

# Identificación de minerales de alteración hidrotermal aplicando métodos hiperespectrales a imágenes multispectrales

## Identification of hydrothermal alteration minerals applying hyperspectral methods to multispectral images

Néstor Chacón Abad<sup>1</sup>, Santiago Mayor Pastor<sup>2</sup>

Recibido: Agosto 2015 - Aprobado: Diciembre 2015

### RESUMEN

El primer sensor con observación multibanda en la región infrarroja térmica (8-12 micrómetros) con 90 metros de resolución espacial y 5 bandas espectrales especialmente diseñadas para discriminar rocas de la corteza terrestre. Se aplicaron diferentes procedimientos para discriminar minerales de alteración y grupos de roca utilizando no sólo la banda infrarroja térmica sino también las bandas visible e infrarroja cercana.

El área de estudio se encuentra ubicada en el Departamento de Cuzco en la porción sur del Cinturón Volcánico Terciario del Perú y ubicada a 170 kilómetros al noroeste de Arequipa. La zona se encuentra dentro del altiplano peruano a una altitud de 4.470 a 5.370 metros. La disponibilidad de datos multispectrales a partir del satélite ASTER (radar espacial de reflexión radiométrica) ha proporcionado y aumentado el potencial para la cartografía de los sistemas de alteración hidrotérmica.

El instrumento ASTER tiene seis bandas en la región de Swir estratégicamente posicionada para mapear las características distintivas de absorción de minerales de alteración con enlaces Al-OH y Mg-OH. Eso permite interactuar con el Terra Spec.

**Palabras clave:** Procesamiento de imágenes; cartografía de minerales; teledetección; ASTER; análisis espectral; mapeado de ángulos espectrales.

### ABSTRACT

Advance spaceborne thermal emission and reflection radiometer (aster) is the first sensor with multi band observation in thermal infrared region (8-12 micrometers) with 90 meters of spatial resolution and 5 spectral bands specially designed to discriminate rocks from earth crust. Different process were applied in order to discriminate alteration minerals and rock groups by using not only the thermal infrared band but also the visible and near infrared bands.

The area of study is located is situated in the Department of Cuzco in the southern portion of the Peru Tertiary Volcanic Belt and located 170 kilometres northwest of Arequipa. The area lies within the Peruvian altiplano at an altitude of 4,470 to 5,370 metres. The availability of multispectral data from the satellite-borne ASTER (advance Spaceborne Thermal emission Reflection Radiometer) instrument has provided and increased potential for mapping hydrothermal alteration systems.

The ASTER instrument has six bands in the Swir region strategically positioned to map distinctive absorption features of alteration minerals with Al-OH and Mg-OH bonds. That permits to interact with the Terra Spec.

**Keyword:** Image processing; mineral mapping; remote sensing; ASTER; spectral analysis; spectral angle mapper.

Facultad de Ingeniería Geología, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

<sup>1</sup> Dr. Néstor Chacón Abad - Email: [nchacona@unmsm.edu.pe](mailto:nchacona@unmsm.edu.pe)

<sup>2</sup> Mg. Santiago Mayor Pastor - Email: [santiago\\_mayor@outlook.com](mailto:santiago_mayor@outlook.com)

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citadas. Para más información, por favor póngase en contacto con [iigeo@unmsm.edu.pe](mailto:iigeo@unmsm.edu.pe).

## I. INTRODUCCIÓN

Desde su aparición en los años 50 la teledetección ha sido un instrumento invaluable para, entre otras cosas, discriminar blancos de alteración mineralógica de interés económico, reduciendo los tiempos y los costos en la exploración minera a niveles nunca esperados. Esto ha conllevado al desarrollo de técnicas especializadas para la interpretación de imágenes satelitales basadas en estadísticas multivariadas implicando asimismo el surgimiento de nuevas herramientas de software. El acceso reciente a recursos computacionales de alta performance en nuestro medio está permitiendo que una nueva generación de geólogos con visión empresarial en nuestro país y América latina pueda ser protagonista en el avance del uso de estas técnicas. Entre los diversos factores que están haciendo posible este desarrollo debemos mencionar la integración de estrategias altamente optimizadas en el manejo de costos empresariales junto con el acceso autorizado a bases de datos de imágenes provenientes de centros de investigación con niveles de excelencia internacional. Sin embargo la participación de estos nuevos cuadros profesionales no se limita a la mera utilización de los recursos tecnológicos ya existentes sino a la adecuación de los mismos a nuestra realidad con una base científica demostrable. La presente investigación presenta las ventajas aportadas por el uso de imágenes multiespectrales bajo un tratamiento hiperespectral para la exploración minera en una escala regional con ejemplos en el Perú y otros países de América Latina.

