

CARTOGRAFIA HIPERESPECTRAL DE CARBONATOS EN MAKTESH RAMON (ISRAEL) CON EL ESPECTROMETRO AEROPORTADO DAIS 7915

A. Riaza (*,***), A. Zock (**), P. Strobl (***), R. Richter (***), G. Reinhäkel (***), H. Kaufmann (*), y A. Müller (***)

A.Riaza@itge.mma.es

(*) en DLR con licencia del Instituto Tecnológico Geominero de España

Rios Rosas 23, 28003 Madrid, España

(**) GeoForschungsZentrum, Bereich 1.5

Telegrafenberg A17, 14473 Postdam, Alemania

(***) DLR_ German Aerospace Research Establishment, Institute for Optoelectronics

Oberpfaffenhofen

Postfach 1116, 82230 Weßling, Alemania

RESUMEN: El espectrómetro DAIS 7915 registró datos sobre el valle de Maktesh Ramon (Israel) en una región mediterránea árida. En los 72 canales, tomados al mediodía, se ha corregido el ruido incoherente y los efectos atmosféricos para realizar un análisis espectral de las imágenes para la cartografía de litologías según sus propiedades espectrales. Los afloramientos visibles en superficie son predominantemente carbonatos, lo que pone a prueba la capacidad cartográfica de un sensor en el visible, infrarrojo cercano y infrarrojo térmico como el DAIS 7915. El infrarrojo térmico, sensible a la topografía, se ha utilizado como documento base en fotogeología convencional, y resalta la influencia de la textura de los materiales y la rugosidad de las superficies en la respuesta espectral. El análisis de componentes principales y las transformadas de fracciones de ruido mínimo orientaron los criterios a utilizar en la selección de litologías a cartografiar. El uso de espectros de campo en tratamientos cartográficos orientados al análisis de imágenes hiperespectrales ha puesto de manifiesto la importancia de los minerales de alteración por meteorización en la respuesta espectral de los afloramientos rocosos.

ABSTRACT: The DAIS 7915 was flown over the Maktesh Ramon, a geological structure on a desertic mediterranean area devoid of vegetation. The day-time channels are corrected for noncoherent noise and atmospheric effects aiming to a spectral analysis of the imagery in terms of lithological spectral behaviour. Dominant calcareous contents on the exposed outcrop is mapped as different lithological units. Sharp changes in height are mapping guide lines in the area, acting as contact for different lithological units. The thermal infrared, sensitive to topography, is used for target selection on the imagery, and enhances spectral responses related to texture and roughness of surfaces. Principal Components Analysis and Minimum Noise Fraction transforms were used as first approaches on groups of channels selected under spectral lithological behaviour criteria based on field spectra to evaluate data variability. The Minimum Noise Fraction transforms on thermal infrared channels proved to be a good instrument for lithological discrimination. Spectral Angle Mapper using field spectra as endmembers proved weathering alteration minerals as critical on the spectral response of rock outcrops.

Palabras clave: DAIS 7915, carbonatos, alteraciones ferruginosas, yeso, meteorización, VISNIR, infrarrojo térmico.

INTRODUCCION

Las imágenes de satélite o aeroportadas se usan habitualmente como documento de apoyo en la cartografía geológica estudiando las absorciones diagnósticas de energía electromagnética para la identificación de minerales en muestras molidas. De este modo, se han elaborado varias espectrootecas de minerales y rocas, hoy día de dominio público.

Sin embargo, la superficie de la tierra está cubierta por suelos, rocas y vegetación, además de agua. Tanto suelos como rocas son mezclas de sustancias minerales cuya respuesta espectral conjunta no depende sólo de la composición química

y mineralógica cualitativa y cuantitativa de la mezcla, sino de su textura y el aspecto que ofrece la superficie a observar a todas las escalas. Así, se ha estudiado la respuesta espectral de las rocas como instrumento petrográfico, y la cartografía de coladas de lava y abanicos aluviales de distintas edades, y superficies asociadas a paleoclimas utilizando productos de alteración. (Crowley, 1986; Adams *et alii*, 1991; Riaza *et alii*, 1995). Este estudio se concentra en las rocas sedimentarias por su gran extensión y peculiar afloramiento, para examinar la capacidad cartográfica del sensor DAIS 7915 en rocas carbonatadas, su textura y variabilidad de medio sedimentario, que define su porosidad y

permeabilidad, y, por tanto, su capacidad para almacenar y transportar agua o petróleo.

