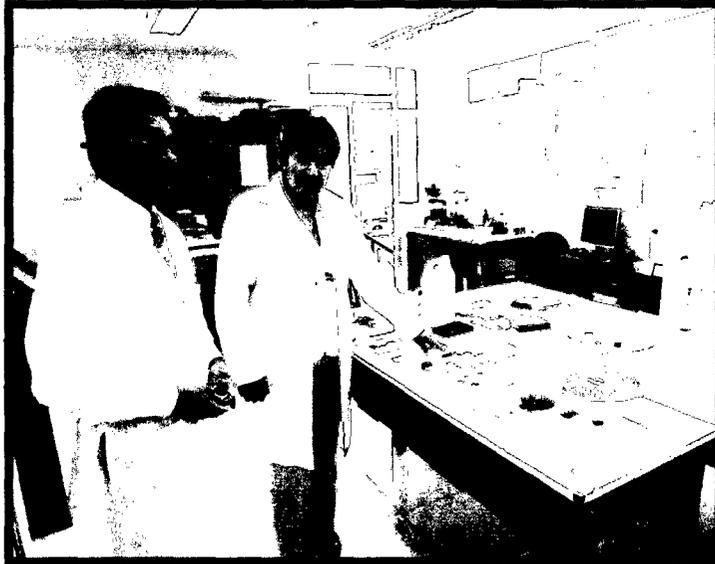


Foto N° 5. Preparación de muestras en sección pulidas (briquetas)

3.4.1. Estudio petrográfico

1. Caracterizar macroscópicamente utilizando el estereomicroscopio, mediante pruebas físicas: color, brillo, hábito, raya con porcelana, medir dureza con lápices de Escala Mohs del 1 al 10, magnetismo con imán, fluorescencia con lámpara ultravioleta, radioactividad con monitor de radiación y/o pruebas químicas: con ácido clorhídrico para carbonatos y agua oxigenada para determinar minerales de manganeso.

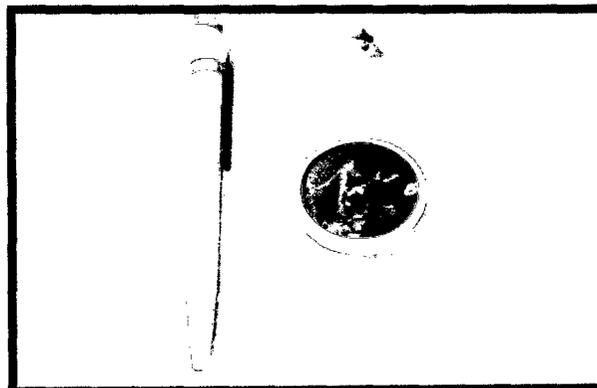


Foto N° 6. Briqueta, muestra mineral en condición pulida.

2. Encender el microscopio de polarización de luz transmitida.
3. Colocar la sección delgada de 0,03 mm, observando los minerales presentes, formas, tamaños.
4. Examinar las posibles asociaciones minerales presentes y registrar las observaciones más importantes, así como sus porcentajes, contando 10 campos de una muestra como máximo de 100 granos.
5. Clasificar el tipo de roca y su textura y registrar.
6. Tomar fotomicrografías, hacer las leyendas y descripción de las mismas.



Foto N° 7. Impregnado de láminas delgadas para estudio petrográfico.

3.4.2. Análisis mineralógico.

1. Encender el microscopio en el sistema de luz reflejada.
2. Colocar la sección pulida, observando los minerales presentes y sus tamaños, registrando los datos.
3. Identificar los minerales libres y minerales asociados.
4. Contar los minerales libres presentes. Para los minerales asociados contar los granos que tienen igual mineralogía, se toma el porcentaje de cada mineral y se va identificando los tipos de asociación presentes de acuerdo a la tabla respectiva.
5. Cuando se han contado aproximadamente 1000 puntos, se procede a hacer los cálculos respectivos:

(Foto N°8)

Caso de minerales libres:

- a) Sumar la cantidad de granos contados por mineral.
- b) Multiplicar dicha suma por el peso específico.



Foto N° 8. Mediante observación en microscopio se realiza la caracterización petrográfica de las muestras de investigación.

Caso de los minerales asociados:

- a) Contar la cantidad de granos observados por cada asociación.
 - b) Sumar las fracciones de cada mineral en cada una de las asociaciones encontradas.
 - c) La suma de las fracciones de cada mineral multiplicar por el peso específico en cada asociación y sumar los productos hallados.
6. Mediante un programa (software) se obtiene el Porcentaje Areal y el Grado de Liberación de los minerales presentes: El porcentaje areal resulta de la multiplicación del "N° de granos X Peso específico" x100 y dividido este resultado entre la suma de "Números de granos x Peso específico" de todos los minerales libres y asociados. El grado de liberación de cada mineral se obtiene multiplicando el porcentaje areal del mineral libre x 100 y dividiendo este resultado entre la suma total de los porcentajes areales que presenta dicho mineral (libre + asociados).

3.4.3. Caracterización mineralógica por Difracción de Rayos X

1. Preparar la muestra con granulometría adecuada (malla < 400).
2. Colocar la muestra pulverizada (debe de estar seca) en el portamuestra sin hacer uso de adherentes, mantenerla a temperatura ambiente. Si la muestra es

hidroscópica, es conveniente sedimentarla y colocar la muestra en una placa de vidrio, el secado del sedimento debe de hacerse a temperatura ambiente.

3. Poner en funcionamiento el estabilizador, el sistema de refrigeración, encender el difractómetro, teniendo en cuenta el precalentamiento establecido.
4. Encender la PC.
5. Fijar los parámetros establecidos del Difractómetro de Rayos X.
6. Colocar el portamuestra en el Goniómetro para ser irradiada durante el tiempo necesario.

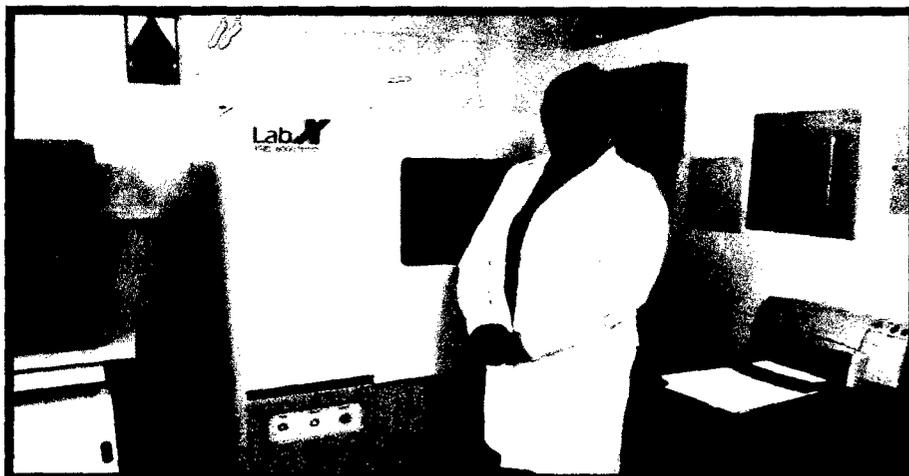


Foto N° 9. Irradiación de muestra con Difractómetro de Rayos X, marca Shimadzu modelo XRD 6000, para la determinación de mineral.

7. Irradiar la muestra.
8. Obtener el Difractograma mediante este software y grabarla.
9. Retirar la muestra.
10. Corregir el marcado de picos.
11. Haciendo uso de la base datos incorporados en el sistema, hacer la identificación de las especies mineralógicas presentes en la muestra.
12. Registrar los resultados.

(Foto N°9)

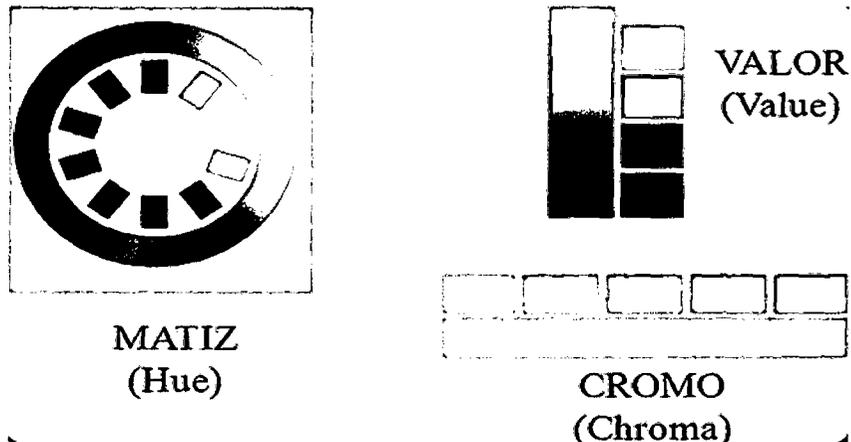
3.5. CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA.

La caracterización geoquímica, relacionado al Test Ácido Base, se efectuó tomando en cuenta a “Extractos de Campos y Métodos de Laboratorio Aplicables a los Suelos Sobrecargados y Minas, EPA, 6000/2 - 78-054, 1978 (Extracts from Fields and

3.5.1. Color

Un sistema de color estándar es requerido para la uniformidad de descripción de los trabajadores de campo. La Carta Munsell de color de suelo es el estándar el cual subdivide el color en tres elementos medibles: matiz, valor y croma.

En esta carta de color, el espectro dominante del color es la matiz (rojo, amarillo, verde, y púrpura) y está relacionado a la longitud de onda de la luz; el valor es la medida de luminosidad u oscuridad y está relacionado a la reflexión total de la luz; y croma indica pureza o fuerza de color (o procedencia de neutral o la misma luminosidad). (Esquema 3.3.)

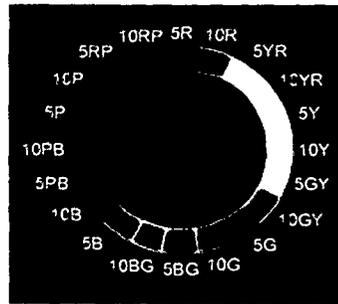


Esquema 3.3.: Carta Munsell, de color

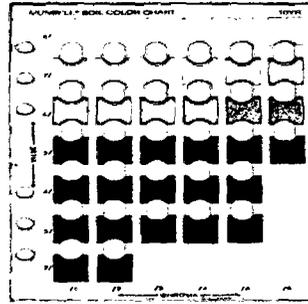
Comentario:

La calidad e intensidad de luz afecta la impresión visual del color de la ficha de color estándar de la muestra. Cuando se usa el color estándar en el campo de laboratorio, es importante que la calidad de la luz sea similar que la luz blanca a medio día y de la cantidad de luz sea adecuada para que visualmente sea distinguible entre los colores de la ficha. La medida del color hecho en el campo durante la madrugada o tarde en la noche y durante un día nublado nebuloso no será preciso. (Esquema 3.4.)

El valor es usualmente bajo cuando muestras son humedecidos que cuando es comparado en aire seco. La medida del color es realizado sobre aire seco, pulverizado (menor que la malla 60) muestras en el laboratorio y expuesto sobre un campo fresco de superficie.



(a)



(b)

Esquema N° 3.4. Ejemplo de la ficha de color 10YR

Materiales.

1. Carta de color de suelo Munsell
2. Spátula.

Procedimiento.

Nota: Si se pulveriza (menos que la malla 60) la muestra es usado en reemplazo de ped de suelos o fragmentos de roca, colocar 0,5 g de muestra sobre la punta de una espátula y omitir los pasos 1 y 2.

1. Romper el suelo en ped o fragmentos de roca en la mitad.
2. Usa una fresca superficie expuesta para determinar el color. Nota: En el caso de más de un color está presente, seleccionar el color dominante para determinación del color. Guardar el color secundario como pequeña mancha.
3. Comparar la muestra a la ficha 10YR. Nota: Si la muestra es calificado para ser rojo, comparar la muestra con la ficha con más matiz rojo. Si la muestra es calificado para ser amarillo, comparar la muestra con la ficha con más matiz amarillo. Si la muestra es calificado para tener croma menos que 1, comparar la muestra con la ficha neutral.
4. Después de seleccionar el apropiado matiz, relacionar la muestra a la ficha que sea más cercanamente correspondiente.
5. Registrar el matiz, valor y croma. Nota: El matiz de color es el número encontrado en la esquina de la parte superior de la página de color, el valor es el número a la izquierda de la fila en cual la ficha de color ha sido seleccionado, y la croma es el número en el fondo de la columna de la ficha de color. El Color es registrado como matiz luego valor luego croma (ejemplo 10YR 6/4).

Significado de pista

En materiales de roca, matiz puede ser usado en muchas maneras generales como una pista para indicar la calidad de roca. Un ejemplo notable de un material favorable de suelo de mina teniendo una fácil distinción de matiz de color y croma es el rojo oscuro de pizarras y lutitas común en oeste y noroeste de Virginia.

