



Caracterización espectral y mineralógica de la franja metalogenética de los depósitos epitermales de oro y plata

Dina Huanacuni, Juan Casas, y Jorge Acosta

INGEMMET, Dirección de Recursos Minerales y Energéticos. Av. Canadá 1470, San Borja, Lima, Perú (dhuanacuni@ingemmet.gob.pe)

1. Introducción

En el sur del Perú, los yacimientos epitermales de oro y plata de alta sulfuración muestran características geológicas especiales y están hospedados principalmente en rocas volcánicas del Mio-Plioceno. Su descubrimiento se debe al desarrollo de diferentes herramientas de prospección como la geoquímica, geofísica, y sensores remotos, los cuales se han aplicado en las diversas campañas de exploración. En este trabajo se presenta un ejemplo de aplicación con imágenes ASTER.

El INGEMMET se encuentra realizando el estudio de la geología de la Cordillera Occidental del sur del Perú y su relación con los recursos minerales. Entre los departamentos de Puno, Moquegua y Tacna existen zonas con anomalías de alteración hidrotermal detectadas con imágenes de satélite ASTER. Para la comprobación de resultados se ha utilizado el espectrómetro infrarrojo portátil PIMA/SP que identifica las asociaciones de minerales de alteración hidrotermal.

El área de estudio está ubicada en la zona sur del territorio peruano. Se enmarca entre las coordenadas geográficas 70°00'-70°30' de longitud Oeste y 16°30'-17°00' de latitud Sur, entre los departamentos de Tacna, Moquegua y Puno. Morfoestructuralmente está situado entre el arco del Barroso y el Altiplano andino.

2. Marco geológico regional

La zona de estudio se encuentra ubicada en la parte central de la Cordillera suroccidental, específicamente en la parte central de la cadena volcánica del Sur, cuya conformación fue adquirida durante el Cenozoico y se caracterizó por varias etapas de efusión (básicas y ácidas),

siendo la última etapa del Grupo Barroso.

Las rocas que afloran en el área de estudio corresponden a unidades que se describen a continuación.

2.1. Grupo Puno

Esta unidad corresponden a secuencias volcanoclásticas de característico color rojo-violáceo. Se expone rellenando depresiones y cubriendo amplias penillanuras. Por lo general muestra conspicua estratificación donde resaltan las areniscas volcanodetríticas y laminaciones de material muy fino depositado en ambientes aluviales a lagunares.

Eventos tectónicos posteriores han producido un cierto plegamiento y basculamiento, notándose incluso contactos angulares con el Grupo Barroso.

Al oeste y norte de Tucari se aprecia una intensa cloritización, siendo la roca muy deleznable.

2.2. Volcánico Sencca

Esta unidad está formada por rocas piroclásticas de color blanco debido a su composición riolítica. Consta mayormente de tobas y lapilli moderadamente compactas y fuertemente erosionadas, las cuales presentan una restringida exposición. Cerca de los yacimientos presentan alteración hidrotermal. Infrayace a las rocas volcánicas del Grupo Barroso, donde se aprecian cerca de las líneas de cumbre.

2.3. Grupo Barroso

Esta unidad está conformada mayormente por lavas andesíticas, que en ocasiones muestran disyunción columnar. Al sur de Tukari se aprecian aglomerados calcoalcalinos dentro del paquete efusivo.

Dado la amplitud y el prolongado volcanismo representado por esta unidad litoestratigráfica, es común la presencia de intrusivos hipoabisales andesíticos a dacíticos, que forman parte del arco volcánico cenozoico del sur del país.

2.4. Material cuaternario

Los depósitos atribuidos al Cuaternario consisten de depósitos coluviales glaciales y morrenas hacia las zonas distales de los valles en forma de U. Están formados por material polimíctico que no llega a conformar grandes depósitos.

