

IDENTIFICACIÓN DE METABASALTOS ALTERADOS MEDIANTE DATOS ASTER

Silvia CASTRO GODOY, Mariela ETCHEVERRÍA y Marta GODEAS

Servicio Geológico Minero Argentino, Buenos Aires

E-mails: silvia.castro@segemar.gov.ar; maretc@mecon.gov.ar; mgodeas@mecon.gov.ar

RESUMEN

Los datos del sensor ASTER permitieron desarrollar una metodología sencilla, utilizando las bandas del infrarrojo de onda corta (subsistema SWIR), para prospeccionar cuerpos ígneos alterados que manifiestan diferencias espectrales con respecto a la roca de caja. A modo de ejemplo se detectó la alteración clorítica presente en metabasaltos intercalados en metasedimentitas de la Formación Puntilla de Uspallata en la Precordillera mendocina.

Palabras clave: *Sensores remotos, reflectancia planetaria, SWIR, cuerpos ígneos, Precordillera mendocina.*

ABSTRACT: *Identification of altered metabasalts from ASTER data.* ASTER data allowed developing a simple methodology, using the Short Wave Infrared spectral bands (SWIR), in order to detect alteration minerals that affect igneous bodies and have spectral differences with the country rock. As an example chloritic alteration was detected in metabasalts interbedded in metasediments of Puntilla de Uspallata Formation, Precordillera Mendocina.

Keywords: *Remote sensing, planetary reflectance, SWIR, igneous bodies, Precordillera mendocina.*

INTRODUCCIÓN

Entre los afloramientos de la Precordillera mendocina, se encuentran los pertenecientes a la Formación Puntilla de Uspallata (Rodríguez 1967) de edad ordovícica media - devónica inferior (Fig. 1). Esta formación, originalmente sedimentaria y posteriormente afectada por metamorfismo, se caracteriza por poseer rocas ígneas asociadas. El objetivo de este trabajo es presentar, utilizando datos ASTER, una técnica que sirva de herramienta para la identificación de cuerpos ígneos de reducidas dimensiones y determinadas características mineralógicas.

CARACTERIZACIÓN DE LOS AFLORAMIENTOS

La Formación Puntilla de Uspallata se encuentra ubicada en la Precordillera mendocina en cercanías de la localidad de Uspallata (Fig. 1). Esta unidad tiene aproximadamente 1.000 m de espesor, su base no se halla expuesta y en su techo se ubican, mediante una discordancia de alto ángulo, las volcanitas de la

Formación Tambillos (Pérmico). Sus afloramientos están bien expuestos en la quebrada Santa Elena y constan de dos miembros. El inferior, compuesto por metapelitas de color gris oscuro con intercalaciones de delgados bancos de metaareniscas de grano fino y de metabasaltos alterados, pasa gradualmente a uno superior formado por gruesos bancos de metaareniscas de color verde oscuro y de grano mediano.

Las metapelitas están finamente laminadas y algo deformadas. Al microscopio son foliadas y presentan textura lepidoblástica con clorita y sericita como componentes principales, material feldespático intercrecido con clorita donde es posible reconocer anteriores vidrios volcánicos, venas y nódulos de cuarzo policristalino y mosaicos de carbonatos con limonitas asociadas (Koukharsky 1997, Cortés *et al.* 1999).

