

# CLASIFICACIÓN DE YESO MEDIANTE IMÁGENES ASTER EN LA CORDILLERA PRINCIPAL MENDOCINA

José F. MESCUA<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> IANIGLA, CCT-CONICET-Mendoza, Mendoza. Email: jmescua@lab.cricyt.edu.ar

<sup>2</sup> Laboratorio de Tectónica Andina, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.

## RESUMEN

Se presenta una metodología para obtener el mapa de distribución de yeso con imágenes satelitales ASTER. Se utilizaron imágenes con nivel de procesamiento ASTERL3A correspondientes a dos áreas de la Cordillera Principal mendocina. La estratigrafía de las áreas de estudio se encuentra compuesta por una espesa sucesión sedimentaria mesozoica, volcanitas cenozoicas y depósitos cuaternarios. Dentro de los depósitos mesozoicos se encuentra la Formación Auquilco, integrada por yeso y anhidrita. El reconocimiento y distribución areal de esta unidad es el objetivo de este trabajo. Se aplicaron dos métodos de procesamiento a las imágenes. Por un lado se utilizó el índice de cuarzo (Qi), uno de los índices de determinación de minerales definidos para el subsistema TIR de ASTER. Este índice puede usarse también para reconocer sulfatos, y en particular yeso, ya que estos minerales proporcionan una respuesta muy baja en el Qi. El segundo método consistió en la aplicación combinada de los cocientes de bandas 4/5 y 7/5. Este método permite identificar al yeso por su elevada respuesta en el cociente 4/5 y baja respuesta en el cociente 7/5. A fin de simplificar la metodología, se generó un nuevo cociente a partir de los dos mencionados: (4/5)/(7/5), de manera de destacar el yeso con alta respuesta. A partir del relevamiento de campo se observó que en ambos métodos los errores por exceso fueron más importantes que los errores por defecto, y que los píxeles determinados como yeso erróneamente por cada método son diferentes. Este hecho permite la aplicación de la técnica de "Decision Tree" del programa ENVI 4.2 con el objetivo de eliminar estos errores. En cada una de las imágenes se determinaron los valores de umbral para los píxeles reconocidos como yeso. Luego se generó un "árbol de decisiones" combinando los umbrales de cada imagen, seleccionando en una nueva clase los píxeles determinados como yeso por ambos métodos y eliminando los determinados por sólo uno. De esta manera se eliminaron los errores por exceso de cada método, obteniéndose una mejor determinación de los afloramientos de yeso.

Palabras clave: *Formación Auquilco, sensoramiento remoto, satélite, procesamiento.*

**ABSTRACT:** *Gypsum classification based on ASTER images in the Principal Cordillera of Mendoza.* A combination of two methodologies is presented for detection and mapping of gypsum using ASTER L3A imagery. One of the methodologies uses the Quartz index defined for the ASTER TIR subsystem, which can be used for gypsum detection given its low response in Qi. The other consists in the combination of two band ratios of the ASTER SWIR subsystem, (4/5)/(7/5), which allows the identification of gypsum highlighting its high response in 4/5 and low response in 7/5. Two areas in the Cordillera Principal in the province of Mendoza were selected as case studies, and a field survey was conducted in order to evaluate the results. Both techniques are proved successful, yet classify erroneously some pixels as gypsum. Errors by excess are different for each method, which allows for these two techniques to be combined using a "decision tree" classifier to solve the misclassifications.

