

CARACTERIZACIÓN ESPECTRAL Y MINERALÓGICA DE LA FRANJA METALOGENÉTICA DE LOS DEPÓSITOS EPITERMALES DE ORO Y PLATA

Dina Huanacuni Mamani, Juan Casas Malpartida, Jorge Acosta

dhuanacuni@ingemmet.gob.pe,jucasas@ingemmet.gob.pe,jacosta@ingemmet.gob.pe

INTRODUCCIÓN

Los yacimientos epitermales de oro y plata de alta sulfuración en el sur del Perú muestran características geológicas especiales y están hospedados principalmente en rocas volcánicas del Mioceno. 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 anomalía 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.

El área de estudio está ubicada en la zona sur del territorio peruano. Se enmarca en 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.

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

La zona de estudio se encuentra ubicada en la parte central de la Cordillera Sur occidental, específicamente en la parte central de la Cadena Volcánica del Sur, configurando un ambiente típicamente vulcanológico, cuya conformación data del Cenozoico hasta el Cuaternario, caracterizada por varias etapas de efusión (básicas y ácidas), siendo la última etapa del Barroso. (Figura 1. Mapa geológico de la zona)

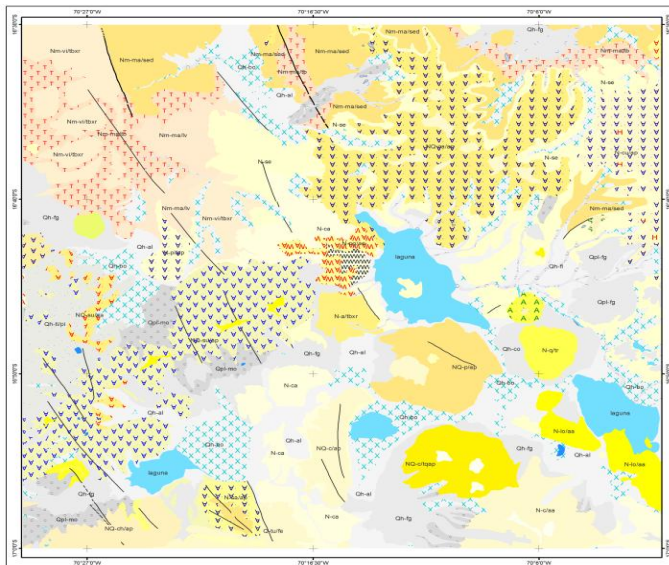


Figura 1. Mapa geológico de la zona de estudio

Las rocas aflorantes en el área de estudio corresponden a las siguientes unidades:

Grupo Puno.-

Secuencias volcanoclásticas de característico color rojo-violáceo, la cual se expone rellenando depresiones y cubriendo las amplias penillanuras. Por lo general muestra conspicua estratificación donde resaltan las areniscas volcánicas con laminaciones de material muy fino producto de ambientes lagunares. Eventos tectónicos posteriores han producido fuerte plegamiento y basculamiento notándose incluso contactos bruscos con el Barroso. Al oeste y norte de Tucari se aprecia intensa cloritización siendo la roca muy deleznable.

Volcánico Sencca.-

Piroclástico de color blanco debido a su composición riolítica. Consta mayormente de tufos y la pillis moderadamente compactos, fuertemente erosionados, lo cual hace restringida su exposición. Cerca de los yacimientos presentan alteración hidrotermal de bajo grado apareciendo solo de manera de relictos. Infrayace a los volcánicos de Grupo Barroso cuando se aprecian cerca de las líneas de cumbre.

Grupo Barroso.-

Secuencia conformada mayormente por lavas andesíticas, que en ocasiones muestran disyución columnar. Al sur de Tucari se aprecian aglomerados calcoalcalinos dentro del paquete efusivo. Dada la amplitud y prolongado volcanismo asociado a esta unidad litoestratigráfica, es común la presencia de intrusivos hipoabisales de andesita-dacita, que forman parte del arco volcánico cenozoico del sur del país. Los minerales que conforman la roca al intemperizarse originan amplias anomalías de color lo cual es típico en todo el distrito.

