

Reconocimiento del yeso de la Formación Auquilco mediante imágenes ASTER en la Cordillera Principal mendocina: una herramienta efectiva para el mapeo geológico y estructural.

José Francisco Mescua

IANIGLA-CRICYT (CONICET)

Av. Ruíz Leal s/n Parque General San Martín. Mendoza - Argentina. CP 5500

jmescua@lab.cricyt.edu.ar

Abstract. Three methods are presented for recognition and mapping of gypsum using ASTER L3A data. Method n°1 uses the Quartz index developed by Ninomiya (2003) for data of the TIR subsystem, method n°2 applies two different band ratios of the SWIR subsystem, and method n°3 is a band combination using bands of the TIR and SWIR subsystems, defined on the base of the spectral signature of gypsum. The results were checked in a study area in the Andes of Mendoza Province, Argentina ($34^{\circ}15' - 34^{\circ}30' S$ and $69^{\circ}45' - 70^{\circ}00' W$). All the tested methods proved effective for lithologic mapping of gypsum in the study area; the coherence in the results using independent subsystems of ASTER serves also as a validation of the success of all three techniques.

Palabras claves: remote sensing, ASTER, lithologic mapping, gypsum, sensoriamento remoto, mapeamento litológico, gesso.

1. Introducción

El objetivo de este trabajo es presentar los procesamientos realizados para la detección y mapeo del yeso de la Formación Auquilco en un sector de la Cordillera Principal mendocina, utilizando imágenes satelitales ASTER con nivel de procesamiento L3A y software ENVI 4.0.

Se tomó como caso de estudio un área en el centro-oeste de la provincia de Mendoza, entre los $34^{\circ}15'$ y $34^{\circ}30'$ LS y los $69^{\circ}45'$ y 70° LO (**figura 1**). Esta área corresponde al extremo septentrional de la Faja Plegada y Corrida de Malargüe (FPCM), desarrollada durante la orogenia andica (Kozłowski et al., 1993). En este sector de los Andes, la FPCM involucra una sucesión predominantemente sedimentaria de edad jurásico-cretácica, intruida y cubierta por rocas ígneas durante el Cenozoico (Groeber, 1947; Sruoga et al., 2002; Mescua, 2006).

La Formación Auquilco forma parte de la mencionada sucesión sedimentaria jurásica. Se encuentra compuesta por depósitos evaporíticos de yeso que alcanzan un espesor de 400 m hacia el centro de cuenca (Legarreta y Uliana, 1999).

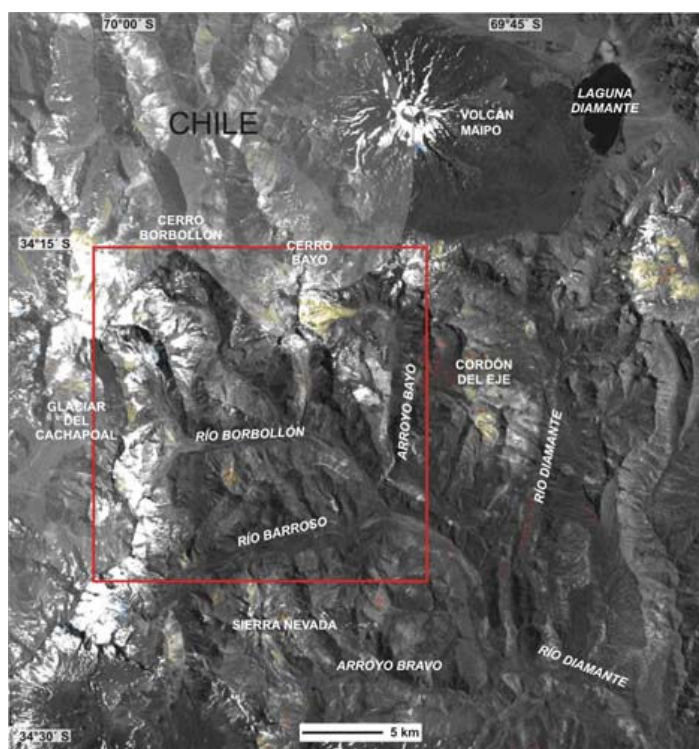


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

La estructura del área corresponde al sector interno de la FPCM, que presenta un estilo estructural de piel gruesa. El principal mecanismo de levantamiento correspondió a la inversión tectónica de fallas originalmente directas generadas durante un episodio extensional jurásico (Kozłowski et al., 1993); la fase orogénica principal es asignada al Mioceno. En menor medida se encuentran corrimientos de piel fina despegados dentro de la sucesión mesozoica, siendo uno de los niveles de despegue la Formación Auquilco (Mescua, 2006). Incluso en las fallas con inversión tectónica, el yeso suele formar diapiros por su comportamiento plástico frente a la compresión. Por lo tanto, la detección de los afloramientos de yeso es muy útil para la obtención de un mapa estructural del área.

