

## NUEVOS DATOS SOBRE LA CARTOGRAFÍA DE ROCAS ÍGNEAS INTRUSIVAS EN EL VISIBLE E INFRARROJO CERCANO (BURGUILLOS DEL CERRO, BADAJOZ)

A. RIAZA

Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid

### RESUMEN

El Complejo de Burguillos del Cerro (Badajoz) agrupa una gran variedad petrográfica de rocas ígneas, desde términos muy básicos a muy ácidos. Estas rocas se han sometido a medidas de reflectancia espectral en laboratorio en los intervalos del visible y del infrarrojo cercano (0,4-2,55  $\mu\text{m}$ ), agrupándose según su índice de acidez. La respuesta espectral de superficies frescas y meteorizadas de rocas, y suelos mantienen una secuencia progresiva de reflectancias desde bajas en rocas básicas a reflectancia altas en rocas ácidas.

### ABSTRACT

*A wide range of igneous outcrop in the Burguillos del Cerro Complex (Badajoz), ranging from ultrabasic to acidic rocks. Spectral response on rocks is modified by weathering of exposed surfaces, lichen cover and development of loose material and soil. Apart from granites, all rocks loose their weak significant absorption features by weathering. However, fresh rocks, weathered rocks and soils, increase in overall reflectance with an increasing acidity index.*

### 1. INTRODUCCIÓN

Cuando la luz incide sobre una superficie, se producen absorciones preferentes en ciertas longitudes de onda, cuyo número, posición e intensidades está relacionado con la composición química y mineralógica de la superficie, además de su textura. La espectroscopía de reflectancia en el visible e infrarrojo cercano (0,35 a 2,55  $\mu\text{m}$ ) se ha utilizado anteriormente para el estudio de minerales y rocas intrusivas en muestras aisladas (Hunt y Salisbury, 1973, 1974; Ross, Adler y Hunt, 1969).

En este trabajo se plantea un estudio espectral en rocas con un contexto geológico regional bien definido, y cuya evolución genética y relaciones cartográficas se conocen (Riaza, 1991). Se ha estudiado la reflectancia con distinto grado de alteración por efecto de la meteorización, así como los suelos que se desarrollan sobre ellas, ya que los afloramientos rocosos ocupan una proporción reducida en la superficie de la tierra.

### 2. MÉTODO DE ESTUDIO

Se han tomado medidas espectrales de reflectancia difusa con un espectrómetro BECKMAN UV 5240 provisto de una esfera integradora en longitudes de onda comprendidas entre 400 y 2500 nm (0,4 y 2,55  $\mu\text{m}$ ). El intervalo de lectura es de 1 nm entre 400 y 800 nm, y de 4 nm entre 800 y 2500 nm. El instrumento proporciona lecturas de reflectancia relativa respecto a un standard de politetrafluoroetileno (halon).

Se han analizado 40 muestras de rocas consideradas representativas por criterios geoquímicos y cartográficos (Ria-

za y García Casquero, 1989) y otras treinta de suelos procedentes de las cercanías de afloramientos rocosos de litología inequívoca. Se han secado los suelos por exposición al aire, y se han pasado por un tamiz de 2 mm de luz.

En las muestras de roca se han tomado medidas en superficies que exhiben un corte fresco de la roca, así como en superficies parcialmente meteorizadas, e incluso cubiertas por una cantidad variable de líquenes. Se han realizado un total de 107 medidas de reflectancia espectral sobre rocas, 67 de ellas sobre rocas enteras y 40 sobre gravas procedentes de rocas molidas.

Las medidas espectrales correspondientes a cada grupo de rocas, suelos, o superficies, se han promediado para resumir características comunes y ofrecer una apreciación estadística y posiblemente generalizable para ser utilizada en imágenes (Crowley, Sherman y Bennet, 1986). Se han calculado resultados numéricos aplicando filtros que ajusten los datos de reflectancia espectral de laboratorio a las funciones gaussianas correspondientes a las señales recogidas por los sensores en los tramos de medidas espectrales de laboratorio comprendidos entre las longitudes de onda de los canales registrados por el sensor Thematic Mapper. Los resultados de los cocientes calculados a partir de ellos se comparan con diagramas de coeficientes equivalentes calculados en imágenes Thematic Mapper (Riaza y García Casquero, 1989).

