

IDENTIFICACIÓN DE DEPÓSITOS UTILIZANDO EL SENSOR ASTER

IDENTIFICATION OF TARGETS USING THE ASTER SENSOR

Christian Vargas Gonzales

*Mz F1. Lote 3. Urb. Los Pinos, Lima 36. Lima-Peru
cvargas@rs-geoimage.com Remote Sensing Geoimage S.A.C*

Vargas Gonzales, C. (2013). *Identificación de depósitos utilizando el sensor Aster*. GEOLOGIA COLOMBIANA, Vol. 38. Bogotá, Colombia. pp. 149-157.

Manuscrito recibido: 10 de julio de 2012; aceptado: mayo de 2013

Resumen

El artículo tiene como objetivo demostrar la capacidad que tiene ASTER en la identificación de minerales. ASTER posee 14 bandas espectrales; esto lo convierte en el único sensor multiespectral con estas características. Sus 14 bandas espectrales que captan información en el espectro visible, infrarrojo cercano, infrarrojo de onda corta e infrarrojo termal, permiten la identificación de minerales debido a que estos poseen rasgos espectrales característicos que se deben a factores como el estado de la valencia, composición química, tipo de enlace molecular y estructura cristalina.

Palabras Clave: ASTER; Teledetección; Alteración hidrotermal; Cartografía de minerales.

Abstract

The article aims to demonstrate the ability of ASTER in the mineral identification. ASTER has 14 spectral bands, this makes it the only multi-spectral sensor with these characteristics. Its 14 spectral bands capture information in the visible, near infrared, shortwave infrared and thermal infrared. ASTER allows the identification of minerals because these have spectral features are due to factors such as the valence state, chemical composition, type of molecular bonding and crystalline structure.

Key Words: ASTER; Remote sensing; Hydrothermal alteration, Mineral mapping.

1. INTRODUCCIÓN

Las experiencias del uso de imágenes de satélite en la exploración de minerales data desde la década del 70 (Rowan, 1977). ASTER se encuentra a bordo del satélite TERRA a una distancia de 705 kilómetros de la Tierra, con una resolución temporal de 16 días y un ancho de barrido de 60 Km. ASTER 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).

Tabla 1.
Características de ASTER (Modificado de Fujisada, 1995).

Subsistema	Número de Bandas	Rango Espectral (μm)	Resolución Espacial (m)	Resolución radiométrica
VNIR	1	0.52 - 0.60	15 m	8 bits
	2	0.63 - 0.69	15 m	8 bits
	3 N	0.78 - 0.86	15 m	8 bits
	3 B	0.78 - 0.86	15 m	8 bits
SWIR	4	1.600 - 1.700	30 m	8 bits
	5	2.145 - 2.185	30 m	8 bits
	6	2.185 - 2.225	30 m	8 bits
	7	2.235 - 2.285	30 m	8 bits
	8	2.295 - 2.365	30 m	8 bits
	9	2.360 - 2.430	30 m	8 bits
TIR	10	8.125 - 8.475	90 m	12 bits
	11	8.475 - 8.825	90 m	12 bits
	12	8.925 - 9.275	90 m	12 bits
	13	10.25 - 10.95	90 m	12 bits
	14	10.95 - 11.65	90 m	12 bits

Las características espectrales del sensor ASTER, permiten extraer información litológica-estructural; identificación de áreas de alteración hidrotermal y también analiza las características de absorción de distintos minerales, logrando con ello la identificación de distintos depósitos.

2. METODOLOGÍA

La metodología se dividió en:

a. Respuesta espectral de Minerales

En el rango espectral, que involucra al visible-infrarrojo cercano e infrarrojo de onda corta (0.4-2.5 micrones), los minerales formadores de rocas y sus productos de alteración tienen rasgos espectrales característicos debido a diferentes factores como el estado de la valencia, composición química, tipo de enlace molecular y estructura cristalina. En la figura 1, se muestran firmas espectrales de minerales y las distintas características de absorción que tienen debido a los factores antes mencionados.

Las firmas espectrales de minerales son captados mediante el uso de espectrómetros. Los más utilizados en la exploración mineral son el PIMA y el TerraSpect. El PIMA, capta información entre los 1.3 a 2.5 micrómetros (SWIR) y permite la identificación de filosilicatos, arcillas y carbonatos en el caso del TerraSpec. Además de los

ya mencionados, permite la identificación de minerales de óxidos, gracias a que además de captar información en el SWIR, capta información en el espectro visible e infrarrojo cercano (0.35 a 2.5 micrómetros).

b. Respuesta espectral de Minerales en datos ASTER

Las firmas espectrales captadas por los espectrómetros tienen que ser adaptadas a la resolución espectral del sensor ASTER (Figs.2 y 3), para su comparación y análisis con las extraídas de la imagen ASTER. En la siguiente figura se muestran las firmas espectrales de minerales adaptados a la resolución espectral de ASTER (VNIR+SWIR) y ASTER (TIR).