Material cuaternario.-

Constituido por coluvio glaciales y morrenas hacia las zonas distales de los valles en U, se observan material Polimíctico que no llegan a conformar grandes depósitos. (Figura 2.- Columna estratigráfica)

LEYENDA							
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS
CENOZOICA	CUATERNARIO	HOLOCENA	<ul style="list-style-type: none"> CP-01 Depósitos aluviales CP-02 Depósitos de botedal CP-03 Depósitos coluviales CP-04 Depósitos Fluvio-glaciares CP-05 Cuaternario fluvial CP-06 Depósitos proclásticos CP-07 Cuaternario pleistoceno CP-08 Depósitos Monericos CP-09 Centro volcánico Tutupaca 	CENOZOICA	NEÓGENO	PLEISTOCENA	<ul style="list-style-type: none"> NO-0101 Complejo volcánico Cacachara, andesita vesicular NO-0102 Complejo volcánico Chuquiarianta, andesita afanítica NO-0103 Complejo volcánico Curshuara, andesita porfírica NO-0104 Complejo volcánico Curshuara, andesita vesicular NO-0105 Complejo volcánico Lonscota, andesita afanítica NO-0106 Complejo volcánico Cotañame (Andesita porfírica) NO-0107 Estrato volcán Mitajahu, dacita porfírica NO-0108 Estrato volcán Colunco, andesita porfírica NO-0109 Estrato volcán astunri, toba brecha riolítica NO-0110 Estrato volcán Paeto Grande, andesita afanítica NO-0111 Estrato volcán Paeto Grande, brechas NO-0112 Estrato volcán Pichacollo, andesita porfírica NO-0113 Estrato volcán Questampo, toba riolítica NO-0114 Estrato volcán Mesacalari NO-0115 Centro volcánico Tutupaca (arenas volcánicas) NO-0116 Centro volcánico Tutupaca (andesita porfírica) NO-0117 Centro volcánico Tutupaca (traquiandesita porfírica) NO-0118 Estrato volcán Sasahuari (andesita porfírica) NO-0119 Centro volcánico Cayco NO-0120 Domo Chile andesita porfírica NO-0121 Toba riolítica
			<ul style="list-style-type: none"> NO-0201 Andesita Porfírica NO-0202 Traquiandesitas Porfíricas NO-0203 Andesita porfírica NO-0204 Andesita Porfírica NO-0205 Andesitas porfíricas NO-0206 Andesitas vesicular NO-0207 Brechas proclásticas NO-0208 Andesita porfírica NO-0209 Andesita Vesicular NO-0210 Dacita Porfírica NO-0211 Andesitas Afaníticas NO-0212 Andesitas porfíricas NO-0213 Andesitas Vesiculares NO-0214 Andesita vesicular NO-0215 Andesitas porfíricas NO-0216 Dacitas Porfíditicas NO-0217 Andesitas Afaníticas NO-0218 Andesita NO-0219 Flujo de bloques y clasto NO-0220 Andesita afanítica 				
		MIOCENA				PLIOCENA	<ul style="list-style-type: none"> MI-0301 Formación Capitune MI-0302 Formación Sencca, indiferenciado MI-0303 Formación Viscachas
							GRUPO MAURE <ul style="list-style-type: none"> MA-0401 Unidad superior MA-0402 Nivel tobacoco MA-0403 Unidad inferior

Figura 2.- Columna estratigráfica.

PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

En el presente trabajo se utilizaron imágenes del sensor multispectral ASTER (Advance Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) a bordo del satélite Terra, que consta de tres subsistemas independientes, visible e infrarrojo cercano (VNIR) con tres bandas, infrarrojo de la onda corta (SWIR) con seis bandas e infrarrojo térmico (TIR) con cinco bandas.

Utilizando una escena ASTER, se realizaron los siguientes procesos:

Pre-Procesamiento de imagen ASTER

Se convirtió los niveles digitales a radiancia y posteriormente a reflectancia. 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).

Procesamiento de imagen ASTER

Se realizaron diferentes combinaciones de cocientes entre bandas como se muestra en la figura 3 y 4, el cociente $4/5 \ 5/6 \ 5/8$ resaltan de color rojo a amarillo y los cocientes $4/5 \ 4/6 \ 4/7$ resaltan los colores beige a amarillos para la identificación de zonas de alteración; También se utilizó la técnica de Crosta y MTMF para la reducción de la dimensionalidad de los datos mediante análisis de componentes principales lo cual permitió determinar zonas de alteración y asociación de minerales.

