

Respuesta espectral de la vertiente norte del sistema central (provincia de Salamanca) en imágenes Landsat 5-TM: relación con la composición mineralógica

E. García-Meléndez, M. Suárez y J. L. Goy
egm@gugu.usal.es

Departamento de Geología, Universidad de Salamanca, Plza. de la Merced, s/n, 37008-Salamanca

RESUMEN

Sobre la base del estudio del conjunto multiespectral (6 bandas) que constituye parte de las imágenes captadas por el satélite LANDSAT-5, sensor *Thematic Mapper*, se analiza su respuesta espectral en una zona correspondiente al sur de la provincia de Salamanca. Este análisis se fundamenta en el hecho de que la respuesta espectral que se plasma en las imágenes de satélite está íntimamente relacionada con la composición mineralógica de las distintas superficies sin cubierta vegetal, teniendo en cuenta que las citadas superficies muestran una serie de diferencias mineralógicas relacionadas con el área fuente de los sedimentos o bien con la litología del sustrato sobre el cual se desarrollan en el caso de no presentar cobertura sedimentaria. Mediante difracción de rayos X se analiza la composición mineralógica de muestras tomadas sobre las superficies que forman el piedemonte de la vertiente norte del Sistema Central con el fin de compararla con la respuesta espectral de las citadas muestras obtenida mediante espectroscopía de reflectancia de laboratorio, y así llegar a explicar las diferencias espectrales en las imágenes del sensor *TM*, en aquellas áreas más desprovistas de vegetación. Como resultado se obtiene una división de la imagen en tres áreas con significado geológico y geomorfológico.

PALABRAS CLAVE: Tratamiento digital de imágenes, Cartografía, Mineralogía, Espectroscopía.

ABSTRACT

Based on the spectral response of Landsat 5-TM satellite images corresponding to the southern part of the Salamanca province, the spectral response of the TM images is related to the mineralogical composition present in the different surfaces without vegetation cover. This mineralogical composition is clearly associated with the source area of the sediments covering these surfaces and with the substratum lithology when the sedimentary cover does not exist. The mineralogical composition has been determined through X-ray diffraction analysis over a set of samples from the different surfaces forming the northern piedmont of the Sistema Central, and was compared with their spectral response in the laboratory, in order to explain the different spectral response in the TM images in those areas without vegetation cover. As a result, three areas with geological and geomorphological meaning are differentiated.

KEY WORDS: Digital Image Processing, Mapping, Mineralogy, Spectroscopy.

INTRODUCCIÓN

Una herramienta muy útil para determinar aspectos importantes de la composición química y mineralógica de la superficie terrestre es la espectroscopía de reflectancia de laboratorio en el visible (400-700 nm) e infrarrojo cercano (700-2500 nm). Los espectros de reflectancia de la región

comprendida entre 400 y 2500 nm son de gran importancia en los estudios de Teledetección por la variedad de mecanismos que pueden producir absorciones fotónicas dentro de este intervalo de longitudes de onda. Estos mecanismos incluyen transiciones electrónicas en los orbitales moleculares y transiciones vibracionales en moléculas y cristales, además de transiciones electrónicas dentro y entre átomos. En este trabajo se realiza la

comparación de espectros continuos de reflectancia en la región de longitudes de onda del espectro de energía electromagnética correspondientes al visible e infrarrojo cercano (400-2500 nm) determinados mediante espectroscopía de reflectancia de laboratorio con los espectros extraídos de las imágenes correspondientes al sensor Landsat 5-TM, con el fin de obtener una subdivisión del territorio en distintas unidades con un significado geológico y geomorfológico, ya que estas curvas espectrales además, están claramente relacionadas con la composición mineralógica de tal forma que áreas con un comportamiento espectral similar pueden ser asociadas a determinadas unidades geológicas (por ejemplo Rianza et al. 2000, entre otros) o geomorfológicas (García-Meléndez, 2000; García-Meléndez et al., 2002) caracterizadas por una composición mineralógica y distintas a otras adyacentes. De esta forma los estudios de laboratorio están relacionados con la determinación composicional de las muestras tomadas en las superficies del Piedemonte de la Sierra de la Peña de Francia mediante difracción de rayos X y espectroscopía de reflectancia de laboratorio (García-Meléndez et al., 2003) y sirven para interpretar las diferencias observadas en las imágenes del sensor TM.

