

Caracterización Espectral de tipos de Alunita y Silice en Depósitos Epitermales de Alta Sulfuración utilizando imágenes ASTER

Christian Vargas Gonzales

Remote Sensing Geoimage S.A.C

cvargas@rs-geoimage.com

Abstract: The identification of areas with presence of alunite and silica is used as guides to identify epithermal deposits. This paper presents the method used for discrimination and characterization of types of alunite and silica in differences projects and epithermal deposits located in Peru. ASTER L1B image product were used; the preprocessing consisted of crosstalk effect correction, orthorectification of the VNIR (visible-near infrared), SWIR (shortwave infrared) and TIR (thermal infrared) subsystems, the VNIR and SWIR subsystems were integrated into a spatial resolution of 30 meters, the data were calibrated to reflectance values, emissivity, in addition an additional atmospheric correction is made. From this information the spectral analysis was done with reference to the USGS Splib06a spectral library, spectra obtained with PIMA, TerraSpec and Hydrothermal alteration maps became available. SWIR bands were used for the discrimination of types of alunite, the TIR and VNIR bands were used for the discrimination of silica, the integrated analysis of VNIR and SWIR facilitated the identification of alunite associated with silica or iron oxide; moreover, it was possible to identify and define spectral patterns for natroalunite, potassium alunite, ammonium alunite, vuggy and massive silica. Finally it became a digital classification using the Spectral Angle Mapper (SAM) method, obtaining detailed maps for the areas studied.

Keywords: ASTER, spectral analysis, high sulfidation epithermal, K-alunite, natroalunite, NH₄-alunite, vuggy silica, massive silica.

1. Introducción

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

El desarrollo tecnológico trajo un gran avance en sensores multiespectrales, 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 kilómetros 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/Near Infrared), SWIR (Short wave infrared) y TIR (Thermal infrared). El subsistema VNIR posee 3 bandas con una resolución espacial de 15 metros 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 metros; y finalmente el subsistema TIR capta información del infrarrojo térmico (8.125-11.65 μm) en 5 bandas a una resolución espacial de 90 metros (Fujisada 1995).

Distintos trabajos han demostrado que el sensor ASTER es útil en la identificación de alunite y otros minerales de alteración hidrotermal (Rowan et al, 2003; Crósta et al, 2003, Vargas, 2011¹). Sin embargo la discriminación y mapeo de K-alunite, natroalunite y alunite con amonio utilizando imágenes ASTER fue reportado recientemente (Vargas 2011²; Vargas 2012). El presente resumen muestra la actualización de la información presentada anteriormente e incluye la caracterización de sílice masiva y vuggy.

2. Marco Geológico

Los proyectos epitermales de alta sulfuración estudiados son: Corihuarmi, Picomachay, Minasnioc, Ccarhuaraso, Palla Palla, Crespo, Tucari, Pucamarca y se encuentran en las franjas metalogenéticas Epitermales de Au-Ag del Mio-Pleistoceno y Epitermales de Au-Ag del Mioceno hospedados en rocas volcánicas cenozoicas y comprende los departamentos de Huancavelica, Ayacucho, Cuzco, Moquegua y Tacna en Perú.

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. Presentan una afinidad geoquímica calcoalcalina con alto potasio y posiblemente depositadas entre los 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.