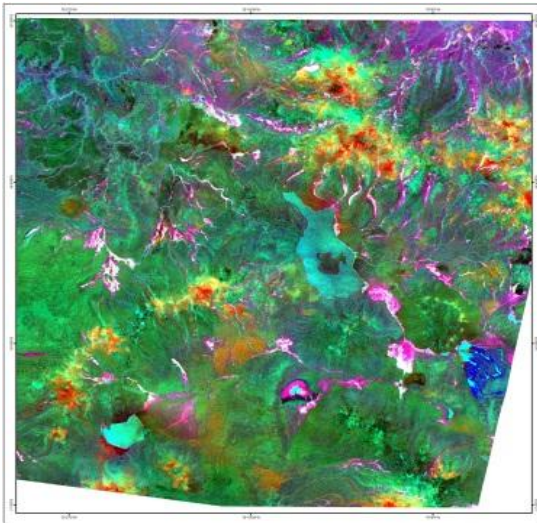


Figura 3.-Cociente entre bandas 4/5 5/6 5/8

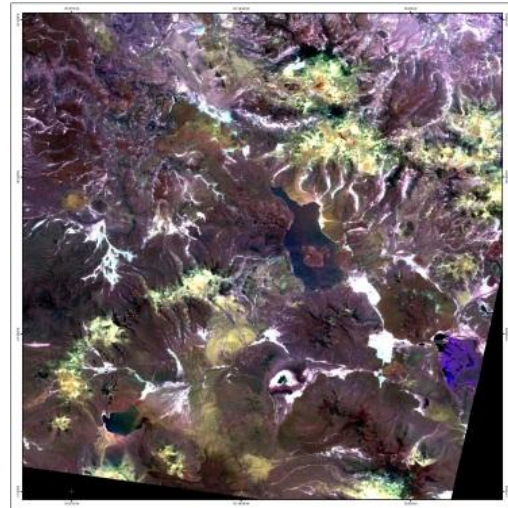


Figura 4.- Cociente entre bandas 4/5 4/6 4/7

Post-Procesamiento.-

Consistió en realizar la verificación comparando la firma espectral de la imagen y el espectro de una muestra de campo utilizando el PIMA.

CARACTERIZACIÓN ESPECTRAL Y MINERALÓGICA

Mediante el procesamiento de imágenes se determinaron zonas con anomalías hidrotermales; con alteración tipo argílica, fílica y propilítica. Para corroborar los resultados se realizó la interpretación de los resultados de la firma espectral de las rocas y el estudio de secciones delgadas, pulidas. A continuación se presentan algunos resultados:

CARACTERIZACIÓN ESPECTRAL

Alteración Argílica

Se puede observar la asociación mineralógica 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. En el yacimiento Santa Rosa presenta esta alteración Sílice-Pirofilita-Alunita está asociada a brechas hidrotermales.

La asociación sílice-illita-~~6~~óxidos de fierro se encuentra ubicada en la periferie de los yacimientos epitermales de alta sulfuración. Esta alteración se forma por debajo de los 150 °C. La alteración sílice-illita en el área de estudio, está restringida en las fallas y en halos de alteración de brechas hidrotermales; este ensamble 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. (Figura 5 Comparación de la firma espectral de la muestra con la imagen satelital)