3. Procesamiento de imágenes

3.1. Pre-procesamiento de imagen ASTER

Se convirtió los niveles digitales a radiancia y posteriormente a reflectancia. La conversión de nivel digital a radiancia se realizó con el modelo

$$Rad_i = (ND_i - 1) \times coef_i$$

mientras que la reflectancia se obtuvo con la corrección atmosférica (método FLAASH).

3.2. Procesamiento de imagen ASTER

Se realizaron diferentes combinaciones de cocientes entre bandas. El cociente 4/5, 5/6, 5/8 (RGB; Fig. 1) resalta de color rojo a amarillo las alteraciones hidrotermales, y el cociente 4/5, 4/6, 4/7 (RGB; Fig. 2) de colores beige a amarillos. También se utilizó la técnica de Crosta y MTMF para la reducción de la dimensionalidad de los datos mediante un análisis de componentes principales, lo cual permitió determinar zonas de asociación de minerales de alteración hidrotermal.

3.3. Post-procesamiento

Consistió en realizar la verificación de las anomalías de alteración hidrotermal. Se comparó la firma espectral de la imagen con el espectro de las muestras tomadas en el campo, utilizando el PIMA.

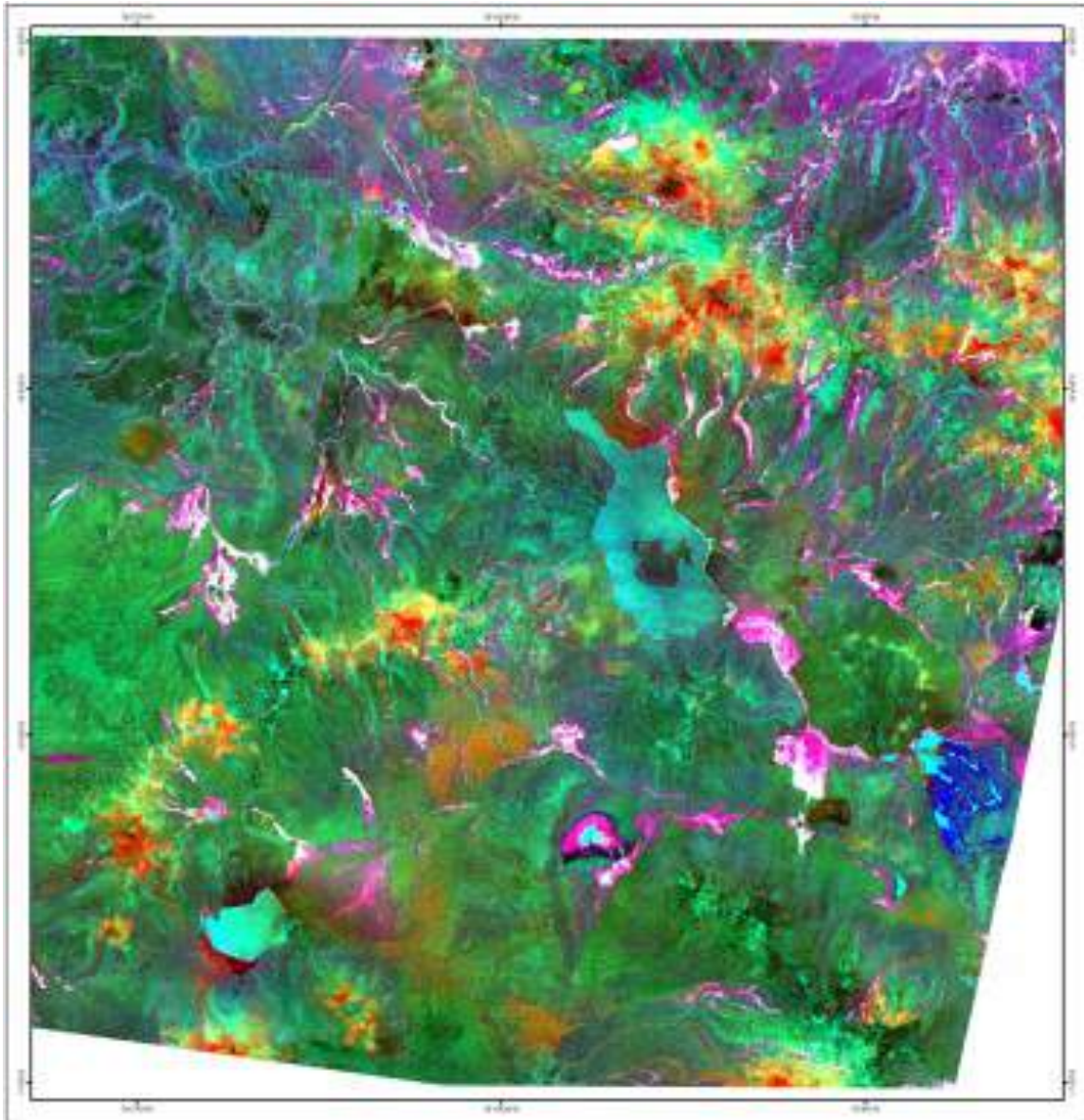


Figura 1. Cociente entre bandas 4/5, 5/6, 5/8 (RGB).