El valor puede ser usado para fácilmente distinguir pizarras negras altamente carbonáceas de verdaderas pizarras negras que aparecen negras para un observador casual. Carbón de hueso, pizarras techo, y otras rocas oscuras o negras aparentes frecuentemente contienen significativas cantidades de pirita y puede ser una fuente extrema de ácido sulfúrico a menos que neutralizadores estén presentes. El campo de pista para tal material es negra (valor de 3 o menos sobre algún matiz Munsell) raya cuando frotado sobre un plato de porcelana no esmaltado o roca dura blanca como un esquisto o cuando la roca es pulverizado por raspado con un cuchillo. Arcillas coloreadas oscuro o pizarras limosas que son bajo en carbón, de otro modo, son medio o gris claro (valor de Color Munsell 4 o más) cuando es pulverizado.

Croma es uno de los atributos de color más fácilmente reconocidos, y puede ser usado para reconocer muchas características de suelos y rocas. Está ahora bien establecido que en desarrollo suelo de mina en zona de sobrecarga intensa de agua debajo del campo original de superficie es seguro para sulfuros de pirita (pirita, marcasita, y calcopirita) y extrema acidez. Esta zona depende de la litología, grado de fracturamiento de la estructura de la roca y posición del agua. Marrón y color de roca amarillo (croma 3 o más sobre la carta de colores Munsell) es tipificado por materiales de zona humedecida, provee pistas muy usadas para materiales seguros independientemente de su posición en la sección estratigráfica. Como quiera, la ausencia de altos cromas cerca de la superficie de suelos y rocas puede resultar de una intensa lixiviación de óxidos de hierro o (en suelos) de drenaje impedido cual causa la reducción del hierro. El croma bajo se imparte a la superficie de alta lixiviación de materiales en suelos y cerca de la superficie de la roca puede ser distinguido fácilmente de rocas de bajo-croma debajo de la profundidad de la oxidación del hierro. Bajos cromas (colores grises) causado por lixiviación o drenaje impedido de suelo ocurre sobre rocas o ped de suelos exteriores. En contraste, bajo croma ocurre sobre el interior de areniscas o pizarras no oxidados. El color croma ha sido probado fehacientemente como un campo de pista particularmente con muchas areniscas. Una fresca rotura de superficies de roca con cromas de 3 o mas (especimen de mano o muestra pulverizada) indica despreciable porcentaje de pirita o sulfuro de pirita. Cromas de 2 o menos frecuentemente corresponde a muestras con

suficiente piritita a causa de pH debajo de 4,0 y reacción biotóxica a menos que los neutralizantes sean abundantes.

El valor del color negro de suelo de superficie no disturbada comúnmente indica alto contenido de materia orgánica. En muchos suelos el valor y cromograma de menos de 3,5 indica un móllico, umbrico, o horizonte de superficie antrópico.

3.5.2 Determinación del pH

El pH es medido por un electrodo de vidrio incorporado a un pH metro para este procedimiento. Se adiciona agua a la muestra para formar una pasta. El electrodo es ubicado en la pasta que tiene pH siendo leído directamente por el pH metro.

Reactivos y Materiales:

- Soluciones estándar buffer, de pH 4 y 7
- Agua destilada
- pH metro
- vasos
- varilla de vidrio
- frasco lavador
- Balanza analítica

Procedimiento:

1. Calibrar el pH metro de las soluciones buffer de pH 4 y 7, respectivamente
2. Pesar 10 g. material menor a la malla 60, en el vaso
3. Adicionar 5 mL de agua destilada a la muestra
4. Remover la muestra hasta formar una pasta delgada, adicionando más agua o suelo hasta mantener el suelo en un punto saturado.
5. Posicionar el electrodo dentro de la pasta y mover cuidadosamente alrededor para asegurar remover la película de agua alrededor del electrodo.
6. Luego de la lectura del pH, lavar cuidadosamente el electrodo.

Nota: Se debe tomar en cuenta para el procedimiento de pH de pasta, que considera 20 g de muestra y 20 ml de agua destilada, 5 segundos de agitación y reposo de 10 minutos antes de hacer la lectura del pH, que es recomendado por el Ministerio de trabajo e inversión, división de energía y minerales de la British Columbia (Price, 1997). Basado

en el método de Sobek y otros (1978), con la modificación de Miller y Keeney (1982) entre otros; según lo señalado por Chris Mills, M.Sc., P.Eng. (2013).

3.5.3. Potencial de neutralización

Reactivos y Materiales

- Matraz Erlenmeyer 250 mL
- Bureta de 100 mL
- Plato calentador de laboratorio
- pH metro equipado con electrodo combinado
- Balanza con lectura 0,01 g.

Procedimiento:

1. Colocar aproximadamente 0,5 g de muestra menor a la malla 60 sobre una pieza de hoja de aluminio.
2. Adicionar uno o dos gotas de 1:3 HCl a la muestra. La presencia de CaCO_3 es indicado por la manifestación de una audible efervescencia.
3. Valorar el nivel de efervescencia como indicado en la Tabla 3.1.
4. Pesar 2,00 g de muestra menor a la malla 60 dentro de 250 mL de matraz Erlenmeyer.
5. Añadir cuidadosamente HCl, según la efervescencia.
6. Calentar suavemente cercano a la ebullición, agitar el frasco cada 5 minutos, hasta completar la reacción. (con relación al calentamiento tomando en cuenta la modificación de Lawrence y Wang 1997, quienes no consideran la ebullición en su procedimiento, podría efectuarse sin hervir durante 24 horas, omitiéndose también el paso 8 del presente procedimiento).

Tabla 3.1.

**Volumen y Normalidad de Ácido Clorhídrico
usado para cada ratio de efervescencia**

| Razón de efervescencia | HCl | |
|------------------------|-----|------------|
| | MI | Normalidad |
| No | | |
| Suave | 20 | 0,1 |
| Moderado | 40 | 0,1 |
| Fuerte | 80 | 0,5 |

7. Adicionar agua destilada hasta un volumen de 125 mL.
8. Hervir el contenido del frasco por un minuto y enfriar suavemente a temperatura ambiente. Cubrir herméticamente y a temperatura ambiente.
9. Titular usando 0,1 N NaOH o 0,5 N NaOH (Concentración exactamente conocida), a pH 7,0 usando un pH metro electrométrico y bureta. La concentración de NaOH usado en la titulación deberá corresponder a la concentración de HCl usado en el paso 5.
10. Si menos de 3 mL de NaOH es requerido para obtener un pH 7, es probablemente que el HCl adicionado no fue suficiente para neutralizar toda la base presente en 2,00 g de muestra. Una muestra duplicada deber ser corrida usando el siguiente más grande volumen o concentración como está indicado en la Tabla.
11. Correr un blanco por cada volumen o normalidad de ácido usando los pasos 5,7,8,9.

Cálculos

1. Constante (C) = (mL de ácido en blanco)/(mL base en blanco).
2. mL ácido consumido = (mL ácido adicionado) – (mL base adicionado x C).
3. Tons CaCO₃ equivalente/miles toneladas de material = (mL de ácido consumido) X (25,0) X (N de ácido).

3.5.4. Máximo potencial ácido por determinación de Azufre Total

Principio:

Este método mide el azufre total en una muestra. Si toda la forma de azufre ocurre en forma de pirita, el cálculo del máximo potencial de acidez de azufre corresponde al actual potencial de acidez proveniente del azufre. Pero si partes del azufre ocurre en otras formas, el máximo como es calculado es también alto. En caso dudoso la determinación aproximada puede ser hecho con reglas para otras formas de azufre (para diferenciar el azufre de pirita, de sulfatos y orgánico, en caso de encontrarse baritina debe también diferenciarse por procedimientos específicos). Esta determinación no es necesaria cuando el máximo ácido del azufre total está en los límites seguros.

Una muestra es calentada aproximadamente a 1600°C. Una corriente de oxígeno es atravesada a través de la muestra durante el periodo de calentamiento. El dióxido de azufre es liberado de la muestra y colectado en una solución de ácido clorhídrico diluido conteniendo yoduro de potasio, almidón, y

una pequeña cantidad de yodato de potasio. Esta solución es automáticamente titulada con yodato de potasio estándar.

Nota: El método clásico para la determinación de azufre es el método Eschka, iniciándose la aplicación para carbón, como también para asfaltos y aceites en 1920. En el Método, la mezcla Eschka, se prepara 2 partes en peso de dióxido de magnesio calcinado, con una parte de carbonato de sodio anhidro, y se lleva a calcinación con cloruro de bario se precipita el sulfato de bario y se analiza gravimétricamente, este es el método ha ASTM D3177-02 reemplazado por D-4239-12. Existen equipos Leco actuales como el de la serie SC632, cuyo principio se basa en la combustión en alta temperatura (1350°C) y detección infrarroja del azufre en los gases, donde además se determina carbono, método aprobado por la ASTM, entre otras series se tiene el CS844. Entre los métodos aprobados por la ASTM, E1915-97- Minerales y otros materiales, D-1552 aceites y productos de petróleo, D-4239- Carbón y coque, D-5016- Carbón y ceniza de coque, D-1619-Negro de carbón.

Comentario:

Algunas muestras, por ejemplo carbón, cuando primeramente es colocado en un horno puede cambiar el color de la solución en el vaso de titulación a rosado o púrpura (probablemente 2 componentes orgánicos). Algunas muestras pueden contener halógenos (yodo, cloro, fluor) cuales oscurecen la solución en el vaso de titulación y produciría resultados bajos. El problema de halógenos, si es encontrado, puede ser eliminado por el uso de una trampa de antimonio entre el horno y el ensamble de titulación. Interferencias puede resultar con muestras altas en nitrógeno; sin embargo, este no parece que ocurriera en muestras de rocas. Información adicional pueden ser obtenidos por lectura del equipo de aplicación Leco e instrucciones para análisis de azufre en hidrocarburos.

Reactivos:

- Acelerador de viruta de hierro
- Acelerador de polvo de hierro
- Anillo de cobre
- Óxido de Magnesio (MgO)
- Iodato de Potasio (IKO₃); 0,0052 N
- Ácido clorhídrico (HCl) en solución: Diluir 15 mL de HCl concentrado hasta un volumen de 1 litro con agua destilada.

- Solución de Almidón
- Ioduro de Potasio (KI)
- Estándar de Azufre

Materiales:

- Analizador automático de Azufre Leco
- Cuchara, 0,2 mL volumen
- Crisoles de cerámica con cobertura porosa
- Damajuana, 19 litros (5 gal.)
- Tenazas
- Lana de vidrio
- Regulador de oxígeno
- Agitador mecánico
- Barra de agitación
- Tubo de combustión
- Plato calefactor
- Balanza que pueda leer 0,001 g

Procedimiento

Nota: Leer el manual entero de horno Leco, titulador automático y todo este procedimiento antes de empezar (Depende del tipo de equipo Leco).

1. Colocar un nivel de cucharada de virutas de hierro en el crisol
2. Pesar 0,005 g de muestra (menor a la malla 60) en el crisol.

Nota: Para muestras con sospecha de contenido sobre 1% de azufre o tiene croma menos de 2, tomar en cuenta lo siguiente: Materiales con baja croma (2 o menos) puede tener alta (sobre 1%) en contenido de sulfuro; por lo tanto, usar 0,250 g de muestra cuando el croma del material es 1 ó 2. Si la croma del material es cero, 0,100 g de muestra es usado. Si el sulfuro no es detectable o valores con más precisión es deseable en este tamaño de muestra, incrementar hacia el siguiente tamaño de muestra y repetir la corrida. Leer el manual entero Leco.

3. Adicionar una cuchara de MgO.
4. Adicionar un anillo de cobre y una cucharada de polvo de hierro.
5. Suavemente agitar el crisol para igualmente cubrir el fondo y colocar una cobertura porosa sobre el crisol.
6. Encender la red de "Filamento de Voltaje" conectar a media posición

7. Esperar por un minuto y encender el “Alto Voltaje”.
8. Fijar “Punto de titulación final” cambiar a su posición media.
9. Encender el Titulador.
10. Drenar el vaso de titulación completamente.
11. Fijar el temporizador en encendido, ajustar el tiempo a 10 minutos, o un tiempo suficiente para satisfacer los pasos 25, 26 y 27.
12. Pegar botellones conteniendo HCl y KIO₃ a mezclar el condensado sobre las paredes del contenedor.
13. Llenar la bureta de iodato
14. Llenar el vaso de titulación aproxim. la tercera parte con solución de HCl
15. Encender el oxígeno. Fijar la presión a 15 PSI, y el flujo a 1 litro/minuto.
Nota: El flujo de oxígeno debe iniciar antes de la adición de almidón
16. Levantar el “Mango del mecanismo de bloqueo” sin muestra en el crisol en el pedestal, y mirar el lugar. Nota: Asegurar que haya hermetismo de contacto entre la plataforma de la muestra y la cámara de combustión por observación de un vigoroso burbujeo en la cámara vaso de titulación.
17. Adicionar una medida (5 mL) de solución de almidón. Nota: Si la solución en la cámara “Vaso de Titulación” cambia a turbio o amarillo después que la solución de almidón es añadido, apagar el instrumento siguiendo pasos 33 hasta 39 y preparar una nueva solución de almidon.
18. Fijar el interruptor de “Punto de titulación final” en “punto final”
19. Después de pocos segundos cuando el nivel de titulación en la “Bureta de Iodato” ha dejado de caer (Bureta leyendo no debe ser más que 0,004) la solución en la cámara del “Vaso de Titulación” debería ser un azul profundo. Nota: Si la solución es un pálido azul o casi negro, apagar el instrumento siguiendo los pasos 33 hasta 39 y preparar una nueva solución de almidón.
20. Fijar el interruptor de “Punto final de Titulación” a media posición y bajar el “Mango del mecanismo de bloqueo”
21. Volver a llenar “la Bureta de iodato”
22. Colocar la muestra del crisol sobre el pedestal, asegurar que este centrado, y cuidadosamente levantar el “Mango del mecanismo de bloqueo”
23. Fijar el interruptor de “Punto final de Titulación” para titular, o si es conocido la muestra envolverá SO₂ suavemente, fijar el interruptor en punto final. El punto final actúa como un “Control Fino” permitiendo a la válvula de la bureta a discriminar los pequeños incrementos.
24. Presionar el botón rojo en tiempo de inicio de análisis

25. La corriente del plato debe ir dentro de 400 a 450 mA para al menos 2 minutos durante el análisis; si no, pesar de nuevo y reiniciar la corrida con la muestra.
26. Ajustar el reóstato para prevenir que la corriente del plato exceda de 450 mA.
27. Cuando la lectura de la bureta no cambia por 2 minutos, y la corriente del plato (plancha) haya alcanzado 400 a 450 mA, eso puede asumirse que todo el sulfuro ha sido removido de la muestra. Si la bureta de lectura esta aun cambiando cuando el temporizador apaga el instrumento, fijar el temporizador apagado, que reiniciará el horno, dejar el horno hasta que la bureta este estable por 2 minutos, entonces el temporizador arrancará.
28. Fijar el "Punto final de titulación" a posición media. Importante: Guardar la lectura de la titulación.
29. Bajar la plataforma de muestra, remover el crisol usando tenazas, colocar muestra fresca en crisol en el lugar, pero no cierre la cámara de muestra.