2. Metodología

Para el estudio del área se utilizó una imagen ASTER del 9 de abril de 2003. Los datos crudos L1A se rectificaron con el programa Silcast, que genera el modelo digital de elevaciones a partir de las bandas 3n y 3b y luego ortorrectifica las 14 bandas (L3A).

Estos datos fueron procesados con tres técnicas diferentes para realzar los afloramientos de yeso, índice de subsistema TIR, cociente de bandas SWIR y combinación de bandas VNIR y SWIR, que se describen a continuación. Los resultados fueron verificados en el campo.

3. Índice de Cuarzo del subsistema TIR de ASTER

Los índices de determinación de minerales para el subsistema TIR de ASTER fueron definidos por Ninomiya (2003, 2004) aprovechando las características espectrales de determinados minerales en el rango de longitudes de onda del infrarrojo termal. Estas características reflejan el tipo de unión química entre los componentes del mineral. Los índices fueron definidos para reconocer carbonatos, cuarzo y contenido de sílice. Ninomiya (2003) y Ninomiya et al. (2005) mencionan que el índice de cuarzo (Q_i) puede también ser utilizado para detectar sulfatos, en particular yeso. Los sulfatos presentan valores muy bajos de Q_i debido a un fuerte rasgo de absorción en la región espectral de la banda 11.

Para la aplicación del índice se convirtieron los datos ASTER L3A (DN) de las bandas 10, 11 y 12 a “radiancia en el sensor” mediante la ecuación descrita por Ninomiya (2003, 2004). Por otro lado, el índice de cuarzo demostró ser estable frente a las variaciones atmosféricas y de temperatura (Ninomiya, 2004; Ninomiya et al., 2005) por lo que pueden utilizarse datos no corregidos para su cálculo.

$$Q_i = \frac{\text{banda}_{11} \times \text{banda}_{11}}{\text{banda}_{10} \times \text{banda}_{12}}$$

3.a. Análisis y resultados

Este método de reconocimiento litológico produjo buenos resultados (figura 2). Los afloramientos de yeso mapeados en el campo fueron identificados en la imagen satelital. En adición a esto se reconocieron nuevos afloramientos que coinciden con estructuras previamente interpretadas.

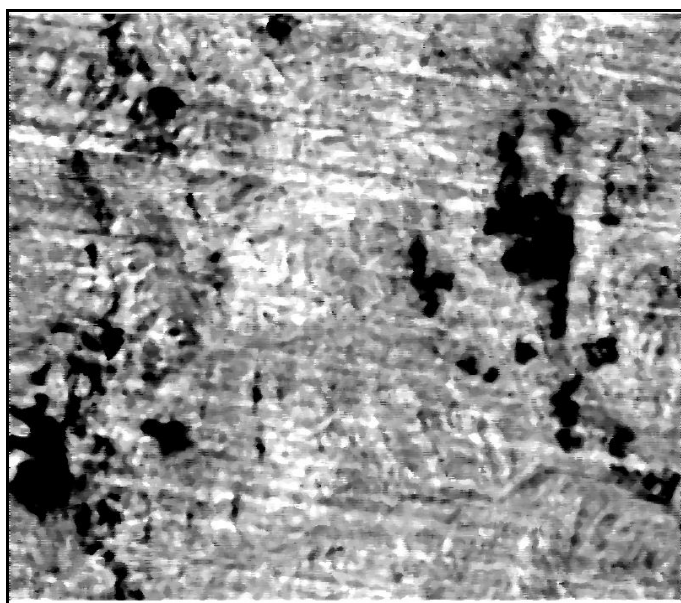


Figura 2. Índice de Cuarzo del subsistema TIR de ASTER, se aplicó un filtro de medianas con celda de 3x3 píxeles. El yeso se observa en color negro.

La aplicación de un valor máximo de umbral de 0,9 diferenció el yeso, si bien se registraron algunos falsos positivos de pocos píxeles en áreas de sombras.