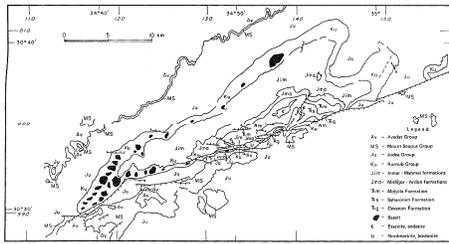


Figura 1.- Esquema geológico del anticlinal Ramon (in Zak, 1986).

MARCO GEOLOGICO

El valle del Maktesh Ramon ocupa el núcleo erosionado del anticlinal Ramon en el desierto de Israel (Figura 1). La forma asimétrica del valle actual aparece después de siete etapas de levantamiento y erosión iniciadas en el Plioceno tardío. En las laderas afloran fundamentalmente calizas, además de materiales detríticos, con edades comprendidas entre el Terciario y el Cretácico. El paisaje muestra varios escalones de capas subhorizontales en la ladera noroccidental, y escarpados acantilados en la ladera suroriental, a lo largo de la Falla Ramon. El fondo del valle consiste en una potente serie yesífera.

La serie estratigráfica se compone de calizas, sulfatos, arcillas, areniscas y pelitas en un medio predominantemente marino de aguas someras, a veces restringido a lagunar y salino, con progradaciones ocasionales a un medio terrestre (Zak, 1986).

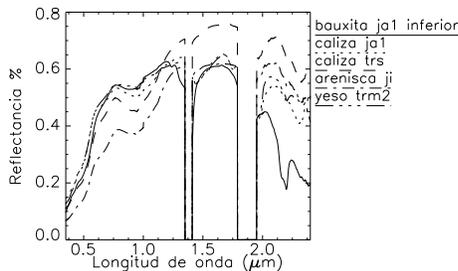


Figura 3.- Espectros de campo tomados con un espectrómetro ASD en el visible y el infrarrojo cercano (0.4-2.4 µm) de cinco formaciones litológicas con rasgos espectrales distintivos.

RASGOS ESPECTRALES MAS IMPORTANTES EN EL AREA DE ESTUDIO EN EL VISIBLE Y EL INFRARROJO CERCANO

En varios afloramientos seleccionados se tomaron espectros *in situ* con un espectrómetro ASD, que muestran las absorciones características más notables en las litologías a estudiar en función de su composición mineralógica (Figura 3). En primer lugar, una amplia absorción generalizada en el visible entre 0.8 µm y 1 µm por la presencia de minerales ferruginosos. En segundo lugar, la típica absorción estrecha y profunda en 2.2 µm típica de los minerales con aniones OH-. Y en tercer lugar, la absorción en 2.3 µm atribuida a las sustancias con aniones carbonato.

TRATAMIENTO DIGITAL INICIAL

Las observaciones iniciales se realizaron sobre composiciones en falso color en canales centrados en los intervalos de longitudes de onda de las absorciones más repetidas en los espectros de campo, y se calcularon componentes principales y transformadas de fracciones de ruido mínimo como tratamiento separador de respuestas espectrales. El seguimiento de perfiles de números digitales en áreas representativas orientó la selección de dos grupos de canales, uno en el visible indicado por la presencia de minerales ferruginosos omnipresentes en todas las litologías, y otra serie de canales en el infrarrojo cercano donde los carbonatos y arcillas presentan sus rasgos de absorción característicos (Riaza *et alii*, 1998) (Figura 4). Así se elaboraron varios mapas para distintas litologías con una clasificación de máxima verosimilitud que se fundieron en un mapa compuesto (Figura 2D).

TRATAMIENTO DE IMAGENES ORIENTADO POR ESPECTROS DE CAMPO EN EL VISIBLE E INFRARROJO CERCANO

Los espectros en el campo de rocas de varias formaciones tomados con un espectrómetro ASD se utilizaron con métodos cartográficos especialmente orientados a imágenes hiperespectrales, utilizando imágenes corregidas atmosféricamente con un modelo de atmósfera correspondiente a un verano de latitudes medias, y calculando temperaturas y emisividades tomando como referencia el canal 79 (12.66 µm) (Richter, 1966).

Se calcularon mapas diferentes con el Cartógrafo de Angulos Espectrales utilizando como espectros extremos varios grupos seleccionados según sus absorciones distintivas (Riaza *et alii*, 1998) (Figura 3).