Contexto geológico y geográfico

La zona de estudio está localizada en el extremo suroccidental de la submeseta norte, en el sur la provincia de Salamanca (Figura 1), abarcando la vertiente norte y suroccidental de la Sierra de la Peña de Francia y una gran parte de la cuenca de Ciudad Rodrigo. Los principales relieves están localizados al sur de la zona con una orientación aproximada E-W, con algunas estructuras orientadas NW-SE; el piedemonte de esta vertiente norte de la Sierra (constituido por un conjunto de superficies, algunas de las cuales denominadas "rañas") está formado por los depósitos neógenos en el Este y por las series arcóicas paleógenas al Oeste (Bascones et al., 1990; Molina & Cantano, 2002). Los principales grupos litológicos están formados por rocas graníticas, rocas metamórficas (pizarras, cuarcitas, esquistos), rocas y sedimentos terciarios (conglomerados, areniscas y lutitas), y sedimentos de origen fluvial (gravas, arenas, limos y arcillas).

MÉTODO

Sobre la base del estudio de la composición mineralógica mediante rayos X y de la obtención de los espectros de laboratorio de las 56 muestras tomadas en la zona de estudio abarcando distintas superficies del piedemonte, se distinguieron tres grupos espectrales y composicionales cuyo proceso de obtención se describe en otro trabajo (García-Meléndez et al., 2003). En el presente estudio se realiza primeramente una correlación entre la composición mineralógica y los tres grupos espectrales distinguidos con anterioridad. Con el fin de realizar la comparación con las curvas espectrales obtenidas de la imagen utilizada, es necesario realizar la calibración de éstas a valores de reflectancia, así como remuestrear las curvas espectrales de laboratorio de acuerdo con la localización las 6 bandas que forman la subescena objeto de estudio. Las imágenes de satélite utilizadas en este estudio han sido 6 bandas (excepto la del infrarrojo térmico) correspondientes al satélite LANDSAT-5 TM, con una resolución espacial de 30x30 m. Estas bandas utilizadas corresponden a la porción del espectro electromagnético que abarca el visible y el infrarrojo cercano y medio. El conjunto multiespectral fue tomado con fecha del 9 de julio de 1999.



Figura 1. Localización del área de estudio.

Se han aplicado distintas técnicas de tratamiento digital de imágenes utilizando el programa ENVI sobre PC. En una primera fase, después de separar la subescena correspondiente a la zona de estudio de la escena completa, se aplicaron las técnicas de tratamiento digital de imágenes como son la selección de distintas combinaciones de bandas para la creación de composiciones en color, cocientes de bandas para

enmascarar la vegetación, y finalmente se aplicó el algoritmo SAM (*spectral angle mapper*) de clasificación supervisada para la diferenciación de distintas unidades sobre la base del estudio espectral. Este algoritmo tiene un base física de clasificación espectral, utilizando el ángulo *n*-dimensional para asignar píxeles a los espectros de referencia.

RESULTADOS

En la figura 2 aparece mediante representaciones binarias la correlación entre la composición mineralógica y la asignación a grupos espectrales en función de la forma de las curvas espectrales obtenidas en laboratorio. El grupo I está relacionado con la presencia de esmectitas, el grupo II con una importante cantidad de mica verdadera (moscovita) y el grupo III se caracteriza por la escasa o nula proporción de feldespatos con variaciones ligeras en sus componentes más abundantes (cuarzo y arcillas no esmectíticas). Se puede ver como, en general, los tres grupos de muestras correspondientes con los grupos espectrales se separan entre sí, pudiendo destacar, por ejemplo las representaciones en las que se tiene cuenta el contenido de feldespatos, ya que en ellas las muestras correspondientes a los sedimentos terciarios contienen una mayor proporción de estos minerales por el carácter arcósico de dichos materiales (grupo I). Estas arcosas, también se caracterizan

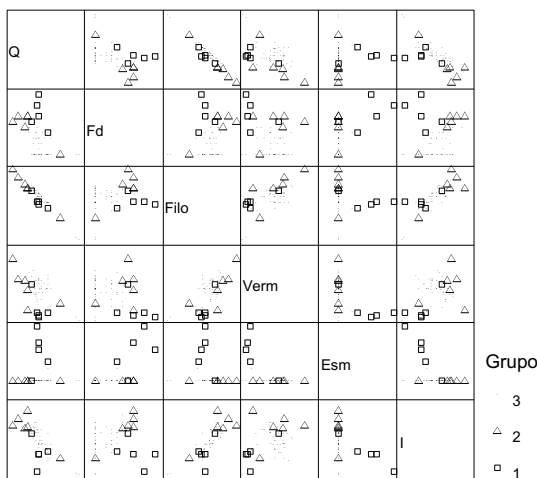


Figura 2. Relaciones entre los distintos minerales presentes en las muestras estudiadas y los grupos espectrales a los que dichas muestras han sido asignadas. (Q: cuarzo, Fd: feldespatos, Filo: filosilicatos, Verm: vermiculita, Esm: esmectitas, I: illita).

