

# CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS MICROSCÓPICO DE MUESTRAS MINERALIZADAS DE SAN MIGUEL DE UNTUCA, SANDIA-PUNO

Roger Gonzales A., Miguel Calcina B., Erasmo Carnero C. Roberto Zegarra P.

Universidad Nacional del Altiplano Puno (UNAP). Av. Sesquicentenario s/n.

## RESUMEN

El yacimiento minero San Miguel de Untuca (SMU), se encuentra emplazado en la Cordillera Real al sur de los Andes peruanos, las rocas cajas de la mineralización son de edad Paleozoico inferior y corresponde a pizarras y filitas de la Formación Sandia. Las muestras para el estudio microscópico se obtuvieron en los sectores de Santa Rosa, Llactapata, Huancasaya y San Miguel, ubicados en el Distrito de Quiaca de la Provincia de Sandia de la Región Puno.

Según el estudio microscópico de la roca caja se identificó texturas de tipo granoblástica a lepidoblástica de grano fino alotriomórfica, constituida por minerales de cuarzo, clorita, moscovita y minerales opacos. El estudio mineragráfico de los mantos de cuarzo ahumado muestran minerales según orden de abundancia de pirrotina (Po), calcopirita (Cpy), covelina (Cv), pirita (Py), melnicovita (Mlta) y oro nativo (Au). La pirrotina se presenta en bandas concéntricas de tipo coloforme que envuelve a cristales euhedrales a subhedrales de calcopirita; los cristales de covelina rodean a los de calcopirita con bordes de reacción. El oro tiene formas anhedrales y ocurren en diseminaciones dentro del cuarzo ahumado y en el contacto entre la pirrotina y cuarzo. La pirrotina contiene grietas de contracción y microfrazas. Por el modo de ocurrencia de los sulfuros se interpretan al menos dos eventos mineralizantes. Estudios anteriores de tipo geológico estructural hecho en la zona demuestran áreas de cizallamiento y cataclasis relacionados a mineralización aurífera.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación da a conocer resultados de estudios que se están haciendo en la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica (EPIG) de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno (UNAP) en muestras para estudio microscópico del Yacimiento Minero San Miguel de Untuca; esto con la finalidad de caracterizar geológicamente los metalotectos formaciones Sandia y Ananea, en cuanto a su mineralización en la Región de Puno.

La metodología consistió en la toma de muestras y mapeo geológico de zonas mineralizadas que actualmente se encuentran en explotación aquí; se obtuvieron 45 muestras para análisis geoquímico, de las cuales se escogieron 13 muestras para secciones delgadas y 13 muestras para secciones pulidas. Los resultados obtenidos se mencionan en los párrafos siguientes.

## CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL Y LOCAL

Los afloramientos observados en la zona de estudio pertenecen a la Formación Sandia, esta unidad estratigráfica enmarca la totalidad del área de estudio, cuya litología corresponde a una secuencia de cuarcitas, interdigitadas con niveles de pizarras negras y filitas; el contacto con la unidad estratigráfica infrayacente no se observa, mientras que el contacto suprayacente es con la Formación Ananea a través de un sobrescurrimiento (CHÁVEZ *et al.*, 1996). Descripciones mineragráficas hechas por MIRANDA (1980) en la Mina Rinconada indican relleno de fractura y ocurrencia masiva de sulfuros similares a la zona estudiada. BONNEMAISON *et al.* (1983) refiriéndose a San Miguel de Untuca indican que la tectónica Eohercinica estuvo algo más intensa que en la zona de la Rinconada, las rocas presentan foliación metamórfica marcada con aparición de biotita.

