

DETECCIÓN DE ZONAS DE ALTERACIÓN HIDROTERMAL Y CONTACTOS LITOLÓGICOS MEDIANTE IMÁGENES ASTER EN EL PLUTÓN DE SANTA GRACIA (LA SERENA, CHILE)

G. Mendiguren (*), F. Carreño (**), I. López (*) y A. M. Cabrera (***)

(*) *Master Oficial en Tecnologías de la Información Geográfica 2008 Universidad de Alcalá de Henares y Universidad Rey Juan Carlos. gorkamendiguren@yahoo.es*

(**) *Universidad Rey Juan Carlos Departamento de Biología y Geología. E. S. de CC. Experimentales y Tecnología. C/ Tulipán, s/n, Edificio Departamental: II 28933 Madrid (Móstoles), España.*

(***) *Instituto Geológico y Minero de España. Sistemas de Información Neocientífica.*

RESUMEN

En el presente estudio se muestran diferentes aplicaciones del sensor ASTER en el campo de la geología. Mediante un análisis de componentes principales es posible detectar contactos entre litologías en zonas con una geología complicada. El cálculo de diferentes índices de alteración mineral permite detectar zonas minerales alteradas junto con un análisis de componentes principales. Un estudio más profundo mediante una clasificación SAM (Spectral Angle Mapper) permite la identificación de algunos de los minerales de estas zonas.

Los resultados de este trabajo muestran la importancia de la realización de un trabajo de campo que permita conocer el área de estudio así como otro tipo de datos que sean de utilidad en la calibración y corrección de la imagen.

ABSTRACT

The present study shows different ASTER sensor applications for geological purposes. A principal components analysis permits the detection of lithological boundaries in complicated geological areas. The use of different mineralogical alteration indexes combined with principal components analysis can detect areas with altered mineralogy. The results of this work reflect the importance of providing for proper field work and a profound knowledge of the study area as well as other field data in order to calibrate and correct the image.

Palabras clave: ASTER, zonas de alteración hidrotermal, cartografía geológica, contactos litológicos.

INTRODUCCIÓN

La búsqueda y aprovechamiento de recursos minerales ha sido el objetivo más antiguo de la geología y de la minería. Dentro de estos cabe destacar a los yacimientos hidrotermales, que pueden definirse como: “concentraciones minerales, debidas a la precipitación diferencial de soluciones gaseo-líquidas calientes, que circulan bajo la superficie” (Martínez-Frías, 1990). En las alteraciones hidrotermales el fluido se encuentra en desequilibrio químico con la roca, generando diferentes reacciones que pueden enriquecer el yacimiento. En numerosas ocasiones, junto a estos yacimientos aparecen zonas de alteración mineral. Las zonas de alteración pueden ser de gran interés para la explotación minera si se dan las condiciones idóneas para que precipiten minerales que presenten interés económico. También puede ocurrir un enriquecimiento en minerales que contengan metales pesados (Choe et al., 2008). Ello debería tenerse en cuenta para evitar posibles problemas de contaminación de aguas, en el caso de fueran usadas para consumo humano. Estos son los principales

motivos del gran interés del estudio de las zonas de alteración.

Desde el año 2000 se han usado datos del sensor ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) para identificación mineralógica y litológica (Ninomiya, 2002). El sensor ASTER posee bandas espectrales más próximas que otros sensores, además dispone de un mayor número de bandas en el infrarrojo de onda corta y en el infrarrojo térmico respecto a sensores como Landsat 5 TM (Thematic Mapper) y Landsat 7 ETM (Enhanced Thematic Mapper) o SPOT. Debido a esto, el sensor ASTER puede conseguir mayor precisión en la identificación espectral de rocas y minerales (Crosta and Fliho, 2003).

El objetivo de este trabajo se ha centrado en la detección de contactos litológicos, la caracterización litológica y la localización de zonas de alteración hidrotermal. Para ello, se ha empleado un análisis de componentes principales (ACP) de las bandas pertenecientes al espectro visible (VNIR) y al infrarrojo cercano de onda corta (SWIR) y

clasificaciones supervisadas. El motivo del empleo de este tipo de análisis en los que se utilizan las componentes principales (CP), es extraer la mayor información posible de las bandas pero discriminando la redundante.

