

## CARTOGRAFÍA LITOLÓGICA SEMICUANTITATIVA. UN ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA DEPRESIÓN DEL EBRO Y LOS PIRINEOS ORIENTALES

L. Solé (\*) y M. A. Soriano (\*\*).

(\*) *Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera, CSIC C. L. Solé Sabarís s/n,  
08028 Barcelona. lsole@ija.csic.es*

(\*\*) *Dpto. de Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza, 50009 Zaragoza.*

### RESUMEN

Las firmas espectrales de litologías "puras", obtenidas de los datos del sensor Thematic Mapper, difieren de las firmas obtenidas en el laboratorio para estos materiales, dificultando la cartografía de componentes a partir de técnicas de desmezcla espectral. Por esta razón, se ha intentado obtener directamente de las imágenes de satélite firmas espectrales de litologías naturales "puras", que sean utilizables como miembros extremos "end members" en procesos de clasificación por desmezcla espectral.

Trabajos anteriores en distintas áreas de la depresión del Ebro, demuestran que algunas litologías locales, tales como suelos calcáreos, limos con illita, margas calcáreas y yesos, pueden ser cartografiados cuantitativamente a partir de imágenes TM. Errores residuales muy pequeños y análisis de DRX de muestras distribuidas al azar avalan la calidad y precisión de este tipo de cartografía de componentes litológicos. Para comprobar la capacidad de exportar estas firmas espectrales entre distintas regiones se han utilizado nuevas áreas test en los Pirineos Orientales y Depresión Central catalana, con mayor variabilidad de litologías y mayor complejidad estructural, habiéndose obtenido mapas de gran precisión de componentes litológicos.

### ABSTRACT

LANDSAT Thematic Mapper spectral signatures of pure lithologies differ from those obtained in the laboratory making very difficult the use of these laboratory spectra for mapping lithology components by spectral unmixing. Reflectance obtained in laboratory experiments is higher than the reflectance measured by the TM sensor. In addition, differences may occur mainly in the visible part of the spectrum. For this reason, we try to obtain spectral signatures of "natural pure" lithologies directly derived from satellite images and which could be successfully exported as end members for linear spectral unmixing.

Previous works in different test areas of central Ebro Basin, suggest that some local lithologies as limestone-rich soils, illite-rich mudstones, marly-limestones and gypsum can be quantitatively mapped by spectral unmixing of TM images. Very low values of residual errors and XR diffraction analysis of randomly distributed samples prove the high quality results and accuracy of these lithology component maps. An area in the Eastern Pyrenees (150 x 90 km) with more complex folded structures and a large variety of lithologies has been used to test the exportability of spectral signatures between different regions. Results show that spectral signatures of limestones, marls, marly-limestones, silts and sandstones, gypsum and red-beds can be successfully exported between the different test areas as end members without decreasing mapping accuracy. They also suggest that spectral signatures of "pure" lithologies derived from satellites images can be used as spectral libraries for linear spectral unmixing techniques for a given sensor.

**Palabras clave:** litología, desmezcla espectral, Thematic Mapper, cuenca del Ebro, Pirineos.

### INTRODUCCION

La gestión y ordenación del territorio requiere, mapas basados en variables continuas, que puedan ser integrados con facilidad en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y utilizados en modelos predictivos. Por esto es necesario trabajar en mejorar la elaboración de información geológica, basada en variables cuantificables, que pueda extraerse con facilidad de sensores remotos digitales y ser exportada a los SIG.

Los resultados obtenidos al utilizar el concepto de desmezcla espectral lineal (Smith et al. 1985) tanto en rocas eruptivas (Van der Meer, 1997; Van der Meer y De Jong, 2000), como en rocas sedimentarias (Koch et al, 1998, Koch, 2000, Solé Sugrañes y Soriano, 2004), con sensores de poca resolución espectral del tipo TM, pero de fácil acceso y bajo coste, confirman la validez de estas técnicas.