Keywords: *Auquilco Formation, remote sensing, satellite, processing.*

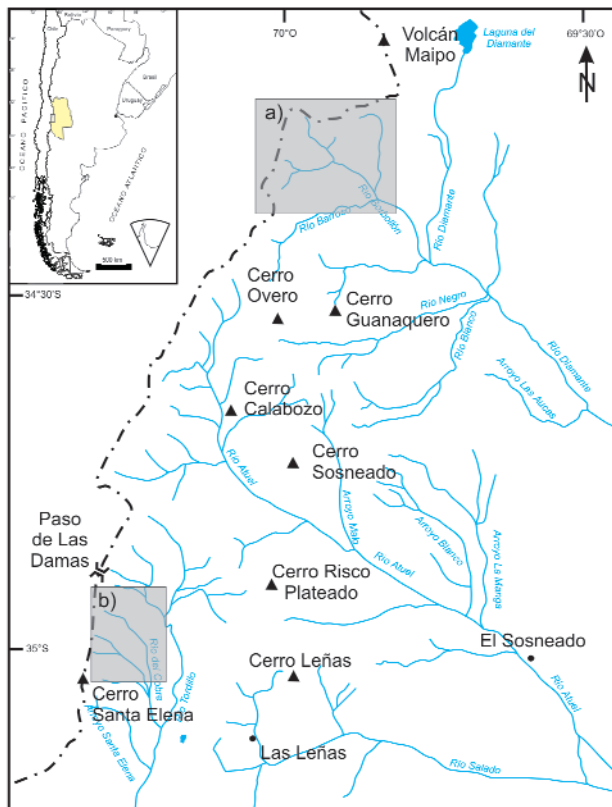
## INTRODUCCIÓN

El objetivo de este estudio es presentar los resultados de una metodología para la detección de yeso utilizando imágenes ASTER en la Cordillera Principal en la provincia de Mendoza. Esta metodología permite obtener mapas litológicos, con aplicaciones en geología regional para el reconocimiento de unidades en las que predomi-

na el yeso, en geología estructural dado el frecuente comportamiento del yeso como nivel de despegue de estructuras, y en geología económica por el uso de este mineral en la construcción y en agricultura.

Una revisión completa de las características del sensor multispectral ASTER puede encontrarse en Yamaguchi *et al.* (1998) y ERS-DAC (2005). El sensor se encuentra compuesto por tres subsistemas ópticos inde-

pendientes: los radiómetros visible e infrarrojo cercano (VNIR), infrarrojo de onda corta (SWIR) e infrarrojo termal (TIR). Las bandas y la resolución espacial de cada subsistema fueron diseñados con vistas a la aplicación de ASTER para estudios geocientíficos (Yamaguchi *et al.* 1998). La resolución espacial es de 15 m para el VNIR, 30 m para el SWIR y 90 m para el TIR. La metodología aquí propuesta aplica



**Figura 1:** Mapa de ubicación de las áreas de estudio. a) Río Borbollón, b) Río del Cobre.

dos técnicas independientes que utilizan datos ASTER. La primera se basa en los índices de detección litológica del subsistema TIR de ASTER (Ninomiya 2003, 2004, Ninomiya y Cudahy 2005). La segunda consiste en la combinación de dos cocientes de bandas del subsistema SWIR, técnica descrita en Marquetti (2005) y Mescua (2007). Ambas técnicas son combinadas utilizando la herramienta decision tree del software ENVI 4.2 (Research Systems Inc. 2005).

Las imágenes ASTER utilizadas en este estudio fueron procesadas en la Unidad Sensores Remotos y Sistemas de Información Geográfica del Servicio Geológico y Minero Argentino para generar datos de nivel de procesamiento 3A. Posteriormente se transformaron las bandas del TIR a datos tipo radiancia en el sensor (*radiance-at-sensor*) mediante la ecuación propuesta por Ninomiya *et al.* (2005). Este paso no es necesario, pero se llevó a cabo para poder comparar los resultados con los de Ninomiya y colaboradores.

Se seleccionaron dos áreas de estudio en la Cordillera Principal de Mendoza para

aplicar la metodología (Fig. 1). Estas áreas corresponden a las nacientes del río Borbollón (34°15'S, 69°45'O) y del río del Cobre (35°S, 70°15'O). La estratigrafía de ambas zonas corresponde a una espesa sucesión sedimentaria mesozoica integrada por las unidades típicas del relleno de la cuenca Neuquina, rocas ígneas cenozoicas y depósitos cuaternarios. Una de las unidades más conspicuas de la sucesión mesozoica es la Formación Aupilco, consistente en depósitos evaporíticos (yeso y anhidrita) que alcanzan espesores de hasta 400 m (Legarreta y Uliana 1999). El reconocimiento de esta unidad es el objetivo de este trabajo. Los resultados del análisis por sensores remotos fueron verificados en reconocimientos de campo de ambas áreas.