En resumen, este método permitió un adecuado reconocimiento del yeso debido al contraste logrado con respecto a las demás litologías. Sus principales desventajas son la resolución espacial relativamente baja del subsistema TIR (90 m), y la magnificación del ruido sistemático originado durante el procesamiento de datos de nivel 1 del subsistema TIR de ASTER (Ninomiya et al., 2005). Al realizar el índice, la operación matemática entre bandas realza el ruido además de los contrastes de respuesta, lo que disminuye aún más la precisión en la distribución espacial de las unidades rocosas. Este problema puede resolverse mediante la aplicación de un filtro de medianas, al costo de disminuir la nitidez de la imagen.

Por todo lo expuesto, si bien este método permitió reconocer la litología buscada, no permitió un mapeo preciso de sus afloramientos.

4. Cociente de bandas 4/5 + Cociente de bandas 7/5

Este método fue utilizado por Marquetti (2005) en la región de la Cordillera de Colangüil (provincia de San Juan). Consiste en la realización del cociente 4/5, en el que además del yeso presentan valores mayores a 1 diversos minerales de alteración como caolinita, sericita, alunita, etc; y por otro lado la realización del cociente 7/5 en el que los minerales de alteración mantienen su respuesta mientras que la curva espectral del yeso es plana, y por lo tanto su respuesta es baja. De esta manera se logra identificar al yeso a partir de los sectores que presentan elevada respuesta en el cociente 4/5 y baja respuesta en el cociente 7/5 (Marquetti, 2005).

4.a. Análisis y resultados

Los resultados son muy buenos (**figuras 3 y 4**), pudiéndose identificar con facilidad la litología de interés. La resolución espacial de 30 m del SWIR permite un mapeo más detallado que en el método descrito previamente. El único sector donde se presentaron inconvenientes fue en el noroeste de la zona de estudio, en el cerro Paredón, donde el yeso se encuentra en contacto con volcanitas y ambos están en parte cubiertos por nieve. La presencia de esta cobertura nívica dificulta la interpretación, sobre todo para el cociente 7/5.

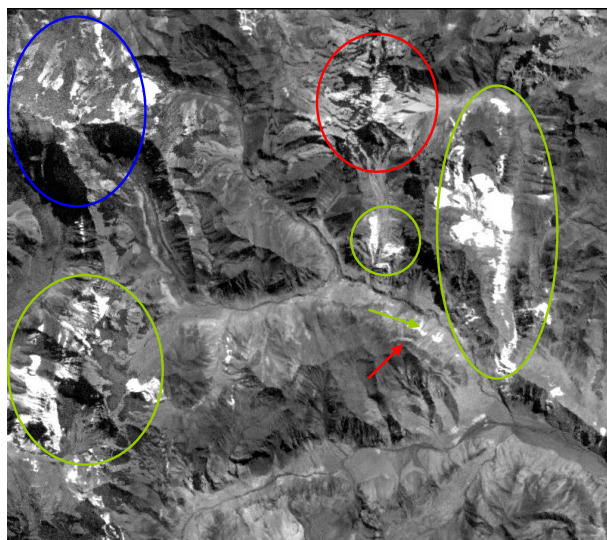


Figura 3. Cociente de bandas 4/5

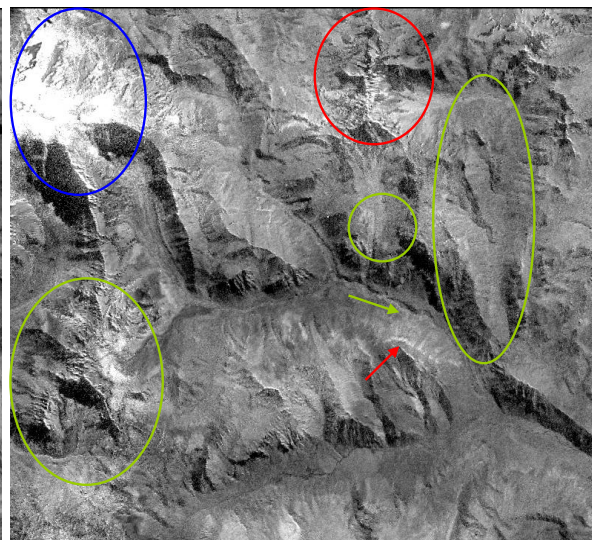


Figura 4. Cociente de bandas 7/5

Referencias para las figuras 3 y 4: En verde se señala el yeso. En rojo, las volcanitas. En azul se observa el sector del Cerro Paredón, donde este método presentó complicaciones.