Los espectros de laboratorio de calcita, así como de dolomita, se caracterizan por tener una débil absorción, cerca de 11.2 micrómetros y en otros rangos se muestra generalmente plana. Sin embargo esta absorción no es evidente en las bandas TIR de ASTER, debido a la amplitud de las bandas (Figura 3). La forma del espectro es similar a la de vegetación en esta región del espectro (Salisbury y Milton, 1987). El cuarzo presenta absorción en la banda 13 y mayor emisividad en las bandas 14 y 15. La biotita, hornblenda y epidota tienden a presentar menor absorción en la banda 13 de ASTER y la microlina presenta absorción en la banda 12.

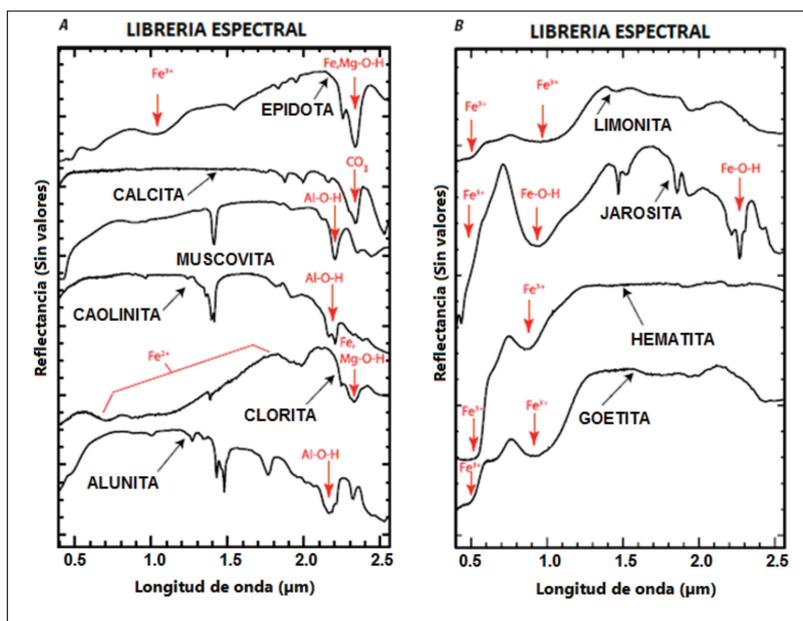


Figura 1. Firmas espectrales de laboratorio y regiones de absorción.

(1A) Espectros de epidota, calcita, muscovita, caolinita, clorita, y alunita, que son minerales comunes de alteración hidrotermal (Clark y otros, 1993). Alunita y caolinita tienen características de Al-OH de absorción a 2,17 y de 2,20 micrómetros. La muscovita ocupa un lugar importante de Al-OH función de absorción de 2,20 micrómetros y una función secundaria 2,35 micrómetros de absorción. La Clorita y epidota tienen una característica Fe-Mg-OH 2,32 micrómetros de absorción y un amplio Fe²⁺ dispone de 1,65 a 0,6 micrómetros. Calcita tiene una CO₃ prominentes 2,33 micrómetros característica de absorción. **(1B)** Espectros de laboratorio de limonita, jarosita, hematita y goetita. Estos minerales tienen características fuertes de Fe³⁺ absorción a 0.97-0.83 y 0.48 micrómetros. La Jarosita tiene características Fe-OH absorción a 0.94 y 2.27 micrómetros. (Modificado de Mars y Rowan, 2006).

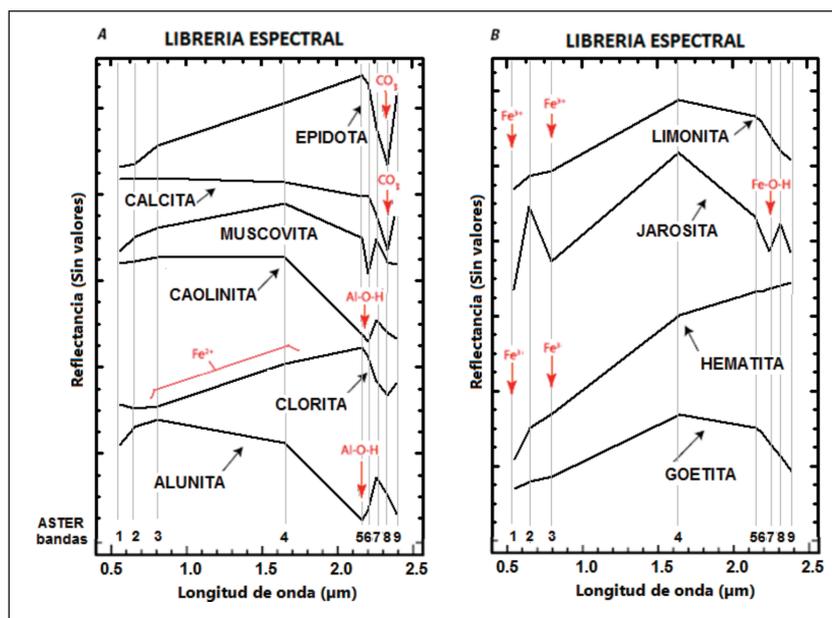


Figura 2. Firmas espectrales adaptadas a la resolución espectral de ASTER (VNIR+SWIR).