Las formaciones calcáreas con afloramientos más extensos aparecen más

claramente dibujadas cuando se utilizan espectros con absorciones asociadas a minerales ferruginosos. Los espectros de campo y los perfiles de números digitales calculados en las imágenes muestran la existencia de costras de alteraciones ferruginosas generalizadas. Estas absorciones toman formas e intensidades diversas que sugieren una relación con litologías o procesos diagenéticos en los que se forman dolomita, yeso o anhidrita.

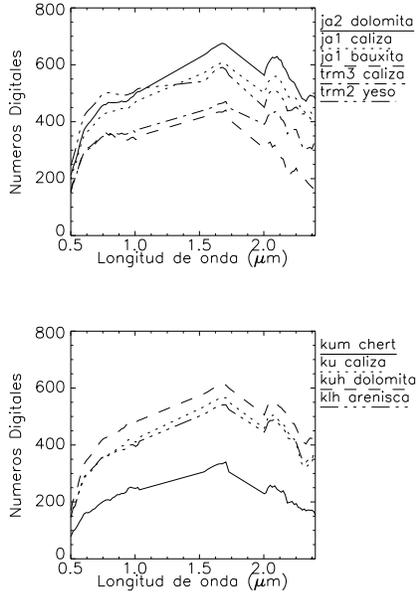


Figura 4.- Perfiles de números digitales en canales DAIS seleccionados en el visible y el infrarrojo cercano para dos grupos de litologías. A: con absorciones típicas de minerales ferruginosos, y B: con absorciones típicas de los aniones carbonato.

El paisaje actual es el resultado de siete etapas diferentes de erosión que comenzaron en el Plioceno inferior (Zak, 1986). En cada una de ellas se produjeron asociaciones mineralógicas diversas condicionadas por el clima que reinaba en el momento. Tales asociaciones minerales que definen paleoalteraciones y paleoclimas se han estudiado y cartografiado espectralmente en la Cuenca del Duero (Riaza *et alii*, 1995).

INFRARROJO TERMICO

La calcita, yeso, y óxidos e hidróxidos de hierro desarrollan propiedades espectrales distintivas, que varían radicalmente con el tamaño de grano de la muestra en el infrarrojo térmico. La meteorización también debilita los rasgos espectrales de las rocas en el infrarrojo térmico (Ninomiya *et*

alii, 1997), de modo que estas referencias sólo pueden considerarse indicadores de la respuesta espectral de los afloramientos rocosos.

La primera componente principal calculada sobre todos los canales del infrarrojo térmico se usó como instrumento principal para la fotogeología tradicional en la identificación de afloramientos, cartografía de contactos de formaciones geológicas, evaluación geomorfológica de respuestas espectrales y influencia de áreas de iluminación y sombra (Figura 2A). Las composiciones en falso color con componentes principales y transformadas de fracciones de ruido mínimo contribuyeron a cartografiar los abanicos aluviales al pie de la Falla Ramon y del macizo de Shen Ramon (Figura 2C) (Gillespie *et alii*, 1984). Los clastos acumulados en los abanicos aluviales presentan rasgos espectrales debilitados respecto a las superficies frescas de la roca (Ninomiya *et alii*, 1997), que contribuye a diferenciarlos de la roca madre. Además, la mayor rugosidad superficial de los abanicos por la acumulación de clastos produce un efecto de radiación en cavidad con una respuesta espectral diferencial. Los perfiles de números digitales en el infrarrojo térmico calculados para las litologías cartografiadas muestran dos tendencias de comportamiento espectral (Figura 5) (Riaza *et alii*, 1998).

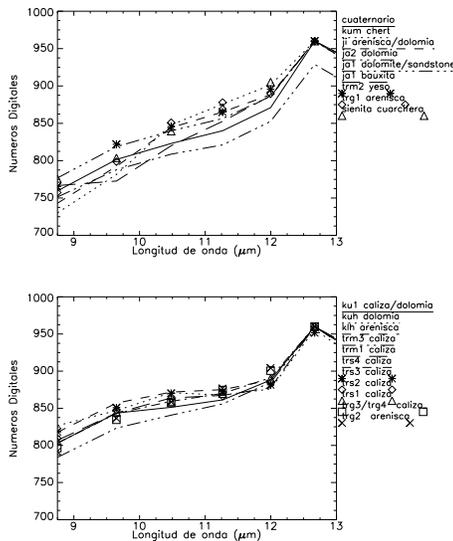


Figura 5.- Perfiles de números digitales de los canales del infrarrojo térmico en el DAIS después de las correcciones con datos de vuelo, para dos grupos de formaciones litológicas.

Para comprender mejor estas peculiaridades espectrales, hace falta un estudio más detenido de las texturas relacionadas con las características del medio sedimentario, los recubrimientos ferruginosos por meteorización y el grado de dolomitización y su expresión espectral.

