



Caracterización espectral de depósitos epitermales de alta sulfuración en las unidades volcánicas del Cenozoico del centro y sur del Perú

Christian Vargas Gonzales

Remote Sensing Geomage S.A.C (cvargas@rs-geomage.com)

1. Introducción

Las experiencias del uso de imágenes satelitales en la exploración mineral data de la década del 70, cuando se utilizó por primera vez imágenes del sensor Landsat MSS (Multispectral Scanner) para la exploración geológica y minera (Rowan, 1977).

El desarrollo tecnológico trajo un gran avance en sensores multispectrales, destacando entre ellos el sensor ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), el cual se encuentra a bordo del satélite TERRA a una distancia de 705 km de la Tierra. Con una resolución temporal de 16 días, cubre un área de 60 x 60 km y está compuesto por tres subsistemas, VNIR (visible and near infrared), SWIR (short-wave infrared) y TIR (thermal infrared).

El subsistema VNIR posee 3 bandas, con una resolución espacial de 15 m, que captan información en el visible e infrarrojo cercano (0.52–0.86 μm). El subsistema SWIR capta información del infrarrojo de onda corta (1.600–2.430 μm) en 6 bandas, con una resolución espacial de 30 m. Finalmente el subsistema TIR capta información del infrarrojo térmico (8.125–11.65 μm) en 5 bandas, a una resolución espacial de 90 m (Fujisada, 1995).

Distintos trabajos han demostrado que el sensor ASTER es útil en la identificación de alunita y otros minerales de alteración hidrotermal (Rowan et al., 2003; Vargas, 2011a). La discriminación y mapeo de K-alunita, natroalunita, y alunita con amonio, utilizando imágenes ASTER fue reportado recientemente (Vargas 2011b).

El presente trabajo es una aplicación de la discriminación de distintos tipos de alunita en la caracterización y generación de targets de tipo epitermal de alta sulfuración.

2. Marco geológico

Los proyectos epitermales de alta sulfuración estudiados fueron Corihuarmi, Picomachay, Minasnioc, Ccarhuaraso, Palla Palla, Crespo, Tucari, y Pucamarca. Se encuentran en las franjas metalogenéticas epitermales de Au-Ag del Miopleistoceno, y epitermales de Au-Ag del Mioceno hospedados en rocas volcánicas cenozoicas, entre las latitudes 12° y 18°. Este área se extiende sobre los departamentos de Huancavelica, Ayacucho, Arequipa, Moquegua, y Tacna.

Las rocas aflorantes en la Cordillera Occidental están constituidas principalmente por rocas volcánicas e intrusivos sub-volcánicos, con edades entre el Oligoceno y Plioceno. Las rocas volcánicas varían desde andesitas basálticas a riolitas, presentando una afinidad geoquímica calcoalcalina con alto potasio. Se acumularon probablemente durante los intervalos 30–17 Ma y 14–3 Ma (Acosta et al., 2009).

En la siguiente figura se muestra un mapa con la ubicación de los depósitos epitermales de alta sulfuración estudiados y las franjas metalogenéticas involucradas.

3. Metodología del trabajo

La metodología se dividió en la etapa de pre-procesamiento, que consistió en la obtención de valores de reflectancia (VNIR-SWIR), emisividad (TIR), y la ortorectificación de las imágenes ASTER.

La segunda etapa fue el análisis espectral, el cual consistió en el análisis de firmas espectrales de minerales y su posterior mapeo.