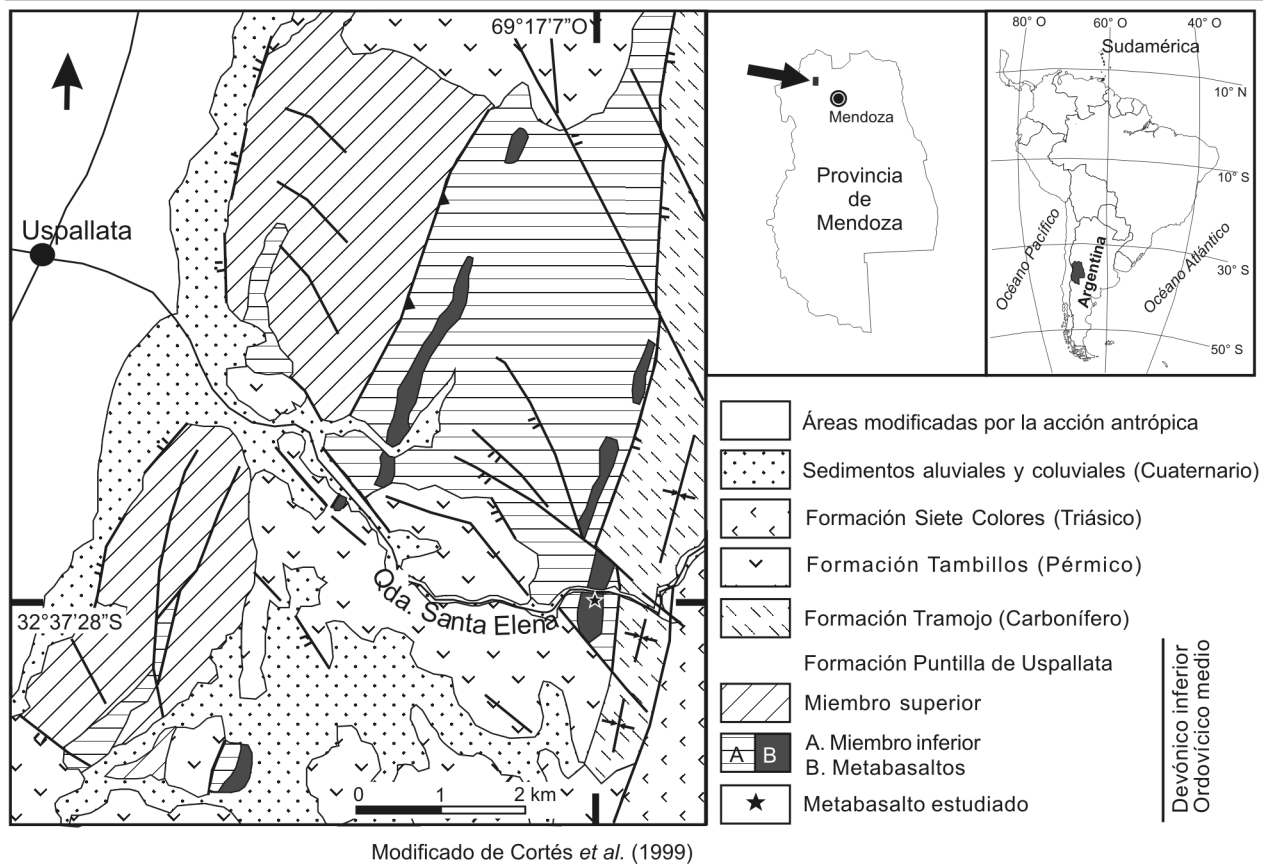
Los metabasaltos tienen un espesor aproximado de 240 m y, si bien están deformados, es posible distinguir las típicas formas de almohadillas con sus bordes de enfriamiento, que llegan a medir 1,5 m de largo por 0,60 m de alto (Fig. 2).

Al microscopio son porfíricos y están compuestos por fenocristales (20%) de clinopiroxeno y plagioclasa, alterada a arcillas, en una pasta (80%) granosa fina formada por granos de clinopiroxeno, cloritas, feldespato alterado, titanita, cuarzo, carbonatos y minerales opacos (Castro Godoy *et al.* 2008). Cortés *et al.* (1999), sobre la base de análisis químicos, confirmaron su naturaleza toleítica y concluyeron que por tratarse de basaltos oceánicos es probable que hayan sido afectados por alteración hidrotermal previa al episodio metamórfico.

Estos depósitos fueron afectados durante el Devónico por metamorfismo de muy bajo grado e interpretados como pertenecientes a un ambiente marino profundo, en el que existía una dorsal oceánica de la cual provenían los derrames basálticos (Cortés *et al.* 1999).

