

# TELEDETECCIÓN

*Medio Ambiente y Cambio Global*

Coordinadores:  
Joan I. Rosell Urrutia  
José A. Martínez-Casasnovas

D-2663

En la portada se muestran dos imágenes captadas por los satélites Landsat 5 - TM en julio de 1984 (izquierda) y Landsat 7 - ETM+ en agosto de 2000 (derecha). Esta área se localiza al norte de la ciudad de Lleida. Se observa el embalse de Santa Ana, en el río Noguera Ribagorzana; parte de las huertas del río y del Canal de Piñana (que deriva del embalse); el afloramiento de yesos del anticlinal Barbastro - Balaguer, que limita la Plana de Lleida con el Pre-Pirineo; y los secanos de Algerri. La imagen de agosto de 2000 (derecha) muestra los cambios debidos al progreso de la transformación en regadío del área regable por el canal de Algerri - Balaguer. Las áreas de regadío más tradicionales están mayoritariamente dedicadas al cultivo de frutales, en un sistema de parcelación intensiva. Los nuevos regadíos se dedican principalmente a cultivos herbáceos extensivos (alfalfa y maíz), con sistemas de riego por aspersion en parcelación extensiva, gracias a la concentración parcelaria realizada.

Copyright USGS. Imágenes distribuidas por ESA-Eurimage / INTA. Procesadas en el Laboratorio de SIG y Teledetección de la Universitat de Lleida

### TELEDETECCIÓN. Medio Ambiente y Cambio Global

Coordinadores: Joan I. Rosell Urrutia y José A. Martínez Casanovas

Colaboradores de la edición: Olga Blanco Alibés y Eva Rubio Caballero

Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl, Universitat de Lleida

© De los autores. Lleida 2001

Edita: Universitat de Lleida i Editorial Milenio

Diseño de la cubierta: Laboratorio de SIG y Teledetección, UdL

ISBN: 84-9743-001-8

Depósito legal: L-898-2001

Impresión: Arts Gràfiques Bobalà, SL

Sant Salvador, 8 - 25005 Lleida

## RESPUESTA ESPECTRAL (VISIBLE E INFRARROJO, 400 - 2500 nm) EN IMÁGENES TM Y EN ESPECTROS DE LABORATORIO DE UNIDADES MORFOSEDIMENTARIAS CUATERNARIAS DEL ENTORNO DE ALBOX (ALMERÍA) EN FUNCIÓN DE SU CONTENIDO EN CARBONATOS

E. GARCÍA-MELÉNDEZ (\*), M. SUÁREZ (\*), A. RIAZA (\*\*), M. FERRER-JULIÀ (\*\*\*), J.L. GOY (\*) y C. ZAZO (\*\*\*\*)

egm@gugu.usal.es

(\*) Departamento de Geología, Universidad de Salamanca, Pza. de la Merced s/n, 37008 - Salamanca

(\*\*) Instituto Geológico y Minero de España, C/Ríos Rosas, 23, 28003 - Madrid

(\*\*\*) Departamento de Geografía, Universidad de Salamanca, C/ Cervantes nº 3, 37008 - Salamanca

(\*\*\*\*) Departamento de Geología, Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC), C/ José Gutiérrez Abascal, 2, 28003 - Madrid

**RESUMEN:** El análisis de la información espectral en laboratorio, basado en la composición mineralógica de las muestras recogidas en las proximidades de la localidad de Albox (provincia de Almería), y en concreto con respecto al contenido en carbonatos, es el objetivo principal de este trabajo. Mediante espectroscopía de reflectancia de laboratorio, análisis composicional de las muestras mediante difracción de rayos X, e interpretación y comparación con imágenes del sensor TM, se establecen tres grupos de muestras con respecto a su contenido en carbonatos, relacionándose con su distinto contexto geomorfológico, de tal forma que las citadas diferencias composicionales explican satisfactoriamente las diferencias espectrales encontradas en las imágenes en cuanto a su reflectancia global.