(2A) Espectros de epidota, calcita, muscovita, caolinita, clorita, y alunita, adaptados a la resolución espectral de ASTER. La alunita presenta absorción en la banda 5 y mayor reflectancia en las bandas 4 y 7. La caolinita tiene absorción en la banda 6 y mayor reflectancia en las bandas 4 y 7. La muscovita tiene absorción en la banda 6 y mayor reflectancia en las bandas 5 y 7. La clorita, epidota y calcita presentan absorción en la banda 8 y mayor reflectancia en las bandas 4 y 5. **(2B)** Espectros de limonita, jarosita, hematita y goetita, adaptados a la resolución espectral de ASTER. Estos minerales presentan absorción en la banda 1, además de tener mayor reflectividad en la banda 2. En algunos casos se muestra absorción fuerte en la banda 3 con respecto a la banda 2 y 4.

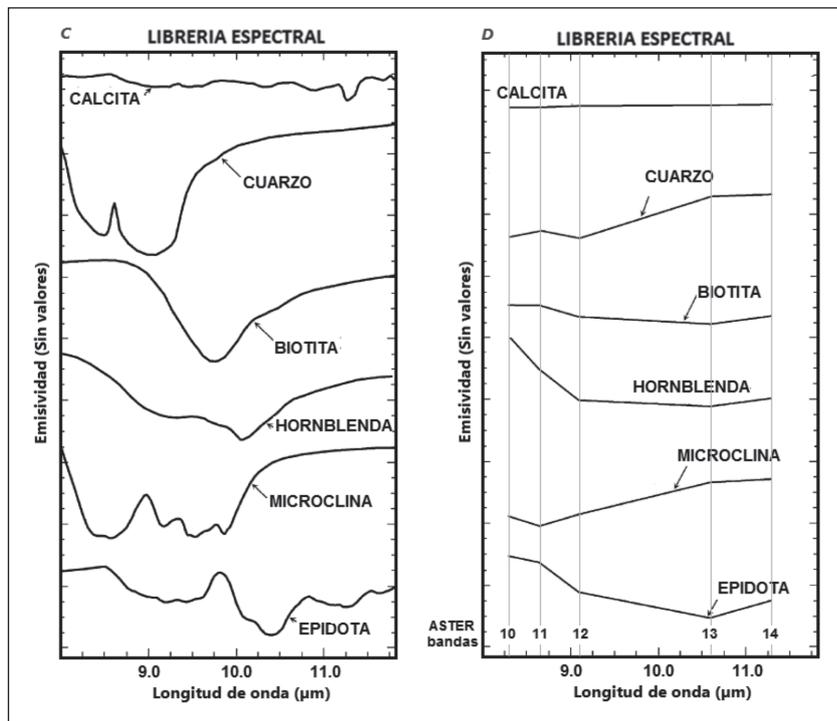


Figura 3. Firmas espectrales de laboratorio adaptadas a la resolución espectral de ASTER (TIR).

(3C) Espectros de calcita, cuarzo, biotita, hornblenda, microclina y epidota. Se muestra las distintas características de absorción y reflexión en distintas porciones de la longitud de onda. (3D) Espectros de calcita, calcita, cuarzo, biotita, hornblenda, microclina y epidota, adaptados a las bandas termale de ASTER. En las distintas características de absorción no son tan notorias como en el caso de las adaptadas al subsistema VNIR+SWIR de ASTER.

En la imagen ASTER, se debe tener en cuenta que las firmas espectrales disponibles son muestras tomadas en laboratorio y en la naturaleza no es usual encontrar superficies extensas con presencia de un solo tipo de mineral. Entonces se debe tomar en cuenta las mezclas espectrales que se puedan dar en la superficie terrestre. En el caso de las imágenes satelitales ocurren las mezclas lineales y las fuentes que contribuyen a las mezclas lineales son:

- a) Los sistemas de imágenes ópticas que integran la reflexión de la luz sobre cada píxel.
- b) Todos los materiales presentes dentro el campo de visión del sensor contribuyen a la reflexión de cada uno de los píxeles.
- c) La variación de la luz en función de la topografía da como resultado la atenuación de las señales.

La figura 4, muestra firmas espectrales de laboratorio adaptados a la resolución espectral de la imagen ASTER y dos casos típicos de mezcla espectral en la exploración mineral.

c. Identificación de Minerales

Para la identificación de minerales en la imagen ASTER es necesario que el subsistema VNIR-SWIR se encuentre en valores de reflectancia y el TIR en valores de emisividad. También es necesario que se haga la corrección atmosférica y si fuese posible la corrección topográfica.

La identificación de firmas espectrales de minerales puede hacerse revisando las coordenadas de lugares con presencia de mineral ya conocidos, utilizando técnica de relación, manualmente o aplicando la técnica del Pixel Purity index (Boardman, 1995), que consiste en buscar los píxeles mas espectralmente más puros en la imagen, dentro de los cuales aparecerán muchas firmas espectrales de minerales.