MÉTODO DE IDENTIFICACIÓN

Debido a las pequeñas dimensiones de los cuerpos ígneos y el color semejante a



Modificado de Cortés *et al.* (1999)

Figura 1: Mapa geológico y de ubicación.

las rocas entre las que se intercalan, resulta difícil la identificación de los mismos en composiciones color de imágenes satelitales sin tratamiento digital. Sin embargo los datos ASTER permiten identificarlos aplicando un método sencillo de transformación a reflectancia relativa.

El sensor ASTER fue diseñado especialmente para aplicaciones geológicas, entre ellas la detección de minerales de alteración hidrotermal con las bandas del infrarrojo de onda corta. El sistema ASTER permite obtener imágenes en 14 bandas espectrales; 2 en el visible (banda 1 en el verde y banda 2 en el rojo) y una en el infrarrojo cercano (banda 3), todas de 15 m de resolución espacial; 6 bandas en el infrarrojo de onda corta (SWIR), de 30 m de resolución, y 5 bandas en el infrarrojo térmico (TIR) de 90 metros.

Para el presente trabajo se utilizaron las bandas del SWIR, que presentan los siguientes rangos espectrales:

- Banda 4: 1,600 - 1,700 μm
- Banda 5: 2,145 - 2,185 μm
- Banda 6: 2,185 - 2,225 μm
- Banda 7: 2,235 - 2,285 μm
- Banda 8: 2,295 - 2,365 μm
- Banda 9: 2,360 - 2,430 μm

Ciertos grupos de minerales pueden ser identificados porque presentan patrones espectrales característicos en SWIR, debido a las vibraciones de las uniones OH – cationes (Yamaguchi *et al.* 1998), y se encuentran bien definidos en la configuración de las capas de arcillas y de minerales formados en procesos de alteración hidrotermal, meteóricos o por migración de fluidos.

Tal es el caso de minerales con uniones Mg-OH como las cloritas, serpentinas, epidoto y talco y para los carbonatos como calcita, dolomita y magnesita, los que presentan una absorción marcada en banda 8. Sin embargo, a pesar que ASTER significa un avance en la detección mineralógica, no es posible diferenciarlos entre sí. Para ello se deberían usar imágenes con mayor número de bandas, tomadas con sensores hiperspectrales, donde

las absorciones diferenciales de estos minerales puedan ser identificadas.

A continuación se describe la metodología del procesamiento digital que permitió identificar los cuerpos de metabasaltos de la Formación Puntilla de Uspallata.

En primer lugar se transforman las bandas a reflectancia planetaria utilizando el método de conversión propuesto por Ono de la Universidad de Chiba, Japón (Moriyama *com. pers.* 2003):



Figura 2: Metabasaltos con formas de almohadillas.

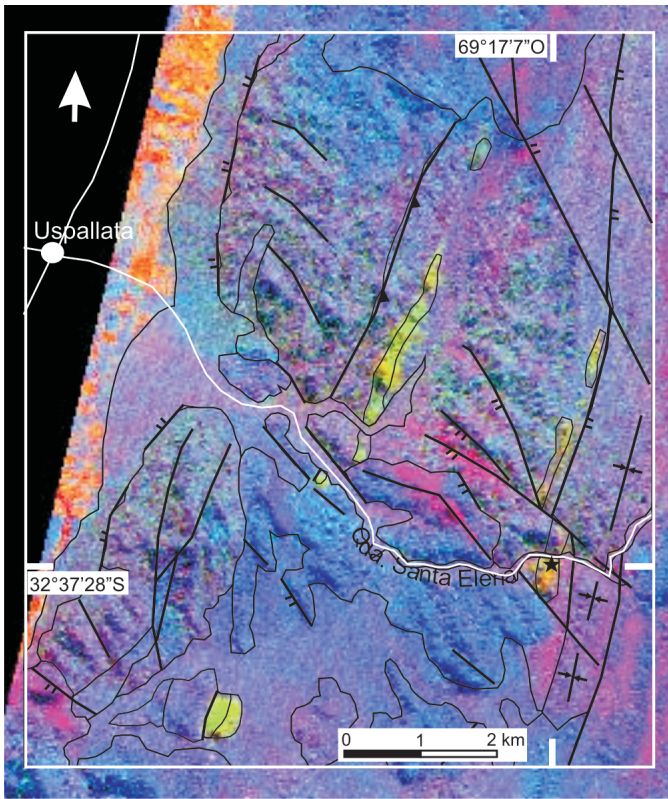


Figura 3: Imagen ASTER RGB: 468 y contactos.