**Palabras clave:** Teledetección, carbonatos, espectroscopía, Cuaternario, Almería.

**ABSTRACT:** The laboratory spectral information analysis associated with the presence of calcium carbonate and its relative percentage in the morphosedimentary units located near Albox (Almería province) is the main object of this study. The work is based on the mineralogical composition depicted from X ray diffraction analysis performed in the collected samples, establishing three groups related with carbonate contents. The compositional differences satisfactory explain the spectral differences found in thematic mapper images mainly referred to their overall reflectance.

**Key words:** Remote Sensing, carbonates, spectroscopy, Quaternary, Almería.

### INTRODUCCIÓN

Los estudios de reflectancia espectral de unidades geomorfológicas cuaternarias con registro sedimentario permiten discriminar entre diferentes áreas según la ocurrencia de procesos postsedimentarios como por ejemplo la precipitación de carbonato cálcico en las citadas unidades. Dicha precipitación está relacionada con la edad relativa de las unidades morfosedimentarias en la mayor parte de los casos, de tal forma que conforme las unidades son más recientes, el contenido en carbonatos es menor (salvo excepciones en las que existe un área fuente carbonatada próxima y predominante). Este hecho ha permitido discriminar entre áreas de sedimentación activa, en la parte oriental de la cuenca de Huércal-

Overa (García-Meléndez *et alii.*, 2000). Asimismo también se ha utilizado en la cartografía de unidades morfosedimentarias a partir de imágenes de satélite del sensor TM (García-Meléndez, 2000), y en otros trabajos correspondientes a zonas geográficas distintas (Riaza *et alii.*, 2000).

### Contexto geológico y geográfico

El área de estudio se encuentra localizada, dentro de la cuenca neógeno-cuaternaria de Huércal-Overa, en las proximidades de la localidad de Albox, en la provincia de Almería. La cuenca de Huércal-Overa se encuentra situada en las Cordilleras Béticas (Sureste de España) limitada al Norte por la Sierra de Las Estancias y al

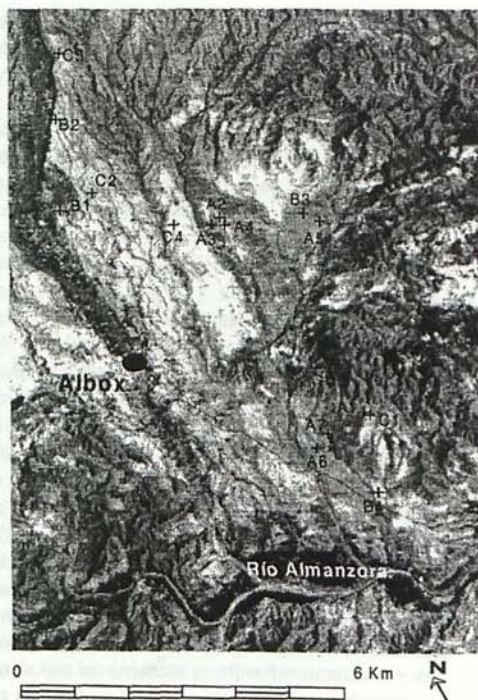
Sur por la Sierra de Los Filabres. La zona presenta un clima seco y semiárido, siendo la precipitación anual media entre los 200 mm en las partes bajas de la cuenca y los 400 mm en las sierras circundantes. La vegetación es en general escasa y está constituida por matorral y pinos de reforestación, además de cultivos de huerta en las zonas de regadío, y de almendros.