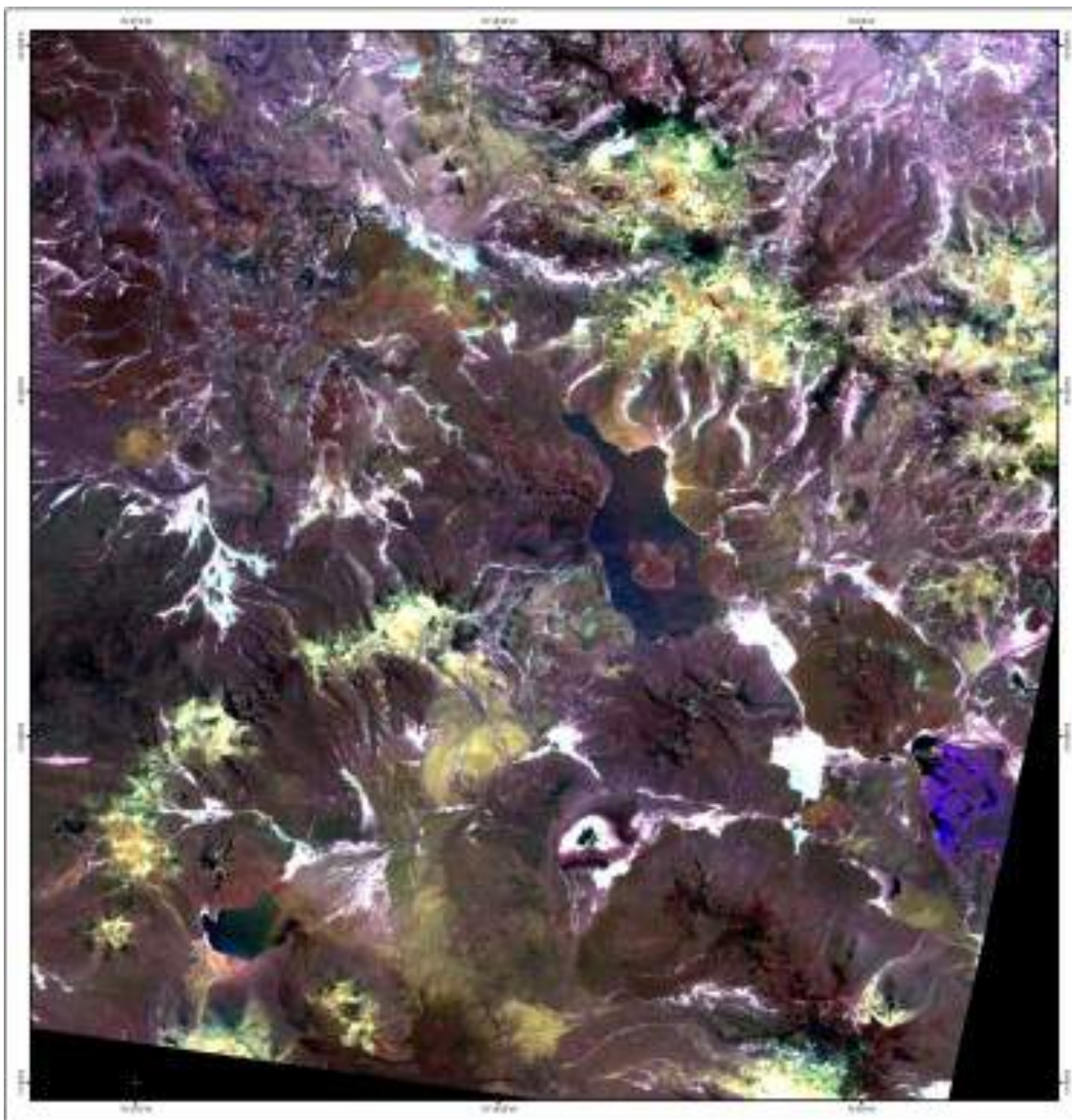


Figura 2. Cociente entre bandas 4/5, 4/6, 4/7 (RGB).

4. Caracterización espectral y mineralógica

Se reconoció la asociación sílice-alunita, la cual se encuentra en la parte central de los depósitos epitermales de alta sulfuración. Esta alteración representa temperaturas que varían de 150°C a 280°C. La alunita puede variar de acuerdo a las cercanías de las fuentes de calor, pasando de una alunita potásica a una cálcica, la cual se altera a una alunita sódica.

La firma espectral de una muestra del yacimiento Santa Rosa presenta un rasgo de absorción a 1480 nm, el cual es típico de una alunita potásica.

La asociación pirofilita-alunita está asociada a brechas hidrotermales y freáticas. La firma espectral de esta asociación presenta un rasgo de absorción a 1350 nm. El yacimiento Santa Rosa presenta esta alteración sílice-pirofilita-alunita, que está asociada a brechas hidrotermales.

La asociación sílice-illita-óxidos de hierro se encuentra ubicada en la periferie de los yacimientos epitermales de

alta sulfuración. Esta alteración se forma por debajo de los 150 °C.

En el área de estudio, la alteración sílice-illita está restringida a fallas y a halos de alteración de brechas hidrotermales; esta asociación también se encuentra en los focos de fuentes de aguas termales extintas. La firma espectral se caracteriza por presentar rasgos de absorción entre 1275-1900 nm.

5. Caracterización mineralógica

Mediante el procesamiento de imágenes se determinaron anomalías de alteración hidrotermal del tipo argílica, filica, y propilítica (Fig. 3). Para corroborar los resultados, se realizaron estudios de secciones delgadas y pulidas.

En la zona de Santa Rosa las secciones delgadas mostraron fenocristales argilizados en una matriz sílicea, minerales secundarios de cuarzo (60 %), alunita (30 %) y

minerales opacos (10 %). Las secciones pulidas mostraron rellenos compuestos de cuarzo, pirita (10 %) y

abundante óxidos de Fe (8 %) formado por hematita y limonitas (Fig. 4).