$$\rho^{(i)} = \pi I^{(i)} / F_0^{(i)}$$

Siendo $\rho^{(i)}$ = reflectancia planetaria, $I^{(i)}$ = radiancia de cada banda SWIR, calculada a partir de coeficientes de conversión de ASTER y $F_0^{(i)}$ = Irradiancia solar extraterrestre (valor teórico del albedo para cada banda de SWIR) (Cuadro 1).

La radiancia se calcula utilizando la siguiente ecuación

$$I_i = (DN_i - 1) * \text{Coeficiente de calibración}$$

donde DN es la radiancia al sensor expresada como valor digital (*digital number*), cuyo rango de valores está entre 0 y 255 (8 bits). Luego se normalizan las bandas por la sumatoria de la reflectancia planetaria de cada banda, mediante la fórmula:

$$R(j) = \rho^{(i)} / \sum \rho^{(i)}$$

donde R(j) es la reflectancia relativa normalizada de las bandas SWIR.

Este método elimina el efecto topográfico permitiendo, en consecuencia, realizar la respuesta debida a las características espectrales de las rocas y minerales. En la fig. 3 se observa, en color amarillo, el resque de los cuerpos ígneos en la composición color RGB: 468. Este color obedece a una alta respuesta de estas rocas en las bandas 4 y 6 y absorción en banda 8.

CUADRO 1: Valores tomados del manual ASTER*

Banda	Longitud de onda central	Coefficiente de calibración	Irradiancia solar (F0)
4	1,6570	0,2174	2,310310e+02
5	2,1690	0,0696	7,980116e+01
6	2,2090	0,0625	7,495957e+01
7	2,2630	0,0597	6,865123e+01
8	2,3340	0,0417	5,964634e+01
9	2,4000	0,0318	5,681660e+01

*)User Guide (2005).

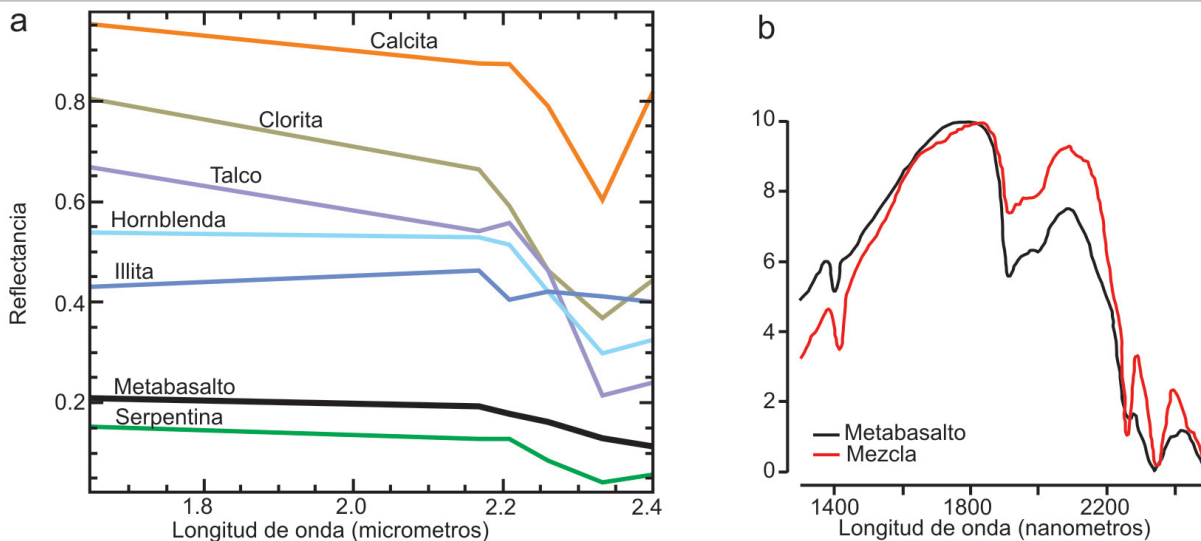


Figura 4: Características espectrales: a) Metabasalto tomado de ASTER y minerales de alteración y formadores de rocas de la base de datos espectrales del USGS; b) Espectro de reflectancia SWIR.