CONCLUSIONES

Se ha utilizado el DAIS 7915 para cartografiar una serie de formaciones calcáreas cuyo comportamiento espectral es muy uniforme en el visible y el infrarrojo cercano. Tanto las imágenes corregidas atmosféricamente como las no corregidas proporcionaron información utilizable para la cartografía litológica realizada.

Se usaron como tratamientos iniciales el Análisis de Componentes Principales y las transformadas de Fracciones de Ruido Mínimo, como índice de variabilidad espectral en las imágenes.

El Cartógrafo de Angulos Espectrales se ha revelado como un tratamiento digital eficaz para la cartografía de formaciones geológicas utilizando espectros de campo como espectros extremos. Una colección representativa de espectros, tanto en términos de comportamiento espectral como de materiales a cartografiar, es necesaria para un uso eficaz de los métodos cartográficos digitales orientados a imágenes hiperespectrales. La clasificación de máxima verosimilitud resume e integra observaciones obtenidas con procedimientos fotogeológicos y espectrales.

El infrarrojo térmico proporciona información geomorfológica utilizable como instrumento para la fotogeología convencional. Las litologías cartografiadas presentan un comportamiento espectral diverso en el infrarrojo térmico cuya relación con fracciones clásticas o carbonatadas, y las texturas producidas en diferentes condiciones sedimentarias, que definen la porosidad y permeabilidad de la roca, merece un estudio más extenso.

Las cartografías producidas por métodos basados en espectros de campo como espectros extremos sugieren relaciones geomorfológicas asociadas a conjuntos de minerales producidos por paleoalteraciones espectralmente distinguibles, que aún no se han estudiado en la región.

BIBLIOGRAFIA

Abrams, M. Abbott, E. y Kahle, A. 1991. Combined Use of Visible, Reflected Infrared, and Thermal Infrared Images for Mapping Hawaiian Lava Flows, *Journal of Geophysical Research*, 96, NO. B1, 475-484.

Crowley, J. K. 1986. Visible and Near-Infrared Spectra of Carbonate Rocks: Reflectance Variations Related to Petrographic Texture and Impurities, *Journal of Geophysical Research*, 91 (B5, April 10, 5001-5012.

Gillespie, A. R., Kahle, A. B. y Palluconi, F. D. 1984. Mapping alluvial fans in Death Valley, California, using multichannel infrared images, *Geophysical Research Letters*, 11, 11, 1153-1156.

Hunt, G. R. and 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. y Lehnhof, J. 1971b. Visible and Near-Infrared Spectra of Minerals and Rocks: III Oxides and Hydroxides, *Modern Geology*, 2, 191-205.

Ninomiya, Y., Matsunaga, T., Yamaguchi, Y., Ogawa, K., Rokugawa, S., Uchida, K., Muraoka, H. y Kaku, M. 1997. A comparison of thermal infrared emissivity spectra measured in situ, in the laboratory, and derived from thermal infrared multispectral scanner (TIMS) data in Cuprite, Nevada, U.S.A. *International Journal of Remote Sensing*, 18, n°7, 1571-1581.

Riaza, A., Mediavilla, R., Santisteban, J. L., Villar, P. y Martín Alfageme, S. 1995. Regolitos en una cuenca terciaria. Propiedades espectrales según su mineralogía en función de la evolución climática, *Coloquio Internacional sobre propiedades espectrales y teledetección de los suelos y rocas del visible al infrarrojo medio, La Serena (Chile)*, 24-27 de Abril 1995, 100-104.

Riaza, A., Kaufmann, H., Zock, A., y Müller, A. 1998. Mineral Mapping in Maktesh-Ramon (Israel) using DAIS 7915, *1st EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy, Zürich 6th-8th October 1998*, 365-373.

Richter, R. 1996. Atmospheric correction of DAIS hyperspectral image data, *Computers & Geosciences*, vol.22, no.7, 785-793.

Zak, I. 1986. The Triassic Period in southern Israel. *Geological Survey of Israel Bulletin*, 79: 1-8.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por la CICYT a través de una Ayuda para Estancias de Investigadores Españoles en el Extranjero, que ha permitido una estancia en la Agencia Espacial Alemana (DLR) en Oberpfaffenhofen (Baviera), en el programa DAIS 7915, como Instalación a Gran Escala según la DG XII de la Comunidad Europea. Estudio Atlas cedió una licencia del programa ENVI para la iniciación en este trabajo.