



XVIII Congreso Peruano de Geología

CARACTERIZACIÓN ESPECTRAL DE LAS ALTERACIONES HIDROTÉRMICAS EN DEPÓSITOS EPITÉRMICOS Y PÓRFIDOS EN EL SUR DEL PERÚ

Dina Huanacuni¹ & Jorge Acosta¹

¹ Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, San Borja, Lima, Perú (dhuanacuni@ingemmet.gob.pe, jacosta@ingemmet.gob.pe)

1. Introducción

La espectroscopia de reflectancia aplicada puede definirse como la técnica que utiliza la energía en las regiones del espectro electromagnético de la luz visible (0,4-0,7 μm), la cercana a infrarroja (0,7-1,3 μm) y la infrarroja de ondas cortas (1,3-2,5 μm) para analizar los materiales. Ciertos átomos y moléculas absorben energía en función de su estructura atómica. Esto se representa mediante un espectro de reflectancia con sus característicos rasgos de absorción. Para corroborar las áreas anómalas, se utilizó el equipo Espectrómetro Portátil Infrarrojo de Onda Corta PIMA con el cual se realizó la identificación de los minerales de grano fino (arcillas) así como definir sus variaciones de composición.

En la evaluación de campo del yacimiento de Quellaveco las rocas con alteración hidrotermal fueron fácilmente identificadas, se realizaron análisis de los espectros que mostraron que la alteración fílica está dominada por curvas espectrales del tipo muscovita y halloysita-clorita, mientras que en la alteración propilitica imperaban espectros del tipo illita esmectita-clorita.

Mediciones de reflectancia obtenidas con el espectrómetro PIMA/SP de las rocas en las zonas de alteración y alrededores de las minas de Santa Rosa y Tukari nos demostraron que la zona argílica avanzada tiene alta reflectancia sílice-alunita, la cual se encuentra en la parte central de los depósitos epitérmicos de alta sulfuración.

El presente estudio tiene por objetivo realizar la caracterización espectral de los diferentes tipos de alteraciones mediante el análisis de espectrometría de los depósitos epitérmicos como: Tukari, Santa Rosa y Cacachara junto con el pórfido de cobre de Quellaveco. Los depósitos se ubican en la zona sur del Perú, entre las coordenadas geográficas 71°00' - 70°00' de longitud Oeste y 16°30' - 17°30' de latitud Sur. Abarcando los departamentos de Tacna, Moquegua y Puno.

Morfoestructuralmente los yacimientos se localizan entre el flanco pacífico de la Cordillera Occidental Arco del Barroso y el Altiplano Andino (Figura 01).

Los depósitos tipo pórfido Cu-Mo y epitérmicos de Au-Ag se encuentran ubicados en la Cordillera Occidental del Sur del Perú. Los pórfidos están alojados en rocas volcánicas e intrusivas del Paleoceno-Eoceno, mientras que los depósitos epitérmicos son de Au-Ag de alta sulfuración y se hospedan en rocas volcánicas del Mioceno-Plioceno.

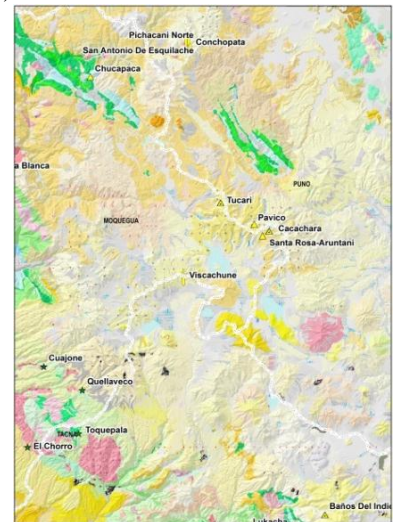


Figura 01.- Mapa geológico de la zona de estudio.