La **geología local** de la zona muestra secuencias de pizarras y cuarcitas que se intercalan con algunos niveles de filitas carbonosas con diseminaciones de sulfuros de hierro y sulfuros de arsénico. Estos afloramientos se presentan como franjas de espesores métricos a la foliación de las pizarras y filitas en los sectores de Huancasaya, San Miguel, Santa Rosa y Llajtapata. Los tipos de litología indicados fueron afectadas por metamorfismo de bajo grado, hidrotermalismo y orogenias que trajeron deformaciones en dúctiles y otras frágiles. Las quebradas están cubiertas por depósitos de origen

glaciar (GONZALES *et al.*, 2012). El marco tectónico estructural se basó en interpretaciones hechas por el INGEMMET y estudios anteriores realizados por los suscritos en la zona de estudio; aquí se reconocieron tres controles estructurales de nivel regional, de las cuales una de ellas corta el área de estudio con orientación de N40° a 45°E y presenta un buzamiento sub vertical con tendencia hacia el NW. Dos estructuras adicionales en régimen frágil se observan también con extensión regional; una de ellas tiene dirección de N50°E, que se comporta casi paralela a la estructura que ya se mencionó líneas arriba. En el sector NE de la concesión (sector Huancasaya) existe otra falla que corta a las dos estructuras con dirección N115°E.

### **ANÁLISIS MICROSCÓPICO**

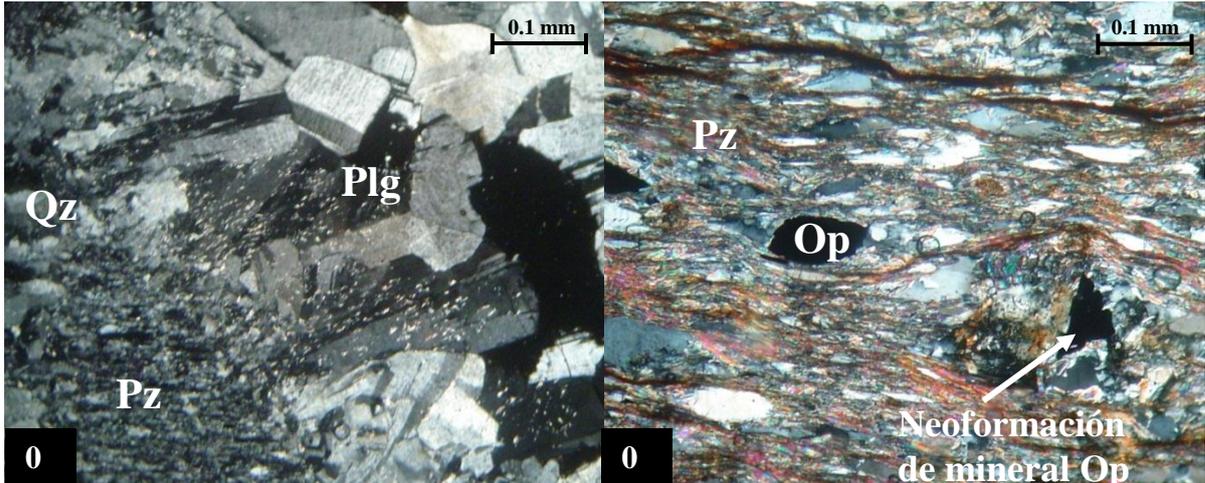
La roca caja conformada por pizarras, muestran blastos de cuarzo de hábito alargado fino alotriomorfo rodeada por las micas que siguen la orientación de la foliación. Las micas presentan un hábito fibroso fino y corresponde a muscovita, clorita y arcillas de color pardo oscuro (probablemente montmorillonita); en los planos de foliación se distinguen laminillas de material oscuro de aspecto listonado corto interpretado como materia orgánica. También se observan fenoblastos de plagioclasa de hábito columnar subidiomórfico a alotriomorfo que se encuentran en venillas cortando discordantemente a la foliación. Las plagioclasas presentan incipiente desarrollo de maclas y alteración sericítica.

Los minerales de cuarzo estudiados, presentan fenoblastos de cuarzo cristalino alotriomórfico con bordes angulares de +/- 120°, con ángulos de extinción ondulante (fotomicrografías 01 y 02). Entre los contactos de los granos se observa cuarzo microcristalino, lo que indica que hubo recristalización durante el proceso de metamorfismo junto a la roca caja. Los minerales opacos están presentes en contacto con el cuarzo de grano fino emplazado en las fisuras como relleno. Se observan también pequeños cristales de moscovita de relieve bajo con hábito fibroso que ubican en la intersección de los blastos de cuarzo generando sombras de presión.