### Reflectancia espectral de rocas y minerales carbonatados

La luz que interacciona con un mineral o roca carbonatada es absorbida por procesos vibracionales del ión carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) y del agua, y también por procesos electrónicos relacionados con la presencia de cationes metálicos (Van der Meer, 1995). Los procesos vibracionales producen un número de bandas de sobretonos en la región de longitudes de onda del infrarrojo. Las dos bandas más marcadas están localizadas en  $2'5\text{-}2'55\ \mu\text{m}$  y en  $2'3\text{-}2'35\ \mu\text{m}$ . Además, otras tres bandas o rasgos de absorción más débiles ocurren en las proximidades de  $2'12\text{-}2'16$ ,  $1'97\text{-}2'00$ , y  $1'85\text{-}1'87\ \mu\text{m}$  (Hunt & Salisbury, 1971; Clark *et alii.*, 1990). Entre los rasgos de absorción vibracionales debidos a la tensión de  $\text{OH}^-$  que ocurren en el intervalo  $2'0\text{-}2'5\ \mu\text{m}$  es el  $2'3\ \mu\text{m}$  (debido al  $\text{MgOH}$ ), el que más fácilmente se confunde con el de los carbonatos. Por otra parte las inclusiones fluidas producen fuertes rasgos de absorción en el infrarrojo cercano en  $1'4$  y  $1'9\ \mu\text{m}$ , y rasgos de absorción más débiles correspondientes al agua centrados en  $1'80$ ,  $1'20$ ,  $0'97$ , y  $0'76\ \mu\text{m}$ . También los minerales de arcilla se presentan frecuentemente como impurezas en los carbonatos, pudiendo manifestarse sus rasgos de absorción en los espectros de éstos.

### MÉTODO

La espectroscopía de reflectancia de laboratorio abarca las medidas e interpretación de la variación de la longitud de onda con la relación de la radiación de energía electromagnética reflejada e incidente. Este método está basado en los principios físicos involucrados en la interacción de la energía electromagnética y la materia. Se recogieron un total de 15 muestras en la zona de estudio (figura 1), que tras su preparación se analizaron con un difractor de rayos X *Siemens-D-500* para obtener la composición mineralógica. Para las mismas muestras se realizaron medidas espectrales con un espectrofotómetro *Perkin-Elmer Lambda-9*, provisto de una esfera integradora, registrando la reflectancia con respecto a un estándar de sulfato de Bario ( $\text{SO}_4\text{Ba}$ ).



**Figura 1.** Imagen del sensor TM (banda 5) con la localización de las muestras en distintas superficies cuaternarias con diferente respuesta espectral.

Los espectros de reflectancia obtenidos han sido relacionados con su composición mineralógica y con su respuesta en las distintas bandas de las imágenes del sensor TM tomadas por el satélite Landsat-5 en áreas desprovistas de vegetación, además la citada comparación se ve favorecida por la existencia de una cartografía geomorfológica convencional (García-Meléndez, 2000) en la que aparecen delimitadas las unidades morfosedimentarias cuaternarias.

### RESULTADOS

Las unidades morfosedimentarias cuaternarias objeto de estudio presentan una composición caracterizada por una mezcla de fragmentos de roca y minerales tales como cuarcita, pizarra, micaesquistos, cuarzo y carbonatos, cuya composición está íntimamente asociada con el área fuente. Las formas del relieve y la mineralogía presente en estas unidades están controladas por los parámetros de la sedimentación aluvial, por

la composición del área fuente y por los cambios mineralógicos relacionados con los procesos post-sedimentarios.

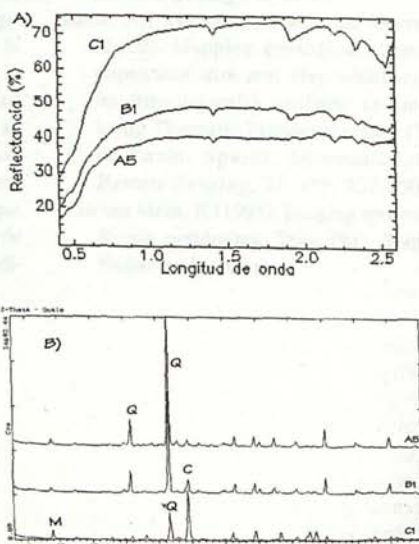
Muestra	Carbonatos (%)	Reflectancia global (%)	Edad relativa
A1	0	39,5	6
A2	5	41,3	5
A3	3	42,6	5
A4	7	31,4	5
A5	4	40,4	5
A6	0	36,5	6
A7	1	31	7
B1	17	48,9	2
B2	23	42,3	4
B3	13	50	5
B4	17	43,8	5
C1	62	73,3	4
C2	40	64,5	4
C3	35	57,2	4
C4	36	52,6	4