Nota: Suavemente drenar la cámara de titulación para mantener el nivel original. Drenar, enjuagar y rellenar la cámara de titulación cada tercera muestra, o mas frecuente si una grande cantidad de titulante es usado por la muestra previa (pasos 16-22)

30. Rellenar la bureta de KIO_3
31. Cerrar la cámara de muestra, asegurar la hermeticidad. Verificar el punto final (pasos 18,19 y 21).
32. Ir al paso 23 y continuar hasta que todas las muestras sean procesadas
33. Tornar el interruptor de "Punto final de titulación" en la posición media.
34. Apagar la principal válvula de O_2 sobre el tanque.
35. Apagar el "Alto voltage".
36. Apagar el titulador automático.
37. Drenar la cámara de titulación; enjuagar dos veces la cámara llenar de solución HCl o agua, cubrir y dejar la cámara con solución HCl lleno.
38. Si el O_2 dejó de burbujear en el tren purificador, apagar la pequeña válvula estriada sobre la toma de manómetro.

(Foto N°10)

Cálculos:

1. Porcentaje de sulfuro. Nota: El porcentaje de sulfuro es dependiente sobre la concentración del titulante iodato de potasio y tamaño de muestra.
 - A. Usando 1,110 g KIO_3/L and 0,500 g de muestra (0,005 – 1,00 % rango de sulfuro)
 $\%S = \text{Lectura de bureta} \times 5,0.$
 - B. Usando 1,110 g de KIO_3/L y 0,250 g de muestra (0,010 – 2,00 % rango de sulfuro)
 $\%S = \text{Lectura de bureta} \times 10,0.$
 - C. Usando 1,110 g de KIO_3/L y 0,100 g de muestra (0,010 – 2,00 % rango de sulfuro)
 $\%S = \text{Lectura de bureta} \times 25,0.$
2. Para convertir % sulfuro para máximo CaCO_3 equivalente: Multiplicar % sulfuro por 31,25 para conseguir toneladas CaCO_3 equivalentes/1000 toneladas de material.



Foto N°10. Digestión de muestras geoquímica con tratamiento multiácido en campana extractora con lavador de gases, marca Esco.

Determinación de azufre de sulfatos:

0,5 g de muestra se lixivia con 50 mL de ácido clorhídrico 2:3 (HCl: Agua), siguiendo el procedimiento del método, a la fracción sólida resultante se analiza el azufre empleando el equipo Leco correspondiente.

Cálculo: $\% \text{Azufre de sulfatos} = \% \text{Azufre total} - \% \text{Azufre después de tratar con HCl}$

Determinación de azufre orgánico:

0,5 g de muestra se lixivia con 50 mL de HNO_3 1:7 (HNO_3 :Agua), siguiendo el procedimiento del método, a la fracción sólida resultante se analiza el azufre empleando el equipo Leco correspondiente.

Cálculo: $\% \text{ Azufre orgánico} = \% \text{ Azufre total} - \% \text{ Azufre después de tratar con HNO}_3$

Azufre mayormente de pirita:

$\% \text{ Azufre mayormente de pirita} = \% \text{ Azufre después de tratar con HCl} - \% \text{ Azufre después de tratar con HNO}_3$

Azufre de baritina:

Puede efectuarse por fusión con el reactivo adecuado, y posterior disolución para determinación gravimétrica precipitando, en forma de sulfato de bario.

Nota: De acuerdo al análisis también puede efectuar la determinación del azufre total por el método gravimétrico, fundiendo la muestra con el fundente adecuado que conlleve a la oxidación del azufre hasta llegar a sulfatos, para posterior disolución y determinación gravimétrica con cloruro de bario para obtención del sulfato de bario, cuya consistencia debe estar complementado, con el análisis mineralógico entre otros como respaldo.

En materia de investigación es necesario contrastar contenidos en muestras por otros métodos y equipos, espectrómetros, como un TERRASPEC o un ICP-MS. (Fotos N°11, 12)



Foto N° 11. Análisis químico de muestras con Espectrómetro de Masas con fuente de Plasma de Acoplamiento Inducido (ICP-MS) Perkin Elmer, modelo Nexion 300D

3.6. CARACTERIZACION DEL POTENCIAL DE GENERACION DE ACIDO DE MUESTRA

Para predecir el DAR, se ha utilizado la prueba estática, determinando las pruebas geoquímicas del material mineral.

Los pasos principales para esta prueba estática:

- análisis del contenido metálico de la muestra sólida
- medición del pH en pasta
- determinación del contenido total de azufre y de las especies sulfuradas
- titulación para determinación del potencial de neutralización

En los ítems precedentes se ha realizado éstos pasos.

Los procedimientos para la prueba estática usada en esta investigación es el de Prueba de Balance ácido-base (método Sobek o EPA)



Foto N° 12. Determinación de alteraciones y mineralogía de muestras de mano, con Espectrómetro de Minerales. TERRASPEC 4 Hi-Res.

CAPITULO IV

RESULTADOS

MINERALOGÍA.

Las manifestaciones vetiformes (venillas del cerro Yanaorcco) se considera una asociación típica mesotermal, en menor proporción epitermal superior. El sistema hidrotermal ha estado activo durante mucho tiempo entre varias etapas de reactivación tectónica y depósito de cuarzo y sulfuros.

TELURUROS: El oro se halla libre raras veces en el cuarzo, es común encontrarlo como aleación natural con la plata formando electrum 76,64 Au – 23,28 Ag % también como granos finos incluidos a menudo aislados en la pirita, muy escasamente en la arsenopirita en menor proporción en la calcopirita y pirrotita. Podemos referir que los elementos de oro y plata se depositaron a partir de una solución casi inmediatamente después del fracturamiento que afecto al cuarzo y a la pirita y arsenopirita de primera generación. (Fig. 4.1.)

El carácter errático del oro se nota en algunas muestras donde en unos pocos lugares se observa oro, mientras en resto no hay, podemos pensar en alguna explicación de tipo estructural para lo mencionado; las microfracturas con oro habrían sido zonas abiertas permitiendo el depósito del elemento. En el caso del Cerro Yanaorcco la ocurrencia del oro conjuntamente con teluro es atípica y el mineral se diagnostica como CALAVERITA.



Fig. 4.1. Muestras cristales de pirita y calaverita.

PIRITA: Es el sulfuro más común que en una primera etapa de mineralización se cristalizó para después fracturarse y permitir el depósito de las partículas de oro y electrum.

ARSENOPIRITA: Aparece en cristales euhedrales muy raras veces anhedrales, bordeando o corroyendo a la pirita, se presenta algo de arsenopirita asociada a pirita fina lo que nos indica por lo menos dos generaciones de este sulfuro: la primera asociada a pirita gruesa antes del fracturamiento principal que sufrió la pirita y la segunda después de dicho evento.

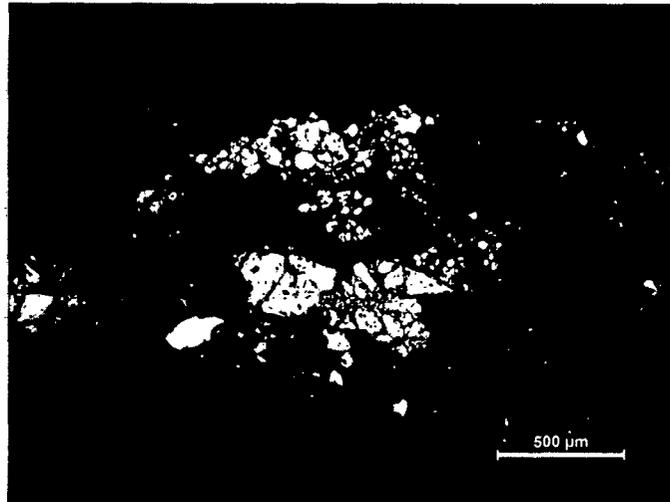


Fig. 4.2. Mostrando Micrografía de sección pulida.

CALCOPIRITA: Aparece en las fracturas de cristales anhedrales de pirita, también se encuentra diseminada en la ganga de cuarzo, rellenando microfracturas y cavidades del cuarzo y de la pirita aunque con menor frecuencia.

PIRROTITA: Como exsoluciones en la calcopirita y raramente como inclusiones.

4.1.1. Composición mineralógica de las muestras

Determinado por observaciones microscópicas y análisis espectral de 2 muestras, el resultado indica lo siguiente. (Fig.4.2.)

Corresponde a fragmentos de mineral pirita en forma masiva y cristalizada con menor proporción de cuarzo, carbonatos, óxidos de hierro y arcillas. Su composición y abundancia mineralógica se indica en la tabla siguiente: (Fig.4.3.)

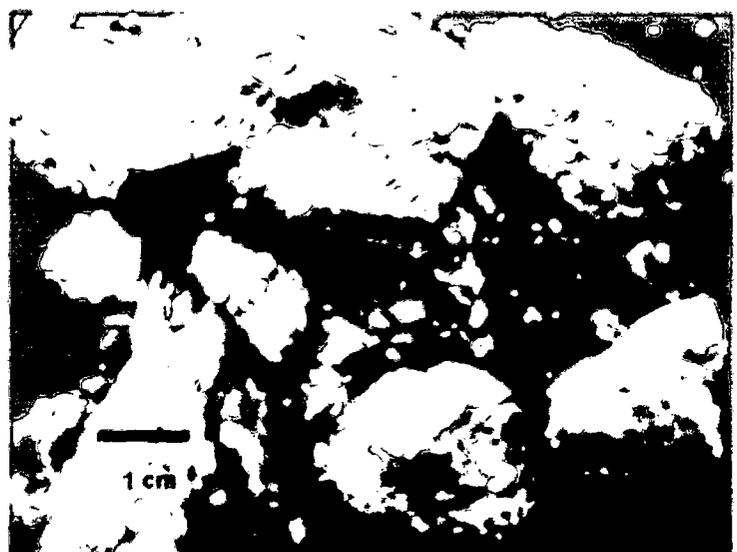


Fig. 4.3. Muestra vetas 1, 2, 3: presencia de pirita masiva, cristalizada y carbonatos.

Tabla 4.1
Mineralogía de las vetas: 1, 2 y 3.

| Minerales/ Veta 1,2,3 | Fórmula | %en peso |
|-----------------------|--|----------|
| Cuarzo | SiO ₂ | 6,60 |
| Calcita | CaCO ₃ | 2,58 |
| Ortoclasa | K(AlSi ₃ O ₈) | 0,10 |
| Albita | Na(AlSi ₃ O ₈) | 0,16 |
| Anortita | Ca(Al ₂ Si ₂ O ₈) | 0,10 |
| Pirita | FeS ₂ | 86,36 |
| Calcopirita | Cu FeS ₂ | 0,023 |
| Esfalerita | (Zn, Fe)S | 0,006 |
| Galena | PbS | 0,008 |
| Hematita | Fe ₂ O ₃ | 3,810 |
| Pirolusita | Mn O ₂ | 0,14 |
| Caolinita | Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ | 0,11 |

Reporte: Laboratorio UNI Universidad Nacional de Ingeniería - Lima

Observando la tabla anterior se puede apreciar que se tiene en mayor proporción en contenido de pirita, cuya característica generadora de drenaje ácido se hace evidente en la muestra en estudio. (Tabla 4.1., Fig. 4.4.)