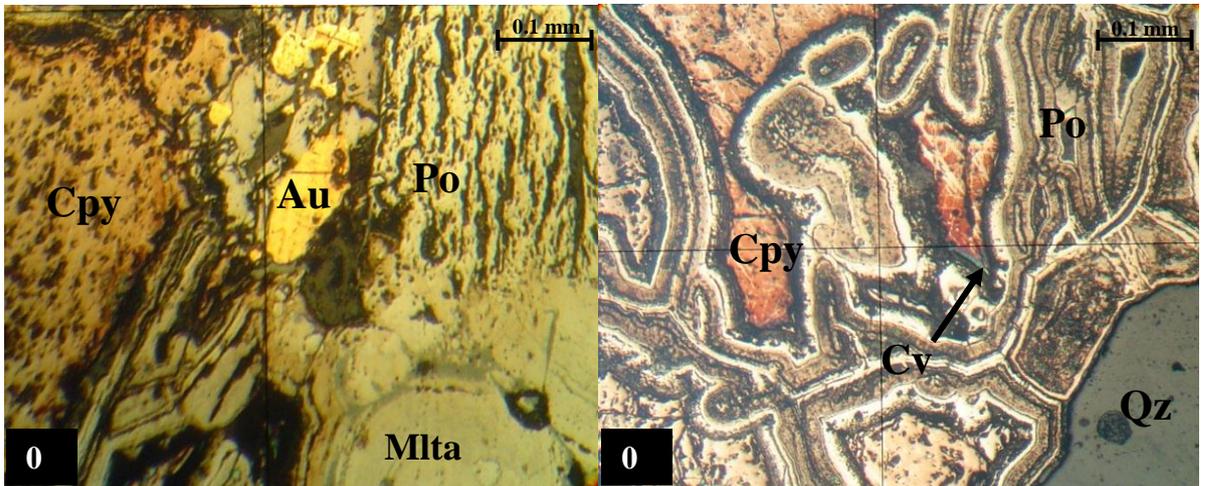
En cuanto a la **mineralización**, dentro del área de trabajo se reconoció macroscópicamente minerales de sulfuros de Fe y Cu como arsenopirita, pirrotita y calcopirita; los dos primeros casi siempre relacionados a la ocurrencia de oro. Su forma de presentación es masiva y diseminada tanto en la roca caja o en el mismo cuarzo ahumado, los cristales de estos minerales es de forma anhedral a subhedral. Las partículas de oro tienen diámetros de 1 a 5 mm, generalmente están asociados al cuarzo ahumado, mientras tanto el oro diseminado está relacionado a la pirita y pirrotita.

En **sección pulida** se tiene minerales según orden de abundancia de pirrotina (Po), calcopirita (Cpy), covelina (Cv) y oro (Au). La pirrotina presenta bandas concéntricas de difusión que indica una textura de tipo coloforme (fotomicrografía 03) y envuelve cristales euhedrales a subhedrales de calcopirita; los cristales de covelina rodean a los cristales de calcopirita causando bordes de reacción. El oro tiene formas anhedrales y ocurren en diseminaciones dentro del cuarzo ahumado y entre el contacto entre la pirrotina y cuarzo (fotomicrografía 03 y 04). Se observa también arsenopirita que muestran “puntos triples” con textura granoblástica lo que indica recristalización metamórfica. La textura coloforme es indicativa de formación de minerales en espacios abiertos por depositación coloidal (CRAIG y VAUGHAN, 1994), así mismo corrobora lo dicho la existencia de grietas de contracción en pirrotita.