### 3. MARCO GEOLÓGICO

El complejo Intrusivo de Burguillos del Cerro (CBC) instruye en el sector central del Anticlinorio de Olivenza-Monesterio, una de las estructuras más importantes que constituyen la

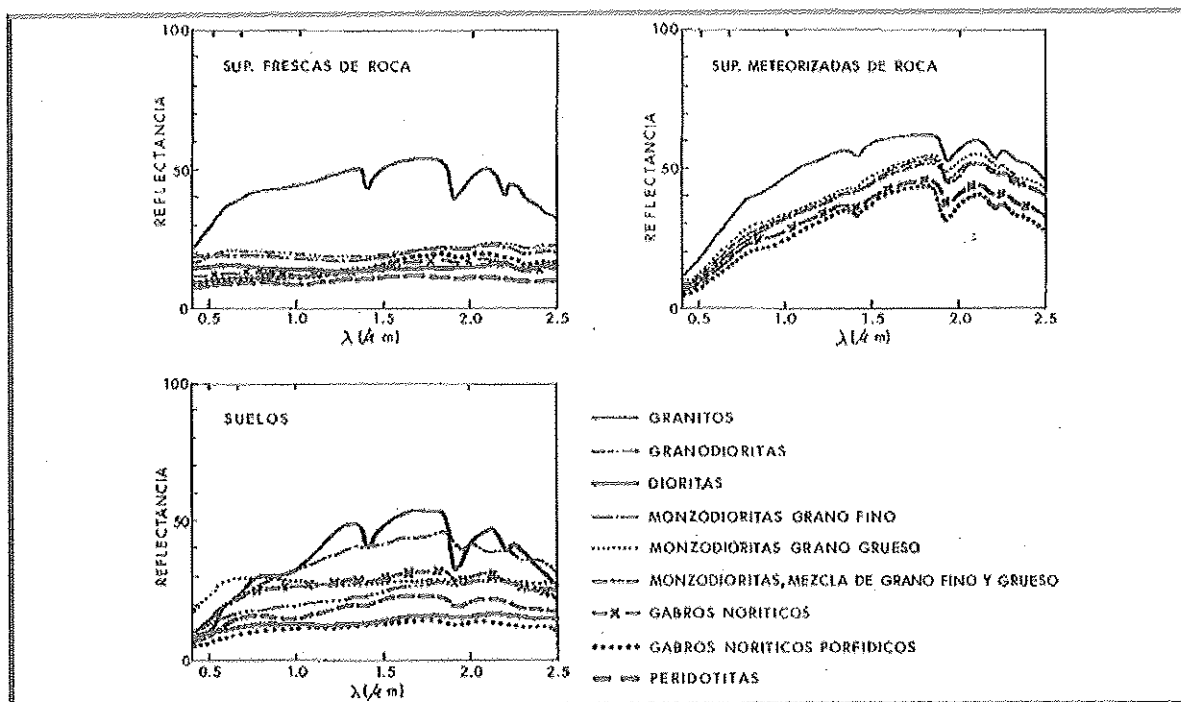


Figura 1.- Curvas espectrales promedio en superficies frescas de roca, superficies meteorizadas de roca, y suelos, para los grupos petrográficos que se especifica.

zona de Ossa-Morena del Macizo Hespérico de la Península Ibérica (Lötze, 1945; Julivert et al. 1974).

El Complejo de Burguillos del Cerro se presenta como un cuerpo circunscrito, constituido por una amplia gama de tipos petrológicos de relaciones genéticas y espaciales complejas, correspondientes a cuatro asociaciones principales (García Casquero, 1991): 1) una asociación gabroica, 2) una asociación de rocas dioríticas, 3) una asociación de rocas monzoníticas y 4) una asociación de rocas graníticas.

La asociación gabroica está representada por rocas de composición peridotítica hasta cuarzomonzodiorítica. El tipo más característico es una gabronorita biotítica, con clinopiroxeno augítico, ortopiroxeno hipersténico, plagioclasa tipo labrador y biotita. A veces presenta olivino. El anfíbol, tschermakítico, no está siempre presente, pero puede ser la fase más abundante, e incluso desarrollarse en facies muy características con grandes cristales poiquilíticos tardíos (Facies Ojo de Culebra).