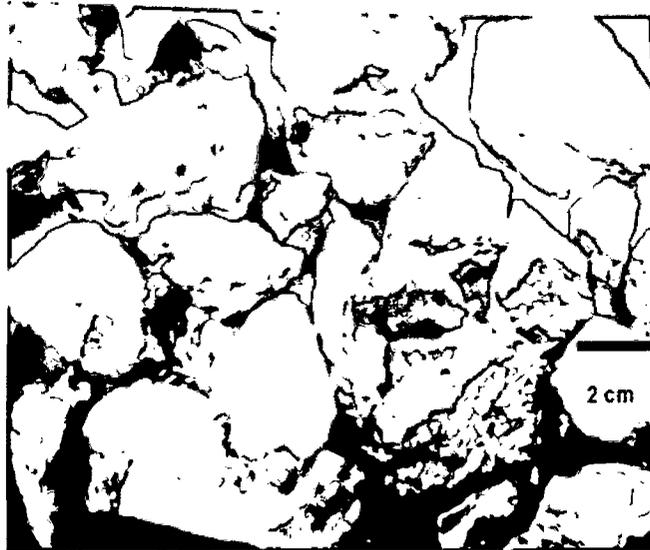


Fig. 4.4. Muestra Veta (estructura).

Muestra: fragmentos de cuarzo hialino y lechoso intercalado con pizarras alteradas, mostrando óxidos de hierro y escasa diseminación de sulfuros

Tabla 4.2
Mineralogía de la Estructura Mineralizada (5.0 m. entre ella 3 vetas)

| Minerales/ Veta | Fórmula | %en peso |
|-----------------|---|----------|
| Cuarzo | SiO ₂ | 73,7 |
| Calcita | CaCO ₃ | 1,72 |
| Ortoclasa | K(AlSi ₃ O ₈) | 0,10 |
| Albita | Na(AlSi ₃ O ₈) | 0,30 |
| Anortita | Ca(Al ₂ Si ₂ O ₈) | 0,20 |
| Pirita | FeS ₂ | 0,010 |
| Calcopirita | Cu FeS ₂ | 0,003 |
| Esfalerita | (Zn, Fe)S | 0,009 |
| Galena | PbS | 0,006 |
| Hematita | Fe ₂ O ₃ | 4,97 |
| Pirolusita | Mn O ₂ | 0,10 |
| Caolinita | Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ | 0,74 |
| Sericita | KAl ₃ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₂ | 4,44 |
| Clorita | (Mg,Fe) ₅ (Al,Si) ₅ O ₁₀ (OH) ₈ | 5,80 |
| Montmorillonita | Ca _{0,2} (Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) _{2.4} H ₂ O | 7,90 |

Reporte: Laboratorio UNI Universidad Nacional de Ingeniería - Lima

En esta tabla se puede apreciar que se tiene un bajo porcentaje en contenido de pirita,

cuya característica no es generadora de drenaje ácido. (Tabla 4.2.)

Tabla 4.3
Mineralogía de la Estructura Mineralizada (5.m entre ella 3 vetas)

| MINERAL/ Veta | FÓRMULA | % |
|----------------------|---|----------|
| Cuarzo | SiO ₂ | 74,95 |
| Arcantita | K ₂ SO ₄ | 7,31 |
| Clorita | (Mg,Al,Fe) ₆ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈ | 7,07 |
| Muscovita | (K,Na)(Al,Mg,Fe) ₂ (Si _{3,1} Al _{0,9})O ₁₀ (OH) ₂ | 2,19 |
| Dolomita | CaMg(CO ₃) ₂ | 2,07 |
| Larnita | Ca ₂ SiO ₄ | 1,16 |
| Pirita | FeS ₂ | 1,11 |
| Calcita | CaCO ₃ | 0,91 |
| Albita | Na(Si ₃ Al)O ₈ | 0,85 |
| Caolinita | Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ | 0,79 |
| Augita | Ca(Mg,Fe,Al)(Si,Al) ₂ O ₆ | 0,73 |
| Niningerita | MgS | 0,49 |
| Uvarovita | Ca ₃ Cr ₂ (SiO ₄) ₃ | 0,37 |

Reporte: Laboratorio INGEMMET Instituto Geológico Minero y Metalúrgico - Lima

Valores similares, en laboratorios distintos. (Tablas 4.2. y 4.3.)

4.1.2. Resultado del análisis de metales en muestra

La distribución de metales en la muestra determinado por métodos de análisis espectral se indica en la tabla siguiente:

Tabla 4.4
Análisis de metales en muestra veta 1, 2, 3

| Muestra | %Ca | %Fe | %Mn | %Cu | %Pb | %Zn | Cd (ppm) | As (ppm) |
|----------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------------|-----------------|
| Veta 1,2,3 | 1,05 | 42,86 | 0,085 | 0,008 | 0,007 | 0,004 | 8 | 626 |

Reporte: Laboratorio UNI Universidad Nacional de Ingeniería - Lima

Los valores del calcio corresponden principalmente a los carbonatos, los valores de hierro se distribuyen formando sulfuros y óxidos, en el caso del manganeso corresponden a ocurrencias de pirolusita los valores de cobre, plomo, zinc, cadmio y arsénico están ligados fundamentalmente a los escasos minerales sulfurados. (Tabla 4.4.)

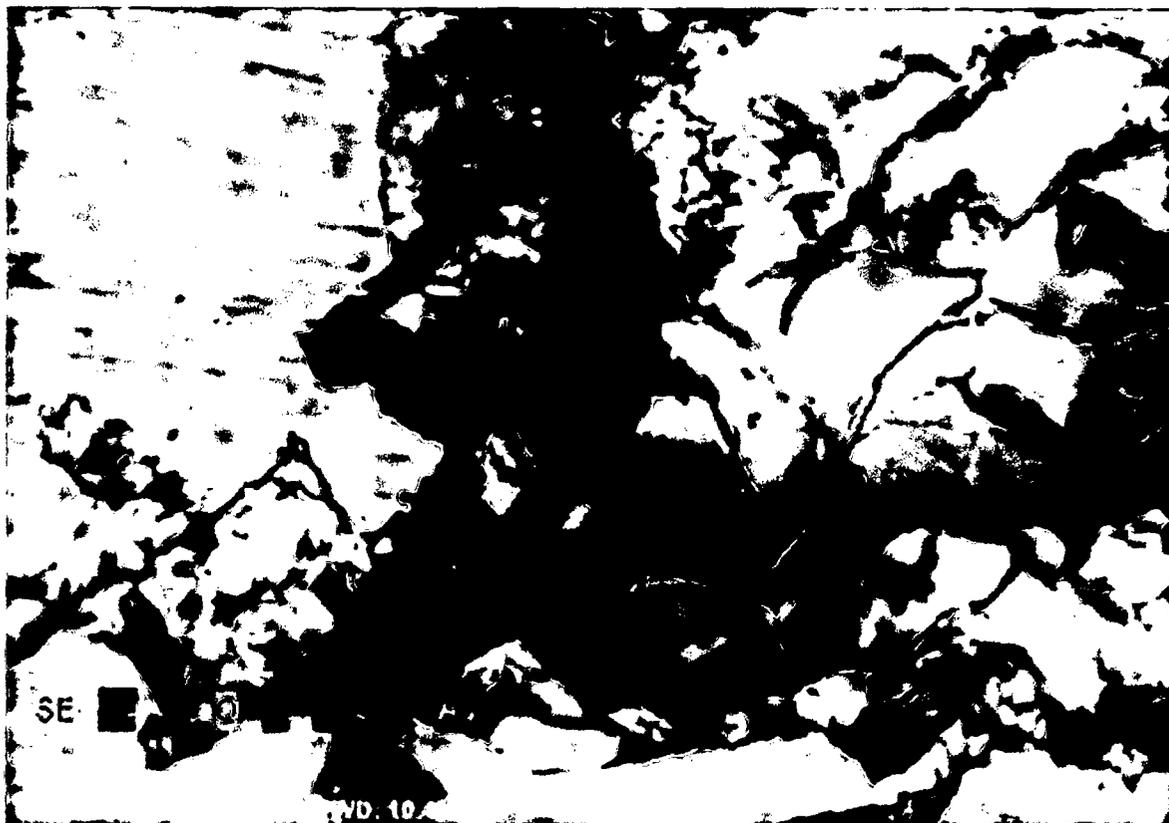
Tabla 4.5
Análisis de metales en muestra de estructura mineralizada

| Muestra | %Fe | %Mn | %Cu | %Pb | %Zn | Cd (ppm) | As (ppm) |
|----------|------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|
| Estruct. | 5,00 | 0,039 | 0,031 | 0,005 | 0,006 | 8 | 1 |

Reporte: Laboratorio UNI Universidad Nacional de Ingeniería - Lima

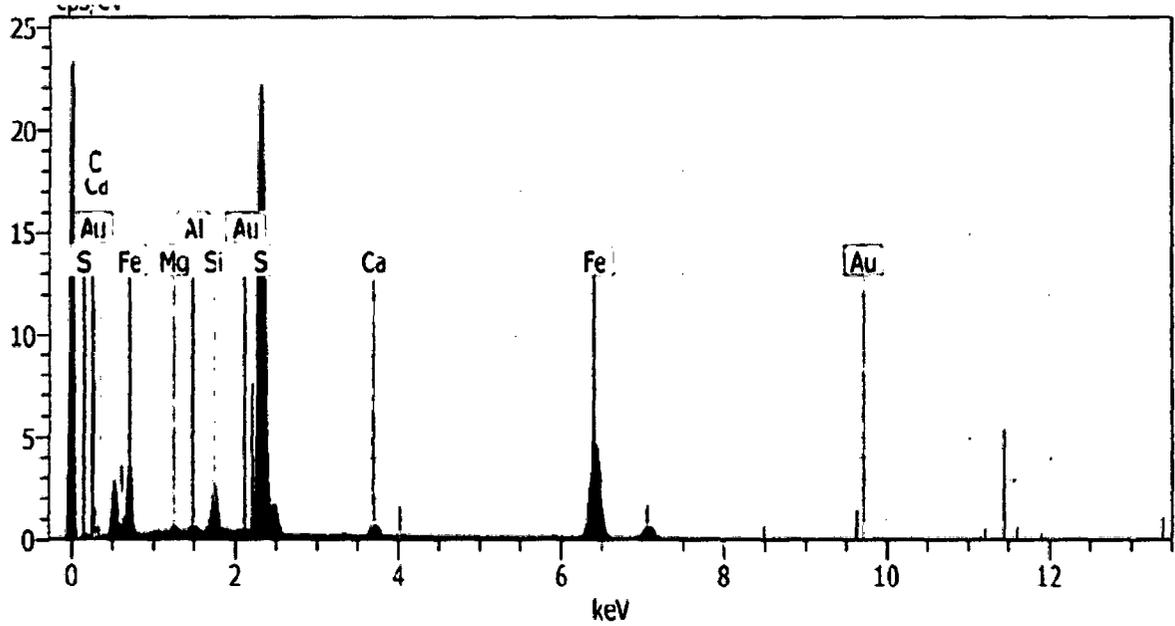
Los valores de hierro se distribuyen formando sulfuros y óxidos, en el caso del manganeso corresponden a ocurrencias de pirolusita los valores de cobre, plomo, zinc, cadmio y arsénico están ligados fundamentalmente a los escasos minerales sulfurados. (Tabla 4.5.)

4.1. Minerales económicos.



Map data

Fig. 4.5. Mapa mineralógico en microscopía.



La Fig. 4.6. Muestra el patrón de difracción de Rayos X.

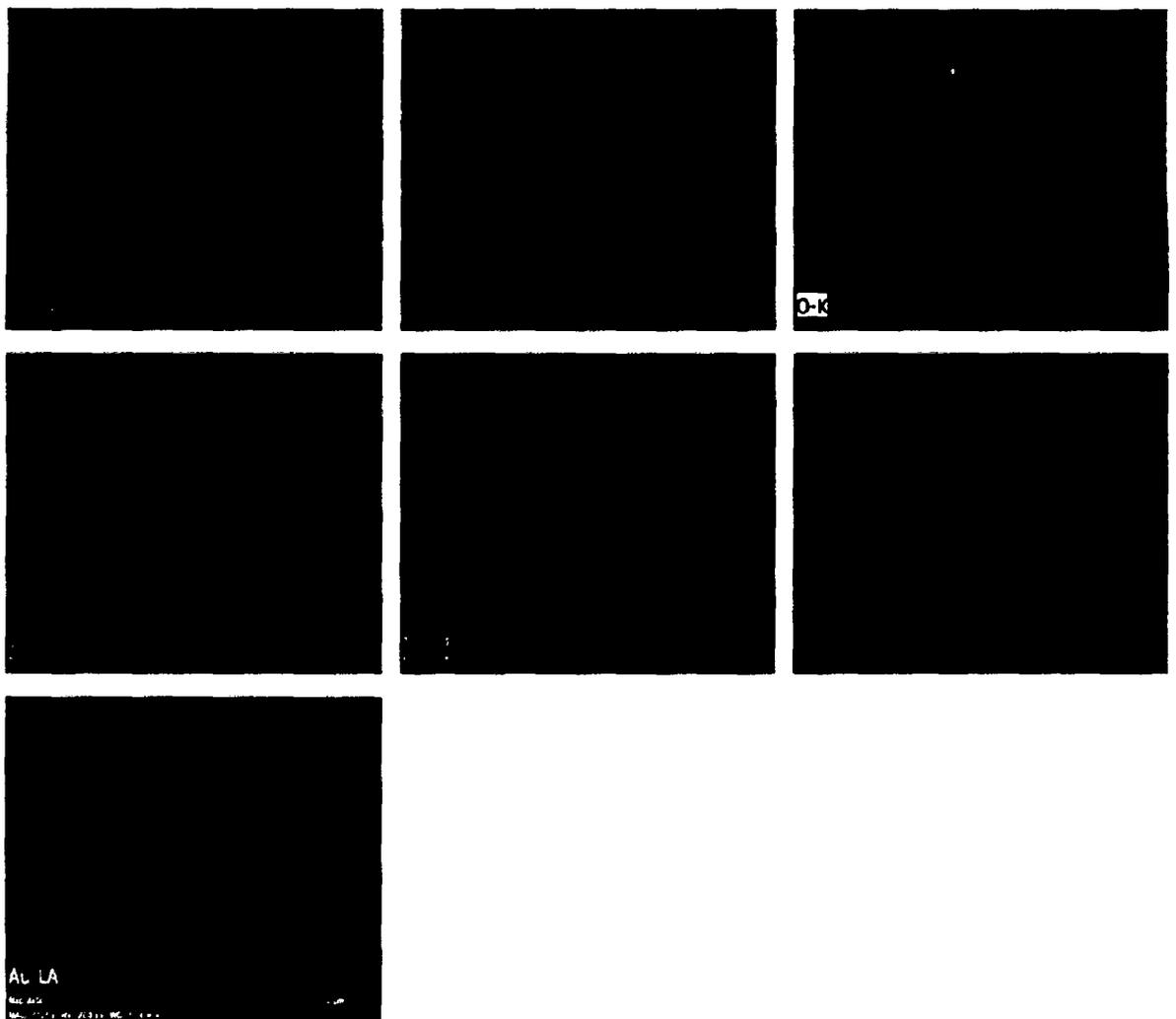


Fig. 4.7. Muestra el escaneo de los diferentes minerales económicos.