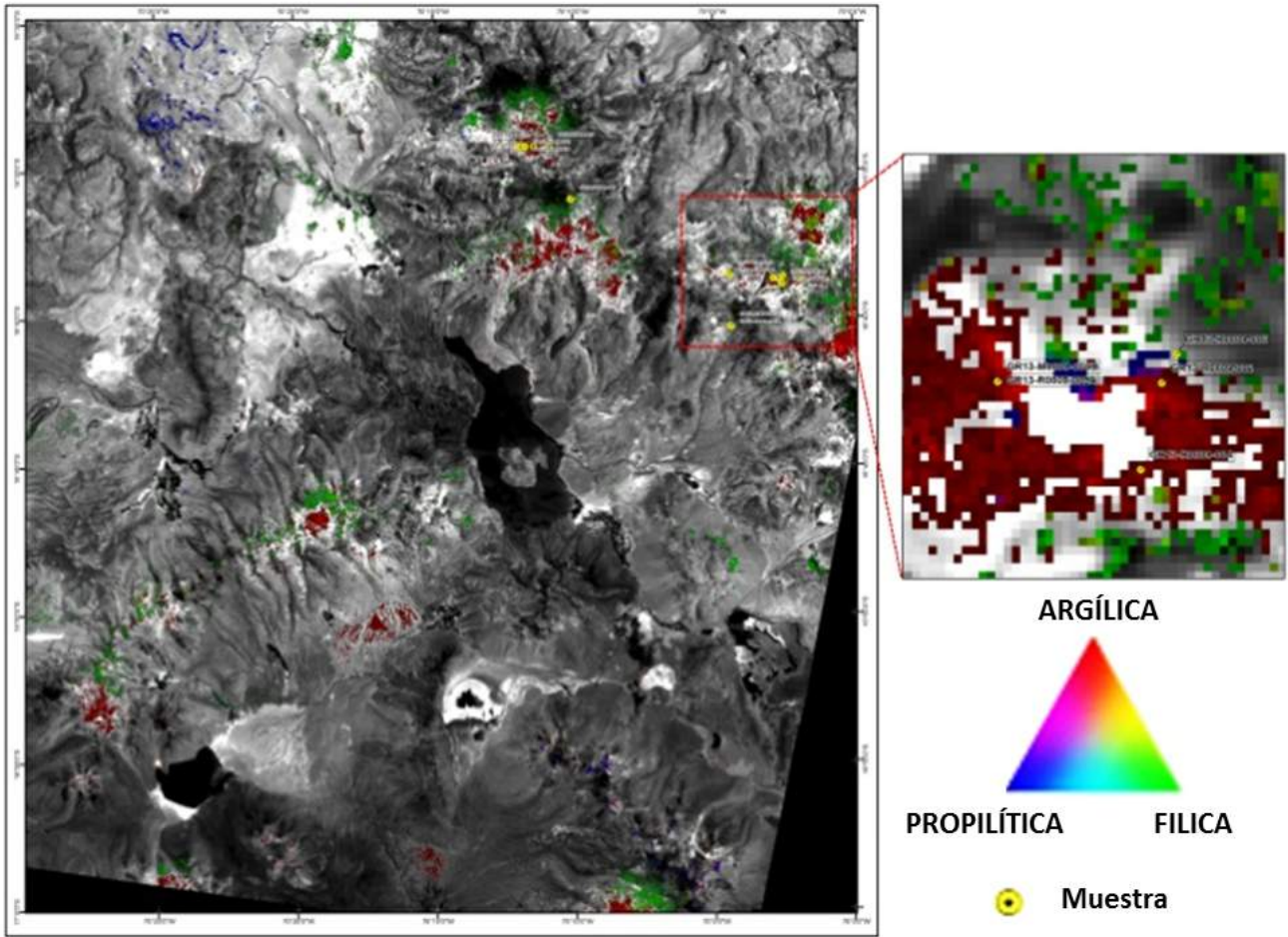


Figura 3. Mapa de anomalías de alteración hidrotermal.