Identificación de minerales en el proyecto Corihuarmi

El proyecto se encuentra ubicado a unos 160 kilómetros al sureste de Lima, Perú, en los Andes Centrales, a una altitud de aproximadamente 5000 m.s.n.m. La figura 5 se muestra la banda 3 de ASTER y las firmas espectrales

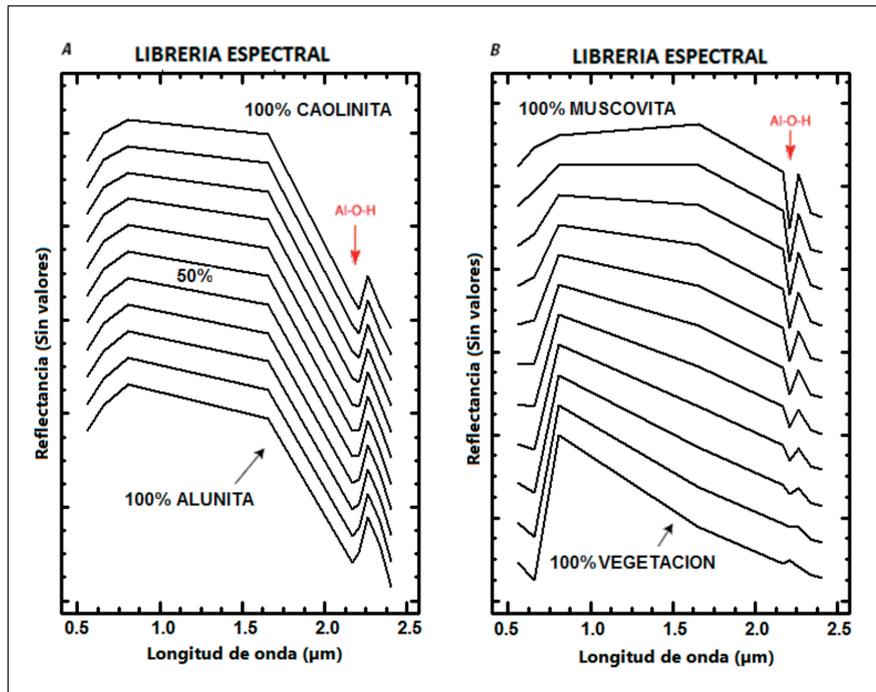


Figura 4. Modelos de mezcla espectral lineal, utilizando espectros de laboratorio adaptados a ASTER.

(4A) Espectros de caolinita y alunita adaptados a la resolución espectral de ASTER y su modelo de mezcla espectral lineal. La firma espectral de 50% alunita + 50% caolinita es similar al espectro de la dickita o al de la caolinita de alta cristalización. **(4B)** Espectros de laboratorio de muscovita y vegetación adaptados a la resolución espectral de ASTER y su modelo de mezcla espectral lineal. Se observa que la absorción en la banda 6 de la muscovita se muestra hasta la muestra de 80% vegetación + 20% muscovita.

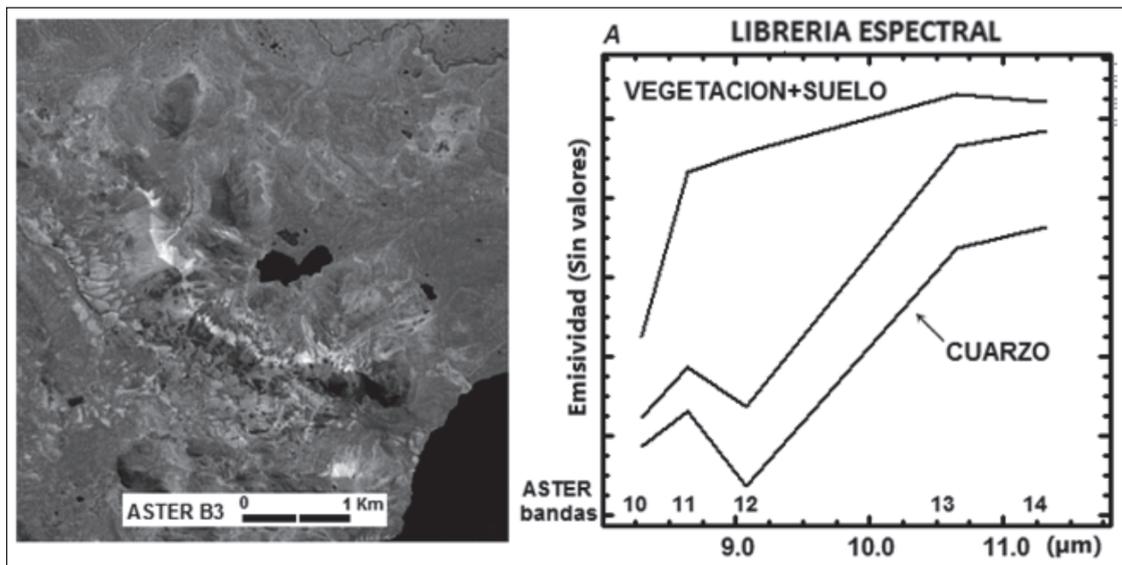


Figura 5. Imagen en Banda 3 de ASTER y firmas espectrales de extraídas del proyecto Corihuarmi.