CUADRO 4.1

Archivo de difracción de Rayos X1

| El AN Series | unn. | C norm. | C Atom. | C Error |
|----------------|---------------|---------------|---------------|---------|
| | [wt.%] | [wt.%] | [at.%] | [%] |
| S 16 K-series | 48.36 | 38.07 | 52.14 | 1.8 |
| Fe 26 K-series | 47.05 | 37.04 | 29.13 | 1.5 |
| Au 79 L-series | 21.98 | 17.30 | 3.86 | 1.4 |
| Si 14 K-series | 3.11 | 2.45 | 3.83 | 0.5 |
| Ca 20 K-series | 2.96 | 2.33 | 2.56 | 0.2 |
| C6 K-series | 2.39 | 1.88 | 6.87 | 1.7 |
| Mg 12 K-series | 0.71 | 0.56 | 1.01 | 0.1 |
| Al 13 K-series | 0.47 | 0.37 | 0.60 | 0.1 |
| Total: | 127.02 | 100.00 | 100.00 | |

Reporte Laboratorio INGEMMET

4.2. Minerales de ganga.

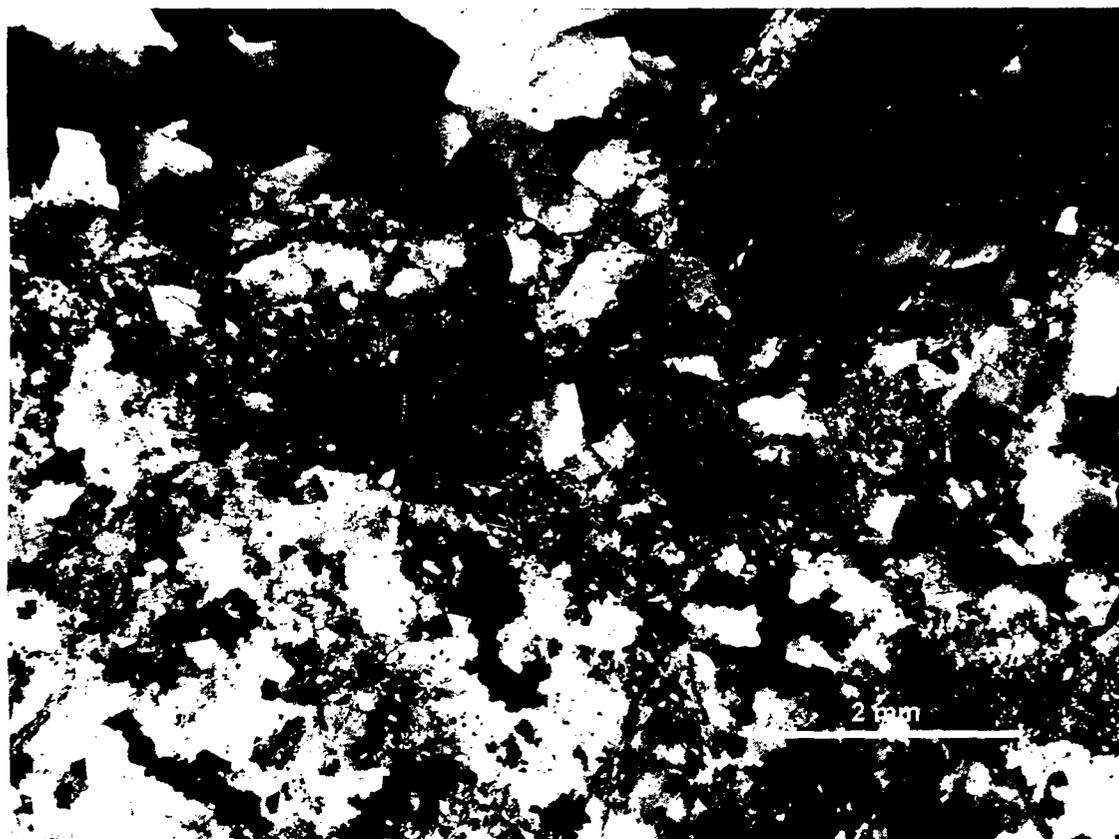


Fig. 4.8. Mostrando Micrografía de sección delgada.

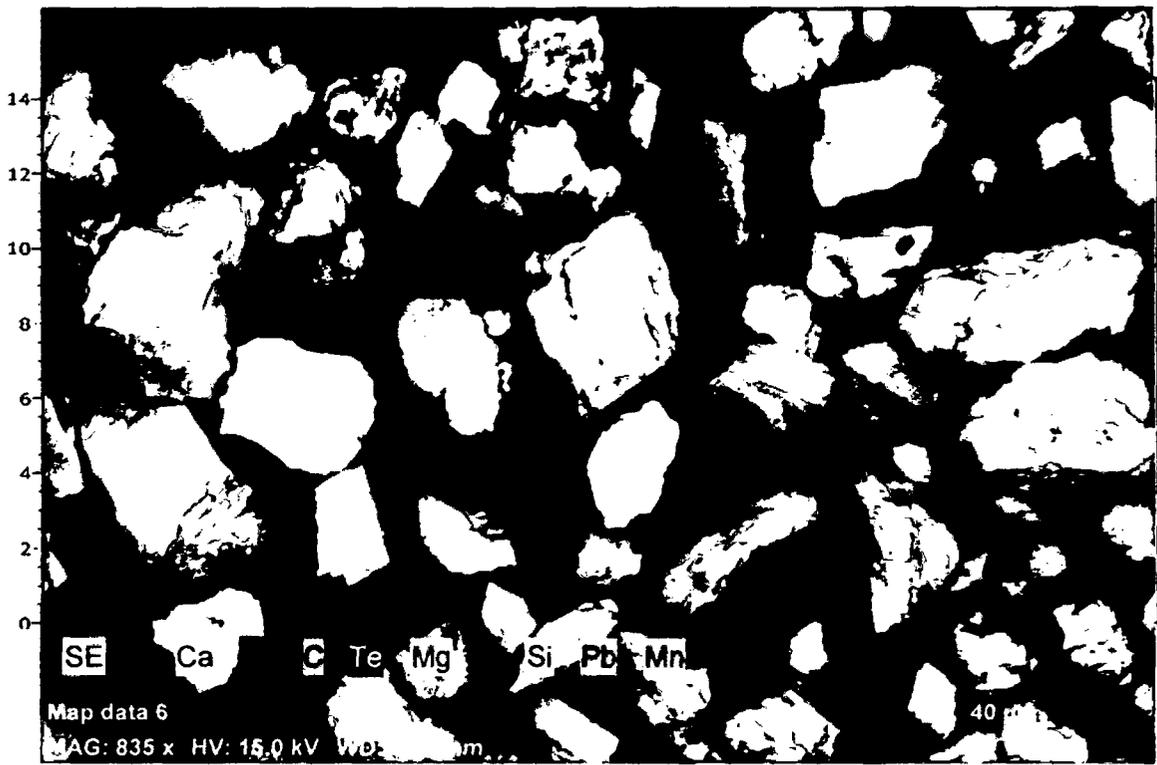
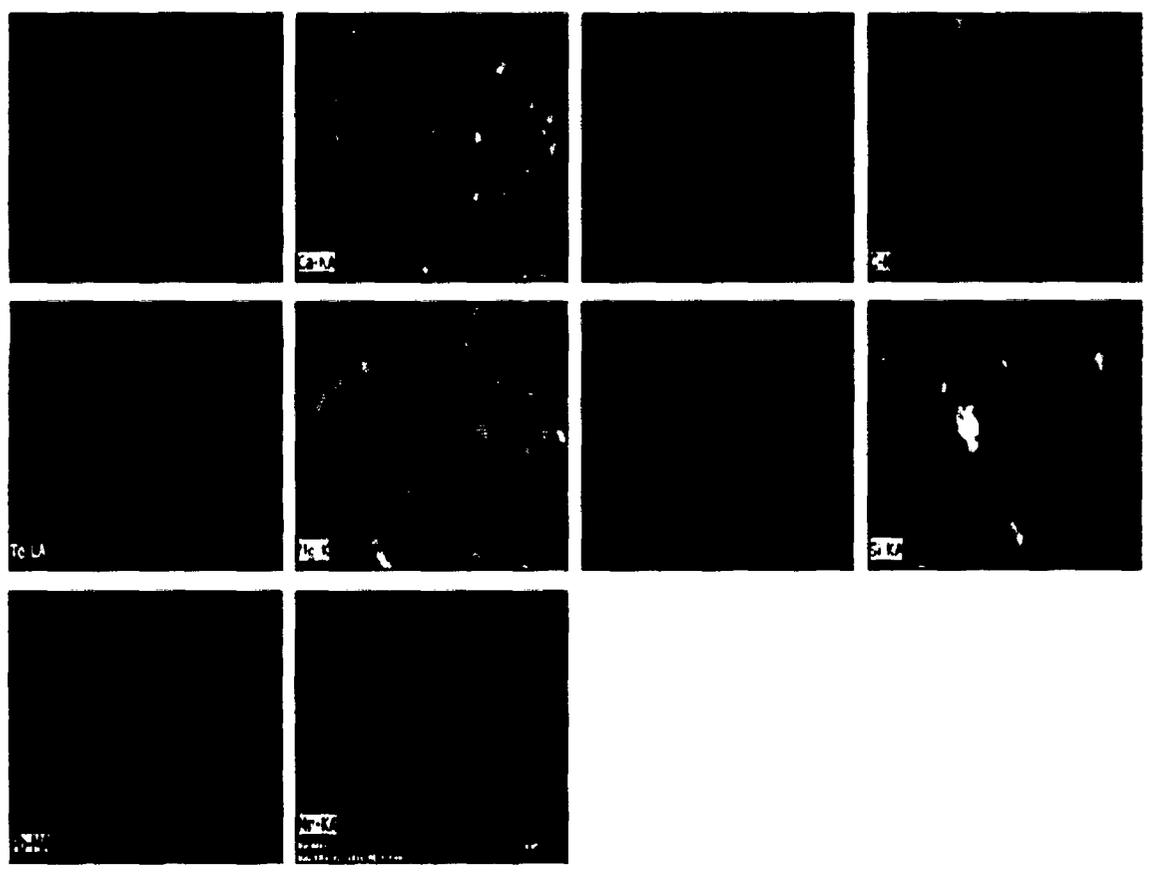


Fig. 4.9. Muestra el patrón de difracción de Rayos X de la ganga.



La Fig. 4.10. Muestra el escaneo de los minerales de ganga.