5. Combinación de bandas ASTER RGB 345

Analizando la firma espectral del yeso a partir de bibliotecas espectrales y de la propia imagen (**figura 5**), se probaron diferentes combinaciones de bandas de los subsistemas ASTER VNIR y SWIR buscando resaltar la litología de interés, con el fin de obtener una herramienta que permita reconocer ese material mediante una metodología simple. Este método se encuentra por lo tanto al alcance de usuarios sin acceso a software específicos de procesamiento de imágenes, ya que permite la ubicación de los afloramientos de yeso en el producto más simple disponible como es una impresión de una combinación de bandas.

5.a. Análisis y resultados

El mejor resultado se obtuvo con la combinación RGB 345 (**figura 6**). En esta combinación el yeso aparece en un tono característico de amarillo por su mayor respuesta en las bandas 3 y 4.

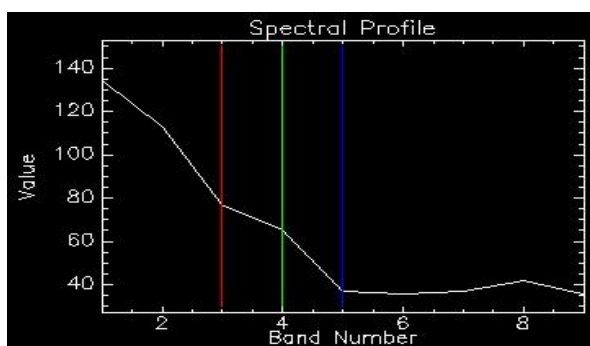


Figura 5. Respuesta espectral del yeso de la Formación Auquilco en las bandas del VNIR y SWIR de ASTER tomada de la propia imagen.

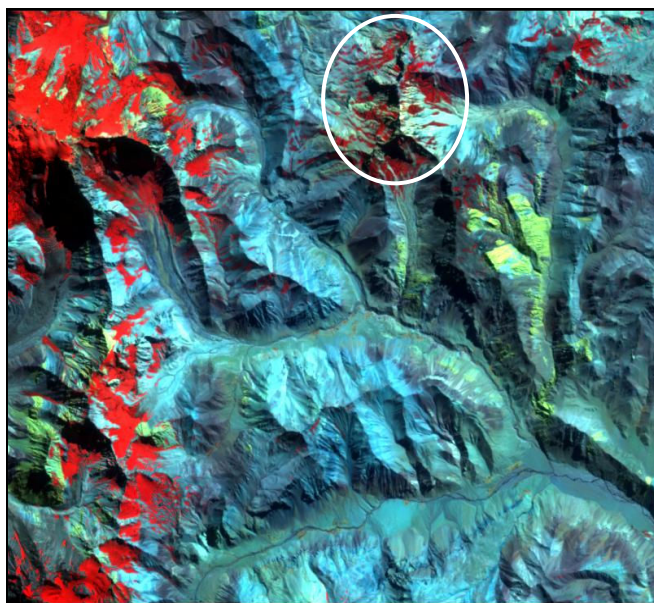


Figura 6. Combinación de bandas RGB 345. Referencias en el texto.

La principal ventaja de este método es la resolución espacial de 30 m, que permite un mapeo detallado. Su principal desventaja es que la interpretación puede ser más subjetiva, ya que implica diferenciar tonos de amarillo. Un ejemplo de esto puede verse en las vulcanitas con alteración hidrotermal del área de los Cerros Bayo y Listado (círculo blanco en **figura 6**), que en esta combinación de bandas se observan también en amarillo, si bien pueden diferenciarse del yeso por su diferencia de tono.

6. Conclusiones

En este trabajo se presentan y evalúan tres técnicas para el reconocimiento y mapeo de yeso utilizando datos satelitales ASTER L3A. Los resultados obtenidos para un área de los Andes en la provincia de Mendoza, Argentina, fueron parcialmente verificados en el campo. La aplicación de estas técnicas demostró ser útil para el mapeo geológico y estructural de ciertos sectores de la Cordillera de los Andes de difícil accesibilidad. La figura 7 muestra el resultado obtenido.