(5A) Firmas espectrales de cuarzo y mixtura espectral de vegetación + suelo extraídas de la imagen ASTER. Se puede ver claramente las distintas características de absorción que poseen.

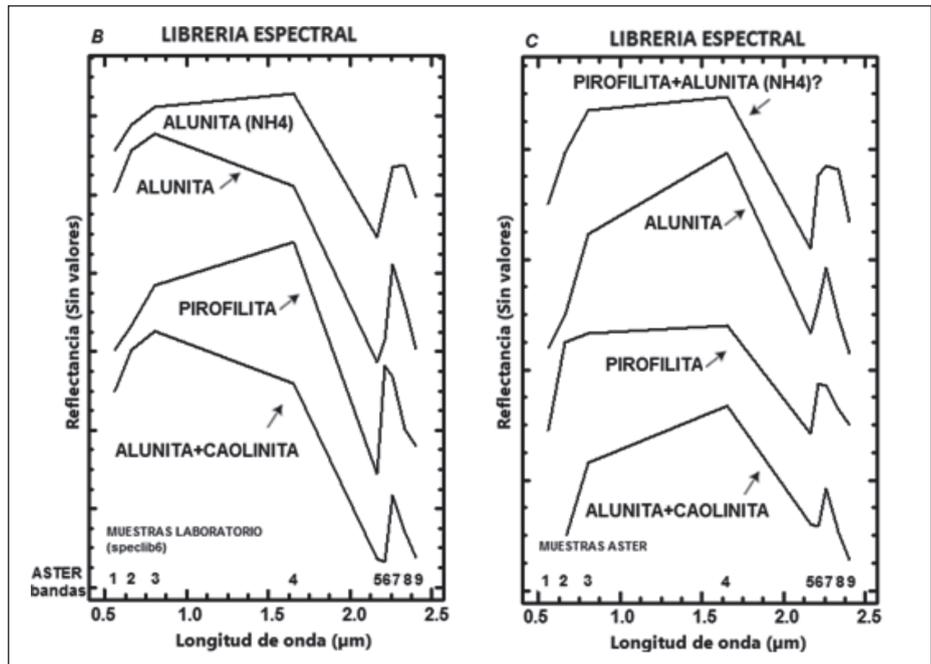


Figura 6. Firmas espectrales de minerales extraídas del proyecto Corihuarmi.

(6A) Firmas espectrales de alunita (NH₄), alunita (Na), pirofilita y mezcla espectral de alunita + caolinita extraídas de la librería espectral speclib6, del servicio geológico de los Estados Unidos (USGS). **(6B)** Espectros extraídas de la imagen ASTER de probable mezcla espectral de pirofilita + alunita (NH₄), alunita, pirofilita, alunita + caolinita.

extraídas del proyecto Corihuarmi. La figura 6 muestra espectros de laboratorio y las extraídas de la imagen ASTER

Identificación de minerales en el proyecto Pashpad

El proyecto Pashpad se encuentra ubicado en la ladera noroeste de la Cordillera Negra de los Andes, Departamento de Ancash, Perú. La figura 7 muestra la banda 3

de ASTER. La figura 8 muestra las firmas espectrales de laboratorio y extraídas de ASTER.

d. Cartografiado de Minerales

Después de identificar e interpretar las firmas espectrales de minerales se procede a la búsqueda de similares en toda la imagen ASTER. Los métodos más utilizados para

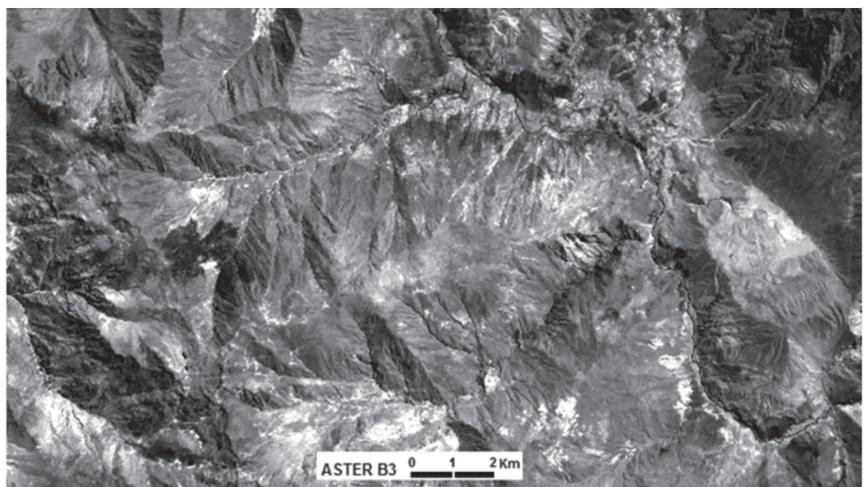


Figura 7. Banda 3 correspondiente al proyecto Pashpad.