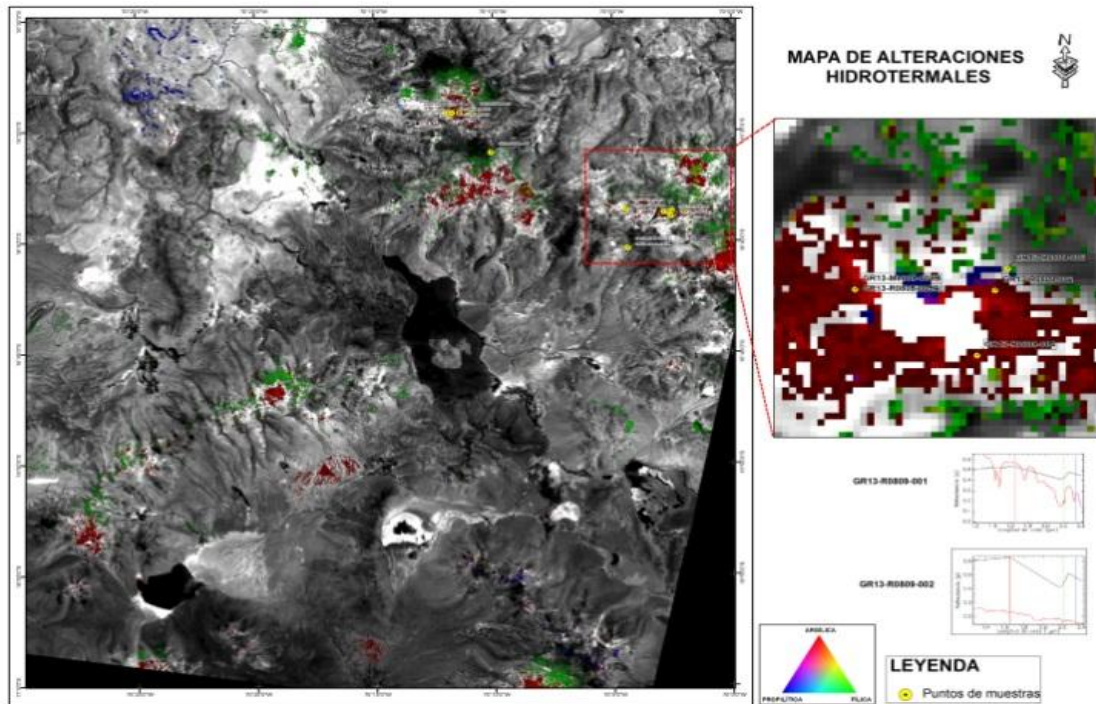


Figura 5.- Mapa de alteraciones hidrotermales.

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA

En la zona de Santa Rosa en secciones delgadas tenemos muestras que presentan fenocristales alterados (argilizados) en una matriz sílicea, minerales secundarios: cuarzo (60%), alunita (30%) opacos (10%). En secciones pulidas se obtuvieron muestras que presentan estructuras de relleno compuesto de cuarzo, pirita y abundantes óxidos de Fe. Como mineral primario se tiene pirita (10%) minerales secundarios como Óxidos de fierro (hematita, limonitas 8%). (Figura 6. Se puede apreciar las secciones delgadas y pulidas de una muestra de esta zona)

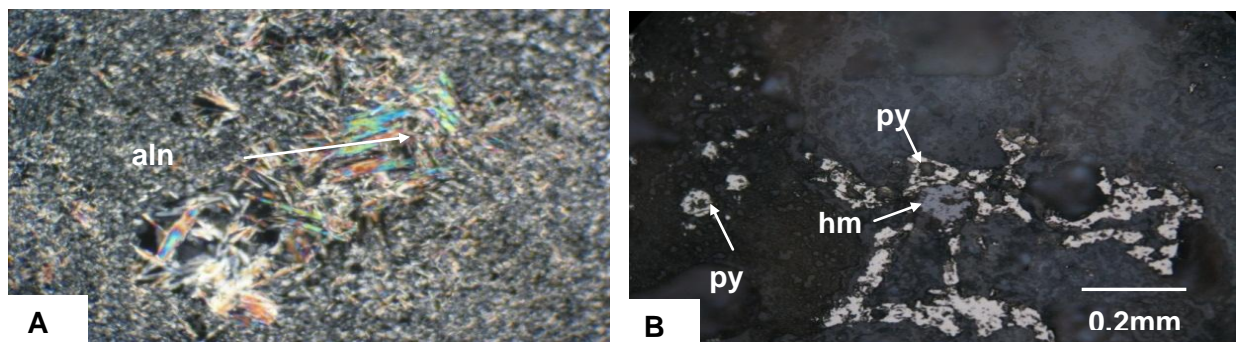


Figura 6.- A) Sección delgada del mineral de alunita. B) Sección pulida, la muestra corresponde a una estructura de relleno compuesto de cuarzo, pirita y abundantes óxidos de Fe.

Presentan minerales primarios como pirita (8%), calcopirita (trazas), galena (Trazas) y minerales secundarios hematita-limonitas (5%).

RESULTADOS

El resultado del procesamiento de imágenes ASTER sirvió para identificar 3 zonas importantes, denominadas A, B y C

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 corresponde al emplazamiento de intrusiones dacíticas en un complejo estrato volcán andesítico y están conformadas por centros de sílice masiva representada por múltiples etapas de brechas hidrotermales. Estas brechas están rodeadas por sílice granular y alteración argílica avanzada.