por ser las únicas muestras estudiadas en las que se han identificado cantidades variables de esmectitas. La presencia de una importante cantidad de agua interlamilar y estructural en estos minerales marcará su espectro de laboratorio (Figura 3).

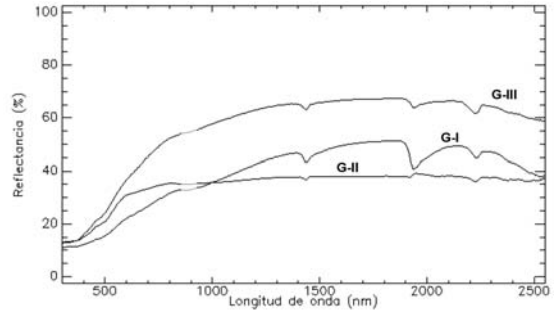


Figura 3. Curvas espectrales de laboratorio representativas de los tres grupos diferenciados.

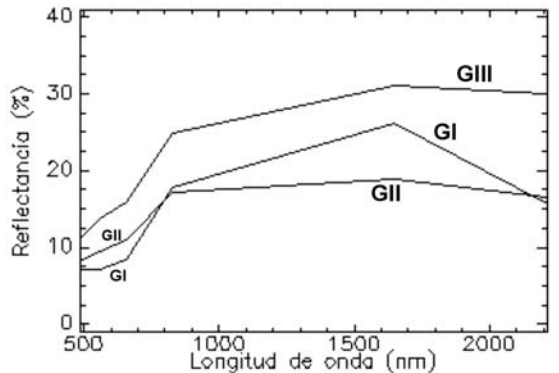


Figura 4. Perfiles espectrales correspondientes a los grupos espectrales de la figura 3, extraídos de la imagen TM calibrada.

Las muestras correspondientes al pedimento formado principalmente por pizarras y esquistos (grupo II) destacan por su alto contenido en filosilicatos y, concretamente en illitas debido a una menor transformación de los filosilicatos (con respecto a los que se derivan de ellos y que se encuentran en los sedimentos terciarios y cuaternarios), las micas en general, y las illitas en particular, se caracterizan por su escasa respuesta espectral de modo que sus espectros se caracterizan por la ausencia de fuertes rasgos de absorción (Figura 3). Las muestras englobadas en el grupo 3 pertenecen a las superficies denominadas rañas, formadas por conglomerados silíceos, arenas y lutitas.

Tras la comparación entre los espectros de laboratorio obtenidos a partir de las muestras y los correspondientes a los puntos de muestreo en la imagen TM calibrada, se obtuvieron las curvas correspondientes a los tres grupos (Figura 4), las cuales se emplearon en la clasificación SAM realizada obteniendo los mejores resultados utilizando las bandas 3, 4, 5 y 7 del conjunto multispectral. El resultado de esta clasificación se aprecia en la figura 5 en donde se distingue la distribución predominante de los grupos espectrales y composicionales diferenciados, correspondiéndose con tres unidades cartográficas relacionadas con los materiales que forman las superficies del piedemonte de la Sierra de La Peña de Francia.