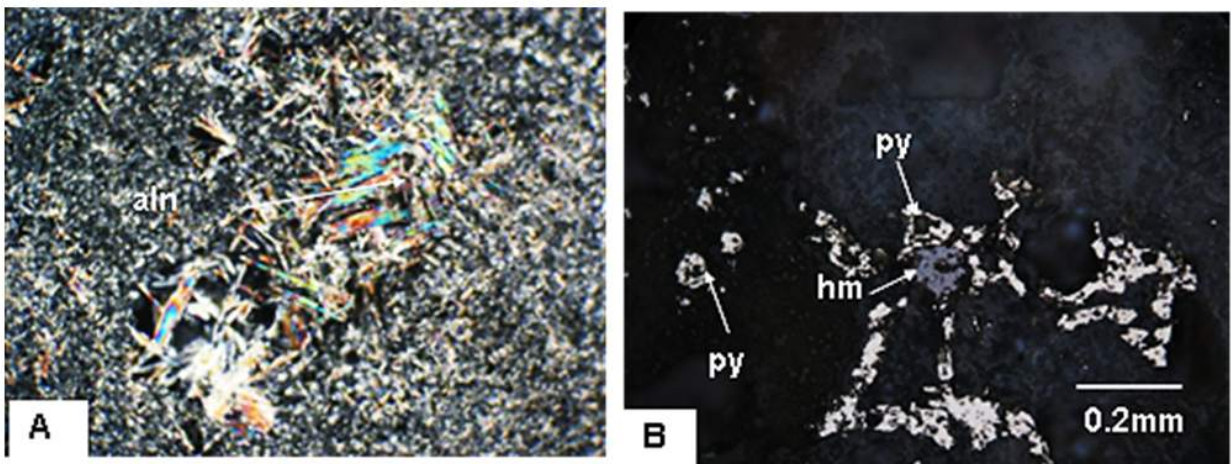


Figura 4. A) Agregado de alunita en una matriz silicificada. B) Estructura de relleno formada por pirita diseminada y alterada por óxidos de hierro en gangas de cuarzo.

En la zona de Cacachara, los estudios minerográficos mostraron una estructura de relleno compuesto de cavidades rellenas de minerales primarios como pirita (<1 %), galena (15 %), esfalerita (20 %), calcopirita (<1 %) y cobres grises (1 %), los minerales secundarios siendo hematita (0.5 %).

En Tukari, una muestra corresponde a una roca muy alterada por sílice oquerosa con pirita diseminada, calcopirita, galena y abundante óxidos de Fe. Presenta minerales primarios de pirita (8 %), calcopirita (trazas), galena (trazas) y hematita-limonitas (5 %) como minerales secundarios.

6. Resultados

Este estudio multidisciplinario ha permitido reconocer tres zonas importantes, en particular gracias al procesamiento de imágenes ASTER.

6.1. Zona A

La Zona A se ubica al noreste de la imagen y muestra una alteración del tipo argílica avanzada. En esta zona se encuentran los depósitos de Santa Rosa, Tukari, y Cacachara.

La alteración se encuentra en rocas dacíticas en un complejo de estratovolcán andesítico. Está conformada por centros de sílice masiva representada por múltiples etapas de brechas hidrotermales. Estas brechas están rodeadas por sílice granular y alteración argílica avanzada.

6.2. Zona B

La Zona B se encuentra al suroeste, en el sector de Charaque. En el área existen afloramientos de rocas volcánicas de origen efusivo y explosivo del Grupo Barroso (andesitas, traquitas, y tufos). Las andesitas y tobos volcánicas están alteradas y mineralizadas.

Charaque tiene alteraciones de tipo argílica a argílica

avanzada, cuarzo amorfo y sílice residual.

6.3. Zona C

La Zona C se extiende al sureste y noroeste de la zona de estudio y se caracteriza por una predominancia de la alteración propilítica.

Referencias

- Acosta, J., Huanacuni, D. 2008. Estudio de los volcánicos cenozoicos del sur del Perú y su relación con la metalogenia. INGEMMET, Informe técnico, 22 p.
- Hedenquist, J., Izawa, E., Arribas, A., White, N. 2001. Yacimientos epitermales de oro: Tipos de mineralización características y exploración.
- Nieto, O. 2009. Evolución de alteraciones hidrotermales, quebrada Pacha, emplazadas en el Mioceno superior. Tesis de grado, UNSA, Arequipa.