2. Marco Geológico Regional

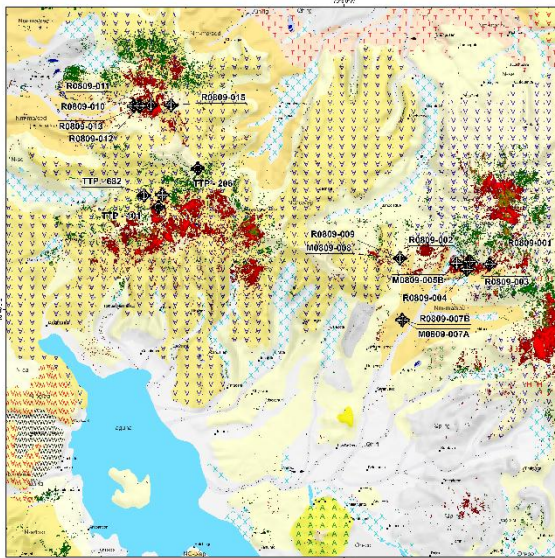
Los depósitos epitérmicos de alta sulfuración Tukari, Santa Rosa se encuentran en la parte central de la Cordillera Sur occidental, específicamente en la parte central de la Cadena Volcánica del Sur y están emplazados en domos félsicos y estratovolcanes con lavas de composición traquiandesítica que hicieron erupción 8 y 6 Ma.

En Santa Rosa, el zoneamiento vertical expone de la cima a la base un área de steam heated junto a un "sombbrero" de ópalo gris fuertemente fracturado que suprayace a la sílice masiva, sílice residual y ensamblajes sobreimpuestos de sílice-alunita. Al sur del domo Cotañani se tiene la brecha silicea Mauruma caracterizada por la ocurrencia de hematita, gohetita y

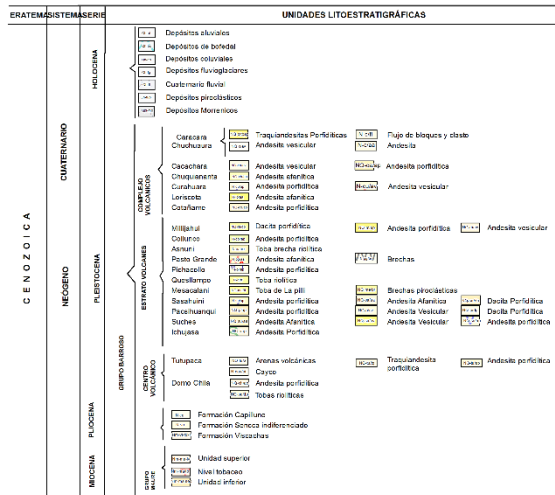
limonitas. (Barreda et al., 2004, Huanacuni, D. 2013) (Figura 02).

Localmente, la mineralización está controlada por fallas de dirección NO-SE en Santa Rosa y fallas NO-SE y EO en Tukari. La alteración hidrotermal está relacionada con intrusivos de domos dacíticos que tienen edades entre 7 y 4 Ma. (Barreda et al; 2004).

El pórfido de Cu-Mo Quellaveco se encuentra en medio de dos grandes yacimientos como Cuajone y Toquepala. Las rocas hospedantes están formadas por secuencias de riolitas y andesitas del Grupo Toquepala, intruidas por stocks de granodiorita y monzonita porfírica. Las rocas fueron depositadas desde el Paleoceno al Eoceno inferior. Durante el Mioceno se depositaron tobas riolíticas y traquíticas de la Formación Huayllillas (Figura 03,04).