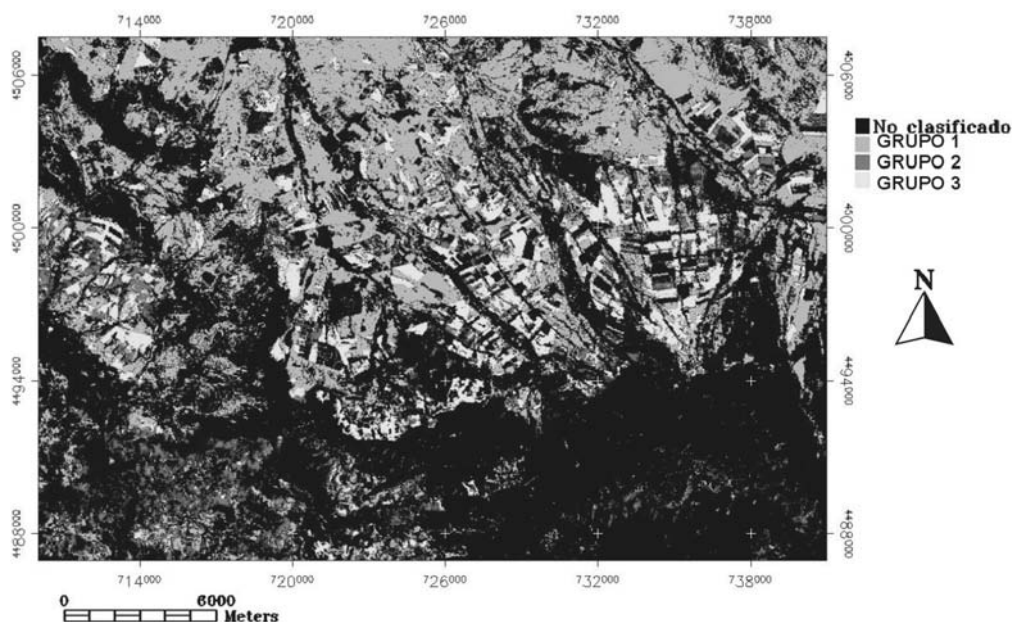
CONCLUSIONES

Como consecuencia de los análisis realizados, se ha podido constatar la validez de los estudios espectrales con base composicional para la diferenciación de unidades con un significado mineralógico/litológico y también geomorfológico, en una zona en la que a priori no se esperaban resul-

tados aceptables debido a la gran homogeneidad composicional de las muestras. Sin embargo, un análisis detallado de la mineralogía y de la respuesta espectral en laboratorio ha permitido la extracción de pequeñas diferencias espectrales y composicionales que, por otra parte han resultado ser muy significativas. De esta forma los tres grupos diferenciados se pueden asignar a los sedimentos de las series arcósicas paleógenas (originando en algunos casos superficies en rampa, como en las proximidades de Ciudad Rodrigo). (grupo I), a la superficie del pedimento desarrollada sobre pizarras y esquistos (grupo II), y a las superficies de tipo raña (grupo III), que constituyen tres de los grandes elementos morfológicos del piedemonte de la Sierra de la Peña de Francia.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado con el proyecto FEDER IFD97-0222. Al Instituto Nacional de Cerámica y Vidrio (CSIC), especialmente a Alicia Durán y Fernando Agua por las facilidades y asistencia en el manejo del espectrofotómetro.



*Figura 5. Clasificación supervisada mediante el método SAM (*spectral angle mapper*).

Todas las figuras precedidas de asterisco se incluyen en el cuadernillo anexo de color

BIBLIOGRAFÍA

- BASCONES, L., RODRÍGUEZ ALONSO, M.D., VALLADARES, I., DÍEZ BALDA, M.A., CARBALLEIRA, J., CANTANO, M., LIÑÁN, E., PALACIOS, T., RINCÓN, R. y BRELL, J.M. (1990), Mapa geológico de España y memoria explicativa de la hoja 526 (Serradilla del Arroyo), escala 1:50.000, I.G.M.E., Madrid.
- 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., FERRER-JULIÀ, M., MARTÍN-ALFAGEME, S., GOY, J.L., ZAZO, C. y SUÁREZ, M. (2002): Cartografía de unidades morfosedimentarias cuaternarias mediante Teledetección en función de su composición y respuesta espectral (provincia de Almería, España). En: *Estudios Recientes en Geomorfología: Patrimonio, Montaña, Dinámica Territorial*.
- SERRANO, E., GARCÍA DE CELIS, A., GUERRA, J.C., MORALES, C.G. y ORTEGA, M.T. (Eds.), Sociedad Española de Geomorfología-Universidad de Valladolid, 231-237.
- GARCÍA-MELÉNDEZ, E.; SUÁREZ, M. y GOY, J.L. (2003). Características espectrales de mezclas minerales en el Piedemonte de la Sierra de la Peña de Francia (provincia de Salamanca). *Geogaceta*, 33: 43-46.
- MOLINA BALLESTEROS, E. y CANTANO MARTÍN, M. (2002), Study of weathering processes developed on old piedmont surfaces in Western Spain: new contributions to the interpretation of the "Raña" profiles, *Geomorphology*, 42, 279-292.
- RIAZA, A., MEDIAVILLA, R. y 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, n° 5: 937-950.