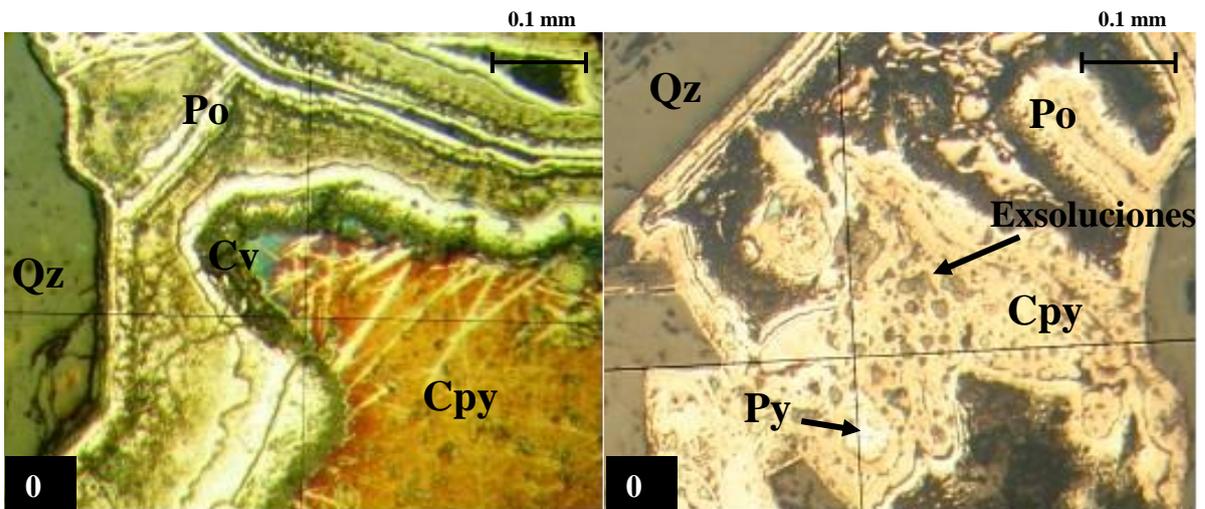
Existe reemplazamiento de calcopirita por pirrotina, se indica esto por la presencia de frentes o entrantes cóncavos a partir de fracturas pre existentes, estas entrantes parecen mostrar que el mineral reemplazante estuviera corroyendo al huésped (ver fotomicrografía 04 y 05). El fenómeno mencionado indica que al menos en la zona de estudio ocurrieron dos eventos de mineralización diferentes, el último al parecer presenta temperaturas relativamente altas que guarda relación estrecha con la precipitación y/o formación de oro.



**Fotomicrografías 01 y 02:** Plagioclasas (Plg) y cuarzo (Qz) que se formaron a partir de una recrystalización; las plagioclasas presentan maclas que terminan en cuña. Minerales opacos (Op) que se alinean y originan por metamorfismo en planos de foliación de pizarra (Pz), (luz transmitida con objetiva 10x).



**Fotomicrografías 03 y 04:** Textura coloforme y diseminaciones de pirrotita (Po), calcopirita (Cpy) y oro nativo (Au) de la Mina Santa Rosa, (luz reflejada con objetiva 10x).



**Fotomicrografías 05 y 06:** Superficies cóncavas hacia el mineral pre existente y exsoluciones de covelina (Cv) en pirrotita (Po). Aquí se deduce por las superficies cóncavas, que la pirrotita (Po) reemplaza a calcopirita (Cpy), (luz reflejada con objetiva 20x).

La pirita rellena microfracturas en cuarzo ahumado y forma parte de reemplazamiento de calcopirita (ver fotomicrografía 06); cabe decir que la mayoría de los cristales de sulfuros presentan microfracturamientos de régimen frágil.

También se reconocieron exsoluciones de covelina en cristales de pirrotita y calcopirita que indica reemplazamiento de Fe por difusión a partir de una solución que contiene Cu, con fugacidad de azufre (ver fotomicrografía 06). Las exsoluciones se producen a alta temperatura siendo la pirrotita mineral de alta T° y en minerales con estructura cristalina parecida (CRAIG y VAUGHAN, 1994). Los *blebs* (textura de exsolución) son pequeñas inclusiones “globos” que ocurren con tamaños variables en calcopirita, pirrotita o estannita en esfalerita, PICOT (1983), ver fotomicrografía 06.