La asociación diorítica contiene rocas de naturaleza diorítica hasta granodiorítica. Su tipo más característico es el "Ochavo Negro", una roca clara compuesta por una plagioclasa de tipo andesina básica, clinopiroxeno augítico y biotita. El anfíbol sólo se presenta en algunas facies muy evolucionadas.

La asociación monzonítica, compuesta por rocas de naturaleza muy diferente presenta como tipo más característicos un granito llamado "hipersolvus" constituido por un sólo fel-

despato alcalino perfitico, con anfísol hastingsítico, restos de piroxeno muy desestabilizado, algo de biotita y cuarzo escaso.

Por último, la asociación granítica la componen rocas peraluminosas de composición granítica sensu strictu, con biotita y generalmente moscovita, siendo sillimanita y cordierita los accesorios fundamentales.

En todas las rocas, principalmente aquellas que parecen haber sufrido una evolución mayor, son abundantes las fases accesorias, destacando la abundancia de esfena, apatito y, entre las opacas, magnetita.

#### 4. REFLECTANCIA ESPECTRAL DE ROCAS EN SUPERFICIES FRESCAS

Las medidas espectrales tomadas en superficies limpias de rocas (Figura 1) muestran un progresivo aumento de la reflectancia global de las rocas proporcional a su índice de acidez (Ross, Adler y Hunt, 1969). Así, las peridotitas presentan la reflectancia más baja, y los granitos la más elevada.

##### Asociación granítica.

Los granitos sensu stricto describen una curva alta (Figura 2), debido a su color claro, y absorciones bien definidas en 1,4 y 1,9  $\mu\text{m}$ , por efecto del agua presente en las inclusiones fluidas de los granos de cuarzo (Hunt y Salisbury, 1973). El agua también produce la rápida caída de reflectancia hacia