**Tabla 1.** Agrupación de muestras según su contenido en carbonatos (grupo A, <10%; grupo B, 10-30%; grupo C, >30%). Edad relativa: más antigua, 2 (Pleistoceno inferior); más reciente 7 (Pleistoceno superior - Holoceno).

Tomando como referencia los contenidos en carbonato de las distintas muestras obtenidos mediante el análisis de difracción de rayos X (tabla 1), se han diferenciado tres grupos (figura 2): el primer grupo (A) está formado por las muestras con un contenido en carbonatos menor del 10%, presentando una reflectancia global (medida en el intervalo de longitud de onda correspondiente a la banda 5) inferior al 45%, este grupo está representado por rasgos de absorción de características variables excepto en el visible, en donde se presenta el rasgo de absorción característico de los óxidos de hierro con un punto de inflexión en la curva espectral localizada en 0'53  $\mu\text{m}$ , que está presente en casi todas las muestras de este grupo; en este primer grupo los rasgos de absorción típicos de los carbonatos (en 2'3  $\mu\text{m}$  y en 2'53  $\mu\text{m}$ ) aparecen poco marcados o bien ausentes debido a que no están presentes o bien están enmascarados por la presencia de otros minerales en la mezcla. El segundo grupo (B) presenta entre un 10% y un 30% de carbonatos, los rasgos de absorción aparecen más marcados, y la reflectancia global oscila entre el 42% y el 50%, el resto de los rasgos son variables y las muestras con presencia de óxidos de hierro son más escasas. Finalmente el tercer grupo (C) es el que presenta un contenido en carbonatos mayor del 30%, sus espectros es-

tán caracterizados por la presencia de los rasgos de absorción típicos de los carbonatos muy bien marcados; la reflectancia global está comprendida entre un 52% y un 74%; algunas de las muestras presentan rasgos de absorción correspondientes a óxidos de hierro en la porción del visible, y en el infrarrojo todas presentan el rasgo de 1'9  $\mu\text{m}$ . Los anteriores rasgos de absorción presentes son explicados de la siguiente forma: el  $\text{Fe}^{2+}$  sustituye al  $\text{Ca}^{2+}$  y al  $\text{Mg}^{2+}$  en la calcita y la dolomita, produciendo bandas de absorción anchas cercanas a 1'2 y 1'3  $\mu\text{m}$  (Gaffey, 1985), y una rápida caída en la reflectancia en longitudes de onda cortas. Por otra parte el  $\text{Fe}^{3+}$  en los carbonatos, cuando existe, resulta de la oxidación del hierro por procesos de alteración, produciendo bandas de absorción en 0'87, 0'7, y 0'4  $\mu\text{m}$ . La caída de la reflectancia en longitudes de onda cortas es debido a fuertes rasgos de absorción del hierro en longitudes de onda fuera del rango de 0'4-2'5  $\mu\text{m}$  (Van der Meer, 1995).

Como se observa, a mayor contenido en carbonatos, la reflectancia global también aumenta, estando directamente relacionada con aquél. En cuanto a la relación de los grupos anteriores con la edad de las unidades morfosedimentarias en las que aparecen, destaca el hecho de que las unidades morfosedimentarias más antiguas presentan un mayor contenido en carbonatos, y por lo tanto una mayor reflectancia global.