Teniendo en cuenta la presencia de melnikovita “*Bird’s eyes*” que está relacionado a pirrotita en dos muestras (ver fotomicrografía 03), se puede mencionar que un evento hidrotermal también se produce durante fenómenos metamórficos. En cuanto a la presencia de covelina, esta puede ser explicada por la presencia de sulfuros de hierro (pirita) en niveles superiores pizarrosos los cuales se oxidan y producen aguas acidas que alteran a cristales de calcopirita; no está de más decir que el yacimiento SMU está bajo nieve la mayor parte del año.

## CONCLUSIONES

- La roca caja está constituida por pizarras negras y filitas de estructura foliada pizarrosa y de textura granolepidoblástica constituida por minerales de cuarzo, moscovita y clorita asociada a arcillas oscuras (montmorillonita). La roca caja es atravesada por venillas de feldespatos de origen metamórfico que están asociados a cuarzo.
- En secciones pulidas se tienen los minerales según orden de abundancia de pirrotina (Po), calcopirita (Cpy), covelina (Cv), pirita (Py) y oro (Au).
- La pirrotina presenta bandas concéntricas de difusión que indica una textura de tipo colorme y envuelve cristales euhedrales a subhedrales de calcopirita; los cristales de covelina rodean a los de calcopirita con bordes de reacción. Además existen exsoluciones de covelina que indica fenómenos de difusión en estado sólido y/o por fluido de alta temperatura.
- La pirrotita colorme puede ser llamada también melnikovita.
- El oro tiene formas anhedrales y ocurren en disseminaciones dentro del cuarzo ahumado y entre el contacto entre la pirrotina y cuarzo. A veces ocurre dentro de pirrotita y cuarzo ahumado.
- Se tienen al menos dos eventos mineralizantes diferentes y reemplazamiento de calcopirita por pirrotita.
- Mineralización relacionada a eventos de cizallamiento y cataclasis en dominio dúctil, los cuales son afectados por últimas deformaciones en régimen frágil.

## REFERENCIAS

1. Bonnemaïson, M.; Fornari, M.; Galloso, A.; Herail, G.; Jungbluth, R.; Laubacher, G.; Vergara, J.; Zegarra, J. (1983) Oro Primario y Oro Detrítico en la Cordillera Oriental del Perú, El Papel de la Geomorfogénesis en la Formación de Placeres: ORSTOM e INGEMMET: Reporte final
2. Chavez, A.; Salas, G.; Cuadros, J.; Gutierrez, E. (1996) Geología de los Cuadrángulos de Putina y la Rinconada. INGEMMET: Seria A: Carta Geológica Nacional (boletín 66), Fimart S.A.
3. Craig, J. Y Vaughan, D (1994) Ore Microscopy & Ore Petrography. Second edition. USA. Jhon Wiley & Sons INC.
4. Gonzales, R.; Soto, M.; Carnero, E.; Calcina M.; Aquino, A. (2012) Caracterización Estructural y Deformacional en los Mantos Auríferos de Llapata, Huancasaya y San Miguel, Distrito de Untuca; Departamento de Puno - sur del Perú. Artículo del Congreso de Geología.
5. Miranda, C. (1980) Informe Mineragráfico de La Rinconada. INGEMMET.
6. Picot, P Y Johan, Z. (1982) Atlas of Ore Minerals. Orleans - Francia. B.R.G.M.



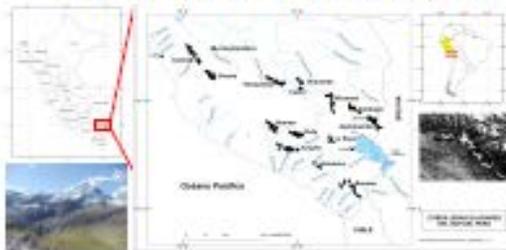
## CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS MICROSCÓPICO DE MUESTRAS MINERALIZADAS DE SAN MIGUEL DE UNTUCA, SANDIA-PUNO

Roger González A., Miguel Calina B., Renato Carrasco C., Roberto Zúñiga P. Universidad Nacional del Altiplano Puno (UNAP), Av. Emancipación 404.