## METODOLOGÍA

### Índice de cuarzo

El índice de cuarzo ( $Q_i$ ) es uno de los índices de detección litológica definidos por Ninomiya (2003) para el subsistema TIR de ASTER, basados en las propieda-

des espectrales de las diferentes litologías. El  $Q_i$  se define por la siguiente fórmula:

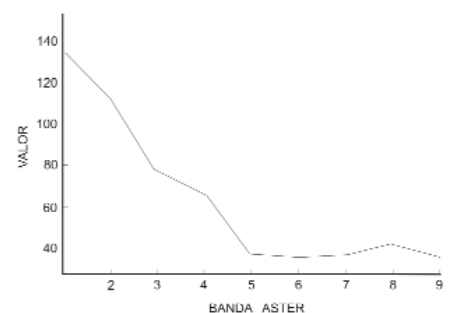
$$Q_i = \frac{D_{11} \times D_{11}}{D_{10} \times D_{12}} \quad (1)$$

siendo  $D_i$  cualquier tipo de dato relacionado a la banda  $i$  de ASTER.

Ninomiya y Cudahy (2005) demostraron la aplicabilidad de los índices litológicos del TIR a datos ASTER L3A “radiancia en el sensor”, el tipo de datos utilizados en este estudio, sin necesidad de aplicar correcciones atmosféricas. Por otro lado, Ninomiya (2004) y Ninomiya y Cudahy (2005) sugieren que además de para la detección de cuarzo, el  $Q_i$  puede utilizarse para detectar sulfatos. Estos minerales presentarían valores bajos de  $Q_i$  debido a la fuerte característica de absorción que estos minerales presentan en la región espectral de la banda 11 de ASTER.

### Cocientes de bandas del subsistema SWIR

La segunda técnica utilizada consistió en la aplicación de dos cocientes de bandas del subsistema SWIR de ASTER elegidos sobre la base de la respuesta espectral del yeso en esta región del espectro electromagnético. El yeso presenta valores mayores a 1 en el cociente 4/5 (Fig. 2). Sin embargo, este cociente de bandas no permite detectar al yeso por sí solo, ya que esta característica es presentada también por una serie de minerales de alteración (por ej., caolinita, sericita, alunita). Estos minerales de alteración presentan también valores altos en el cociente 7/5,



**Figura 2:** Curva espectral del yeso en el rango espectral de las bandas 1 a 9 de ASTER, tomado de un píxel reconocido como yeso a partir del relevamiento de campo.

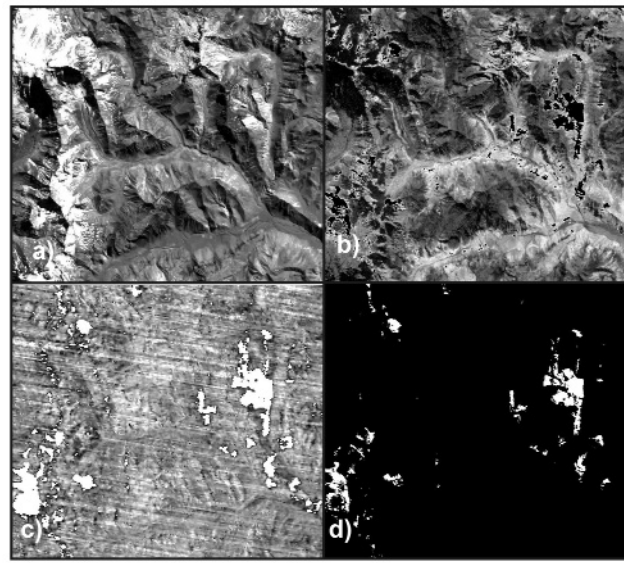
mientras que el yeso presenta valores menores en este cociente debido a su curva espectral plana en esta región del espectro (Fig. 2) (Marquetti 2005, Mescua 2007). Para destacar esta diferencia, se realizó un nuevo cociente  $(4/5)/(7/5)$ , en el que el yeso presenta valores altos y los minerales de alteración valores bajos.