CUADRO 4.2

Archivo de difracción de Rayos X2

Spectrum: Adquisición

| El | AN | Series | Net un. | C norm. | C Atom. | C Error | |
|--------|----|----------|---------|---------|---------|---------|-----|
| | | | [wt.%] | [wt.%] | [at.%] | [%] | |
| O | 8 | K-series | 42037 | 49.28 | 42.36 | 58.03 | 5.9 |
| Ca | 20 | K-series | 28199 | 17.04 | 14.65 | 8.01 | 0.6 |
| Fe | 26 | K-series | 7745 | 12.71 | 10.92 | 4.29 | 0.4 |
| C | 6 | K-series | 15718 | 10.88 | 9.35 | 17.06 | 1.5 |
| Te | 52 | L-series | 6533 | 5.99 | 5.15 | 0.88 | 0.9 |
| Mg | 12 | K-series | 17144 | 5.64 | 4.85 | 4.37 | 0.3 |
| Si | 14 | K-series | 16208 | 5.31 | 4.57 | 3.56 | 0.4 |
| S | 16 | K-series | 13313 | 4.81 | 4.13 | 2.82 | 0.3 |
| Pb | 82 | M-series | 3453 | 2.52 | 2.16 | 0.23 | 0.3 |
| Mn | 25 | K-series | 1612 | 2.17 | 1.86 | 0.74 | 0.1 |
| Total: | | | 116.33 | 100.00 | 100.00 | | |

Reporte Laboratorio INGEMMET

4.4. Estudio Minerográfico y petromineralógico

Estudios sobre la generación de drenajes ácidos sugieren que la formación de los mismos dependen directamente de varios factores: de la mineralogía primaria (sulfuros y minerales neutralizadores), presencia de agua (Clima), difusión de oxígeno, tamaño del grano, interacción microbiológica (bacterias), entre otros. Por lo que es imprescindible realizar estudios petromineralógicos como minerográficos para mayor detalle.

Muestra MP – 01, procesado en Laboratorio de INGEMMET, Enero 2013

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Visualmente se observan presencia de cuarzo, pizarras, carbonatos, pirita, y óxidos.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

La descripción microscópica corresponde a la muestra de mineral de caja, donde se ha realizado el estudio petrográfico y a la muestra de mineral veta.

La muestra de mineral caja presenta:

Remanentes de **arsenopirita** reemplazados por esfalerita, calcopirita y tenantita; a su vez la esfalerita se encuentra también como remanentes reemplazados por la calcopirita y tenantita. Presenta tamaño aproximado de 0,07mm. (Ver fotomicrografía 1)

En cuanto a la relación, existente entre la tenantita y calcopirita, se observa que esta última ha sido reemplazada por la primera.

Hay sectores donde se observan pirita trambooidales las que posiblemente sean de origen singenético, lo que se deduce en base a la literatura existente a este origen; a este tipo de pirita lo consideramos como **pirita I**. El esferoide de la pirita trambooidal en forma individual mide 0,002mm y el diámetro del agregado de estos esferoides mide 0,061mm. (Ver fotomicrografía 2)

Pirita II, con granulometría más gruesa, en mayor porcentaje, están conformando microvenillas y con una granulometría un poco más fina están diseminadas en la ganga de la roca. Presentan formas que varían de euhedrales a anhedrales con tamaños hasta de 0,610mm. Esta pirita presenta microfracturamiento como consecuencia del metamorfismo que ha afectado a la roca y en algunos sectores de la muestra. Parte de estos cristales de pirita microfracturadas están parcialmente englobadas y reemplazadas por galena cuyo tamaño en promedio es de 0,15mm. (Ver Fotomicrografía 3). Asimismo, existe pirita tapizando las paredes de las microfracturas y de ese modo se han alterado a goethita.

Pirrotita, la cual se encuentra como relleno de algunas de las porosidades que presenta la pirita, por lo tanto sus formas son anhedrales y sus tamaños son de 0,04 mm.

La ganga corresponde a la parte no metálica.

Asimismo, en la descripción microscópica de la muestra de mineral de veta, se ha encontrado:

Electrum, ocurre diseminada en la ganga de cuarzo, con tamaño aproximadamente 0,04mm. (Ver Fotomicrografía 4)

Pirita, cristales subhedrales de tamaños hasta de 0,3mm. Se encuentran como relleno de microfracturas y ocurre diseminada en la roca. Algunos cristales de pirita se encuentran microfracturados y reemplazados por esfalerita (Ver fotomicrografía 5). Presentan alteración a goethita.

Goethita, ocurre como alteración de la pirita, asimismo se encuentra relleno de las microvenillas que cortan a la roca.

MINERALOGÍA

| PORCENTAJE APROXIMADO % | | | |
|-------------------------|-------|----------------------------|-------|
| Muestra de mineral caja | | Muestra de mineral de veta | |
| Pirita II | 10 | Pirita | 3 |
| Pirita I | Traza | Goethita | 2 |
| Pirrotita | Traza | Esfalerita | <1 |
| Galena | Traza | Electrum | Traza |
| Goethita | Traza | Ganga | 94 |
| Calcopirita | Traza | | |
| Tenantita | Traza | | |
| Esfalerita | Traza | | |
| Arsenopirita | Traza | | |
| Ganga | 90 | | |

SECUENCIA DE FORMACIÓN PROBABLE

| | |
|--------------|------------|
| Pirita I | Pirita |
| Arsenopirita | Esfalerita |
| Pirita II | Electrum |
| Pirrotita | Goethita |
| Esfalerita | |
| Calcopirita | |
| Tenantita | |
| Galena | |
| Goethita | |

| | |
|---------|--|
| TEXTURA | Diseminado y de relleno de microfracturas. |
|---------|--|

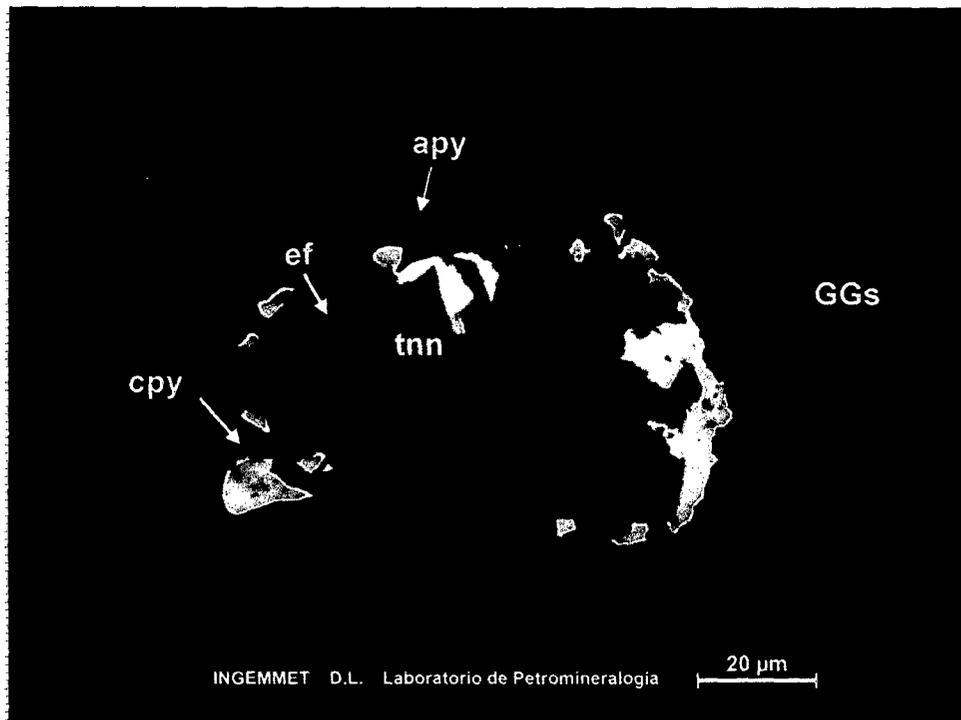
ALTERACIONES

Alteraciones / débiles de sericita y arcillas alojadas en fractura

FOTOMICROGRAFÍA/S:

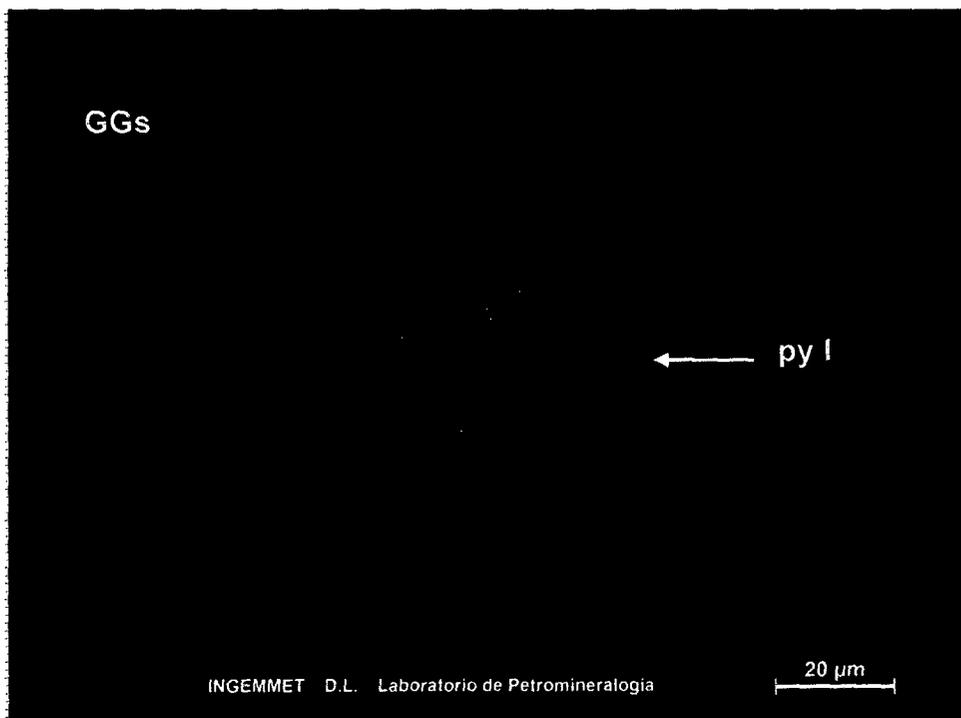
Las fotomicrografías que se presentan han sido tomadas en nícoles paralelos (Luz Natural).

Fotomicrografía 1:



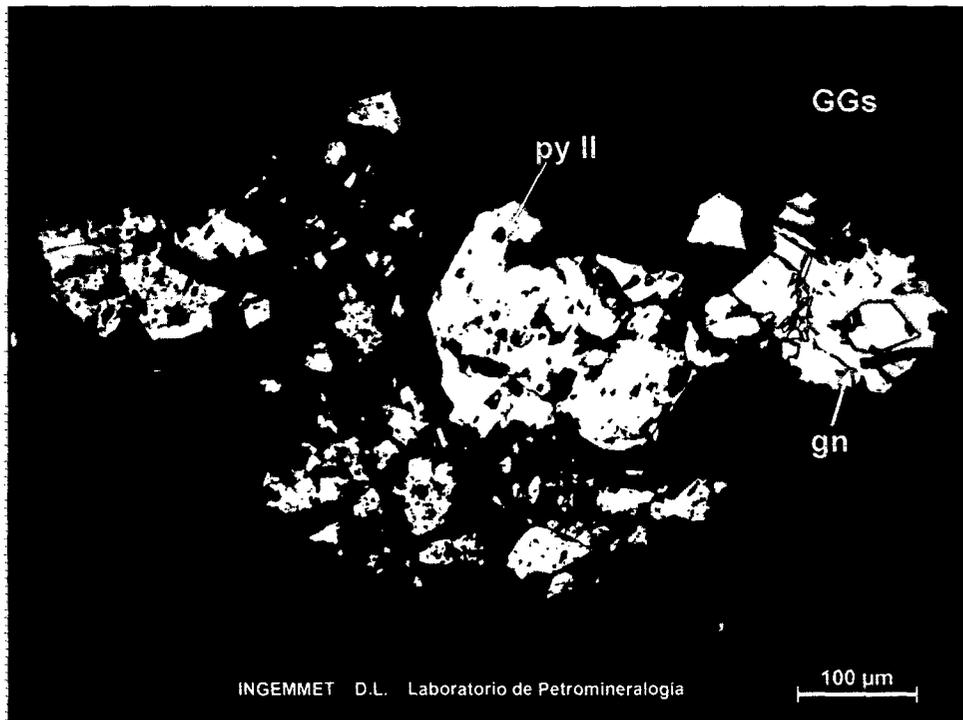
Remanentes de arsenopirita (apy) que ha sido reemplazada por esfalerita (ef), calcopirita (cpv) y tenantita (tnn) diseminada en gangas (GGs).

Fotomicrografía 2:



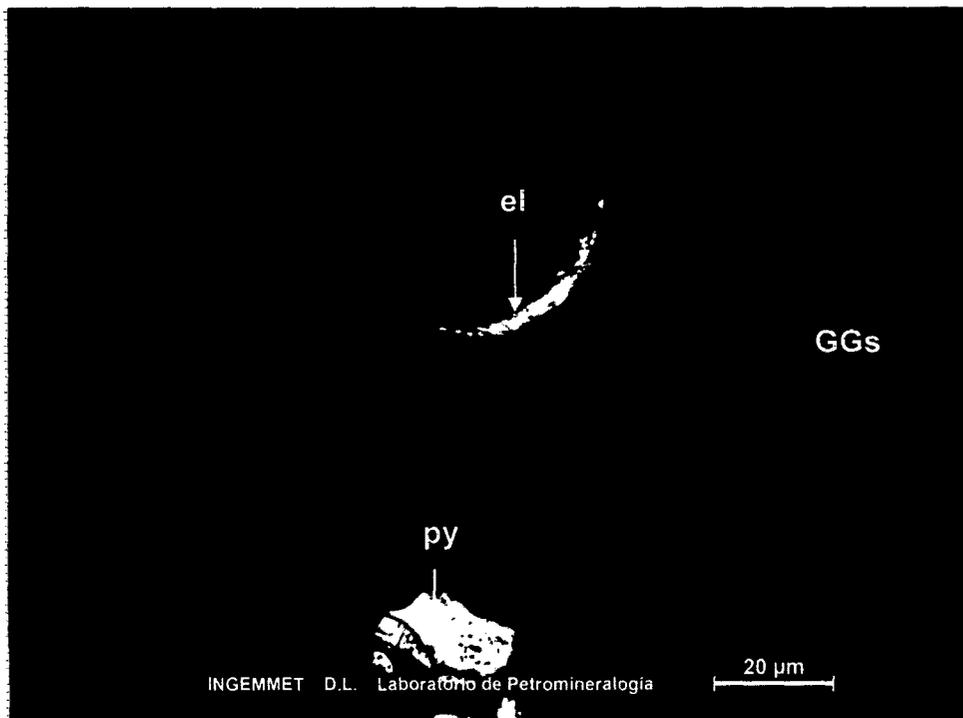
Agregados de pirita tramboidal (py I) se encuentra como diseminado en las gangas (GGs).