LEYENDA



SIMBOLOGÍA DE MUESTRAS Y TIPO DE ALTERACIONES



Muestras recolectadas

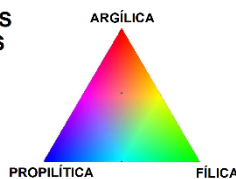
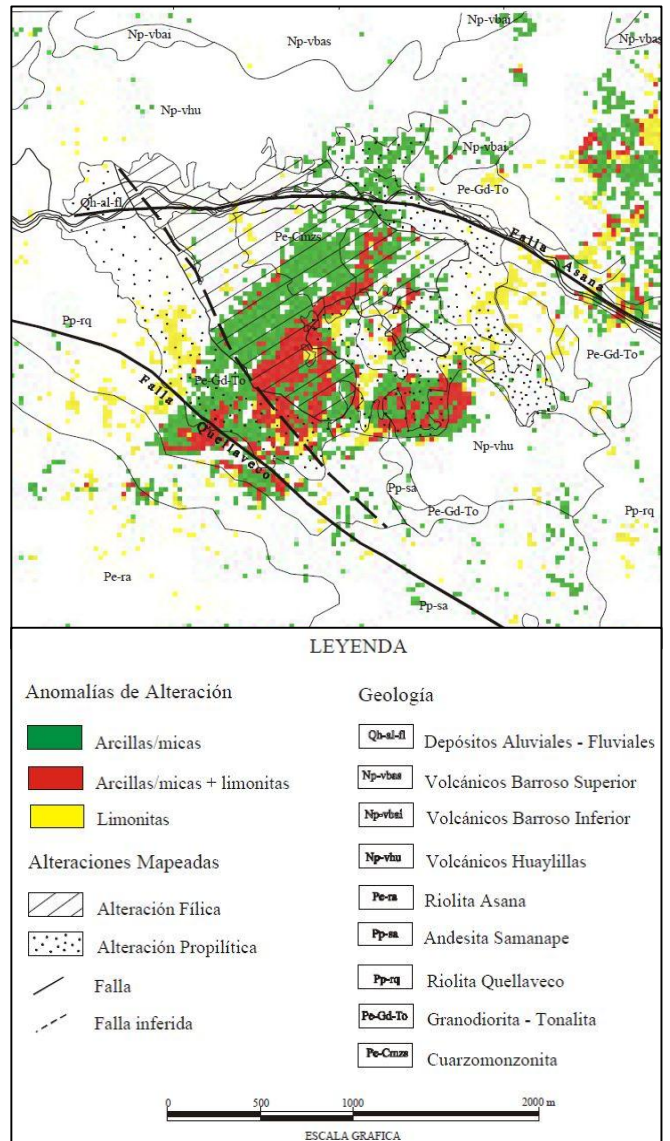


Figura 02.- Mapa geológico y alteraciones de depósito epitermal de Santa Rosa y Tukari.



LEYENDA



ESCALA GRAFICA

Figura 03.- Mapa geológico y alteraciones del pórfido Quellaveco.

3. Análisis de Espectrometría

Se realizaron mediciones de reflectancia de las muestras alteradas recolectadas en campo, utilizando el espectrómetro PIMA SP (SWIR). Este instrumento opera en la región del infrarrojo de onda corta (1.3–2.5 μm). Se estudiaron 28 muestras de rocas alteradas e inalteradas, de las cuales 13 corresponden a Quellaveco y 15 a los depósitos de Santa Rosa, Tukari, Cacachara.

Antes de tomar los espectros con el espectrómetro PIMA, algunas muestras del yacimiento Santa Rosa fueron secadas para evitar errores de lectura debido al contenido de agua, ya que también tiene su firma espectral. De esta manera, se optimizaron las lecturas y resultados del espectrómetro.

4. Resultados de Espectrometría

A partir de muestras recolectadas de las zonas de alteración hidrotermal de los depósitos epitermales y pórfido, se determinó los espectros característicos.

En los yacimientos epitermales se reconocieron los siguientes espectros (tabla 01 y figura 05):

El depósito de Santa Rosa presenta firmas espectrales de sílice + alunita y estos espectros representan la alteración Argílica Avanzada. Esta alteración representa temperaturas que varían de 150°C a 280°C. Según estudios petrográficos y mediante el PIMA encontramos a la alunita, este mineral 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. Petrográficamente se puede apreciar la dacita que presenta alteración de tipo sílice + alunita y rellenando sus cavidades presenta minerales como piritita, azufre y escapolita. En la figura 5d se puede apreciar la firma espectral de las alunitas de Sta. Rosa, Tukari y Arasi presenta rasgos de absorción de 1.43-1.48-1.76-2.16-2.32µm, el cual es típico de una alunita potásica (ver figura 5d).

En la Brecha Mauruma del sector de Santa Rosa presenta mineralógicamente óxidos Fe y se encuentra silicificada con presencia de numerosas fracturas y cavidades rellenas de cuarzo, piritita, esfalerita-calcopiritita y galena por toda la muestra.

En el Sector de Qda. Pachas, la mineralización esta emplazada en estructuras, que estarían relacionadas a brechas hidrotermales con contenido de alunitas Na-Ca, con asociaciones de Baritina, dickita (Nieto, O).