En trabajos previos se ha utilizado zonas de prueba, relativamente pequeñas y homogéneas, en la Depresión del Ebro, para generar mapas semi-cuantitativos de los componentes minerales o litológicos superficiales. Los trabajos de Koch et al. (1998) y Koch (2000) en la zona de Bujaraloz y los de Solé Sugrañes y Soriano (2004) en la zona de Tauste, presentan mapas de variación de componentes litológicos con un alto grado de fiabilidad, avalados mediante análisis mineralógicos por DRX, de muestras de las clases puras y de otras localizadas al azar. En ambas zonas, se utilizaron 4 clases espectralmente puras obtenidas a partir del índice de pureza espectral (PPI) en el espacio de 6 canales (visible e infrarrojo próximo) de TM (Boardman et al. 1995 y Mustard y Sunshine, 1999).

La exportación de esta experiencia a una zona tanto litológica como estructuralmente mucho más compleja como es el Pirineo oriental y Depresión Central catalana, ha demostrado que es necesario profundizar más en la definición de clases litológica y espectralmente puras y en la metodología de clasificación. En este trabajo se presentan algunos de los resultados y problemas surgidos en este proceso.

## METODOLOGIA

Todas las imágenes utilizadas han sido previamente registradas sobre una proyección UTM, utilizando puntos de control y una transformación polinómica de 2º orden con una precisión de 0.65 píxeles. En un segundo paso se ha procedido a la corrección atmosférica y de iluminación para convertir los valores DN del satélite a valores de reflectancia a nivel del suelo, utilizando un modelo de atmósfera de tipo medio y un modelo de elevación del terreno reducido a 30x30 m (Pons y Solé Sugrañes, 1994).

La variabilidad entre las firmas espectrales de las litologías es relativamente muy pequeña en comparación con la de la vegetación o la del agua, por ello es necesario eliminar previamente de la imagen todos los píxeles con vegetación o agua, para que puedan apreciarse la variabilidad entre las distintas litologías. Para poder separar la vegetación y el agua de forma objetiva e idéntica en todas las imágenes se procedió a una primera clasificación por desmezcía espectral utilizando tres clases límites: vegetación, agua y suelo desnudo (Solé Sugrañes y Soriano, 2004). A partir de esta primera clasificación se enmascararon todos los píxeles que supusieran una proporción superior al 15% de vegetación o agua.

Los resultados de las clasificaciones se han comprobado siempre con los mapas litológicos existentes y con muestreos tanto de zonas con una única clase dominante, como en zonas de distinto nivel de mezcla de las distintas clases. La composición mineralógica de las muestras se obtuvo por observación microscópica de la fracción de arena fina y DRX del conjunto de la muestra.

## ANALISIS DE RESULTADOS

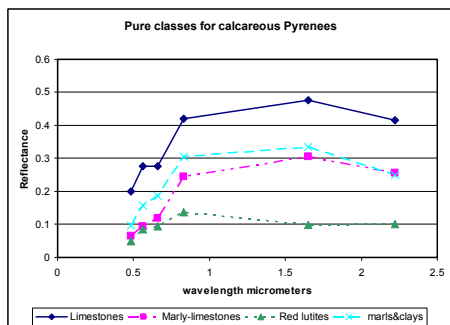
Los análisis de PPI en las imágenes del Pirineo, pusieron de manifiesto las limitaciones de esta metodología en zonas con gran complejidad litológica, ya que el número de clases espectralmente puras era muy elevado (10 a 12 clases como mínimo). Para minimizar este problema se procedió a dividir la imagen en zonas de predominio calcáreo y zonas de predominio silíceo. Los resultados que se discuten a continuación corresponden a un segmento de imagen de dos épocas diferentes (verano y otoño) de un sector de 42 x 47 Km, que limita al norte con la Sierra del Cadí y comprende una parte significativa de la Depresión Central catalana.

Sin embargo, a pesar de la división entre zonas calcáreas y silíceas, las clases espectrales obtenidas por PPI seguían siendo difíciles de atribuir a clases litológicas claramente reconocibles. Por ello, se trabajó con espectros obtenidos en áreas de entrenamiento cuya composición litológica era bien conocida y homogénea y espectros de laboratorio de la librería espectral de la John Hopkins University y del USGS.

La utilización de firmas espectrales de minerales o rocas obtenidas en laboratorio, permite obtener resultados de clasificación aceptables para algunas clases (calizas, yeso, areniscas rojas, entre otras), pero el análisis de errores residuales muestra importantes concentraciones de valores altos en algunas zonas, lo que sugiere la falta de alguna clase que identifique estas litologías.