METODOLOGÍA

Pre-procesado

Se ha empleado el programa ENVI v.4.3 para procesar una escena ASTER 1B. El producto 1B de ASTER se obtiene aplicando coeficientes de calibración radiométrica y geométrica a las imágenes ASTER 1A (ASTER User's guide, 2001). La imagen se adquirió el 7 de noviembre de 2002 a las 14:57:24 con un ángulo de elevación solar de 65,127959 y un ángulo acimutal solar de 62,471507. Para corregir el efecto de exceso de energía (*overspill*) que la banda 4 produce sobre las bandas 5 a 9 del sensor se ha empleado "ASTER Cross-Talk correction software" disponible en www.gds.aster.ersdac.or.jp. (Tangestani et al., 2008).

Se han convertido los valores de radiancia a valores de reflectividad aparente asumiendo una reflexión lambertiana y mediante la expresión propuesta por Mather (1998).

Para corregir el efecto de la atmósfera en los valores de reflectividad se ha empleado el método basado en el cuerpo oscuro propuesto por Chavez (1975). La selección de este método se debe a la ausencia de parámetros atmosféricos para una corrección más precisa, y a la existencia en la imagen de cuerpos importantes de agua que permitan llevar a cabo esta corrección.

Dado el fuerte relieve de la zona se ha realizado la corrección topográfica para corregir los valores de reflectividad por el efecto topográfico. El producto ASTER 1B permite la extracción de un modelo digital del terreno mediante estereoscopia con las bandas 3B y 3N. En este caso se ha obtenido el modelo digital del terreno (MDT) con el módulo de ENVI ASTERDTM v.2.0.9 con resolución de 15 m que posteriormente fue remuestreado a 30 m para equipararlo a la resolución de las bandas utilizadas. De este MDT se han extraído tanto el parámetro de iluminación como la iluminación media que son necesarios para la aplicación del método propuesto por Civco (1989).

Procesado

El estudio tiene dos objetivos: la detección de contactos entre litologías, y de las alteraciones minerales. Previamente se ha calculado el NDVI

(Normalized Difference Vegetation Index) para estimar la vegetación existente en las zonas de interés que en este caso es muy reducida y localizada en los cursos de los ríos.

Detección de los contactos entre litologías

Las 9 bandas ASTER empleadas presentan un alto coeficiente de correlación entre ellas. Debido a esto se ha hecho un ACP para simplificar el número de bandas pero sin pérdida de información importante. El ACP indica que las 6 primeras Componentes contienen el 99,71% de la información contenida en las 9 bandas (Tabla 1) y las 3 primeras componentes representan el 98,49% de la información.

Visualmente se consideran importantes las componentes 4 a 6 porque introducen información relevante sobre algunos cuerpos que pasan desapercibidos en las anteriores componentes.

Tabla 1.- Porcentaje de la información contenida en cada componente principal.

Componente Principal	Información contenida	Aportación al porcentaje explicado
1	89,61%	89,61%
2	95,46%	5,85
3	98,49%	3,03
4	99,16%	0,67%
5	99,52%	0,36%
6	99,71%	0,19%
7	99,83%	0,12%
8	99,95%	0,12%
9	100%	0,05%

De las diferentes composiciones RGB obtenidas, la que más información litológica ha aportado es la CP5-CP2-CP1 (Figura 1).

Como el roquedo de la zona se constituye de cuerpos ígneos con variaciones composicionales transicionales, existe una gran incertidumbre para establecer con fiabilidad sus contactos. Para determinar de manera más clara los contactos entre las litologías de estos cuerpos, se han realizado 4 transectos (Figura 2) sobre los 6 CP que se han introducido en el estudio. Los valores obtenidos en los transectos se han normalizado para cada CP entre valores de 0 y 1 haciéndolos más representativos y comparables entre sí (Gomez et al., 2005).

