

DISCRIMINACIÓN Y MAPEO DE TIPOS DE ALUNITA Y SÍLICE UTILIZANDO EL SENSOR ASTER APLICADO EN LA IDENTIFICACION DE DEPÓSITOS EPITERMALES DE ALTA SULFURACIÓN DEL CENTRO Y SUR DEL PERÚ

Christian Vargas Gonzales

cvargas@rs-geoimage.com, Remote Sensing Geoimage S.A.C.
Domingo Orue 221 – 403 Surquillo

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/NearInfrared), SWIR (Short wave infrared) y TIR (Thermalinfrared). 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 alunita y otros minerales de alteración hidrotermal (Rowan et al, 2003; Crósta et al, 2003, Vargas, 2011¹). Sin embargo la discriminación y mapeo de K-alunita, natroalunita y alunita 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 identificación y discriminación de sílice masiva y vuggy.

MARCO GEOLÓGICO

Los proyectos epitermales de alta sulfuración estudiados son: Corihuarmi (Au-Ag), Picomachay (Au), Minasnioc (Au), Ccarhuaraso (Au-Ag-Cu), Palla Palla (Au-Ag, Pb, Zn, Cu), Crespo (Au), Tucari (Au), Pucamarca (Au) que 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, entre las latitudes 12° y 18°. Comprende 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. Presentan una afinidad geoquímica calcoalcalina con alto potasio y posiblemente depositadas entre los 30-17 Ma y 14-3 Ma. En la Cordillera Occidental del sur del Perú se han identificado cuatro sistemas regionales de fallas NO-SE, los cuales son: Sistema de Fallas Cincha-LLuta, Sistema de Fallas Icapuquio, Sistema de Fallas Condorama-Caylloma, Sistema de Fallas Cusco-Lagunillas-Mañazo y el Sistema de Fallas Urcos-Sicuano-Ayaviri (Acosta et al. 2009).

En la figura 1 se muestra un mapa con la ubicación de los depósitos epitermales de alta sulfuración estudiados y las franjas metalogenéticas involucradas.

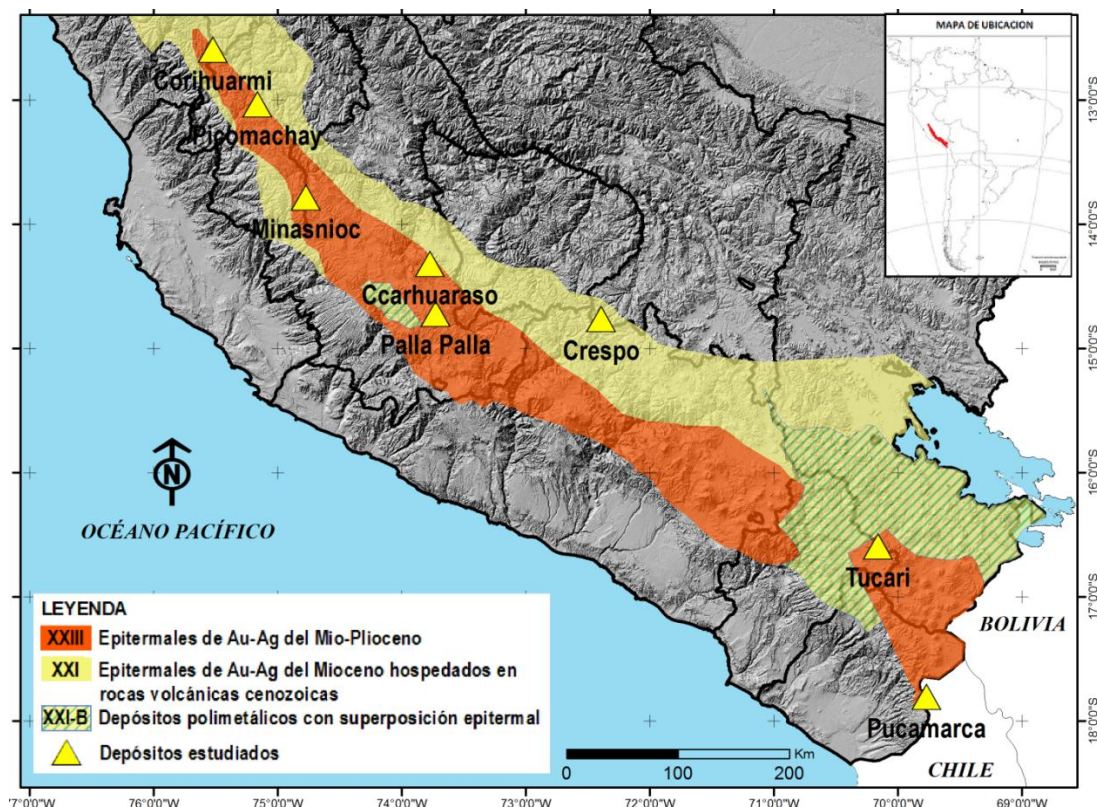


Fig.1. Mapa de depósitos epitermales estudiados.

METODOLOGÍA

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.

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 un método propio, basado en la respuesta espectral de distintos materiales, entre ellos agua y vegetación. Este paso es muy importante porque influye directamente en la calidad de los resultados. Finalmente se realizó la ortorectificación de las imágenes, utilizando la hidrografía y topografía (DEM) a escala 1/100,000, asegurándose un desplazamiento no mayor a 50m.

ANÁLISIS ESPECTRAL Y MAPEO DE MINERALES

Se seleccionaron los patrones espectrales provenientes de la librería espectral de la USGS (Splib06a) y los espectros de muestras de mano captados con el espectrómetro TerraSpec, esta información espectral fueron normalizados a la resolución espectral de ASTER.