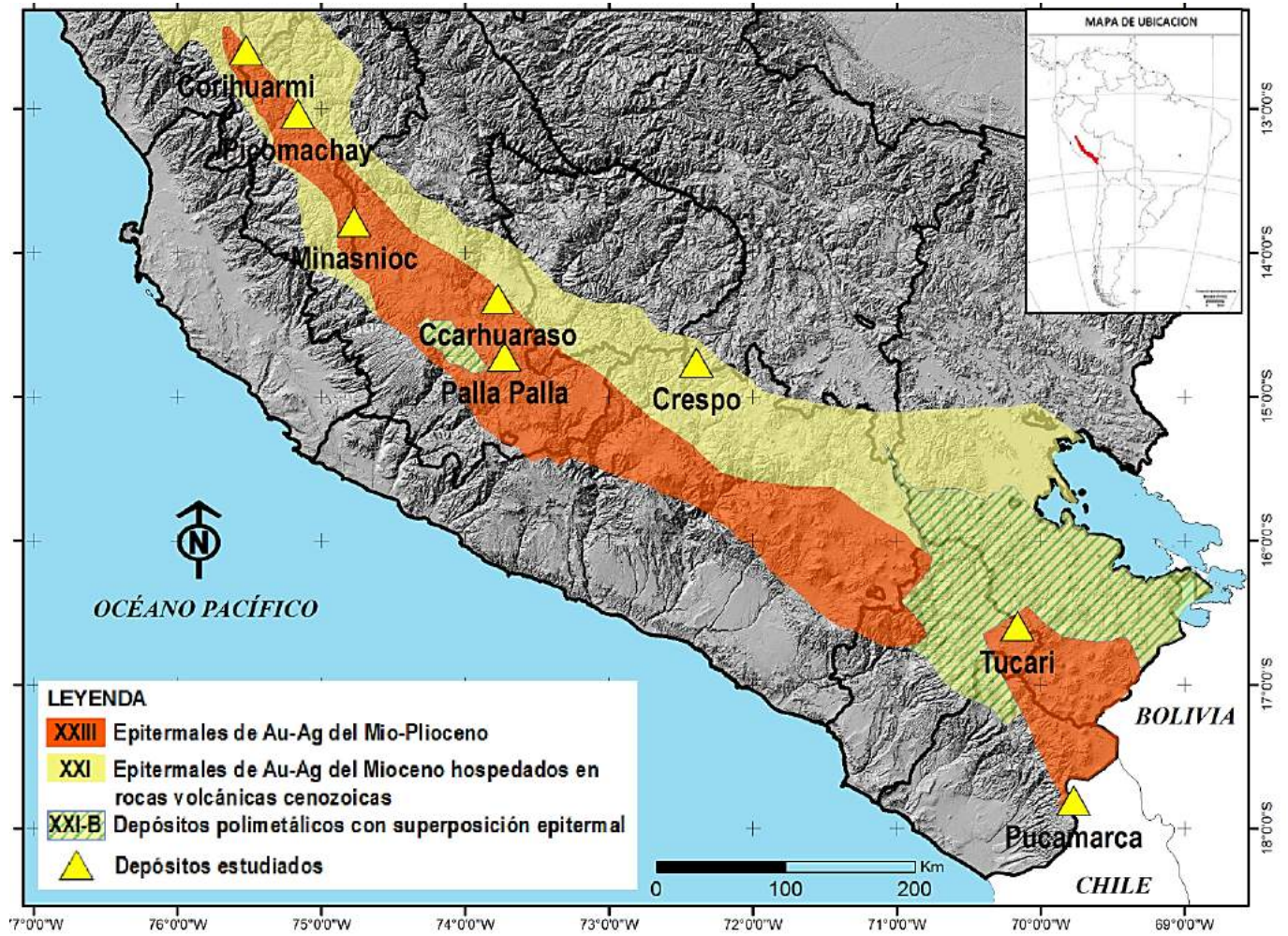


Figura 1. Mapa de depósitos epitermales estudiados.

Tabla 1. Principales minerales encontrados en los distintos depósitos.

Depósito	Estado	Alunita	Otros
Corihuarmi (Au-Ag)	Mina	Alunita-K , alunita, natroalunita	Pirofilita, caolinita, illita
Picomachay (Au)	Mina	Alunita-K , alunita, natroalunita	Caolinita, illita
Minasnioc (Au)	Prospecto	Alunita-K , alunita, natroalunita	Pirofilita, caolinita, illita
Ccarhuaraso (Au-Ag-Cu)	Prospecto	Alunita-K , alunita, natroalunita	Pirofilita, caolinita, illita
Palla Palla (Au-Ag, Pb, Zn, Cu)	Prospecto	Alunita-K , alunita-NH ₄ ⁺ , alunita, Natroalunita	Pirofilita, caolinita, illita
Crespo (Au)	Proyecto	Alunita-K , alunita, natroalunita	Pirofilita, caolinita, illita
Tucari (Au)	Mina	Alunita-K , alunita, natroalunita	Caolinita, illita
Pucamarca (Au)	Proyecto	SiO ₂ > Alunita	Caolinita, illita

3.1. Pre-procesamiento

El primer paso fue la calibración radiométrica de 8 imágenes ASTER L1B.