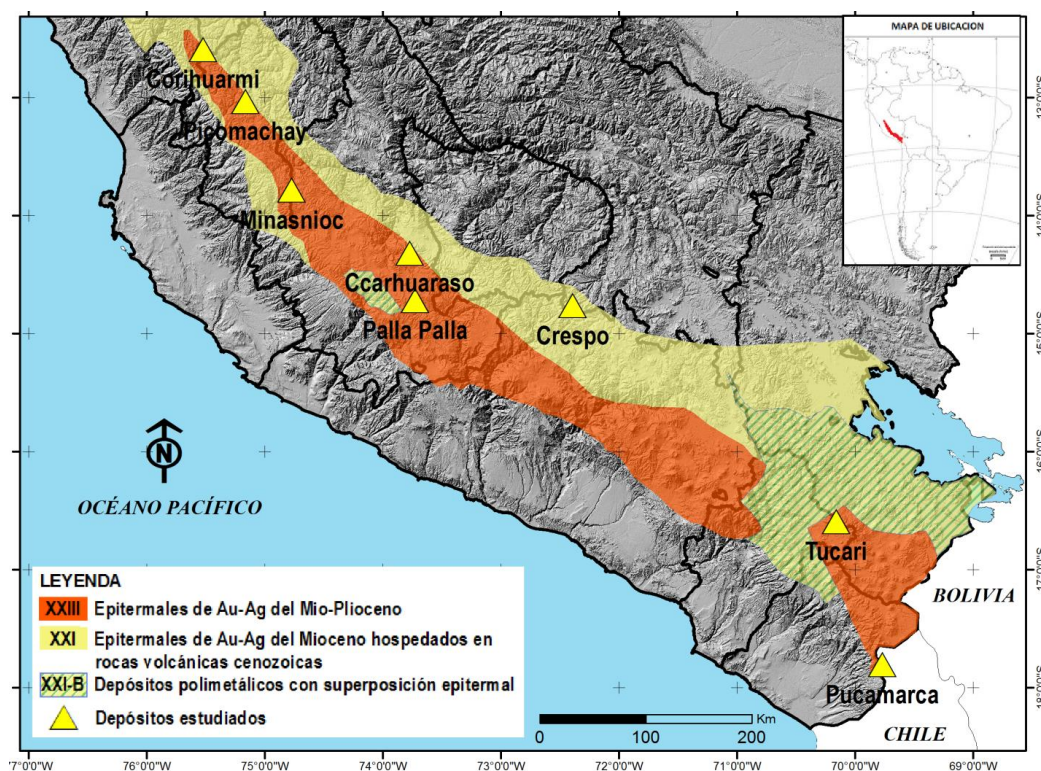


Fig. 1. Mapa de depósitos epitermales estudiados.

3. Metodología del Trabajo

La metodología se dividió en la etapa de pre-procesamiento que consiste en la obtención de valores de reflectancia (VNIR-SWIR), emisividad (TIR) y la ortorectificación de las imágenes ASTER; La segunda etapa es el análisis espectral, el cual consiste en el análisis de firmas espectrales de minerales y su posterior mapeo.

3.1. Pre-Procesamiento

El primero 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

el método de sustracción del pixel oscuro. Este paso es muy importante porque influye directamente en la calidad de los resultados. Además se realizó la ortorectificación de las imágenes utilizando cartografía 1/100,000.

3.2. Análisis Espectral

Se seleccionaron los patrones espectrales provenientes de la librería espectral de la USGS y los obtenidos de muestras de mano analizadas con espectrómetro TerraSpec y PIMA, estos datos fueron normalizadas a la resolución espectral de ASTER; adicionalmente se utilizaron mapas de alteraciones hidrotermales disponibles para que sean correlacionados con los datos obtenidos de las imágenes ASTER. El análisis de los patrones espectrales normalizados de alunite-K, alunite-Na, alunite con amonio y pirofilita se caracterizan por presentar absorción en la banda 5 de ASTER, pero con ligeras diferencias de reflectividad en las bandas 4, 7 y 8 (Vargas 2011²). Además se puede mencionar que la alunite formada a mayores temperaturas presenta una extensión mayor de reflectancia entre las bandas 5 y 7 que la formada a menor temperatura. En el caso de las firmas espectrales de dickita se presenta con absorción en las bandas 5 y 6 de ASTER, lo que vendría a ser similar a la mixtura espectral de alunite + caolinita. En el caso de la caolinita, muscovita, esmectita, poseen absorción en la banda 6 y diferencias de reflectividad en las bandas 5, 7 y 8 (Vargas 2011¹). Ver fig. 1.