Al comparar las curvas de reflectancia de laboratorio con las firmas espectrales obtenidas de las imágenes TM, se observa, que en general, las de laboratorio muestran unos mayores niveles de reflectancia, a veces casi el doble como en el caso del yeso, pero sobre todo las mayores diferencias cualitativas se sitúan en la zona del visible. El menor nivel de reflectancia podría ser debido a las sombras generadas por la propia rugosidad del terreno, mientras que la diferencia en el espectro visible creemos que se debe a pátinas de alteración en las superficies naturales y que no intervienen en los espectros de laboratorio.

Para la clasificación de esta zona, se utilizaron cuatro clases con las que se logran clasificar todas las litologías presentes, con unos niveles de errores muy pequeños y concentrados principalmente en las zonas urbanas y en algunas estructuras viales. La **Figura 1** muestra las firmas espectrales utilizadas como “end members” para la desmezcla espectral lineal.

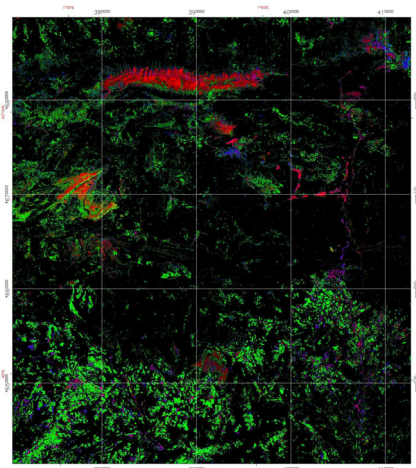


**Figura 1.** Signaturas espectrales de las clases puras utilizadas como “end members” en la clasificación de la imagen de la zona calcárea del Pirineo Oriental.

La clase definida como “Calizas” aparece como “pura” o con proporciones superiores al 80%, en algunas capas de calizas con Alveolinas del Cadí, en las amplias superficies calcáreas (Calizas de Alveolinas) de Port de Compte, en las calizas aptienses del Pedraforca y en algunas barras calcáreas intragarumnienses (Fig. 2). En otras imágenes que se ha ensayado, aparece también con niveles superiores al 75% en las calizas eocenas del Monte Perdido y de la Peña Montañesa, en el Pirineo Central.

La clase “calizas margosas”, tanto en el Pirineo como en la Cuenca del Ebro, corresponde a margo-calizas compactas, con importantes fragmentos de calizas en superficie, y con contenidos bajos de arcillas tipo cloritoides e illita. Esta clase también puede presentarse con porcentajes elevados en conglomerados oligocenos junto a la clase lutitas rojas.

La clase de lutitas rojas es la dominante en las lutitas y areniscas rojas del Permotrias del Pirineo y aparece como un componente secundario en los conglomerados oligocenos del borde de la Depresión del Ebro. Sin embargo no se encuentra como componente significativo en los niveles margo-calcáreos rojos del Garumniense, probablemente debido a su alto contenido de carbonatos y a la elevada proporción de esmectita y caolinita.



**Figura 2.** Distribución de las clases “calizas” (en rojo), arcillas y margas azules (en verde) y lutitas rojas (en azul) en la imagen del Pirineo oriental. La alineación calcárea del norte de la imagen corresponde a la Sierra del Cadí, mientras que la abundancia de margas arcillosas del sur corresponde a campos de cultivo en el borde septentrional de la Depresión Central catalana. Cuadrícula UTM 10 x 10 km.

La clase margas y arcillas correspondería a una evolución mucho más avanzada de la anterior, con abundancia de arcillas tipo caolinita y montmorillonita y óxidos de Fe<sup>3</sup>. Es la clase predominante en los campos de cultivo desarrollados sobre margas eocenas en la Depresión Central catalana. Aparece también como clase dominante en campos de cultivo de pequeñas cuencas intramontañosas en el Pirineo (Fig. 2).