En el caso del subsistema TIR se obtuvieron valores de emisividad utilizando el método "normalización de emisividad".

En los subsistemas VNIR y SWIR se obtuvieron valores

de reflectancia utilizando un método propio. Este paso es muy importante porque influye directamente en la calidad de los resultados.

Finalmente se realizó la ortorectificación de las imágenes, asegurando con ello un desplazamiento no mayor a 50 m.

3.2. Analisis espectral

Se seleccionaron los patrones espectrales provenientes de la librería espectral de la USGS y los tomados con el espectrómetro TerraSpec, y fueron normalizados a la resolución espectral de ASTER.

Los patrones espectrales normalizados de alunita-K, natroalunita, alunita con amonio, y pirofilita, se caracterizan por presentar absorción en la banda 5 de ASTER, pero tiene ligeras diferencias de reflectividad en las bandas 4, 7 y 8 (Vargas 2011b). Las firmas espectrales de dickita se presentan con absorción en las bandas 5 y 6

de ASTER, lo que vendría a ser similar a la mixtura espectral de alunita + caolinita.

En el caso de la caolinita, muscovita, illita, esmectita, poseen absorción en la banda 6 y diferencias de reflectividad en las bandas 5, 7 y 8 (Vargas 2011a).

Posteriormente se hizo el análisis, identificación y mapeo de los minerales utilizando las imágenes ASTER (Fig. 2). La identificación y análisis permitió obtener la Tabla 1.