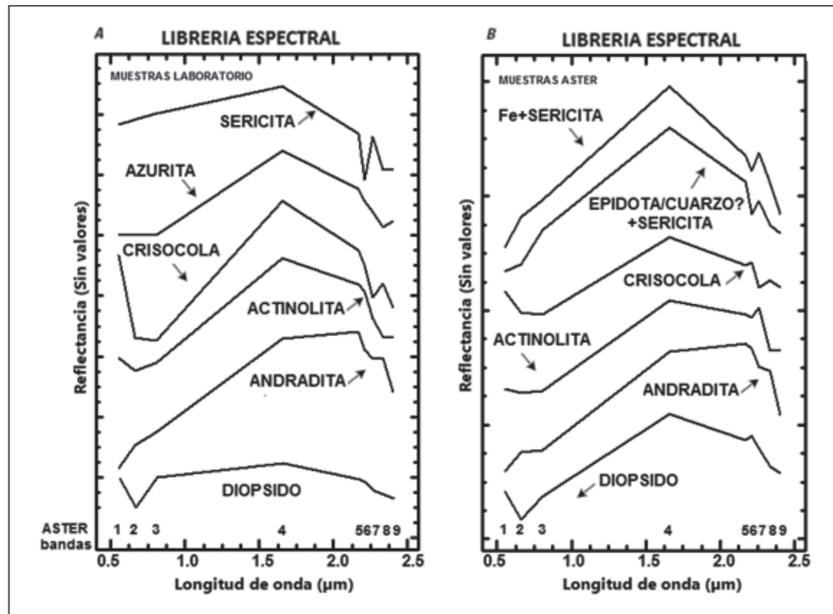


Figura 8. Firmas espectrales de minerales extraídas del proyecto Pashpad. **(8A)** Firmas espectrales de sericita, azurita, crisocola, actinolita, andradita y diópsido extraídas de la librería espectral speclib6 (USGS) y otros. **(8B)** Firmas espectrales de Fe+ sericita, probable epidota/cuarzo+sericita, crisocola, actinolita, andradita y diópsido. Espectros de laboratorio de alunita (NH₄), alunita (Na), pirofilita y mixtura espectral de alunita + caolinita.

esta tarea son el Spectral Angle Mapper (Kruse, 1993), y el Mixture Tuned Matched Filtering (Boardman, 1998). El SAM determina la similitud espectral entre dos espectros, donde los umbrales más pequeños representan un emparejamiento más cercano al espectro de referencia. El MTMF genera imágenes de abundancia donde los valores más altos pertenecen a las mejores parejas.

Cartografiado de minerales en el prospecto 1

La figura 9 muestra un mapa de minerales en un proyecto ubicado en el Departamento de Ayacucho Perú.

La presencia de amonio se debe a que el ion K⁺ es reemplazado por el radical NH₄⁺. Este radical reemplaza al ion

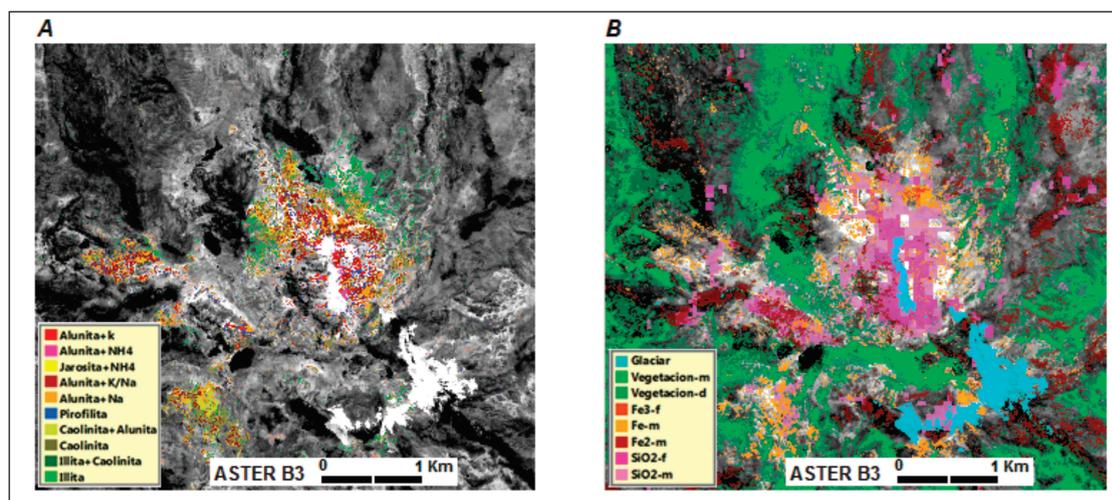


Figura 9. Mapas generados utilizando la imagen ASTER.

(9A) Mapa donde se muestra en la parte central pixeles con presencia de alunita potásica, alunita con amonio, pirofilita, algunos pixeles de jarosita con amonio, rodeando esta área se encuentra la alunita sódica, alunita potásica y/o sódica, esta área a su vez se encuentra rodeado por caolinita + alunita, caolinita, caolinita + illita e illita. **(9B)** Mapa donde se muestran los pixeles con presencia de Fe₃, Fe₂, SiO₂, vegetación y el área cubierta por glaciar en azul.