Fotomicrografía 3:



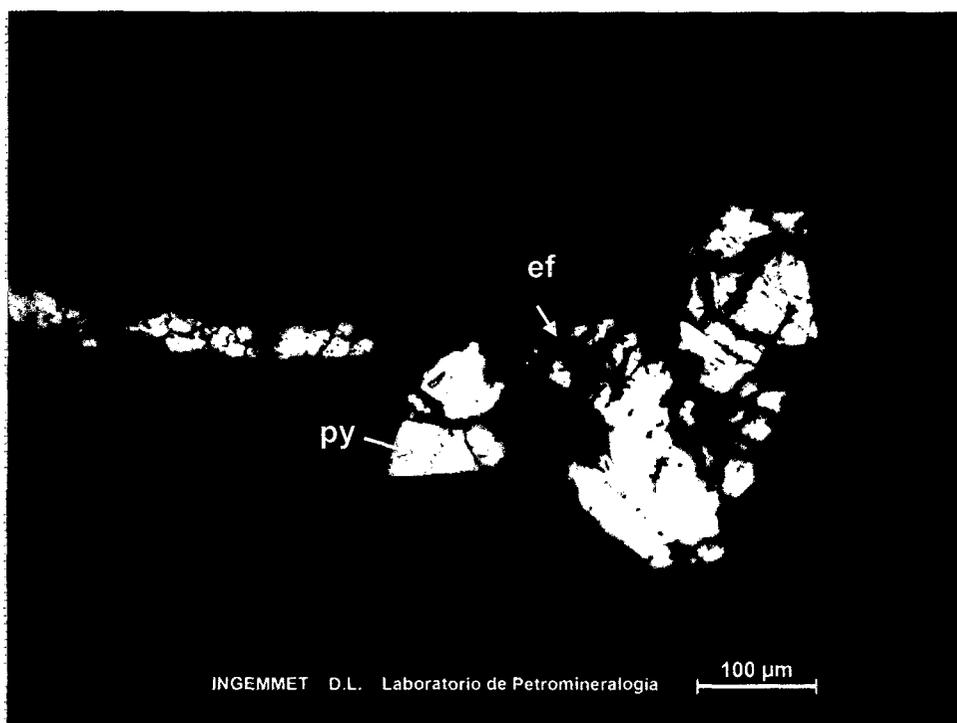
Cristales de pirita II (py II) siendo reemplazados por galena (gn) diseminado en gangas (GGs).

Fotomicrografía 4:



Cristales de pirita II (py II) siendo reemplazados por galena (gn).

Fotomicrografía 5:



Cristales de pirita (py) que han sido reemplazados por esfalerita (esf) a través de sus microfracturas.

Ana Luz Condorhuamán Suárez
Laboratorio de Petromineralogía
INGEMMET

4.5. Estudios especiales petrográficos

Muestra MP-01, procesado en Laboratorio de INGEMMET, Enero 2013

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Roca metamórfica color gris oscura con manchas blancas por presencia de carbonatos presenta textura foliada de esquistosidad baja. Constituida por cuarzo, micas, arcillas, sulfuros y material pelítico. Se presenta silicificada y fracturas rellenas por carbonatos, cuarzo y pirita.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Roca metamórfica de textura pizarrosa, constituida por microgranoblastos detríticos de cuarzo y algo de feldspatos, con sericita y arcillas intersticial. La roca adquiere una pizarrosidad generalizada mostrando niveles ricos en cuarzo, estas últimas producen zonas blancas y niveles más oscuros por la

| |
|---|
| <p>presencia de sericita, cloritas, arcillas y materia orgánica. Se observa microfracturas mayormente rellenas por cuarzo, carbonatos, minerales opacos y óxidos de hierro.</p> |
| <p>Cuarzo, microgranoblastos de formas anhedrales y subhedrales con tamaños menores a 0,10mm. Se encuentran dispuestos en bandas asociados con la sericita y arcillas.</p> <p>También encontramos cuarzo secundario de forma anhedrales y contactos suturados, con tamaños menores a 0,55mm. Se presenta como reemplazamiento asociado con los carbonatos.</p> |
| <p>Feldespatos, microgranoblastos de formas subhedrales con tamaños menores a 0,12mm. Se encuentran asociados al cuarzo y sericita.</p> |
| <p>Sericita, agregados de cristales ocurren entre los intersticios de cristales de cuarzo, asociadas a cloritas y muscovita por sectores.</p> |
| <p>Minerales opacos, de formas anhedrales, algunos redondeados, se presentan diseminados, y también en los bordes de las microfracturas rellenas por cuarzo y carbonatos, con óxidos de hierro en sus bordes, con tamaños menores a 1,2mm.</p> |
| <p>Presenta microfracturas continuas que cortan a toda la roca, con espesores de 0,5mm en promedio. Se encuentran rellenas por cuarzo, carbonatos y minerales opacos, estas se encuentran cortadas por otras microfracturas discontinuas y con espesores de 0,08mm en promedio, estas últimas rellenas principalmente por cuarzo y minerales opacos.</p> <p>Asimismo, la roca muestra por sectores reemplazamiento por cuarzo secundario, carbonatos, epidota y minerales opacos.</p> |

| | |
|---------|-----------|
| TEXTURA | Pizarrosa |
|---------|-----------|

| MINERALOGÍA | | | | |
|-------------------|----|------------------|-------|-------------------|
| ESENCIALES% | | ACCESORIOS% | | SECUNDARIOS |
| Cuarzo | 32 | Feldespatos | 9 | Sericita |
| Sericita | 12 | Minerales opacos | 8 | Carbonatos |
| Arcillas | 11 | Materia orgánica | 2 | Cuarzo secundario |
| Carbonatos | 10 | Muscovita | 1 | Óxidos de hierro |
| Cuarzo secundario | 10 | Cloritas | <1 | |
| | | Óxidos de hierro | Traza | |
| | | Epidota | Traza | |

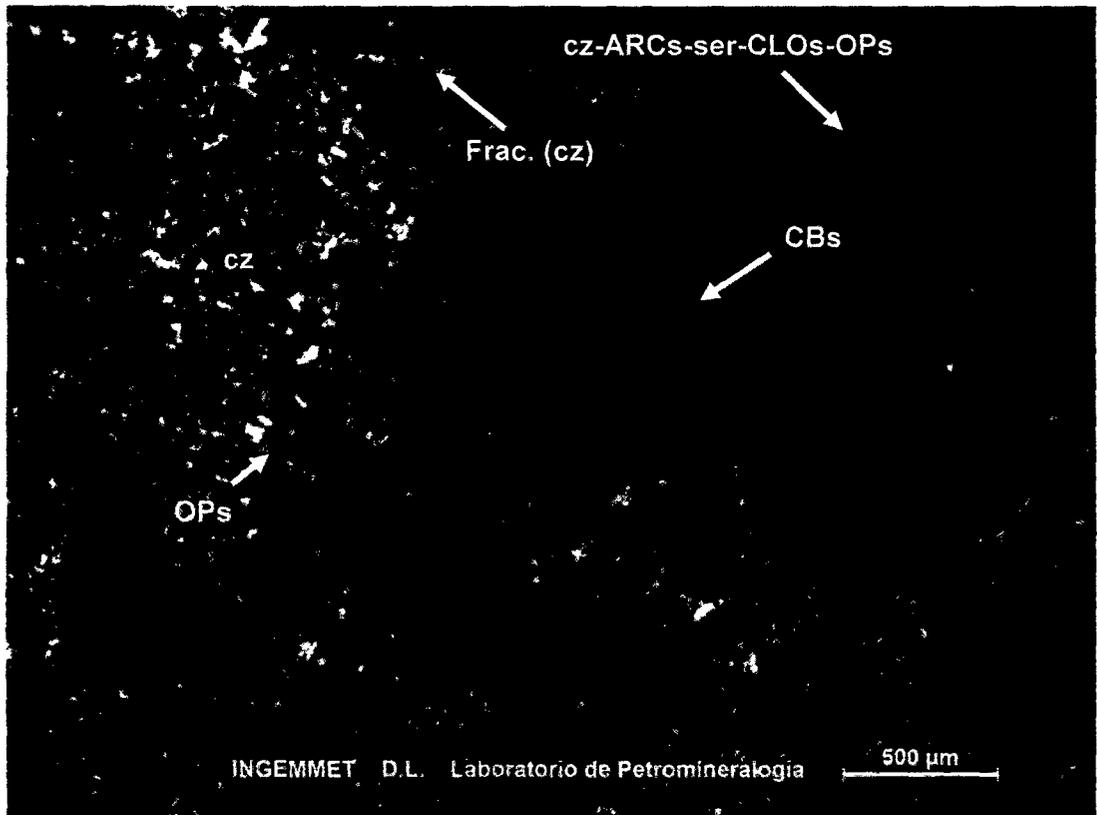
ALTERACIONES

Silicificación, sericitización, carbonatación moderado.

Oxidación incipiente.

FOTOMICROGRAFÍA/S

Fotomicrografía 6:



Muestra N° MP-01

NXs

Cristales de carbonatos como reemplazamiento (CBs), cuarzo secundario relleno microfracturas: Frac. (cz) y como reemplazamiento (cz), minerales opacos (OPs). Material fino constituido por de cuarzo, arcillas, sericita y minerales opacos: cz-ARCs-ser-CLOs-OPs.

Ana Luz Condorhuamán Suárez
Laboratorio de Petromineralogía
INGEMMET

4.6. Potencial de Generación de DAR

4.6.1. Potencial neto de neutralización, vetas 1, 2, 3 y estructura mineralizada

La evaluación del contenido de azufre como sulfuro y la prueba ácido-base en las muestras permite determinar el potencial neto de neutralización cuyos resultados se indican en el cuadro siguiente:

Tabla 4.6.

Potencial neto de neutralización, vetas 1, 2, 3

| Muestra puntual | pH en pasta | %S | PN | PA | PNN | PN/PA |
|-----------------|-------------|-------|-------|---------|----------|-------|
| Veta 1,2,3 | 6,6 | 46,17 | 47,50 | 1442,81 | -1395,31 | 0,03 |

Laboratorio UNI Universidad Nacional de Ingeniería - Lima

Tabla 4.7.

Potencial neto de neutralización, en estructura mineralizada

| Muestra estructura | pH en pasta | %S | PN | PA | PNN | PN/PA |
|-------------------------|-------------|------|-------|------|-------|-------|
| Estructura mineralizada | 6,9 | 0,01 | 18,13 | 0,31 | 17,82 | 58,48 |

Laboratorio UNI Universidad Nacional de Ingeniería - Lima

Dónde:

PN = Potencial de neutralización

%S = Porcentaje de azufre como sulfuro

PA = Potencial de acidez

PNN = Potencial neto de neutralización

PN, PA, y PNN están expresados en KgCaCO₃/TM y evaluados según:

**EXTRACTS FROM FIELDS AND LABORATORY METHODS APPLICABLE TO
OVERBURDEN AND MINE SOILS, U.S. EPA, 6000/2 - 78-054, 1978.**

Que $PNN = PN - PA$

- Si PNN > +20; la muestra NO GENERA DRENAJE ÁCIDO
- Si PNN < -20; la muestra GENERA DRENAJE ÁCIDO
- Si -20 < PNN < +20, muestra comportamiento INCIERTO

En las tablas 4.6. y 4.7. la determinación de PA, se efectúa a partir del porcentaje de azufre

$$PA = S \times 31,25$$

$$PA = 0,01 \times 31,25$$

$$PA = 0,31 \frac{kg CaCO_3}{t}$$

31,25 es la relación del peso molecular de carbonato de calcio y azufre como se muestra a continuación:

$$\frac{CaCO_3}{S} = \frac{100}{32} = 31,25$$

4.6.2. Posibilidad de drenaje ácido de muestra

Determinado en base a los resultados del potencial neto de neutralización de la muestra que depende del balance de minerales neutralizantes y sulfuros, considerando:

De acuerdo a estas consideraciones podemos establecer el comportamiento de la muestra en presencia de agua, oxígeno y actividad bacteriana, como se indica en la tabla siguiente:

Tabla 4.8.
Confirmación drenaje ácido, vetas 1, 2, 3 (muestra puntual)

| Muestra | Predomina | PN/PA | PNN KgCaCO ₃ /TM | Drenaje ácido |
|------------|-----------|-------|--------------------------------|---------------|
| Veta 1,2,3 | Sulfuros | 0,03 | -1395,31 | Si |

Laboratorio UNI Universidad Nacional de Ingeniería - Lima

De acuerdo a la tabla anterior la muestra puntual en sulfuro es potencialmente generador de drenaje ácido dado que PNN < -20 y PN/PA < 3

Tabla 4.9.

