

Cartografía de calizas con datos hiperespectrales AISA Eagle II en una zona montañosa con vegetación: una corrección atmosférica geológicamente orientada

Buzzi, J. ⁽¹⁾, **Costa, E.** ^(2,3), **Riaza, A.** ⁽¹⁾, **Fernandez, O.** ⁽³⁾, **García-Sellés, D.** ⁽²⁾, **Corbera, J.** ⁽⁴⁾

⁽¹⁾Instituto Geológico y Minero de España (IGME), La Calera 1, 28760 Tres Cantos, Madrid, España. a.riaza@igme.es

⁽²⁾ GEOMODELS Institut de Recerca, Departament de Geodinàmica i Geofísica, Universitat de Barcelona. c/Martí i Franquès s/n, 08028-Barcelona, España. elicosta@ub.edu

⁽³⁾ Grupo de Disciplinas Geológicas, REPSOL Exploración, c/Méndez Álvaro 44, 28045-Madrid, España. oscar.fernandez@repsol.com

⁽⁴⁾ Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC), Parc de Montjuïc, 08038-Barcelona, España. jordi.corbera@icgc.cat

Resumen: Las calizas son rocas objeto de atención preferente en la exploración de petróleo, y afloran con frecuencia en zonas extensas con diferencias espectrales mínimas entre distintas formaciones geológicas. Las absorciones típicas de carbonatos en 2,2 y 2,3 μm no forman parte del intervalo de longitudes de onda del AISA Eagle II (0,4-0,97 μm), con una resolución espectral de 0,048 μm en 128 canales y 1 m de resolución espacial. La zona de estudio es una montaña rocosa carbonatada con vegetación densa. El enmascaramiento de las áreas cubiertas por vegetación y los efectos de sombra anteceden necesariamente al análisis geológico usando imágenes hiperespectrales. Las formaciones calizas afloran en las laderas montañosas, en crestas rocosas poco extensas y amplios abanicos de cantos sueltos. El suelo de distintas formaciones geológicas se distingue espectralmente sólo por su reflectancia global en distintas formaciones geológicas. Los afloramientos rocosos presentan absorciones típicas de óxidos de hierro en las costras sobre las superficies meteorizadas de las rocas que los distinguen de las formaciones de cantos en derrubios. Para mejorar la expresión espectral en las formaciones calizas, se ha ensayado una corrección atmosférica con espectros de campo en una cantera de calizas, y en afloramientos rocosos. Así, se cartografian formaciones geológicas litológicamente similares en una cuenca fluvial. Los sedimentos de la llanura aluvial cargados con limos de materiales comparativamente más finos y materia orgánica presentan espectros con un trazo rectilíneo en el visible. Las terrazas fluviales superiores con tamaño de grano medio más grueso presentan rasgos de absorción por presencia de óxidos de hierro similares a los afloramientos rocosos de las zonas montañosas. El uso de espectros de campo seleccionados con criterios geológicos en la corrección atmosférica de imágenes hiperespectrales, mejora la capacidad cartográfica en zonas con formaciones geológicas litológicamente similares y respuestas espectrales homogéneas.

Palabras clave: hiperespectral, carbonatos, cartografía geológica, corrección atmosférica.

Hyperspectral Airborne AISA Eagle II Data For Carbonate Geological Mapping In A Vegetated Mountainous Area: An Atmospheric Correction Approach

Abstract: Carbonated rocks are typical targets for oil exploration, outcropping often in large areas with minimum spectral differences between geological units. The typical carbonate spectral absorptions in 2.2 μm and 2.3 μm , are excluded from the wavelength range of AISA Eagle II. AISA Eagle II hyperspectral data are processed in flight lines of 1024 swath pixels in the visible to near-infrared wavelength range (0.40 to 0.97 μm). The spatial resolution is 1m and a total of 128 channels with a spectral resolution of 4.8 nm. The area of study is a carbonate rocky mountain densely vegetated covered by variably dense trees and bushes. Masking vegetation and shade effects is prior to any geological analysis using hyperspectral image processing. Carbonate units occur in mountain slopes, with small areas of ridges of rock outcrops and wide fans of loose material. The background soil of different geological units differ spectrally only by overall reflectance. Instead, limestone rocky outcrops display spectral responses with typical iron oxide absorptions that distinguish them apart from loose boulders of carbonate material. Trying to enhance spectral differences in the visible wavelength range among carbonate geological units, an atmospheric correction using field spectra from geologically selected targets in a limestone quarry was performed. This way, it was possible to map apart lithologically similar detrital units dominated by carbonate in a river plain. The limy river bottom displays spectra with a straight line in the visible wavelength range due to abundant organic matter and small grain size. The spectra of the upper terraces record absorption features related to iron oxide contents similar to the rock outcrops in ridges on mountain areas. The use of field spectra in geologically selected targets improves the mapping capability of hyperspectral imagery in areas with geological units with a homogeneous spectral response.