La asociación Pirofilita-alunita, está asociada a brechas hidrotermales y freáticas. La firma espectral de la asociación presenta un rasgo de absorción a 1.35-1.4-2.166-2.168 2.32 µm (ver figura 5e)

En las zonas de estudios de depósitos epitermales podemos decir que las alteraciones hidrotermales están conformadas por centros de sílice masiva representada por múltiples etapas de brechas hidrotermales, las cuales están rodeadas por sílice granular y alteración argílica avanzada.

En el pórfido de cobre de Quellaveco, los espectros que se encontraron fueron los siguientes (tabla 1 y figura2):

Muscovita y halloysita-clorita. Los espectros corresponden a la alteración fílica fuerte y moderada respectivamente. En la petrografía se encontró rocas con textura pórfidoblástica, donde los fenocristales de cuarzo se encuentran en una matriz alterada a muscovita. La mineralogía esta constituida por un ensamble cuarzo-sericita los cuales reemplazan a los feldespatos.

La parte central de la alteración fílica es muy intensa, la cual grada a moderada en las partes distales.

Illita-esmectita. Estos espectros se encontraron en la parte distal del depósito y corresponden a la alteración propilítica (Figura 06). Estos minerales son típicos de ambientes hidrotermales de bajas temperaturas (Britten, 1981). Los minerales hidrotermales encontrados en la petrografía corresponden a rocas presentan que una coloración verdosa, su textura es granular casi intacta y la mayoría de sus componentes originales, entre los minerales máficos, se aprecian principalmente biotitas, que se alteran a cloritas y epidotas, quedando relictos de ellas.

Mientras que las plagioclasas ocurren zonadas y macladas con una débil alteración en los bordes a sericita. El feldespato potásico esta alterado por arcillas. El cuarzo primario se presenta como relleno intersticial y el cuarzo secundario forma agregados en granos diminutos

5. Conclusiones

- Los depósitos tipo pórfidos presentan espectros como muscovita, muscovita+Halloysita +clorita e illita/esmectita + clorita correspondientes a las zonas de alteración fílica intensa, moderada y propilítica respectivamente.
- Los depósitos epitermales muestran espectros tipo sílice + alunita, cuarzo+illita+esmectita que corresponden a las zonas de alteración argílica avanzada, argílica, silicificación

6. Referencias

- Acosta, J. (2000) Correlación de imágenes LANDSAT y espectrometría con alteraciones hidrotermales del pórfido de Cu de Quellaveco. UNJBG.
- Acosta, J. Huanacuni, D. (2008) Estudio de los volcánicos cenozoicos del sur del Perú y su relación con la metalogenia. Informe técnico. INGEMMET. p22.
- Barreda J., Loayza D., Juárez. P; Torres R. (2004) Depósitos epitermales de alta sulfuración en el distrito minero Aruntani, Moquegua. 5p.
- Huanacuni, D. (2013) Aplicación de las imágenes ASTER para la determinación de alteraciones hidrotermales en la franja metalogenética de yacimientos epitermales de la cordillera occidental del sur del Perú. Tesis de grado. UNJBG
- 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.