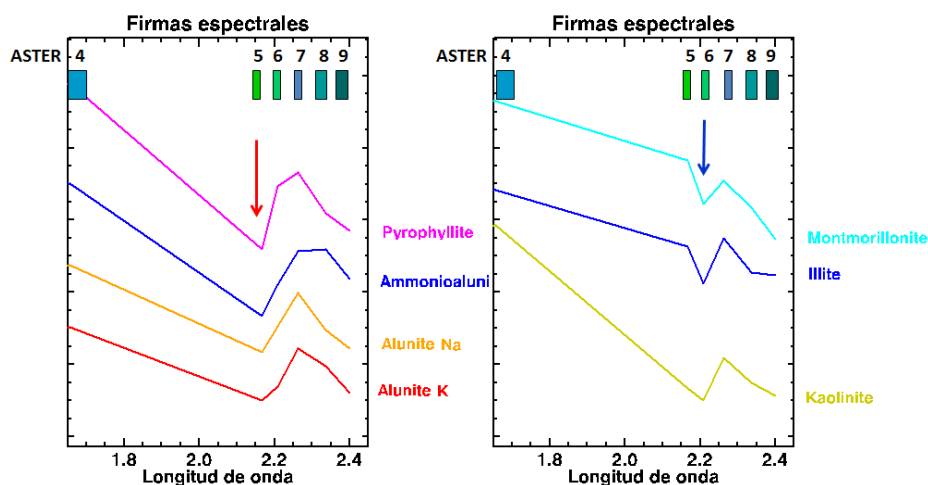


Fig. 1. Respuesta espectral de distintos minerales adaptados a la resolución espectral de ASTER.

Para determinar los patrones espectrales de los tipos de sílice se utilizó principalmente la correlación entre los mapas de alteraciones disponibles para los distintos proyectos y las imágenes ASTER, esto permitió reconocer los siguientes patrones, para el caso de sílice vuggy presenta distintos niveles de absorción en las bandas 1,2 y 4, en la banda 3 presenta reflectividad. La sílice masiva refleja en distintos niveles en la banda 1 y 3 y absorbe en la banda 2; las bandas del SWIR fueron utilizadas para identificar la arcilla asociada a sílice vuggy y/o masiva y los datos termale para el mapeo de presencia de SiO₂.

Posteriormente se hizo el mapeo de minerales para toda el área en estudio utilizándose el método Spectral Angle Mapper, lográndose identificar nuevos targets. (Ver fig. 3).

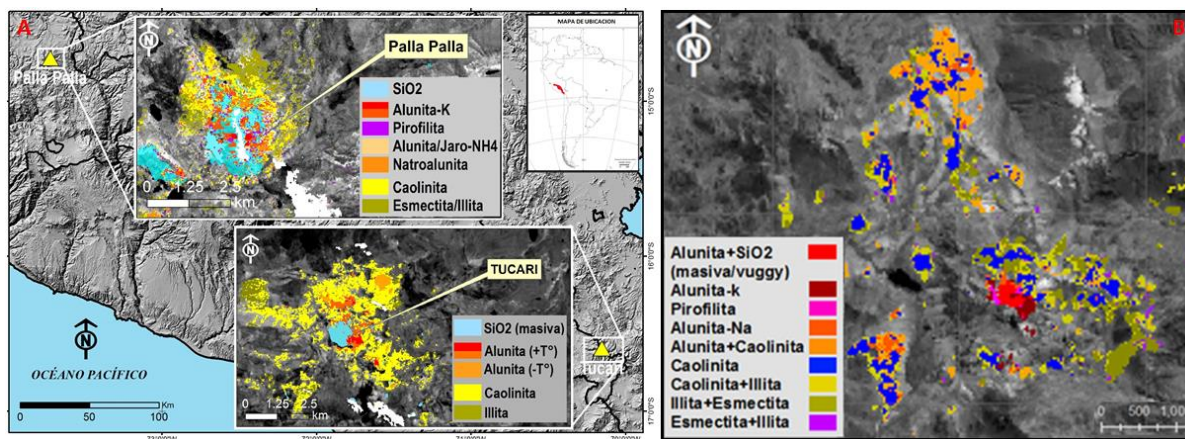


Fig.3. **A.** Muestra los mapas obtenidos en el prospecto Palla Palla y la mina Tucari. **B.** Muestra el mapa del principal target encontrado.

La caracterización espectral también se utilizó para mapear proyectos fuera del área de estudio como la Mina de oro Yanacocha, donde se priorizo el mapeo de tipos de sílice. Ver fig. 3.