El análisis de 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 2011²); en últimos análisis se identificó variaciones de la intensidad absorción en la alunita y esto se debería a la temperatura en que fue formada; la alunita formada a mayor temperatura presenta mayor absorción en la banda 5, haciéndose más extensa la respuesta espectral entre las bandas 5 y 7 del sensor ASTER.

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 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 2011¹). Las áreas con presencia de la sílice masiva presenta absorción en la banda 2, y reflexión en la banda 1 y 3; y las áreas de sílice vuggy presenta absorción en la banda 1 y reflexión en la banda 3, en la banda 4 presentara ligera absorción con respecto a la banda 3; las bandas del SWIR fueron utilizadas para identificar la arcilla asociada al sílice vuggy y/o masiva y los datos termales para el mapeo de presencia de SiO₂ en el suelo.

Posteriormente se hizo la identificación y análisis de firmas espectrales de minerales en la imagen ASTER para los 8 depósitos en estudio, lográndose discriminar alunita-K, natroalunita y alunita con amonio, incluso se pudo observar las variaciones en la intensidad de absorción en la banda 5 de la alunita; la alunita con mayor absorción en la banda 5 coincidentemente en la mayoría de casos esta se encontraba mezclada con SiO₂ (Vuggy/masiva), esto probablemente sea porque esta alunita fue formada a mayor temperatura; la sílice masiva y vuggy también fue identificada, generalmente formando zonamientos o mezclada con alunita y/o pirofilita. Adicionalmente se identificaron arcillas típicas de alteraciones argílicas. La información espectral obtenida de la caracterización espectral de los depósitos epitermales estudiados fue utilizada como patrones espectrales para la identificación de nuevos depósitos epitermales utilizando las imágenes ASTER. Finalmente se tuvieron mapas de minerales con distinto nivel de detalle para el área en estudio, donde se pudieron identificar nuevos targets de tipo epitermal de alta Sulfuración y baja Sulfuración (Ver fig. 2).

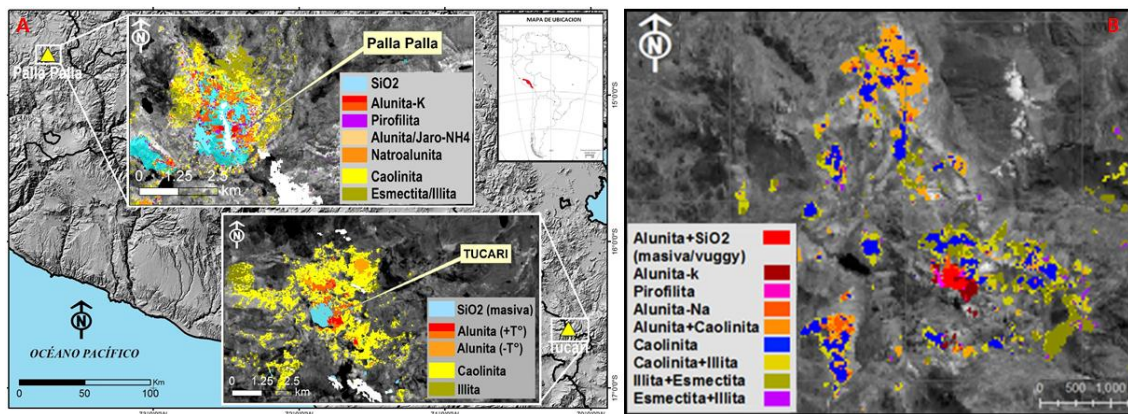


Fig.2. A. Muestra los mapas obtenidos en el prospecto Palla Palla y la mina Tucari.
B. Muestra el mapa del principal target encontrado.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demuestran que los depósitos epitermales de alta sulfuración se caracterizan por presentar zonamientos de SiO₂ (Vuggy, masiva y/o granular) rodeada y/o mezclada principalmente por alunita-K; en el caso de Tucari el zonamiento de SiO₂ (principalmente masiva) estuvo rodeado por alunita, en este caso no fue posible la discriminación del tipo de alunita.

En todos los casos la alunita K y/o natroalunita con absorción intensa en la banda 5 se identificó rodeando o mezclada con SiO₂; esto estaría relacionado directamente a la temperatura en que fue formada.

La natroalunita generalmente se presenta rodeando a la alunita-K y/o formando zonamientos rodeados por caolinita y/o asociadas a óxidos, en algunos casos se observó que también se puede presentar entre mezclada con la alunita-K, esto probablemente esté ligado a la temperatura en que fue formada.

El prospecto Palla Palla fue el único que presento 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 metalogénica XXI-B (Depósitos polimetálicos con superposición Epitermal).

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

El proyecto Pucamarca tiene dos zonamientos, uno de ellos con predominio de sílice masiva y vuggy sin mezcla espectral; el cual fue utilizado correlacionar y validar espectros de sílice masiva y vuggy en toda el área de estudio.

El método utilizado para la calibración a valores de reflectancia demostró ser sensible a las ligeras variaciones que posee la sílice masiva, sílice vuggy, alunita-K, alunita-NH₄, natroalunita, pirofilita, caolinita, illita, esmectita, SiO₂, óxidos de hierro y sus respectivas mezclas espectrales.

La discriminación y mapeo de tipos de alunita y sílice pueden ser utilizados para la identificación de nuevos targets epitermales.

AGRADECIMIENTOS

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

REFERENCIAS

1. 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. *Informetécnicocientífico*
2. 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.
3. Fujisada, H. (1995): Design and performance of ASTER instrument. *Proceedings of SPIE, the International Society for Optical Engineering*, 2583, 16– 25.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.