Muestra	Tipo de Yacimiento	Alteración	Petrografía	PIMA (SWIR)
R0809-001	Epiternal de alta sulfuración	Argílica Avanzada	Cuarzo granular + alunita	Cuarzo + alunita
M0809-005B	Epiternal de alta sulfuración	Argílica Avanzada	Cuarzo opalino + pirita	Cuarzo-alunita-Caolinita
Pch - 101	Epiternal de alta sulfuración	Argílica Avanzada	Cuarzo + OsFe	Silice alunita potásica
Pch - 206	Epiternal de alta sulfuración	Argílica Avanzada	Cuarzo + OsFe	Silice alunita sódica (1485)
Pch - 682	Epiternal de alta sulfuración	Argílica Avanzada	Cuarzo	Silice alunita cálcica (1495)
M0809-002	Epiternal de alta sulfuración	Argílica	Pirita + escorodita + azufre	esmectita
R0809-003	Epiternal de alta sulfuración	Argílica	Cuarzo + escorodita + pirita + calcopirita	Cuarzo + esmectita + illita
M0809-007A	Epiternal de alta sulfuración	Argílica	Cuarzo + galena + calcopirita	esmectita
M0809-008	Epiternal de alta sulfuración	Argílica	Cuarzo + galena + escorodita	Cuarzo + esmectita
R0809-004	Epiternal de alta sulfuración	Silicificación	Cuarzo opalino + alunita + OsFe	Cuarzo
R0809-005A	Epiternal de alta sulfuración	Silicificación	Cuarzo opalino + alunita + OsFe	Cuarzo
R0809-009A	Epiternal de alta sulfuración	Silicificación	Cuarzo + pirita	Cuarzo
R0809-011	Epiternal de alta sulfuración	Silicificación	Vuggy silica + sulfuros	Cuarzo
R0809-012	Epiternal de alta sulfuración	Silicificación	gohetita + baritina + sulfuros	Cuarzo
R0809-013	Epiternal de alta sulfuración	Silicificación	Cuarzo + alunita-caolinita	Cuarzo
Q012A	Pórfido	Filica intensa	Cuarzo + sericita-muscovita	Muscovita
Q013	Pórfido	Filica intensa	Cuarzo + muscovita-sericita + arcilla	Muscovita
Q029	Pórfido	Filica intensa	Cuarzo + sericita-muscovita	Muscovita
Q001	Pórfido	Filica moderada	Cuarzo + muscovita-sericita	Muscovita
Q008	Pórfido	Filica moderada	Cuarzo + sericita	Muscovita + clorita
Q033	Pórfido	Filica moderada	Cuarzo + muscovita-sericita + clorita + jarosita.	Muscovita + illita/esmectita
Q011	Pórfido	Filica moderada	Cuarzo + sericita + clorita	Halloysita + clorita
Q014	Pórfido	Filica moderada	Cuarzo + muscovita + arcilla + epidota	Halloysita + clorita
Q030	Pórfido	Filica moderada	Cuarzo + sericita-muscovita + clorita	Halloysita + clorita
Q002	Pórfido	Filica moderada	Cuarzo + sericita + muscovita + clorita	Halloysita + clorita
Q031	Pórfido	Propilitica	Cuarzo + sericita-muscovita + clorita	Halloysita + clorita
Q007	Pórfido	Propilitica	Cuarzo + sericita + clorita + epidota	Illita /esmectita + clorita
Q025	Pórfido	Propilitica	Cuarzo + sericita + arcilla + clorita	Illita /esmectita + clorita

Tabla 01.-Comparación de estudios petrográficos y espectrometría determinada con PIMA SP (SWIR)

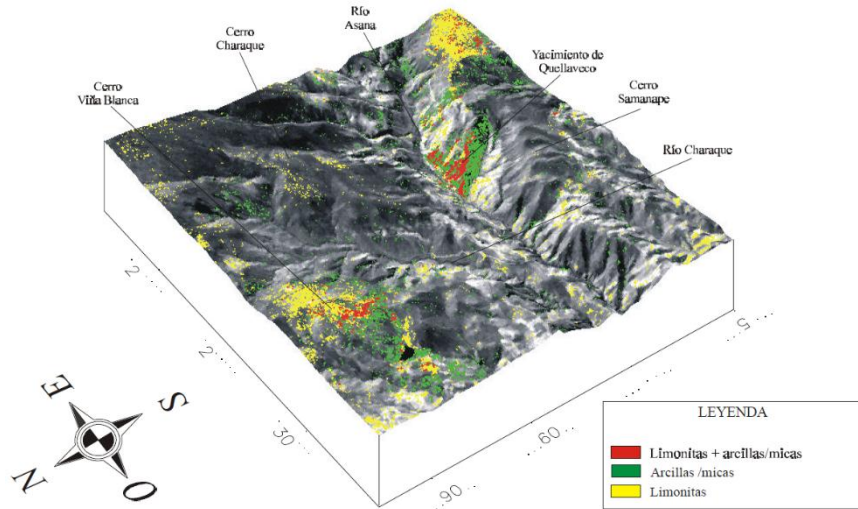


Figura 04.-Modelo de elevación digital de Distrito Minero de Quellaveco al cual se ha sobrepuesto la banda 7 y el Mapa de anomalías de alteración hidrotermal.