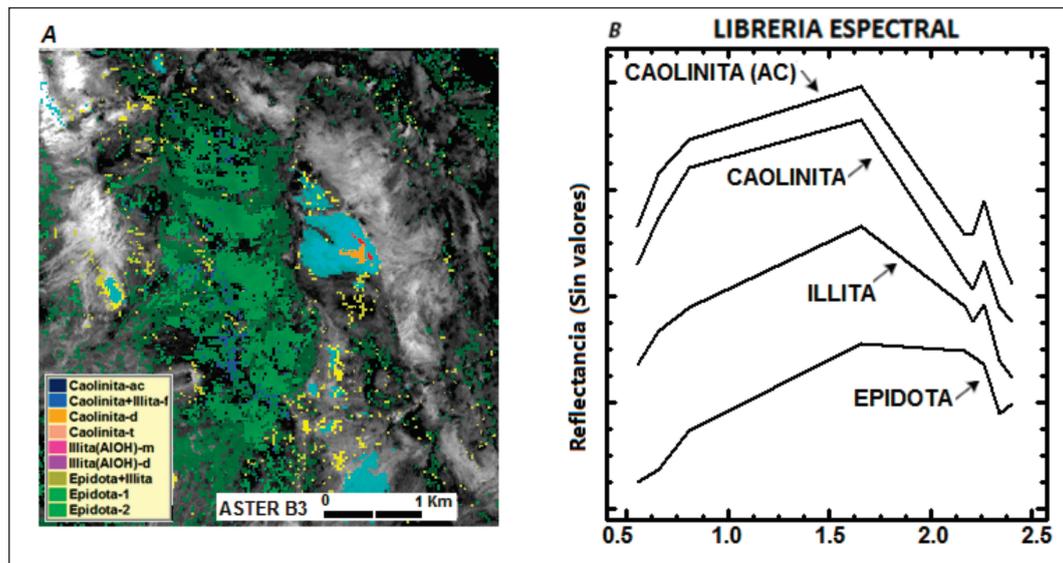


Figura 10. Mapas generados utilizando la imagen ASTER y firmas espectrales extraídas de la imagen.

(10A) Mapa donde se muestra presencia de caolinita posiblemente de alta cristalinidad, caolinita + illita, caolinita de intensidad débil y tenue, illita con alto y bajo contenido de AIOH, illita + epidota y epidota. (10B) Firmas espectrales de caolinita posiblemente de alta cristalinidad, caolinita, illita y epidota.

K⁺ en ciertas arcillas, feldspatos y sulfatos sin producir cambios físicos en ellos, ni en las rocas en los que se encuentran. En general, el amonio se origina a partir de restos orgánicos enterrados de origen vegetal y es transportado por fluidos hidrotermales hacia la roca hospedante de la alteración (Bough 1995). El proyecto se encuentra en la franja metalogénica Epitermales de Au-Ag del Mio-Plioceno.

Cartografía de minerales en el prospecto 2

La figura 10 muestra el mapeo realizado en el prospecto 2, este depósito se encuentra ubicado al noroeste del anterior en el departamento de Ayacucho, Perú. Se encuentra en la franja metalogénica Depósitos de Au-Cu-Pb-Zn, relacionado a intrusivos del Eoceno y a pocos kilómetros de la Franja metalogénica Pórfidos de Cu-Mo del Cretácico superior.

RESULTADOS

Las firmas espectrales que se identificaron en el proyecto Corihuarmi, demuestran la capacidad de ASTER en la identificación de minerales típicos de alteración argílica avanzada, estos resultados tienen relación con lo encontrado por el equipo de exploración de Minera IRL. En la actualidad este proyecto es una mina con producción de oro (Minera IRL).

En el proyecto Pashpap se identificaron firmas espectrales típicas de alteración filica y skarn. Justamente este proyecto se encuentra en la franja metalogénica Pórfidos de Cu-Mo-Au, skarns de Pb-Zn-Cu-Ag y depósitos polimetálicos relacionados a intrusivos del Mioceno. La principal mineralización es de pórfido de cobre-molibdeno y mineralización débilmente moderada polimetálica (Zinc-cobre+/-plomo-plata) en la zona de skarn. Otro prospecto secundario posee un sistema de venas de este a noreste, con tendencias polimetálicas (Cinits, 2003).

La cartografía de minerales obtenido a partir de la imagen ASTER mostro la presencia de minerales típicos de alteración argílica avanzada, rodeado por alteración argílica a filica. Cabe resaltar que se identifico la presencia de amonio en las firmas espectrales de alunita y jarosita. Esto lo convierte en un prospecto con mucho potencial debido a que la presencia de minerales de amonio, se han hallado en depósitos con alteración hidrotermal con mineralización metalífera (Godeas, 2006).