Zona B. Se encuentra al sur oeste en el sector de Charaque. En el área existen afloramientos de rocas volcánicas de origen efusivo y explosivo (andesitas, traquitas y tufos) del Grupo Barroso. Las andesitas y tobos volcánicas están alteradas y alojan la mineralización. Charaque tiene alteraciones de tipo argílica a argílica avanzada, cuarzo amorfo y sílice residual cartografiada en campo.

Zona C. Está al sureste y noroeste de la zona de estudio donde predomina la alteración propilítica. (Figura 7. Mapa de ubicación de yacimiento epitermales de oro y zonas de alteración hidrotermal).

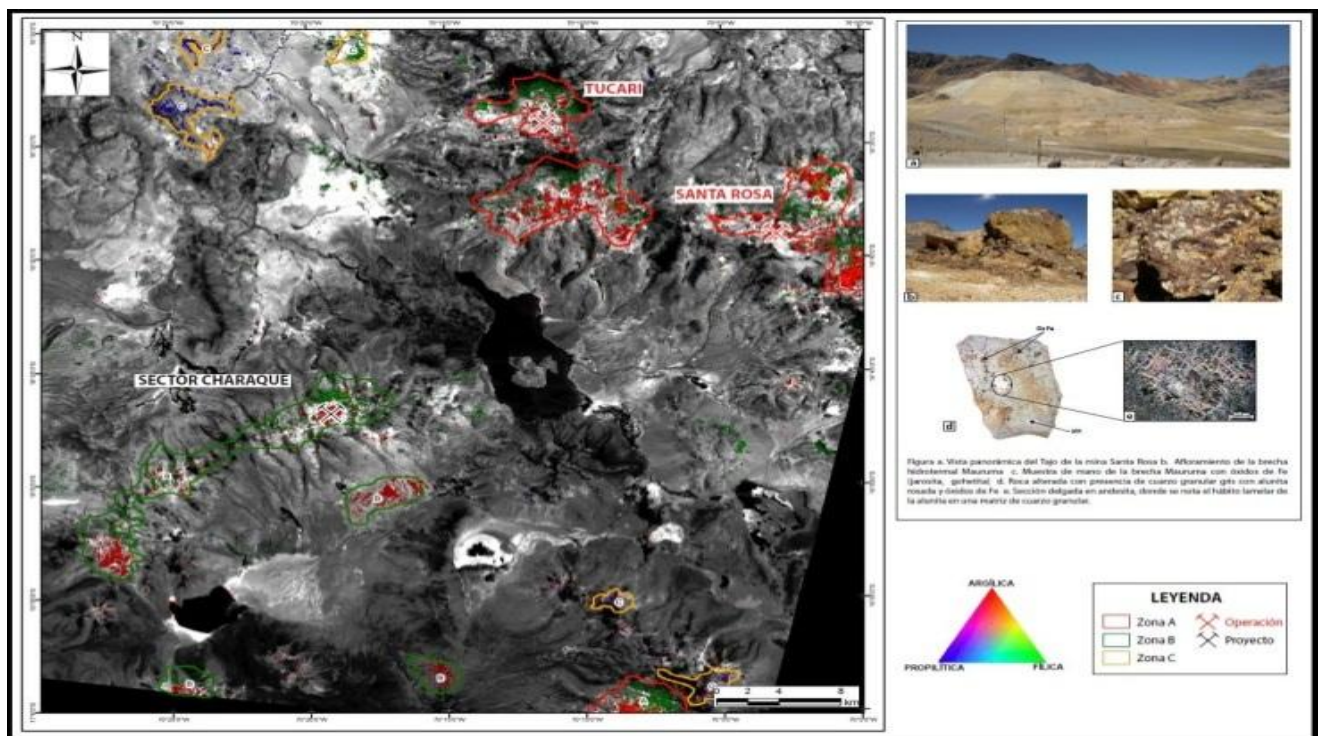


Figura7.- Mapa de yacimientos epitermales de oro y alteración hidrotermal.

REFERENCIAS

- Acosta, J. Huanacuni, D. (2008) Estudio de los volcánicos cenozoicos del sur del Perú y su relación con la metalogenia. Informe técnico. INGEMMET. p22.
- Nieto, O. (2009) Evolución de alteraciones hidrotermales, quebrada Pacha, emplazadas en el mioceno superior. Tesis de grado. UNSA
- Hedesquist, J. Izawa, E. Arribas, A. White, N. (2001) Yacimientos epitermales de oro: tipos de mineralización características y exploración