Keywords: hyperspectral, carbonate, geological mapping, atmospheric correction.

1. INTRODUCCION

Las imágenes hiperespectrales se han utilizado ampliamente en cartografía geológica en zonas semiáridas, y menos en zonas montañosas. En este caso, las litologías predominantemente carbonatadas permiten poner a prueba la capacidad de las imágenes para reflejar diferencias litológicas en el intervalo de longitudes de onda del visible (400-970 nm), cuando las absorciones diagnósticas de los carbonatos aparecen en el infrarrojo cercano (2000-2400 nm) (Hunt y Salisbury, 1971a). Para ello se utilizan aspectos secundarios en los afloramientos de las formaciones geológicas que permiten su identificación tras una corrección atmosférica geológicamente orientada (Riaza *et al.*, 2012; Buzzi, 2012).

2. DATOS

Durante los días 5, 11, 16 y 17 de julio de 2014, se adquirieron las imágenes hiperespectrales AISAEagle II (SPECIM) por parte del Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC). El AISAEagle II adquiere datos hiperespectrales en el rango de 400-970 nm de longitudes de onda con un total de 128 bandas. El barrido tiene un ancho de 1024 píxeles con una resolución espacial de 1 m y resolución espectral de 4,8 nm.

Para mejorar la corrección atmosférica, se tomaron espectros en el campo con un espectrómetro ASD Fieldspec3 (400-2500 nm) (ASD Inc.) en afloramientos rocosos seleccionados en las imágenes a cartografiar y en canteras en las que se concentran variedad de calizas presentes en el entorno cercano.

Para el tratamiento de imágenes se utiliza el paquete comercial ENVI orientado a imágenes hiperespectrales (EXELIS, 2011).

3. MÉTODOS

3.1. Pretratamiento digital

Las imágenes AISAEagle II se corrigen para eliminar ruido electrónico y efectos del sensor. Para mejorar la corrección atmosférica inicial, se utiliza el método de las Líneas Empíricas (EXELIS, 2011), usando varios espectros de campo en superficies representativas. El método de las Líneas Empíricas garantiza una respuesta espectral uniforme en todas las imágenes independientemente de las condiciones atmosféricas en las que se hayan registrado. Para ello es necesario que se utilicen los mismos espectros en el proceso de calibrado, y las mismas áreas de calibrado sobre las imágenes.

3.2. Elaboración de mapas con tratamiento digital de imágenes

La secuencia conocida de tratamiento de imágenes hiperespectrales utilizada para extraer información geológica (Buzzi, 2012), comienza por calcular Transformadas de Ruido Mínimo (EXELIS, 2011). Continúa con el cálculo del Índice de Pureza de Píxeles y el visualizador n-dimensional, para producir una espectroteca de miembros extremos representativos en la

escena. Esta espectroteca sirve de entrada al Cartógrafo de Ángulos Espectrales, que genera un mapa cuya leyenda son los miembros extremos de la espectroteca de entrada.

Esta secuencia de algoritmos se usa repetidamente para hacer un mapa de uso de suelo inicial, en el que aparecen típicamente las zonas con vegetación y los suelos descubiertos. De esta manera se elaboran mapas de distintas formaciones geológicas reconocibles por la expresión espectral dominante que diagnostica minerales presentes en las rocas o que aparecen durante los procesos de meteorización por exposición a la atmósfera.