Para cada transecto se ha dibujado una figura en la que se representan en ordenadas las 6 CP. Para ayudar a su interpretación se muestran dos imágenes del transecto, una de la cartografía empleada como referencia, cedida por el Servicio Nacional de Geología y Minería -Santiago, Chile- (Figura 2) y otra de la composición en color RGB empleando las CP5, CP2, CP1.

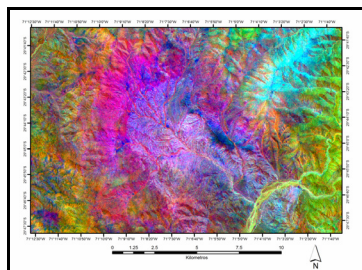


Figura 1.- Composición RGB (CP5, CP2, CP1) de las componentes principales.

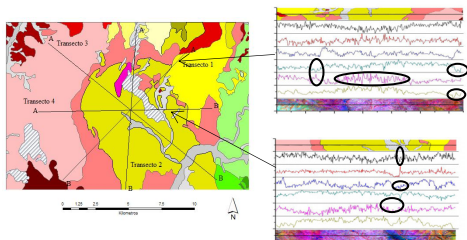


Figura 2.- Distribución de los transectos en el Plutón de Santa Gracia y perfil obtenido sobre las 6 componentes principales.

Cartografía de zonas de alteración mineral

Puesto que las zonas de alteración a cartografiar son de tipo hidrotermal, se han generado 4 índices correspondientes a los minerales típicos de estos ambientes propuestos por Ninomiya (2003), donde se emplean los valores de radiancia en el sensor. Las fórmulas empleadas se muestran a continuación:

$$\text{OHI} = (\text{banda } 7 / \text{banda } 6) + (\text{banda } 4 / \text{banda } 6)$$

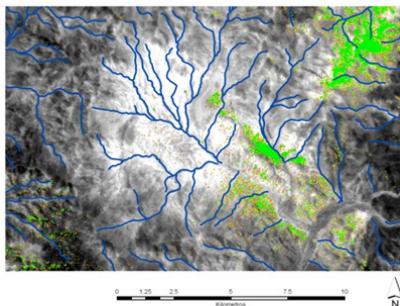
$$\text{KLI} = (\text{banda } 4 / \text{banda } 5) + (\text{banda } 8 / \text{banda } 6)$$

$$\text{ALI} = (\text{banda } 7 / \text{banda } 5) + (\text{banda } 7 / \text{banda } 8)$$

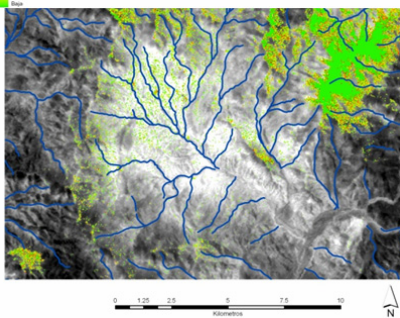
$$\text{CLI} = (\text{banda } 6 / \text{banda } 8) + (\text{banda } 9 / \text{banda } 8)$$

Donde OHI es el índice para las alteraciones minerales O-H, KLI es el índice para la Caolinita, ALI para la alunita y CLI es el índice para la calcita. Una vez calculados estos índices, se ha aplicado el ACP para simplificar la información y obtener las

zonas de alteración. El ACP de los valores de radiancia en el sensor de la CP1 contiene el 79,41% de la información de los índices, por lo que ésta, resulta representativa de las zonas de alteración.



Leyenda
Zonas de alteración obtenidas empleando los valores de radiancia en el sensor
Grado de Alteración



Leyenda
Zonas de alteración empleando valores de reflectividad
Grado de alteración

Figura 3.- Zonas de alteración obtenidas empleando valores de radiancia en el sensor(a) y valores de reflectividad (b) con red hidrográfica. Fondo de la imagen Banda 5 del sensor.