### RESUMEN

El presente trabajo de investigación da a conocer resultados de estudios que se están haciendo en la Facultad Profesional de Ingeniería Geológica (EPIG) de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno (UNAP) en muestras para estudio microscópico del Yacimiento Mineral San Miguel de Untuca (SMU). Este yacimiento mineral, se encuentra emplazado en la Cordillera Real al sur de los Andes peruanos, las rocas cajas de la mineralización son de edad Paleozoico inferior y corresponde a pizarras y filitas de las formaciones Sandia y Anasay. En los estudios de microscopía óptica en luz transmitida se identificó pizarras y filitas de texturas granoblastica y algunas fenocristos de cuarzo asociados a minerales de cuarzo fino, clorita, moscovita y minerales opacos. En el estudio de luz reflejada se reconocieron minerales como pirrotita (Py) - piritita (Py), calcopirita (Cpy), melnicovita (Mta) y oro nativo (Au). La metodología consistió en la toma de muestras y mapas geológico de zonas mineralizadas que actualmente se encuentran en explotación aquí; se obtuvieron 45 muestras para análisis geoquímico, de las cuales se escogieron 13 muestras para secciones delgadas y 13 muestras para secciones pulidas.

### MAPA DE UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO



### MARCO GEOLÓGICO REGIONAL



**Formación Sandia**- muestra la totalidad del área de estudio, cuya litología corresponde a una sucesión detritica de cuarcitas, estratificadas con niveles de pizarras negras. Descripciones microscópicas hechas por Chavez et al., (1996) demuestran la presencia de pizarras negras de cuarzo producido durante la foliación S1.

**Formación Anasay**- consta de una sucesión homogénea y monolítica de pizarras negras en paquetes de 20 hasta 80 cm de espesor. Esta Formación es afectada por una esquistosidad de folio (S1) subparalela a la estratificación S0, desarrolla también micropliegues de tipo Chevron de tamaño centimétrico cuyas direcciones de sus ejes son N10°E y acambramiento NE-SO, Chavez et al (1996).

### CARACTERIZACIÓN LITOLÓGICA Y ESTRUCTURAL



Foto 01: Cataclasis en regiones de deformación frágil con posible exfoliación de fluidos hidrotermales, además tiene componentes detritales; presenta diamas angulosos de pizarra en matriz de cuarzo y feldospatos recristalizados (Factor San Miguel).

Foto 02: Estructura cristalizada que presenta grietas tensionales tipo fisal (R1, R2) con relieve de cuarzo de origen metamórfico, esta zona de fisal tiene una dirección N115°E (Factor Haucosaya).



Teniendo en cuenta la presencia de melnicovita "bird's eye" que está relacionado a pirrotita en dos muestras (ver fotomicrografía 14), se puede mencionar que un evento hidrotermal también se produce durante filonitos metamórficos. En cuanto a la presencia de corvinita, esta puede ser explicada por la presencia de sulfuros de hierro (pirita) en niveles superiores pizarras los cuales se oxidan y producen aguas ácidas que alteran a cristales de calcopirita; no está de más decir que el yacimiento SMU está bajo nivel la mayor parte del año. La coexistencia de productos intermedios como melnicovita, con texturas concéntricas características conocidas como bird eyes. Con frecuencia, esta alteración da lugar a la sustitución de pirrotita o piritita. Por alteración epigenética la pirrotita produce una mezcla de pirita y marcasita con texturas concéntricas y en condiciones oxidantes se reemplaza por una mezcla de pirita y magnetita (o hematita) asociado con marcasita (Flour & John, 1982). Del análisis metalúrgico deducimos que hay asociaciones de (Au-Ag-Bi), (Cu-P-Sb), cuyos valores en ppm son Ag(8,3-6,7), Au(17-407), Bi(3-18), Cu(17-31), Mn(156-336), Pb(46-470), Pb(6-68), Zn(22-123), Sn(3-464), en porcentaje Ca(0,01-0,07), Sr(0,05-0,86), Fe(2,3-4,36).