4. RESULTADOS

La zona de estudio en el prepirineo catalán (Montrebei, Lleida), es un medio montañoso con predominio de rocas en las que crecen matorrales y árboles con densidad variable arraigados en las rocas. Los materiales más blandos margosos permiten cultivos, y ofrecen afloramientos de suelos recién arados en los que la cartografía geológica con imágenes se adapta de una manera diversa. En todos los casos, hay que aislar las zonas con vegetación más densa con anterioridad a cualquier exploración geológica. Las zonas cercanas a árboles o matorrales aislados despliegan respuestas espectrales mixtas de vegetación, suelo y

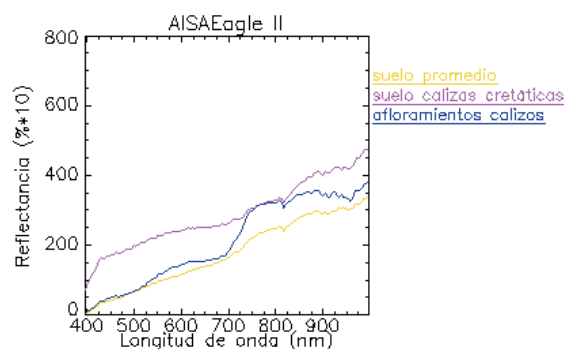
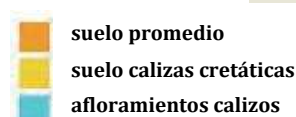
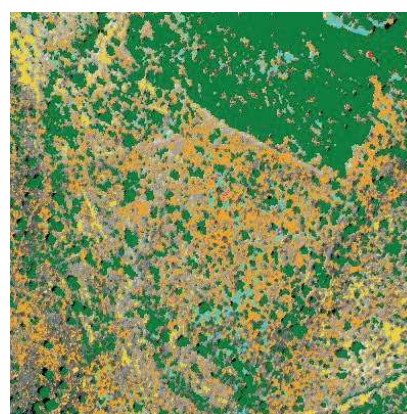


Figura 1. A. Mapa de afloramientos rocosos y suelos extraído de imágenes AISAEagle II. B: Respuestas espectrales extraídas de imágenes AISAEagle II de los miembros extremos cartografiados en A.

sombra que pueden individualizarse en las imágenes en muchos casos.

Después de aislar las áreas en que la respuesta espectral dominante es suelo, afloramientos rocosos, o derrubios de cantos rocosos dispuestos en abanicos en las laderas de las montañas, aparecen durante el tratamiento de imágenes las áreas correspondientes a distintas formaciones calizas (Figura 1). La respuesta espectral del suelo en ambos casos es muy similar, y se diferencia únicamente en la reflectancia global. La respuesta espectral de los afloramientos rocosos presenta en las dos formaciones calizas las absorciones típicas de las costras de óxidos de hierro que cubren la superficie externa de las rocas centradas en 0-500 nm, 0-740 nm y 740-900 nm (Hunt *et al.*, 1971b). Sin embargo, los derrubios de cantos y gravas que descienden por las laderas y cubren casi toda la superficie rocosa visible desde un sensor aeroportado, muestran una respuesta espectral uniformemente ascendente en el intervalo de longitudes de onda de 400 a 1000 nm.



Figura 2. Mapa de formaciones geológicas cartografiadas en una llanura aluvial de sedimentos detríticos predominantemente carbonatados extraído de imágenes AISA Eagle II.

En una llanura aluvial en la que se desarrollan numerosas terrazas fluviales con litologías uniformes de cantos, arenas y gravas sólo distinguibles por las formas del relieve, las correcciones atmosféricas con espectros de campo tomados en materiales finos de una cantera de calizas, son críticos para la cartografía geológica. Se distinguen espectralmente los materiales con mayor abundancia de limos del fondo de la llanura aluvial por una respuesta espectral en una línea recta ascendente en el intervalo 400-1000 nm (Figura 2). Estas respuestas espectrales sin rasgos de absorción son típicas de sedimentos detríticos con abundancia de materia orgánica, que se concentran en el fondo de la llanura aluvial (Figura 3). También se distinguen dos series de terrazas diferentes a distintas alturas en las laderas de la llanura, que muestran rasgos espectrales típicos de óxidos de hierro.