También se han generado estos mismos índices empleando los valores de reflectividad y el posterior ACP. Los resultados obtenidos con valores de radiancia en el sensor y con reflectividad presentan notables diferencias (Figura 3).

RESULTADOS

Transectos en el plutón de Santa Gracia

La fuerte variación que se observa en algunas de las CP en los diferentes transectos es coincidente con los contactos litológicos cartografiados y permite emplear esta técnica para detectar contactos entre litologías.

Detección de zonas de alteración hidrotermal

Las zonas de alteración obtenidas empleando los valores de radiancia en el sensor, y los valores de reflectividad, presentan zonas en común y son coincidentes con la cartografía base. También aparece al NO una zona de alteración hidrotermal no cartografiada. Las alteraciones presentan una zonación concéntrica y controlada por la red hidrográfica que explicaría el aumento del grado de alteración hacia las zonas exteriores producido por una acumulación debido al transporte fluvial.

CONCLUSIONES

Las capacidades del sensor ASTER para detectar contactos litológicos y zonas de alteración se han estudiado únicamente empleando las bandas del espectro visible (VNIR) y el infrarrojo de onda corta (SWIR). La fácil interpretación visual de los datos obtenidos en los transectos, y la precisión con la que se obtienen los contactos litológicos de cuerpos ígneos, hacen a esta técnica muy interesante en zonas con este tipo de litologías que en el campo resultan difíciles de identificar y su interpretación en este tipo de imágenes. Incluso llegan a poner de manifiesto transiciones composicionales de cuerpos ígneos que no aparecen en la cartografía existente.

Este trabajo pone de manifiesto el gran potencial de sensores como ASTER en trabajos de geología en zonas desnudas de vegetación. También pone de manifiesto la necesidad del trabajo de campo para contrastar los resultados obtenidos, así como de una calibración con el sensor que permitiera una corrección atmosférica más precisa que la llevada a cabo en este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

Earth Remote Sensing Data Analysis Center (ERSDAC). 2001. *ASTER User's guide*. Part 1 General (ver. 3.0). (<http://www.ersdac.or.jp/>).

Chávez, P.S. 1975. Atmospheric, solar, & MTF corrections for WRTS digital imagery. *Proceedings of the American Society of Photogrammetry*, Falls Church, VA.

Choe, E., van der Meer, F., van Ruitenbeek, F., van der Werff, H., de Smeth, B., Kyoung-Woong, K. 2008. Mapping of heavy metal pollution in stream sediments using combined geochemistry, field spectroscopy, and hyperspectral remote sensing: A case study of the Rodalquilar mining area, SE Spain. *Remote Sensing of Environment*, **112**, 3222-3233.

Civco, D. L. 1989. Topographic Normalization of Landsat Thematic Mapper Digital Imagery. *Photogrammetric Engineering and R. Sensing*, 1303-09.

Crosta, A. P. & Fliho, C.R. 2003. Searching for gold with ASTER. *Earth observation magazine*, **12**, 38-41.

Gomez, C., Delacourt, C., Allemand, P., Ledru, P., Wackerle, R. 2005. Using ASTER remote sensing data set for geological mapping, in Namibia. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, **30**, 97-108.

Martinez-Frias, J. 1990. Yacimientos hidrotermales. In: *Yacimientos minerales*. Editorial Centro de Estudios Ramón Areces, S.A, Madrid, 313.

Mather, P. M. 1998. Computer Processing of Remotely Sensed Images. *John Wiley & Sons*, Chichester.

Ninomiya, Y. 2002. Mapping quartz, carbonate minerals and mafic ultramafic rocks using remotely sensed multispectral thermal infrared ASTER data. *Proceedings of The International Society for Optical Engineering*, 4710, 191.

Ninomiya, Y. 2003. Rock type mapping with indices defined for multispectral thermal infrared ASTER data: case studies. *Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology II*, 4886, 123-132.

Tangestani, M. H., Mazhari, N., Agar, F. 2008. Evaluating Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data for alteration zone enhancement in a semi-arid area, northern Shahr-e-Babak, SE Iran. *International Journal of Remote Sensing*, **29**, 2833.