## RESULTADOS

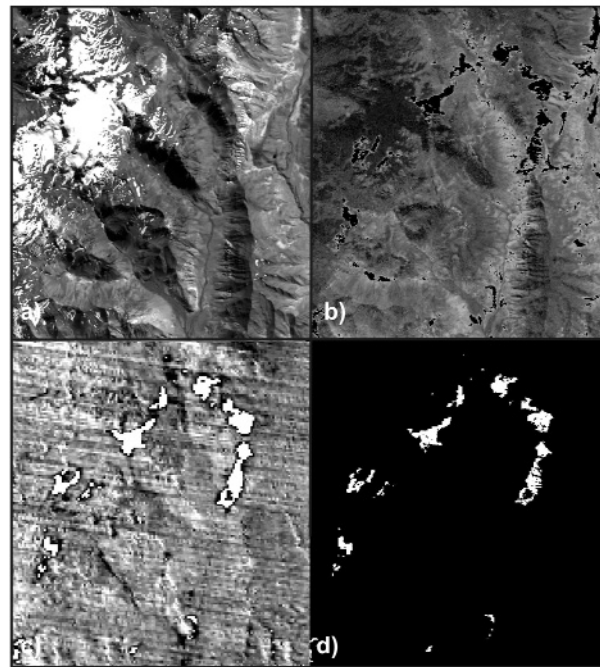
Se realizaron relevamientos de campo de las zonas de estudio, durante los cuales se reconocieron los afloramientos de la Formación Auquilco. A partir de lo observado en el campo, se definieron valores de umbral para los píxeles correspondientes a yeso. Los valores que mejor se ajustaron para el Qi fueron levemente diferentes para cada área, en río Borbollón se utilizó  $Qi \leq 0,90$  mientras que en río del Cobre se utilizó  $Qi \leq 0,95$ . Para los cocientes de bandas se utilizó un único valor en ambas zonas de estudio:  $(4/5)/(7/5) \geq 1,3$ . Con estos umbrales se realizó una primera etapa de clasificación de yeso (Figs. 3b y c, 4b y c).

Según Ninomiya *et al.* (2005), los índices litológicos podrían utilizarse en zonas áridas de alta montaña con valores de umbral fijos, independientes de la escena (siempre y cuando las escenas presenten buenas condiciones atmosféricas, como la ausencia de nubes o niebla). Sin embargo, en este estudio fue necesario utilizar umbrales diferentes de Qi para la determinación de yeso en las dos zonas de estudio. Esto podría deberse a variaciones en las condiciones atmosféricas de cada imagen, que no fueron analizadas, o a variaciones menores en la composición del yeso (sea por presencia de impurezas en el mineral o por intercalaciones clásticas o de evaporitas de diferente composición). De todos modos, los valores de umbral utilizados son coherentes (es decir, significativamente menores) con respecto a los utilizados por Ninomiya y Cudahy (2005) para la detección de cuarzo.

Los resultados fueron buenos para ambas técnicas, sin embargo se obtuvieron errores por exceso al aplicar los umbrales



**Figura 3:** Imágenes para el área de estudio de río Borbollón. a) ASTER banda 3. b) Cociente de bandas  $(4/5)/(7/5)$ , con clasificación de yeso en negro. c) Qi, con clasificación de yeso en blanco. d) Clasificación obtenida combinando ambos métodos.



**Figura 4:** Imágenes para el área de estudio de río del Cobre. a) ASTER banda 3. b) Cociente de bandas  $(4/5)/(7/5)$ , con clasificación de yeso en negro. c) Qi, con clasificación de yeso en blanco. d) Clasificación obtenida combinando ambos métodos.

que incluían todos los afloramientos de yeso observados en el campo. El Qi terminó erróneamente como yeso algunas áreas de sombra y píxeles aislados; el cociente de bandas  $(4/5)/(7/5)$  determinó como yeso algunas áreas cubiertas por vegetación. Por otro lado, debido a la diferente resolución espacial de los subsistemas de ASTER utilizados, el cociente de bandas del SWIR (30 m de resolución) permitió un mapa de distribución más detallado que el Qi del TIR (90 m).