El mapeo de minerales en el prospecto 2, muestra la ocurrencia de minerales típicos de alteración filica, argílica y propilítica. Esto sumado a que el prospecto se encuentra en la franja metalogénica “Depósitos de Au-Cu-Pb-Zn”, relacionado a intrusivos del Eoceno y a pocos kilómetros de la Franja Metalogénica Pórfidos de Cu-Mo, del Cretácico superior, lo convierte en un prospecto con mucho potencial.

CONCLUSIONES

El correcto procesamiento y análisis de las imágenes de satélite proveniente del sensor ASTER, permite la identificación de distintos minerales. El subsistema VNIR permite la identificación de óxidos de hierro, el subsistema SWIR permite la identificación de alunita, jarosita, pirofilita, caolinita, illita, muscovita, cloritas y otros. La integración del subsistema VNIR+SWIR permite obtener una firma espectral con mayor información y ayuda a identificar y discriminar minerales como la malaquita, crisocola, andradita, epidota, de igual modo permite identificar el contenido de Fe y AlOH que poseen algunos minerales. El subsistema TIR permitió la identificación de cuarzo (SiO₂).

ASTER tiene la capacidad para detectar óxidos de Fe, óxidos de Cu, cuarzo, minerales presentes en áreas de alteración argílica avanzada, alteración argílica, alteración filica, alteración propilítica y típicos de skarns.

Las firmas espectrales obtenidas de espectrómetros pueden ser adaptadas a la resolución espectral de ASTER para su comparación y análisis. También es posible utilizar firmas espectrales de minerales extraídas de yacimientos conocidos, para que sean utilizadas como patrones espectrales en nuevas áreas a explorar.

La cartografía de minerales permite asociar los probables ensambles de minerales, estos minerales permite relacionarlos con sus ambientes de formación.

La cobertura y las características espectrales de las imágenes ASTER lo convierten en la mejor opción para la identificación de prospectos utilizando imágenes satelitales.

BIBLIOGRAFÍA

- Boardman, J. B.; Kruse, F. A. y Green, R.O. (1995): Mapping target signatures via partial unmixing of aviris data. Fifth Annual JPL Airbone Earth Science Workshop, Pasadena, CA, NASA, Jet Propulsion Laboratory, pp. 23-26
- Boardman, J. W. (1998): Leveraging the high dimensionality of AVIRIS data for improved sub-pixel target unmixing and rejection of false positives: mixture tuned matched filtering, in: Summaries of the Seventh Annual JPL Airborne Geoscience Workshop, Pasadena, CA, USA, p. 55.
- Bough, W. M. (1995): Quantitative remote sensing of ammonium minerals, Cedar- Mountains, Esmeralda County, Nevada. United States. Cooperative Institute for Research in Environmental Science (Boulder, Colorado). Abstracts 5^o Annual JPL airborne Earth Science Workshop, Pasadena, CA.
- Cinitis, R. (2003): Technical Report on the Pashpad Property Ancash Departament, Peru, www.luminacopper.com/i/pdf/Lumina_Pashpap_43-101.pdf (último acceso 8/7/2011).
- Clark, R.N., Swayze, G.A., Gallagher, A.J., King, T.V.V., & Calvin, W.M. (1993): The U.S. Geological Survey Digital Spectral Library, version 1, 0.2 to 3.0 microns: U.S. Geological Survey Open-File Report 93-592, 1,340 p.
- Clark, R.N., Swayze, G.A., Wise, R., Livo, E., Hoefen, T., Kokaly, R., & Sutley, S.J. (2007): USGS digital spectral library splib06a: U.S. Geological Survey, Digital Data Series 231, <http://speclab.cr.usgs.gov/spectral-lib.html> (último acceso 4/2/2011).
- Fujisada, H. (1995): Design and performance of ASTER instrument. Proceedings of SPIE, the International Society for Optical Engineering, 2583, 16- 25.
- Godeas, M. & Litvak, V.D. (2006): Identificación de anomalías de amonio por espectrometría de reflectancia: Implicancias para la exploración minera. Rev. Asoc. Geol.Argent. v.61 n.3 Buenos Aires.
- Kruse, F. A., Lefkoff, A. B., and Dietz, J. B., (1993): Expert System-Based Mineral Mapping in northern Death Valley, California/Nevada using the Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS): Remote Sensing of Environment, Special issue on AVIRIS, May-June 1993, v. 44, p. 309 - 336.
- Mars, J.C., & Rowan, L.C. (2006): Regional mapping of phyllic- and argillic-altered rocks in the Zagros magmatic arc, Iran, using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data and logical operator algorithms: Geosphere, v. 2, p. 161-186, 2 plates.
- Minera IRL, <http://www.minera-irl.com/Exploraci%C3%B3n/Peru/Corihuarmi/tabid/220/Default.aspx>. (Último acceso 8/7/2011).
- 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.
- Salisbury, J. W., & Milton, N. M. (1987): Preliminary measurements of the spectral signatures of tropical and temperate plants in the thermal infrared. Proceedings of the 5th Conference on Remote Sensing and Exploration Geology, vol. I (pp. 131 - 143). Ann Arbor, Michigan: Environmental Institute of Michigan (ERIM).