### CONCLUSIONES

La roca caja está constituida por pizarras negras y filitas de estructura foliada pizarrosa y de texturas granolíticas constituida por minerales de cuarzo, moscovita y clorita asociada a sulfuros oscuras (magnetita/roseta). La roca caja es atravesada por venillas de feldospatos de origen metamórfico que están asociados a cuarzo.  
En secciones pulidas se tienen los minerales según orden de abundancia de pirrotita (Py), calcopirita (Cpy), piritita (Py) y oro (Au).  
La pirrotita presenta bandas concéntricas de difusión que indica una textura de tipo coliforme y sensible cristales subradiales a subhaciales de calcopirita; los cristales de corvinita median a los de calcopirita con bordes de reacción. Además existen asociaciones de corvinita que indica fenómenos de difusión en estado sólido y/o por fluido de alta temperatura.  
La pirrotita y piritita coliformes puede ser llamada también melnicovita.  
El oro tiene formas abastadas y ocurre en diseminaciones dentro del cuarzo abastado y sobre el contacto entre la pirrotita y cuarzo. A veces ocurre dentro de pirrotita y cuarzo abastado.  
Se tienen al menos dos eventos mineralizantes diferentes y reemplazamiento de calcopirita por pirrotita.

### BIBLIOGRAFÍA

- CLAVET, A.; SALAS, G.; CUADROS, J.; GUTIERRES, E. (1996) Geología de las Cuadrigas de Putina y la Rincónada. INGEMMET. Serie A: Carta Geológica Nacional (Boletín 66), Finanzas S.A.
- CRAGG, T. y VAUGHAN, D. (1994) Ore Microscopy & Ore Petrography. Second edition. USA. John Wiley & Sons Inc.
- GONZALEZ, R.; SOTO, M.; CARNERO, J.; CALCINA M.; AQUINO, A. (2012) Caracterización Estructural y Deformacional en los Mantos Auríferos de Uchajata, Haucosaya y San Miguel, Distrito de Untuca; Departamento de Puno -sur del Perú. Artículo del Congreso de Geología.

### RESULTADOS

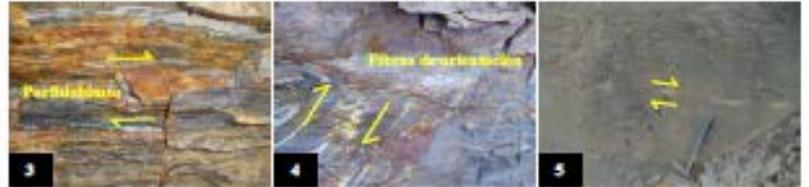
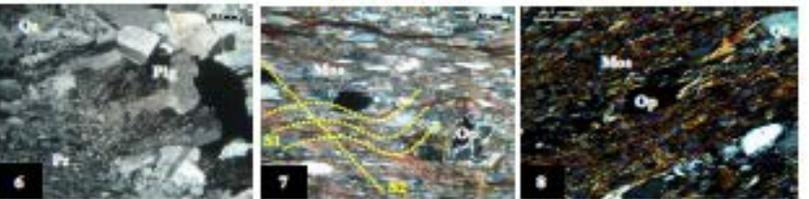