La existencia de errores por exceso diferentes en ambas técnicas permitió su eli-

minación mediante la aplicación de la herramienta "Decision tree", incluida en el software ENVI 4.2. Esta herramienta permite realizar clasificaciones mediante una serie de decisiones binarias (Research Systems Inc. 2005). Cada decisión divide los píxeles de una o más imágenes en dos clases basadas en una expresión. Las expresiones que pueden utilizarse incluyen funciones matemáticas, operadores lógicos, etc. En este caso, se creó una expresión para cada área de estudio, a partir de la cual se generó una clase con los píxeles determinados como yeso por ambas téc-

nicas y excluyendo aquellos determinados por sólo una o ninguna:

Río Borbollón:

$$Q_i \leq 0,90 \text{ AND } (4/5)/(7/5) \geq 1,3$$

Río del Cobre:

$$Q_i \leq 0,95 \text{ AND } (4/5)/(7/5) \geq 1,3$$

La clase obtenida se realizó a la resolución espacial de la imagen de mayor resolución (30 m). El resultado puede observarse en las figuras 3d y 4d. Se eliminaron los errores en la clasificación litológica, obteniéndose un mapa de los afloramientos de yeso.

## CONCLUSIONES

La metodología presentada permitió generar un mapa con los afloramientos de la Formación Auquilco en dos zonas estudio de la Cordillera Principal mendocina a partir del reconocimiento litológico de yeso utilizando imágenes satelitales ASTER. Las técnicas utilizadas son simples, y pueden aplicarse a datos ASTER de cualquier nivel de procesamiento, sin necesidad de correcciones atmosféricas. Esta metodología constituye una herramienta útil para generar el mapa geológico regional y estructural en zonas áridas de alta montaña, frecuentemente de difícil acceso.

## AGRADECIMIENTOS

La presente contribución fue realizada como parte de las tareas de una beca del Sistema de Formación de Jóvenes Técnicos y Profesionales del Servicio Geológico y Minero Argentino (SEGEMAR). El autor desea expresar su agradecimiento a dicha institución, y en particular a la Lic. Graciela Marín, directora de la beca.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

ERSDAC 2005. ASTER User's Guide. Disponible en [http://www.science.aster.ersdac.or.jp/t/en/documnts/users\\_guide/](http://www.science.aster.ersdac.or.jp/t/en/documnts/users_guide/) Último acceso 2/6/2008

Legarreta, L. y Uliana, M.A. 1999. El Jurásico y Cretácico de la Cordillera Principal y la Cuenca Neuquina. En Caminos, R. (ed.) Geología Argentina, Servicio Geológico Minero Argentino, Anales 29: 399-416, Buenos Aires.

Marquetti, C. 2005. Metodología y análisis de imágenes ASTER para la exploración mineral en un sector de la Cordillera de Colangüil, San Juan, Argentina. En Marín, G. (ed.) Contribuciones Técnicas Proyecto GEOSAT-AR. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Anales 41: 31-40, Buenos Aires.

Mescua, J.F. 2007. Reconocimiento del yeso de la Formación Auquilco mediante imágenes ASTER en la Cordillera Principal mendocina: una herramienta efectiva para el mapeo geológico y estructural. 13° Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Actas on-line: 2063-2068 (<http://mar-te.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.11.18.48/doc/2063-2068.pdf>).

Ninomiya, Y. 2003. Rock type mapping with indices defined for multispectral thermal infrared ASTER data: case studies. Proceedings of SPIE 4886 Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS, Applications and Geology 2: 123-132.

Ninomiya, Y. 2004. Lithologic mapping with multispectral ASTER TIR and

SWIR data. Proceedings of SPIE 5234, Sensors, systems and next-generation satellites 7: 180-190.

Ninomiya, Y., Fu, D., y Cudahy, T.J. 2005. Detecting lithology with ASTER multispectral infrared "radiance-at-sensor" data. Remote Sensing of Environment 99 (1-2): 127-139.

Research Systems Inc. 2005. ENVI 4.2 User's Guide.

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).

Recibido: 16 de Noviembre, 2009

Aceptado: 25 de Marzo, 2010