**Figura 2.** A) Curvas espectrales representativas de cada uno de los tres grupos diferenciados. B) Difractogramas correspondientes a las muestras de las curvas anteriores (Q, cuarzo; C, carbonato cálcico; M, micas).

## CONCLUSIONES

El conocimiento de campo, análisis mineralógico de visu, análisis de difracción de rayos X y el análisis espectral, permiten determinar que uno de los componentes minerales que más contribuyen a la reflectancia de las superficies de las unidades morfosedimentarias cuaternarias de la cuenca de Huércal-Overa en la zona de Albox son los carbonatos (calcita y dolomita). Las unidades morfosedimentarias aluviales de diferente edad localizadas a distintas alturas con respecto al cauce actual muestran unas características distintas en las imágenes de satélite, que están causadas por las transformaciones mineralógicas ocurridas tras la sedimentación (como por ejemplo la precipitación de carbonatos que generan encostramientos).

A partir de lo expuesto, se pueden establecer tendencias generales sobre la relación existente entre las curvas espectrales y la composición de las muestras según los análisis de difracción de rayos X, de tal forma que las muestras que tienen un alto contenido en carbonatos, presentan sus típicos rasgos de absorción además de una elevada reflectancia, que van disminuyendo conforme los sedimentos son más recientes. También hay que tener en cuenta las condiciones locales, así, se aprecia que en algunas de las unidades morfosedimentarias antiguas con presencia de carbonatos, el contenido en éstos es menor probablemente debido a que han sido lavados a lo largo del tiempo, quedando tan sólo una representación relictiva de lo que fue en el pasado, originando en las imágenes una representación similar a la de sedimentos más recientes.

Estos datos indican que tras la deposición de los sedimentos, éstos se irán alterando y modificando su composición y por lo tanto su respuesta espectral, mostrando progresivamente rasgos de absorción como respuesta a la alteración de sus componentes, entre los que destacan los rasgos característicos de la presencia de carbonatos en  $2'3 \mu\text{m}$  y  $2'54 \mu\text{m}$ , presentes en los sedi-

mentos con mayor intensidad a partir del Pleistoceno superior hacia atrás en el tiempo.

## BIBLIOGRAFÍA

- CLARK, R. N.; KING, T. V. V.; KLEIWA, M.; SWAYZE, G. A. & VERGO, N. (1990). High spectral resolution reflectance spectroscopy of minerals. *J. Geophysical Research*, 95: 12653-12680.
- GARCÍA-MELÉNDEZ, E. (2000). Geomorfología y Neotectónica del Cuaternario de la Cuenca de Huércal-Overa y Corredor del Almanzora (Cordilleras Béticas). Análisis y Cartografía mediante técnicas de Teledetección y SIG. Tesis Doctoral, Universidad de Salamanca, 528 pp.
- GARCÍA-MELÉNDEZ, E.; RIAZA, A.; SUÁREZ, M. (2000). Discrimination of active alluvial sedimentary surfaces in TM images based on laboratory reflectance spectroscopy. En: J.L. Casanova (Ed.), *Remote Sensing in the 21<sup>st</sup> Century: Economic and Environmental Applications*. Balkema, Rotterdam. 497-500.
- GAFFEY, S. J. (1985). Reflectance spectroscopy in the visible and near-infrared (0.35-2.55 microns): Applications in carbonate petrology. *Geology*, 13: 270-273.
- HUNT, G. R. & SALISBURY, J. W. (1971). Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks, II. Carbonates. *Modern Geology*, 2: 23-30.
- RIAZA, A.; MEDIAVILLA, R.; and SANTISTEBAN, J. I. (2000). Mapping geological stages of climate-dependent iron and clay weathering alteration on lithologically uniform sedimentary units using Thematic Mapper imagery (Tertiary Duero Basin, Spain). *International Journal of Remote Sensing*, 21, nº5: 937-950.
- VAN DER MEER, F. (1995). Imaging spectrometry and the Ronda peridotites. Tesis PhD, Wageningen, The Netherlands, 309 pp.