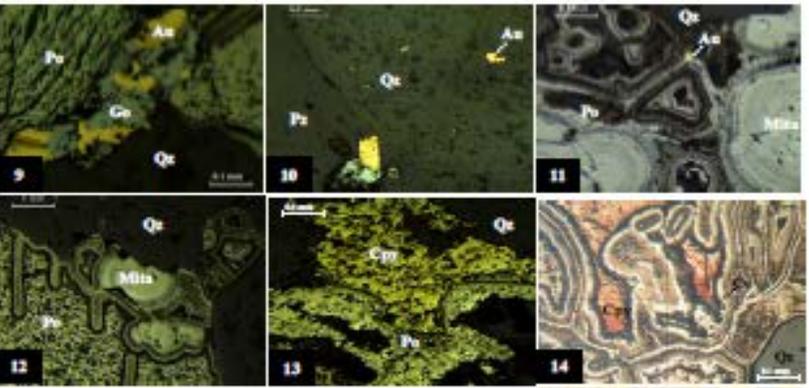
Foto 3: Porfido blastos de cuarzo abastado en filita, contiene mineralización sulfúrea y un movimiento de sinclinalismo.  
Foto 4: Estructura semi frágil a semi dúctil o fibra de orientación de cuarzo lechoso que refleja una zona de cisallamiento con orientación dorsal en pizarras algo esquistadas.  
Foto 5: Nivel de filonita con presencia de porfido blastos de cuarzo lechoso, contiene también mineralización de sulfuros y oro.

### PETROGRAFÍA



Fotomicrografía 6. Plagioclasas (Plg) y cuarzo (Cz) que se formaron a partir de una recristalización; las plagioclasas presentan nucleos levemente abastados con terminación en cónos. Luz transmitida con objetivo 10x.  
Fotomicrografía 7. Filita de textura lapidolítica; se observan blancos de cuarzo. (Cr) alargados, moscovita (Mos) y minerales opacos (Op) que se alisan según foliación de pizarra (Pz) S1. Luz transmitida con objetivo 10x.  
Fotomicrografía 8. Porfido blastos de cuarzo asociados a opacos, bordados por mica y microcristales de cuarzo; presentan un estrechamiento en la dirección de la foliación. El cuarzo recristalizado esta presente en venillas de variadas dimensiones alotomórfico, de texturas granoblastica.

### MINERAGRAFÍA



Fotomicrografía 9 y 10. Oro (Au) libre, que está generalmente asociado a piritita (Py), pirrotita (Po), goethita (Go), cuarzo abastado (Cr). Según análisis ICP-OES, muestras valores de 0.46 a 2.93 g/t. Luz reflejada con objetivo 10x.  
Fotomicrografía 11. Melnicovita (Mta): color amarillo-blanco, presenta una textura coliforme y masas botroidales con modificación ritinica y con frecuencia imita texturas fibrosas. Luz reflejada con objetivo 10x.  
Fotomicrografía 12. Piritita (Py), presenta un color amarillo claro intenso, con una textura alotomórfica, semejante a la pirrotita. La piritita tiende a desarrollar una textura celular resultado de un reemplazamiento epigenético de materia orgánica. Luz reflejada con objetivo 10x.

Fotomicrografía 13. Pirrotita (Po) de color amarillento claro con alta reflectancia, con superficies porosas, emplazado entre las fracturas del cuarzo en cuyo contorno se encuentra el oro. Calcopirita (Cpy), presenta un color amarillo intenso asociado a la Pirrotita-Pirita. Luz reflejada con objetivo 10x.

Fotomicrografías 14 y 15. Superficies cónicas hacia el mineral pre existente y asociaciones de corvinita (Cv) en pirrotita (Po). Aquí se deduce por las superficies cónicas, que la pirrotita (Po) reemplaza a calcopirita (Cpy). Luz reflejada con objetivo 10x.

### DISCUSIONES

La pirita refleja microfracturas en cuarzo y forma parte de reemplazamiento de calcopirita (ver fotomicrografía 14), cabe decir que la mayoría de los cristales de sulfuros presentan microfracturas de origen frágil. También se reconocieron asociaciones de corvinita en cristales de pirrotita y calcopirita que indica reemplazamiento de Po por difusión a partir de una sustancia que contiene Cu, con fugacidad de azufre (ver fotomicrografía 15). Las asociaciones se producen a alta temperatura siendo la pirrotita mineral de alta T° y en minerales con estructura cristalina parecida (CRAGG y VAUGHAN, 1994). Las micas (textura de asociación) son pequeñas inclusiones "gibosas" que ocurren con tamaños variables en calcopirita, pirrotita o asociada en sulfetita, PICHOT (1982), ver fotomicrografía 15.