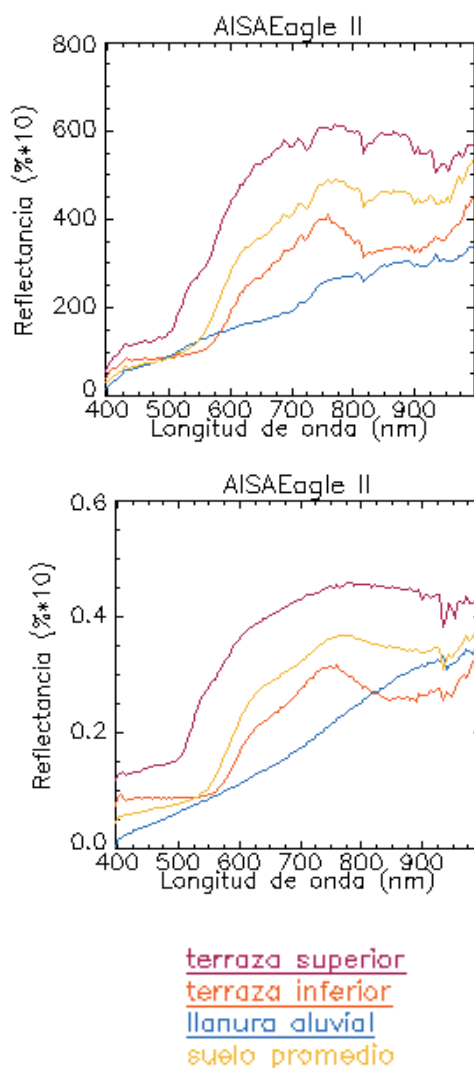


Figura 3. Respuestas espectrales extraídas de imágenes AISA Eagle II de los miembros extremos cartografiados en el mapa de formaciones geológicas cartografiadas en una llanura aluvial de sedimentos detríticos predominantemente carbonatados extraído de imágenes AISA Eagle II en Figura 2. A. Antes de la corrección atmosférica. B. Después de la corrección atmosférica.

5. CONCLUSIONES

Las imágenes hiperespectrales en longitudes de onda del visible son capaces de detectar rasgos espectrales relacionados indirectamente con el contenido en carbonatos en formaciones calizas, con rasgos típicos en el VISNIR.

En una zona con vegetación densa distribuida en individuos próximos en muchos casos, las imágenes AISA Eagle II despliegan zonas de respuesta espectral mixta vegetación-sombra-suelo, que hay que aislar con máscaras digitales antes de hacer cartografía geológica digital.

Las correcciones atmosféricas con espectros de campo seleccionados geológicamente permiten mejorar la cartografía, tanto de formaciones calizas rocosas como de sedimentos detríticos en llanuras aluviales litológicamente homogéneos predominantemente carbonatados.

6. AGRADECIMIENTOS

El sensor AISA Eagle II fue cedido en préstamo por SPECIM al Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) para su prueba en vuelo y el pretratamiento digital. Los estudios de interpretación geológica se han realizado en un convenio entre la Universidad de Barcelona y REPSOL Exploración para formación postdoctoral. Las bases para comenzar este trabajo surgieron durante la tesis doctoral de Jorge Buzzi Marcos (BES-2008-003648).

7. BIBLIOGRAFÍA

- Buzzi, J. 2012, *Imaging spectroscopy to evaluate the contamination from sulphide mine waste in the Iberian Pyrite Belt using hyperspectral sensors (Huelva, Spain)*, Tesis Doctoral Universidad de León, 212 p.
- EXELIS. 2011. ENVI User's Guide. Exelis Visual Information Solutions: Boulder, CO, USA.
- Hunt, G.R., Salisbury, J.W. 1971a. Visible and Near-infrared Spectra of Minerals and Rocks: II. Carbonates. *Modern Geology*, 2, 23-30.
- Hunt, G.R., Salisbury, J.W., Lenhof, J., 1971b. Visible and Near-infrared Spectra of Minerals and Rocks: III Oxides and Hydroxides. *Modern Geology*, 2, 191-205.
- Riaza, A., Buzzi, J., García-Meléndez, E., Vázquez, I., Bellido, E., Carrère, V., & Müller, A., 2012. Pyrite mine waste and water mapping using Hymap and Hyperion hyperspectral data. *Environmental Earth Sciences*, 66-7, 1957-1971, DOI: 10.1007/s12665-011-1422-0.