El índice de cuarzo permitió discriminar claramente el yeso de las demás litologías, a pesar de la baja resolución del subsistema TIR de ASTER (90 m). La magnificación del ruido sistemático de la imagen fue disminuida mediante la aplicación de

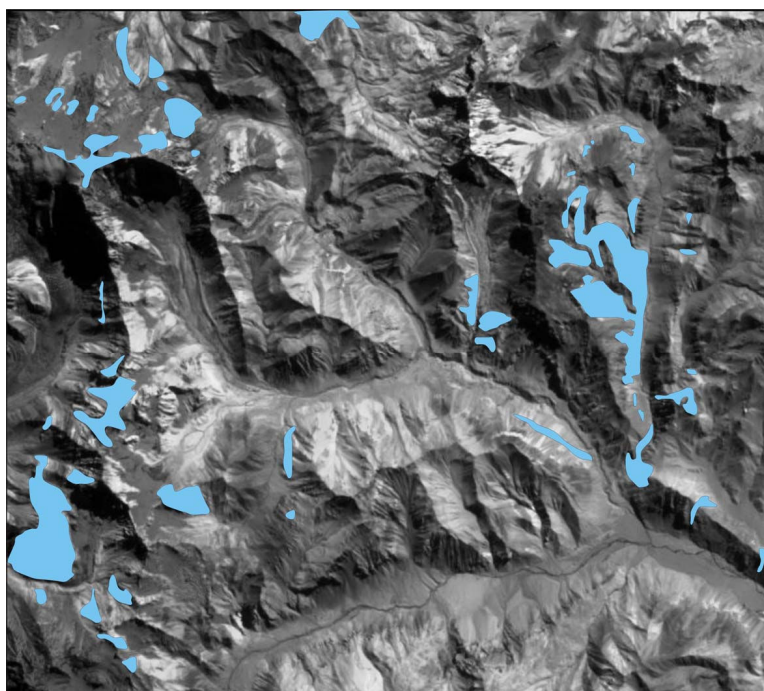


Figura 7. Afloramientos de yeso reconocidos en el área de estudio.

un filtro de medianas.

La aplicación combinada de los cocientes de bandas del subsistema SWIR 4/5 y 7/5 y la combinación de bandas RGB 345 también destacaron los afloramientos de yeso, permitiendo un mapeo más detallado por su resolución de 30 m.

Es importante destacar la coherencia entre los afloramientos de yeso identificados utilizando los subsistemas de ASTER en forma independiente, lo que valida los resultados obtenidos.

7. 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.

8. Bibliografía

Groeber, P. Observaciones geológicas a lo largo del meridiano 70. II- Hojas Sosneao y Maipo. **Revista de la Asociación Geológica Argentina** v. 2, n. 2, p. 141-176, 1947. Reimpreso en Buenos Aires: Asociación Geológica Argentina, Serie C Reimpresiones v. 1, 1980.

Kozłowski, E., Manceda, R. y Ramos, V. A. **Estructura**. En V. A. Ramos, (ed.) Geología y Recursos Naturales de Mendoza, Relatorio del XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Buenos Aires, 1993, p. 235-256.

Legarreta, L. y Uliana, M. A. **El Jurásico y Cretácico de la Cordillera Principal y la Cuenca Neuquina**. En Caminos, R. (ed.), Geología Argentina, 1999. Buenos Aires: Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Anales v. 29, n. 16, p. 399-432.

Marquetti, C. **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, 2005. Buenos Aires: Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Anales n° 41, p. 31-40.

Mescua, J. F. **Geología de las nacientes del río Borbollón, alta cuenca del río Diamante, provincia de Mendoza.** 2006. 87 p. Trabajo Final de Licenciatura en Cs. Geológicas, FCEyN, UBA, Buenos Aires.

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

Ninomiya, Y. Lithologic mapping with multispectral ASTER TIR and SWIR data. 2004. **Proceedings of SPIE Vol. 5234**, Sensors, systems and next-generation satellites VII, p. 180-190.

Ninomiya, Y., Fu, D., and Cudahy, T. J. Detecting lithology with ASTER multispectral infrared “radiance-at-sensor” data. **Remote Sensing of Environment**, v. 99, n. 1-2, p.127-139, 2005.

Sruoga, P., Etcheverría, M., Folguera, A., y Repol, D. **Hoja Geológica 3569-I Volcán Maipo, provincia de Mendoza.** 2002. Buenos Aires: Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Bol. n° 290, 116 pp.