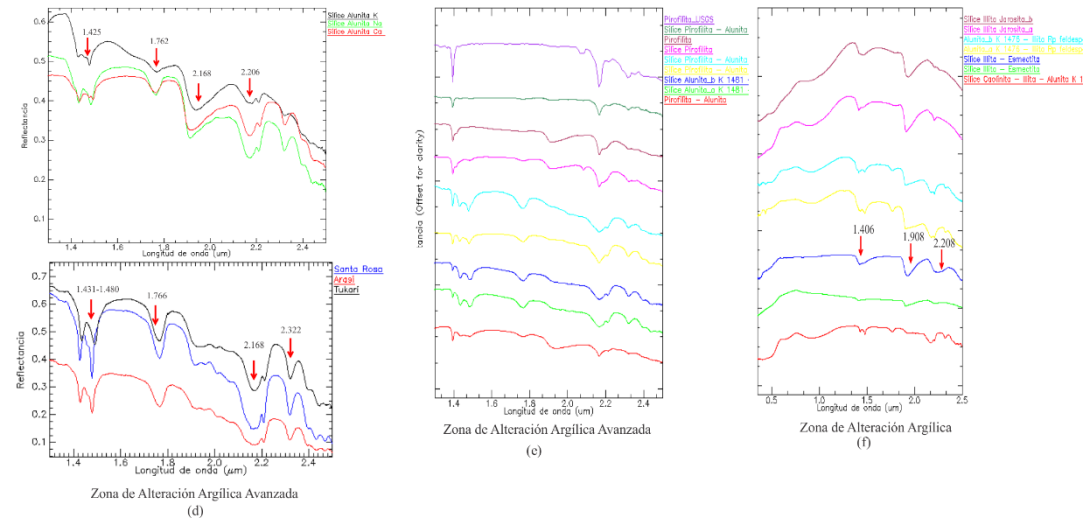
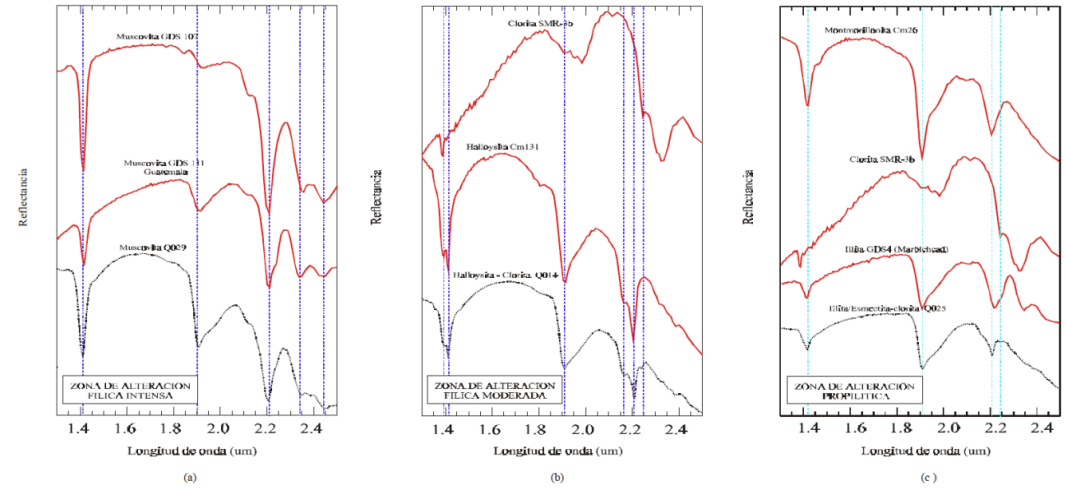


Figura 05.-Espectros de reflectancia de las zonas de alteración del yacimiento de Quellaveco (a,b,c) obtenidos con el espectrómetro PIMA SP (SWIR). Las curvas de reflectancia de Quellaveco son comparadas con espectros estándares de la librería espectral de la United States Geological Survey (USGS) para la identificación del mineral. Espectros de reflectancia de las zonas de alteración de los yacimientos de Santa Rosa, Tukari (d,e,f).