El sensor ASTER se encuentra a bordo del satélite TERRA que presenta una órbita heliosincrónica a una altitud de 705 kilómetros, un ciclo de repetición de 16 días, un ancho de barrido de 60 kilómetros y una distancia entre orbitas de 172 Km. Dicho sensor está compuesto por 3 subsistemas, para cada región del espectro electromagnético: VNIR, SWIR y TIR. Cada uno de estos subsistemas presenta características particulares tales como 3 bandas en la región espectral del visible e infrarrojo cercano (VNIR) con una resolución espacial de 15 metros, 6 bandas en la región espectral del infrarrojo de onda corta (SWIR) con una resolución espacial de 30 metros y 5 bandas en el infrarrojo térmico con una resolución espacial de 90 metros (ERSDAC, 2001).

Además presenta un telescopio con visual hacia atrás que escanea en la región espectral de la banda 3 (banda 3B) lo que nos permite realizar modelos digitales de terreno (MDT) por pares estereoscópicos. La Figura 2 muestra las principales características de las bandas ASTER. (A.P. Crosta, De Souza Filho, F. Azevedo and C. Brodie (2003)).

El área de estudio está situada en el departamento de Cuzco en la parte sur del terciario volcánico peruano y a 170 Km al noroeste de Arequipa. El área pertenece a la región altiplánica con altitudes promedio que varían entre los 4470 msnm a los 5370 msnm. El área es accesible por carretera desde la comunidad minera de Orcopampa a donde se puede llegar por vuelos chárter desde Lima o Arequipa. El tiempo de manejo es de 3 horas por camino afirmado. (Figura N°1)

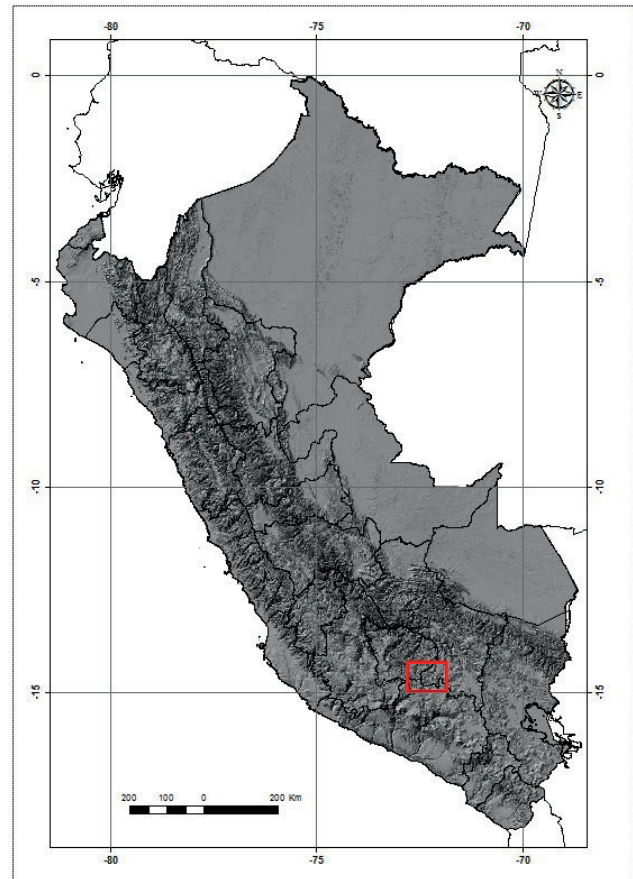


Figura N° 1. Mapa de Ubicación del área de estudio

### 1.1 Objetivos

Identificar y definir zonas potenciales de exploración por alteración hidrotermal, relacionando las diferentes capas de información obtenidas mediante el análisis e interpretación de imágenes multiespectrales mediante el uso de métodos hiperespectrales. Y así mismo validar las técnicas y métodos de procesamiento utilizadas en la obtención de resultados previamente validados con trabajos en terreno.