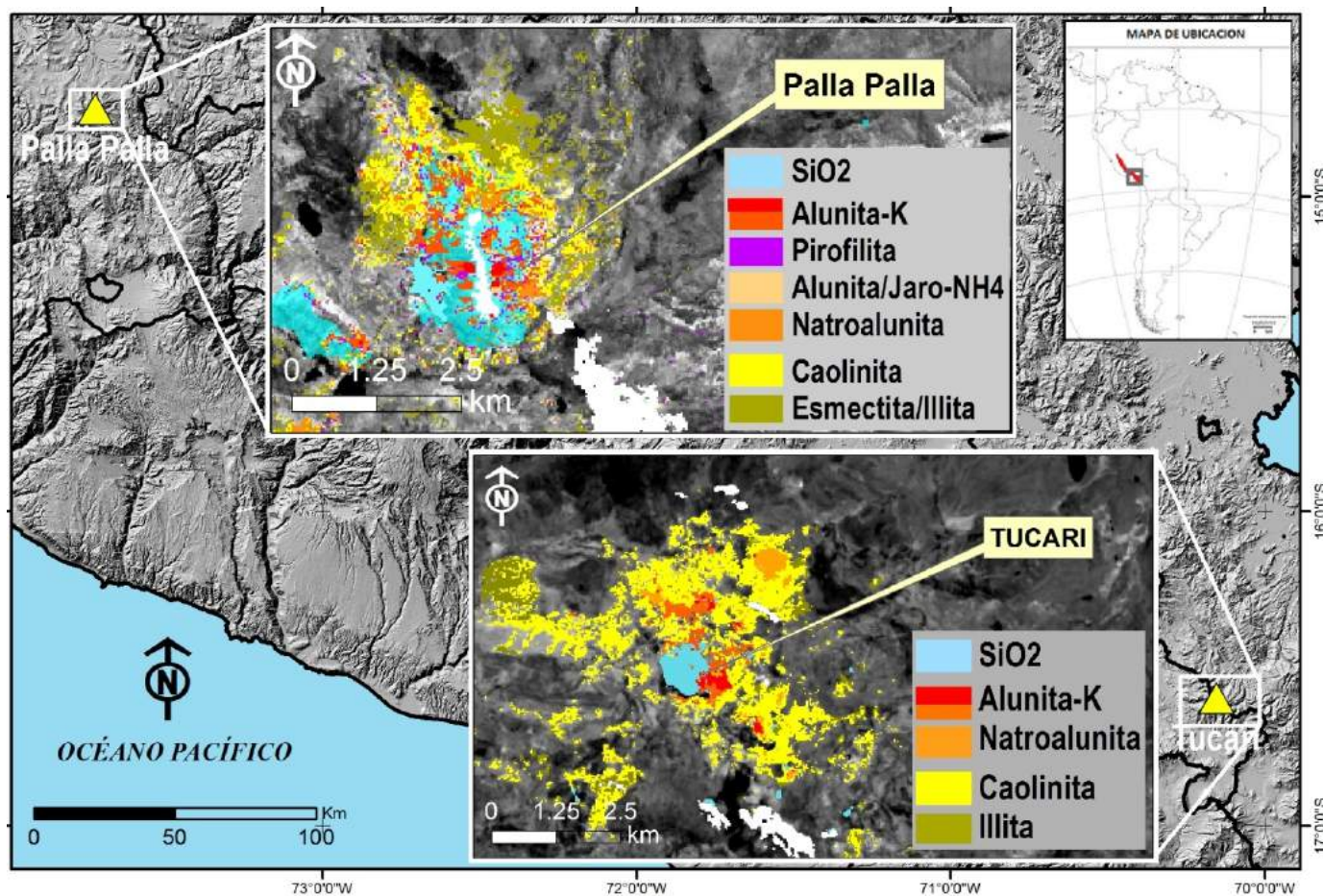


Figura 2. Mapas obtenidos en el prospecto Palla Palla y la mina Tucari.

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos demuestran que los depósitos epitermales de alta sulfuración se caracterizan por presentar zoneamientos de SiO_2 (*vuggy*, masiva, y/o granular) y alunita-K. La natroalunita generalmente se presenta rodeando a la alunita-K y/o formando zoneamientos rodeados por caolinita. En algunos casos se observó que también se puede presentar entremezclada con la alunita-K; esto probablemente esté ligado a la temperatura en que se formó.

El prospecto Palla Palla fue el único que presentó varios pixeles con presencia de alunita y jarosita con amonio. Probablemente esté relacionado con mineralización polimetálica, debido a que también se observó presencia

de amonio en áreas con presencia de alteración hidrotermal, ubicadas dentro de la franja metalogenética XXI-B (depósitos polimetálicos con superposición epitermal).

La presencia de pirofilita fue mucho mayor en el prospecto Palla Palla. En los otros depósitos estudiados la presencia de pirofilita fue menor y no se mapeó.

La alteración argílica se encuentra rodeando la alteración argílica avanzada, y en algunos casos formando zoneamientos.

El método utilizado para la calibración a valores de reflectancia demostró ser sensible a las ligeras variaciones que posee la alunita-K, alunita- NH_4 , natroalunita,

pirofilita, caolinita, illita, esmectita, SiO₂, óxidos de hierro, y sus respectivas mezclas espectrales.

La caracterización espectral de los depósitos epitermales podrá ser utilizada para la identificación de nuevos targets epitermales utilizando el sensor ASTER.

Agradecimientos

El autor agradece a Mitchel Metzger, Alberto Ríos, y Shirley Custodio por sus contribuciones y sugerencias para la elaboración del artículo.

Referencias

- Acosta, J., Valencia, M., Paico, D. 2009. Estudio de los volcánicos cenozoicos del sur del Perú y su relación con la metalogenia. Relación del volcanismo mio-plioceno con los depósitos epitermales de oro y plata en la Cordillera Occidental del sur del Perú. Informe técnico-científico, INGEMMET.
- Fujisada, H. 1995. Design and performance of ASTER instrument. Proceedings of SPIE, the International Society for Optical Engineering, v. 2583, p. 16-25.
- Rowan, L.C., Goetz, A.F.H., Ashley, R.P. 1977. Discrimination of hydrothermally altered and unaltered rocks in visible and near-infrared multispectral images. Geophysics, v. 42, p. 522-535.
- Rowan, L.C., Hook, S.J., Abrams, M.J., Mars, J.C. 2003. Mapping hydrothermally altered rocks at Cuprite, Nevada, using the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER), a new satellite-imaging system. Economic Geology, v. 98, p. 1019-1027.
- Vargas, G.C. 2011a. Discrimination and mapping types of alunite using ASTER sensor: Experiences in the Peruvian Andes. Advances in Geological Remote Sensing. GRSG/OGEO, Abstract Book. Francasti, p.48.
- Vargas, G.C. 2011b. Identificación de targets utilizando la imagen ASTER (Detección de áreas mineralizadas utilizando el sensor ASTER: Experiencia en la Cordillera de los Andes de Perú). Memorias, XIV Congreso Latinoamericano de Geología y XIII Congreso Colombiano de Geología, Medellín, p. 206.