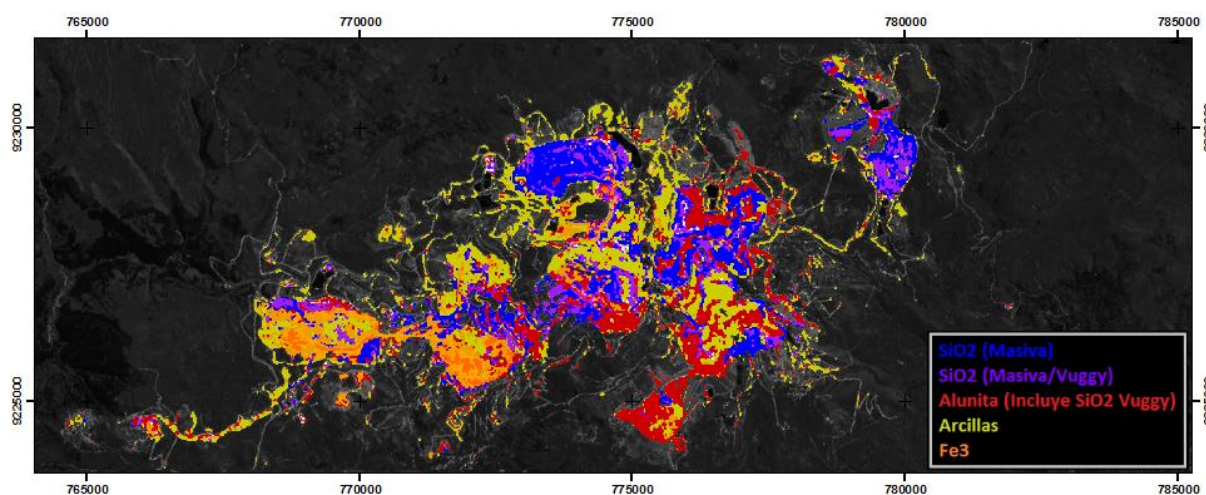


Fig.3. Muestra el mapa de sílice, alunita, arcillas y Fe3 obtenido para la Mina de Yanacocha

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos demuestran que los depósitos epitermales de alta sulfuración se caracterizan por presentar zoneamientos de SiO₂ (Masiva, vuggy), rodeado principalmente por alunita-K y alunita-Na formada a mayor temperatura, la alunita-Na generalmente se presenta rodeando a la alunita-K y/o formando zoneamientos rodeados por caolinita, en este caso la alunita-Na presenta características que fue formada a menor temperatura. También se observó la mezcla espectral de sílice y alunita-K/Na y alunita con otras arcillas.

El prospecto Palla Palla fue el único que presentó varios píxeles con presencia de alunita y jarosita con amonio, probablemente el amonio 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 metalogénica 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 de menor intensidad y no fueron mapeados.

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-NH₄, natroalunita, pirofilita, caolinita, illita, esmectita, sílice masiva, sílice vuggy, óxidos de hierro y sus respectivas mezclas espectrales.

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

5. Agradecimientos

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

6. Bibliografía

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

Crósta, A. P.; De Souza Filho, C. R.; Azebedo, C.; Brodie, C. (2003): Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis. *Int. J. Remote Sensing* - Taylor y Francis. Vol. 24, NO. 21, 4233-4240.

Fujisada, H. (1995): Design and performance of ASTER instrument. *Proceedings of SPIE, the International Society for Optical Engineering*, 2583, 16– 25.

Vargas, G.C. (2011¹): Identificación de targets utilizando la imagen ASTER (Detección de áreas mineralizadas utilizando el sensor ASTER: Experiencia en la Cordillera de los Andes de Perú) XIV Congreso Latinoamericano de Geología y XIII Congreso Colombiano de Geología. *Memorias del congreso*. Medellín p.206.

Vargas, G.C. (2011²): Discrimination and mapping types of alunite using ASTER sensor: Experiences in the Peruvian Andes. *Advances in Geological Remote Sensing. GRSG/OGEO. Abstract Book*. Francastí p.48.

Vargas, G.C. (2012): Caracterización Espectral de Depósitos Epitermales de Alta Sulfuración en los Volcánicos del Cenozoico del Centro y Sur del Perú. XVI Congreso Peruano de Geología y SEG 2012 Conference. *Presentación oral*. Lima – Perú.

Rowan, L.C., Goetz, A.F.H., Ashley, R.P. (1977): Discrimination of hydrothermally altered and unaltered rocks in visible and nearinfrared multispectral images. *Geophysics* 42, 522–535.

Rowan, L.C.; S.J. Hook; M.J. Abrams; and J.C. Mars. (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 and the Bulletin of the Society of Economic Geologists*, v.98, n.5, p. 1019-1027.