COMPROBACIÓN DEL MÉTODO

Para la comprobación del método en primera instancia se superpuso el mapa geológico de la zona (Cortés *et al.* 1999) sobre la imagen ASTER procesada y se comprobó que se resaltaban los cuerpos ígneos (Fig. 3).

Posteriormente, en un afloramiento de estas rocas, se colectó una muestra y se tomó el dato de localización con GPS.

Como en la literatura del área se describe a estas rocas con alteración de cloritas y serpentinas, se ubicó el punto del muestreo sobre la imagen ASTER pasada a reflectancia relativa, se tomó el patrón espectral de los cuerpos y se lo comparó con los espectros de laboratorio de serpentina y clorita de la base de datos del USGS (teniendo en cuenta que se trata de minerales puros).

Con el programa ENVI se remuestrearon los espectros continuos de laboratorio (en el rango de 0,5 a 2,5 μm , visible e infrarrojo de onda corta) a las 6 bandas que ASTER tiene en el infrarrojo de onda corta de 1,657 a 2,400 μm (Fig. 4a). De esta comparación se puede observar que, a pesar de las diferencias en el valor absoluto de la reflectancia, los picos de alta y baja reflectancia de la clorita se corresponden con los de la imagen ASTER. Se realizó el estudio petrográfico de la muestra, cuya caracterización ya fue expuesta más arriba y se la analizó con el espectrómetro de reflectancia SWIR (Fig. 4b). Con este último se determinó una mezcla de proporciones semicuantitativas de clorita de hierro (60%) e illita

(40%). Los porcentajes indicados se refieren exclusivamente a las proporciones de los minerales de alteración identificados en los puntos analizados en cada muestra, y no al contenido de los mismos en la roca.

CONCLUSIONES

Esto permite concluir que el método de pasaje a reflectancia planetaria, su normalización y la composición color, es sencillo y eficaz para prospectar cuerpos de pequeñas dimensiones con el único requerimiento de que estén afectados por alteración y que exista un marcado contraste espectral con la roca de caja.

Sin la presencia de estos minerales la identificación espectral no hubiese sido posible ya que los minerales primarios formadores de basaltos no presentan características distintivas en el SWIR.

Si bien este método permite una aproximación a la detección de cuerpos ígneos alterados es necesario el control de campo ya que no es posible diferenciar aquellos minerales que presentan igual respuesta espectral como los carbonatos, cloritas y serpentinas.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

ASTER User Guide 2005. <http://www.science.aster.ersdac.or.jp>
Castro Godoy, S. Etcheverría, M. y Godeas, M., 2008. Identificación de metabasaltos alterados mediante datos ASTER. 17° Congreso Geológico Argentino. Resúmenes 1: 387-388, San Salvador de Jujuy.

Cortés, J.M., González Bonorino, G., Koukharsky, M., Pereyra, F. y Brodtkorb, A. 1999. Hoja Geológica 3369-09, Uspallata, provincia de Mendoza. Servicio Geológico Minero Argentino, (inédito), Boletín 281: 1-163, Buenos Aires.

Koukharsky, M. 1997. Informe petrológico. Hoja 3369-09, Uspallata. Provincia de Mendoza. Servicio Geológico Minero Argentino, (inédito), 45p., Buenos Aires.

Rodríguez, E.J. 1967. Contribución al conocimiento del Carbónico del extremo sudoccidental de la Precordillera. 2° Jornadas Geológicas Argentinas, Actas 3: 303-331, Tucumán.

Yamaguchi, Y., Kahle, A.B., Tsu, H., Kawakami, T. y Pniel, M. 1998. Overview of Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER). IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 36(4): 1062-1071.

Recibido: 27 de Noviembre, 2009

Aceptado: 25 de Marzo, 2010