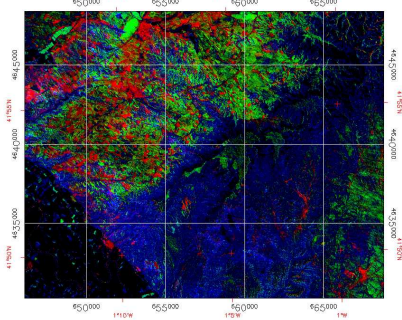
El análisis de errores residuales muestra un error cuadrático medio de 0.0068, con valores máximos de 0.03 y una desviación estándar de 0.0034. Esto indica, que en los píxeles con mayor error, sólo un 3% de su composición resulta indefinida o no explicada por las clases límite utilizadas en la desmezcla espectral.

#### COMPARACIÓN ENTRE LAS ZONAS DE TAUSTE Y BUJARALÓZ (DEPRESIÓN DEL EBRO) Y PIRINEOS ORIENTALES

Como proceso de comprobación se rehicieron las clasificaciones de Tauste y Bujaraloz utilizando las clases límite (“end members”) de la zona del Pirineo calcáreo (Zona Cadí). Las nuevas

clasificaciones mejoran los resultados obtenidos en algunas de las clases, pero muestran la ausencia de otras clases necesarias para estas zonas. Así se repitió la clasificación utilizando las siguientes firmas espectrales como "end members": "Calizas", "Margas calcáreas", "yesos" y "suelos arcillosos oscuros", obteniéndose una sensible mejora de las clasificaciones. El análisis de errores residuales muestra un error cuadrático medio de 0.0048, con un valor máximo de 0.021 y una desviación estándar de 0.0029, valores que avalan la calidad de la clasificación.

En la **Figura 3** se muestra la distribución de las clases yeso, calizas y suelos oscuros en la zona de Tauste. La identificación cuantitativa de la proporción de estas clases es muy importante en los modelos de ordenación del territorio, ya que pueden valorarse con facilidad las zonas menos aptas para la agricultura y aquellas que sufrirán procesos rápidos de salinización en caso que se exploten en régimen de regadío intensivo, como ha podido comprobarse en el análisis multitemporal de la zona de Bujaraloz (Koch, 2000) y zonas con problemas geotécnicos.



**Figura 3.** Mapa de distribución del contenido caliza (rojo) suelos oscuros (verde) y yeso (azul) en la zona de Tauste. Cuadrícula UTM 5 x 5 km.

La naturaleza y características de estas clases se describen en (Koch, Solé Sugañes y Mather, 1998; Koch 2000 y Solé Sugañes y Soriano 2004).

## BIBLIOGRAFIA

Boardman, J. W., Kruse, F. A. y Green, R. O. 1995: Mapping target signatures via partial unmixing of AVIRIS data: in *Summaries JPL Airborne Earth Science Workshop*, JPL publication 95-1, pp 23-26.

Koch, M. 2000: Geological controls of land degradation as detected by remote sensing: a case study in Los Monegros, north-east Spain. *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 21, pp: 457-473.

Koch, M., Solé Sugañes, L. and Mather, P. M. (1998): Identifying geo-indicators of land degradation in semi-arid Mediterranean environment using remote sensing. *EUROPTO conference on Remote Sensing for Geology*. SPIE Vol. 3496, pp: 68-77.

Mustard, J. F. and Sunshine, J. M., 1999: Spectral analysis of Earth sciences. Investigations using remote sensing data. In. A. N. Renz (Ed.) *Remote sensing for Earth Sciences: Manual of Remote Sensing* (3rd ed.) vol. 3, pp: 251-307. New York, Willey.

Pons, X. and Solé Sugañes, L. 1994: A simple radiometric correction model to improve automatic mapping of vegetation from multispectral satellite data. *Remote Sens. Environment*, Vol. 48, pp: 191-204.

Sole Sugañes, L. y Soriano, A. 2004 Obtención de información cuantitativa sobre composición mineral del suelo a partir de datos de sensores remotos. En: C. Conesa García y J. B. Martínez Guevara eds. *Territorio y Medio Ambiente: Métodos cuantitativos y técnicas de información geográfica*. Pag. 151-164, 2004 España

Van der Meer, F. 1997: Mineral mapping and Landsat Thematic Mapper classification using spectral unmixing. *Geocarto Int.* Vol. 12, pp: 27-40.

Van der Meer, F y De Jong, S. M. 2000: Improving the results of spectral unmixing of Landsat Thematic Mapper imagery by enhancing the orthogonality of end-members. *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 21, pp: 2781-2797.