### 1.2 Marco Geológico

El área está ubicada en la parte central de la cordillera Occidental, con una topografía heterogénea; el relieve es agreste, con paisaje típico de cordillera. La estratigrafía muestran la formación más antigua correspondiente al Grupo Yura con cuarcitas clásticas seguidas de limolitas del Cretácico pertenecientes a la Formación Murco y, finalmente, rocas carbonatadas de Fm. Arcurquina.

El Terciario cubre el Cretácico y Jurásico, teniendo como unidad de referencia, el grupo Tacaza. Concordante por encima de la Formación Alpbamba con rocas sedimentarias y tobaceos cubriendo gran parte del área. El Grupo Barroso representado por rocas volcánicas del Terciario y comienzos del Cuaternario. Los flujos de lava representados por Santo Tomás son los más recientes están cubiertos por depósitos fluvio - Aluviales. (Palacios Moncayo, Oscar 1994) (Figura N° 2).



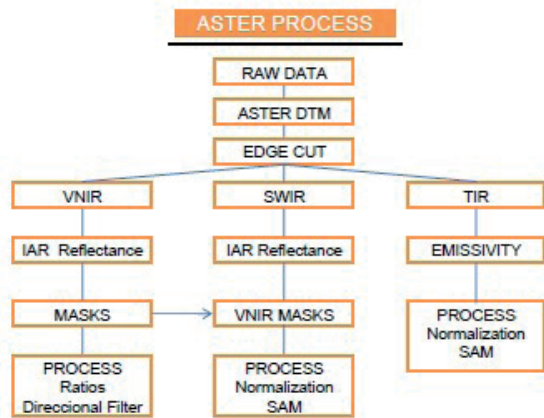


Figura N° 2: Esquema del proceso de interpretación

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

Se procesaron imágenes multispectrales del sensor Aster, en los subsistemas VNIR, SWIR Y TIR, usando software ENVI 5.0. Las bandas fueron calibradas usando los parámetros propios del sensor. Para el caso de las bandas del TIR, Debido al paso del tiempo y a la degradación del sensor, se efectuó una recalibración de las bandas de radiancia en función de la fecha de toma y la versión radiométrica de la escena, para así obtener la radiancia corregida de la imagen y llegar a obtener la emisividad. La última corrección realizada fue debido a la saturación de la banda 13 (Ninomiya et al., 2005).

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El reconocimiento principal de la región muestra una zona volcánica desértica favorable para el análisis con métodos tales como normalización y medición del ángulo espectral (SAM por sus siglas en inglés) el cual es un método físico basado en la clasificación espectral del ángulo n-D para correlacionar espectros con dicha muestra. El algoritmo determina la similitud espectral entre dos espectros calculando el ángulo entre el espectro y tratándolo como un vector espacial con dimensión igual a la cantidad de bandas. Esta técnica cuando es usada en información calibrada por reflectancia es relativamente insensible a la iluminación y al efecto albedo.

El Endmembers usado por el SAM puede utilizar código ASCII, librerías espectrales o pueden ser tomadas directamente de una imagen (como ROI espectro). Ángulos más pequeños representan concordancias más cercanas con el espectro referente. Los píxeles con ángulos por debajo del límite predefinido en radianes no serán considerados dentro de la clasificación. El SAM asume datos con clasificación por reflectancia sin embargo si ud. Utiliza datos con radiancia el error es por lo general poco significativo dado que el origen sigue estando cerca a cero. Entre las composiciones generadas resalta la 469 que marca un tono rojo- rosado para las zonas alteradas. Las áreas de color verde están relacionadas a calizas. Los tonos gris azulados están relacionadas a rocas volcánicas inalteradas. (Figura N° 3).