Determinación drenaje ácido, en estructura mineralizada

| Muestra | Predomina | PN/PA | PNN KgCaCO ₃ /TM | Drenaje ácido |
|---------|---------------------------------------|-------|--------------------------------|---------------|
| Veta | Silicatos con presencia de carbonatos | 58,48 | 17,42 | Incierto |

Laboratorio UNI Universidad Nacional de Ingeniería - Lima

De acuerdo a la tabla anterior la muestra en el ancho de toda la estructura (± 5.00 m.) tiene un comportamiento incierto en generación de drenaje ácido con tendencia a ser nula, dado que $PNN < +20$ y $PN/PA > 3$

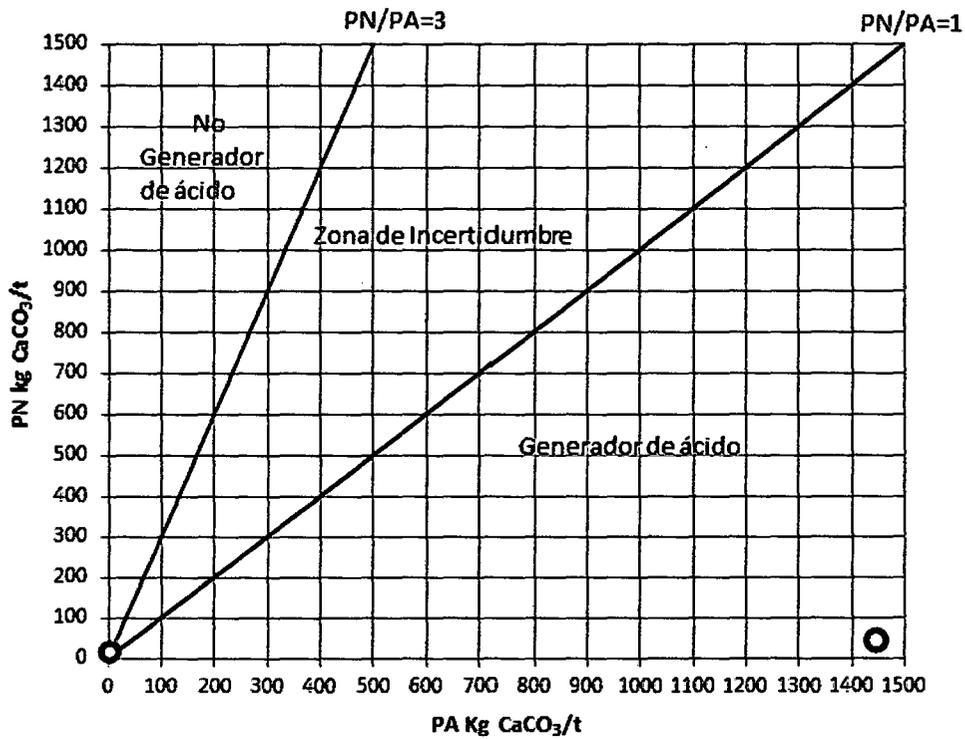


Fig. 4.11.
Gráfico Drenaje ácido de muestra puntual de veta

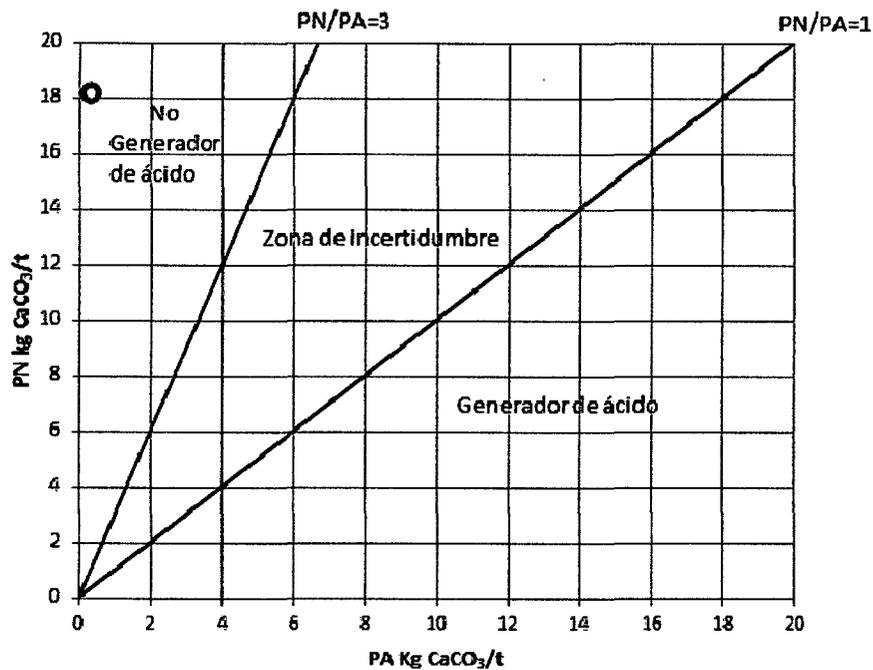


Fig. 4.12.
Gráfico Drenaje ácido de muestra de Estructura mineralizada

4.7. Estimación de la movilidad de los metales y la calidad química de lixiviados

La fuente de agua de las labores subterráneas es usualmente una combinación de agua subterránea e infiltración de la superficie.

Cuando el pH se vuelve ácido, este comienza a movilizar todos los iones metálicos produciéndose de esta forma la lixiviación de metales.

En los casos de labores, que así lo ameritan, luego del cierre, donde si se permite la inundación de las labores u obras, puede haber un arrastre inicial de contaminantes provenientes de los productos de oxidación almacenados. En el largo plazo, la inundación probablemente constituye el mejor mecanismo de control de la generación adicional de ácido.

Para el presente caso, tomando en cuenta que el material mineral no es potencial generador de drenaje ácido, asimismo la bocamina expuesta relativamente seca, las características hidrogeológicas de la estructura y rocas encajonantes poco favorables a la infiltración; hay baja probabilidad de que se produzca movilización de iones metálicos, manifestándose de esta forma su capacidad de autoneutralización, y casi inmovilidad a transporte y lixiviados del material mineral por efecto de las lluvias o aguas subterráneas.

CONCLUSIONES

1. Geológicamente se ha caracterizado como un depósito del tipo vetiforme, cuyo generador principal de la mineralización son intrusivos (dioritas Neógenas), y episodios volcánicos recientes son los responsables de traer consigo soluciones mineralizantes en contenidos metálicos en oro y plata y trazas de minerales de cobre que se depositaron a partir de una solución casi inmediatamente después del fracturamiento que afectó al cuarzo, a la pirita y arsenopirita de primera generación. Yacimiento y mineralización tipo, que se asocia a la posibilidad de generación de drenaje ácido de roca. Sin embargo el resultado de las pruebas ABA, para el potencial de acidez (PA) de la muestra (estructura mineralizada) en el área estudiada es: 0,31, lo que nos indica que el azufre como sulfuro es bajo en relación a los carbonatos existentes en el mismo lugar.
2. El potencial de neutralización (PN) para el mismo sector es: 18,13, alcalinidad alta de los componentes (Cajas y Estructura). El potencial neto de neutralización (PNN) para el mismo sector es: 17,82. Resultado que obedece al contenido básico de los componentes de las cajas de la estructura mineral.
3. Se establece que no es generador de ácido ($PN/PA = 58,48$) puesto que la relación del potencial neutro respecto al potencial de acidez es mayor a 3; así mismo de acuerdo al criterio de PNN, existe incertidumbre de generar ácido ($PNN = 17,82$) ubicándose el valor del potencial neto de neutralización en el rango de mayor a -20 y menor a $+20$. Por tanto el pasivo ambiental minero en el Cerro Yanaorcco, en las actuales condiciones de exposición es de bajo riesgo, no es una amenaza al medio ambiente que lo rodea. Por tanto el diagnóstico ambiental de los pasivos mineros del Cerro Yanaorcco es de bajo riesgo, puesto que la presencia de sulfuros en las vetas tienen como ganga, principalmente carbonatos, los cuales ayudan a la neutralización del contenido de acidez en los drenajes, además la veta se presenta muy compacta y aislada de oxígeno del ambiente, a la vez no fracturada o con granulometría fina como para que presente capacidad de reacción química elevada. Por lo que no es Potencial Generador de ácido de roca o mineral, consiguientemente en las condiciones actuales no existe posibilidad de generar Drenaje ácido de roca DAR, o drenaje ácido de mineral DAM.

RECOMENDACIONES

Siendo el diagnóstico ambiental de los pasivos mineros del Cerro Yanaorcco en las condiciones actuales de bajo riesgo, puesto que la posibilidad de generación de drenaje ácido es incierto con mayor tendencia a nulo; de existir interés en el yacimiento, previos estudios de geofísica, de darse resultados alentadores para proseguir las siguientes etapas de la actividad minera, se recomienda efectuar consiguientemente pruebas cinéticas, para determinar el comportamiento geoquímico del material a través del tiempo y por consiguiente las posibilidades de generación de DAR, con cuyos resultados de investigación se recomendarán como prevenir y mitigar el DAR para su reducción, como medidas de protección ambiental.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Bell P.D.-Gomez J.G.- Loayza C.E. -Pinto R.M. 2003. "GEOLOGY OF THE GOLD DEPOSITS OF THE YANACocha DISTRICT NORTHERN PERU".
- Corbett G.J. 2004. "EPITHERMAL Au-Ag THE MAGMATIC CONNECTION" Geoscience Australia.
- Corbett G.J. 2002. "EPITHERMAL GOLD FOR EXPLORATIONISTS". AIG Journal- Applied Geoscientific practice and research in Australia.
- Goldfarb, R. J.; Groves, D.I.& Gardoll, S. 2001. OROGENIC GOLD AND GEOLOGIC TIME: A GLOBAL SYSTEMS. ORE GEOLOGY REVIEW, Vol. 18 1-75.
- Groves, D.I., and Goldfarb. 2007. THE ROLE OF EXHUMATION IN THE TEMPORAL DISTRIBUTION OF ORE DEPOSIT A DISCUSSION. Society of Economic Geologist, inc. Economic geology, V 102, pp. 155-158.
- Hedenquist, J. 2005. "EPITHERMAL SYSTEMS" Ottawa, Canada.
- Mamani et al., 2012.ARCOS MAGMÁTICOS MESO-CENOZOICOS DEL PERÚ, XVI Congreso Peruano de Geología, Lima Perú.
- Nelson, P.E. 2003. "GEOLOGIA ESTRUCTURAL APLICADA A LA EXPLORACION". Colorado School of Mines, Nevada.
- Pirajno, F. 2001. "HYDROTHERMAL MINERAL DEPOSITS". Lima-Perú.
- Rivera M.H. 2001. "GEOQUIMICA". Lima-Perú.
- Sillitoe, H.R.-Perello, J.-Vidal E.C. 2004. "ANDEAN METALLOGENY NEW DISCOVERIES, CONCEPTS, AND UPDATES". Special Publications of the Society of Economic Geologists.
- Murray Moncrieff, Vaughn. 2006 "THE EFFECT AND ECONOMICS OF THE USE OF PERMANGANATE PASSIVATION ON ACID ROCK DRAINAGE AS DEMONSTRATED IN THE EPA'S MULTI-CELL TECHNOLOGY EVALUATION AT THE GILT EDGE MINE SITE", University of Nevada.
- Rehm J. y Reed G., 2001. BIOTECHNOLOGY, second edition, Germany.
- Mejía Restrepo, Erica. 2010. MINERALOGÍA DEL PROCESO DE LIXIVIACIÓN BACTERIANA DE CALCOPIRITA (CuFeS₂), ESFALERITA (ZnS) Y GALENA (PbS). Tesis. Universidad Nacional de Colombia.
- Wolkersdorfer, Christian. 2006. WATER MANAGEMENT AT ABANDONED FLOODED UNDERGROUND MINES. Germany.
- Lottermoser, Bernd G. 2010. MINE WASTES: CHARACTERIZATION, TREATMENT AND ENVIRONMENTAL IMPACTS. 3rd Edition, Springer, Australia.

- Bologo V., Maree JP and Carlsson F. 2012. APPLICATION OF MAGNESIUM HYDROXIDE AND BARIUM HYDROXIDE FOR THE REMOVAL OF METALS AND SULPHATE FROM MINE WATER. Department Environmental, Water and Earth Sciences, Tshwane University of Technology. South Africa.
- Hammarstrom, J.M. et al. 2005. SECONDARY SULFATE MINERALS ASSOCIATED WITH ACID DRAINAGE IN THE EASTERN US: recycling of metals and acidity in surficial environments. Chemical Geology. 215. 407-431.
- Chris Mills, M.Sc., P.Eng. 2013. ACID-BASE ACCOUNTING (ABA) TEST PROCEDURES.