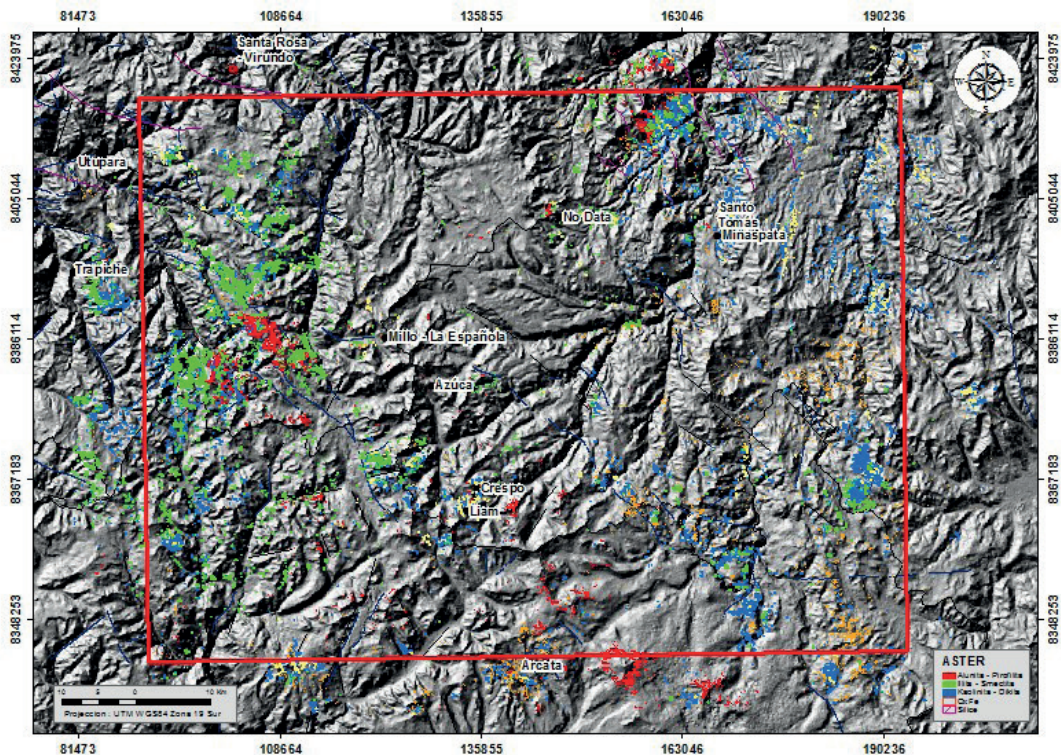


Figura N° 3: Mapa de Alteraciones Hidrotermales sobre DEM ASTER

#### IV. CONCLUSIONES

La información obtenida de las imágenes multiespectral en los subsistemas VNIR, SWIR y TIR, del sensor ASTER es una herramienta útil para el mapeo de: tipos de alteraciones de origen hidrotermal, minerales de alteración, litologías y estructuras a nivel regional. La espectroscopia de reflectancia es una técnica que ha permitido la identificación de los diferentes ensambles mineralógicos de las zonas anómalas, y a su vez mapear áreas con presencia de minerales de alteración, mostrando la magnitud y distribución espacial de la anomalía.

#### V. AGRADECIMIENTOS

A las autoridades de la Facultad de Ingeniería Geología, Minera, Metalúrgica y Geográfica por el apoyo prestado en esta investigación.

#### VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. A.P. Crosta, De Souza Filho, F. Azevedo & C. Brodie (2003) Targeting key alteration minerals in epithermal desposits in Patagonia, Argentina, Using ASTER imagery and principal componet analiysis.
2. Floyd F. Sabins (1999). Remote sensing for mineral exploration.
3. Earth Remote Sensing Data Analysis Center (2001) Web Site ERSDAC. Recuperado de : <http://www.jspacesystems.or.jp/ersdac/eng/index.E.html>
4. Ninomiya, et al. (2005). Applying Advanced Spaceborne Thermal Emission And Reflection Radiometer (Aster) Spectral Indices For Geological Mapping And Mineral Identification On The Tibetan Plateau.
5. Palacios Moncayo, Oscar (1994). Geología de los cuadrángulos de Chulca y Cayarani N°51 Serie A. Carta Geológica Nacional INGEMMET.