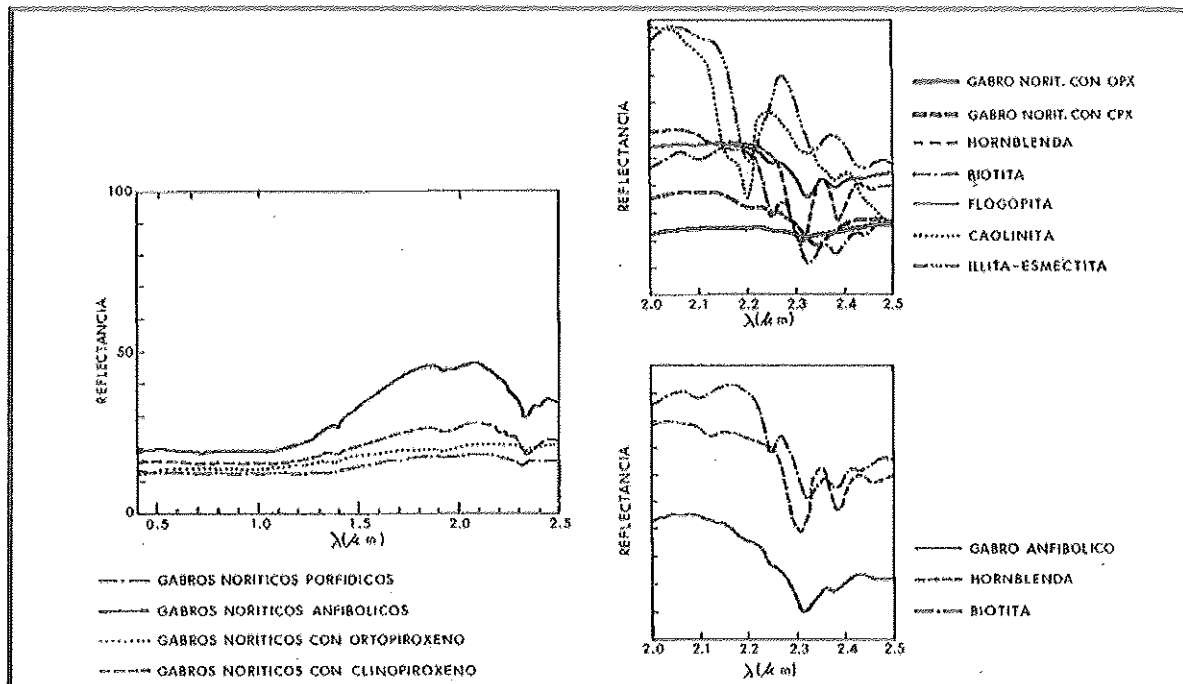


Figura 2.- Curvas espectrales en gravas de rocas molidas de la asociación gabroica, y varios de sus componentes minerales.

2,5  $\mu\text{m}$ . La absorción en 2,2  $\mu\text{m}$  se debe a la presencia de aniones  $\text{OH}^-$ , bien en minerales arcillosos de alteraciones, o a la presencia de moscovita. Las absorciones débiles de 0,5 y 0,9  $\mu\text{m}$  se atribuyen al ión ferroso  $\text{Fe}^{2+}$ .

### Asociación diorítica.

Las dioritas, grandioritas y monzodioritas describen curvas comparativamente planas respecto a los granitos. Lo más llamativo es una amplia depresión entre 0,8 y 2,1  $\mu\text{m}$ , atribuible a la composición del feldespato. Empieza a perfilarse la absorción en 2,3  $\mu\text{m}$ , debida a la vibración de aniones  $\text{OH}^-$  en combinación con  $\text{Mg}^{2+}$ , débil en dioritas y grandioritas, y más acusada en monzodioritas.

### Asociación gabroica

Las curvas promedio (Figura 2) muestran una caída más acentuada hacia el sur por efecto del ión ferroso que las rocas de la asociación diorítica. Las absorciones en 1,9  $\mu\text{m}$ , también más acusadas, son características del ortopiroxeno rico en hierro tipo hiperstena. También puede indicar, junto con la 1,4  $\mu\text{m}$ , efectos de los iones  $\text{OH}^-$  por alteración a anfíbol del piroxeno, o por el anfíbol mismo. Sin embargo, está ausente el persistente punto de absorción en 1,0  $\mu\text{m}$  por efecto del piroxeno (Nash y Conel, 1974), observado en mezclas binarias con ilmenita, y en mezclas con limonita (Singer, 1981). Se repite la absorción en 2,3  $\mu\text{m}$  debida a la

presencia de iones  $\text{OH}^-$ , presumiblemente en anfíbol, biotita o illita-esmectita.

Las curvas de los gabros con ortopiroxeno muestran una reflectancia global más baja que los gabros con clinopiroxeno o anfíbol, y caída hacia el azul por abundancia de hierro. El mínimo cercano a 2,2  $\mu\text{m}$  es combinación de varios mínimos correspondientes a caolinita e illita-esmectita en 2,2  $\mu\text{m}$ , biotita o flogopita en 2,25  $\mu\text{m}$ , y biotita con illita-esmectita en 2,35  $\mu\text{m}$ . En el infrarrojo, las cantidades predominantes de clinopiroxeno respecto a ortopiroxeno producen un desplazamiento de la absorción de 2,3 hacia 2,4  $\mu\text{m}$ , cuando predomina el clinopiroxeno (Singer, 1981). El doblete en 2,15 y 2,25  $\mu\text{m}$  puede deberse a la presencia de biotita (Rowan et al., 1987) y a la aparición de minerales de alteración, tales como caolinita o illita-esmectita.

Los gabros anfibólicos están dominados por las características espectrales de la hornblenda entre 2 y 2,5  $\mu\text{m}$ , además de recoger el doblete antes mencionado por efecto de la biotita en 2,15 y 2,25  $\mu\text{m}$  y la posible presencia de minerales de hornblenda. Puede desplazarse hacia 2,4  $\mu\text{m}$  por influencia de biotita y epidota.

### Peridotitas

Las peridotitas, que constituyen las rocas más básicas del conjunto estudiado, presentan la reflectancia más baja (Ross, Adler y Hunt, 1969), y características de absorción similares a las rocas de la asociación gabroica (Figura 1). Puede rese-

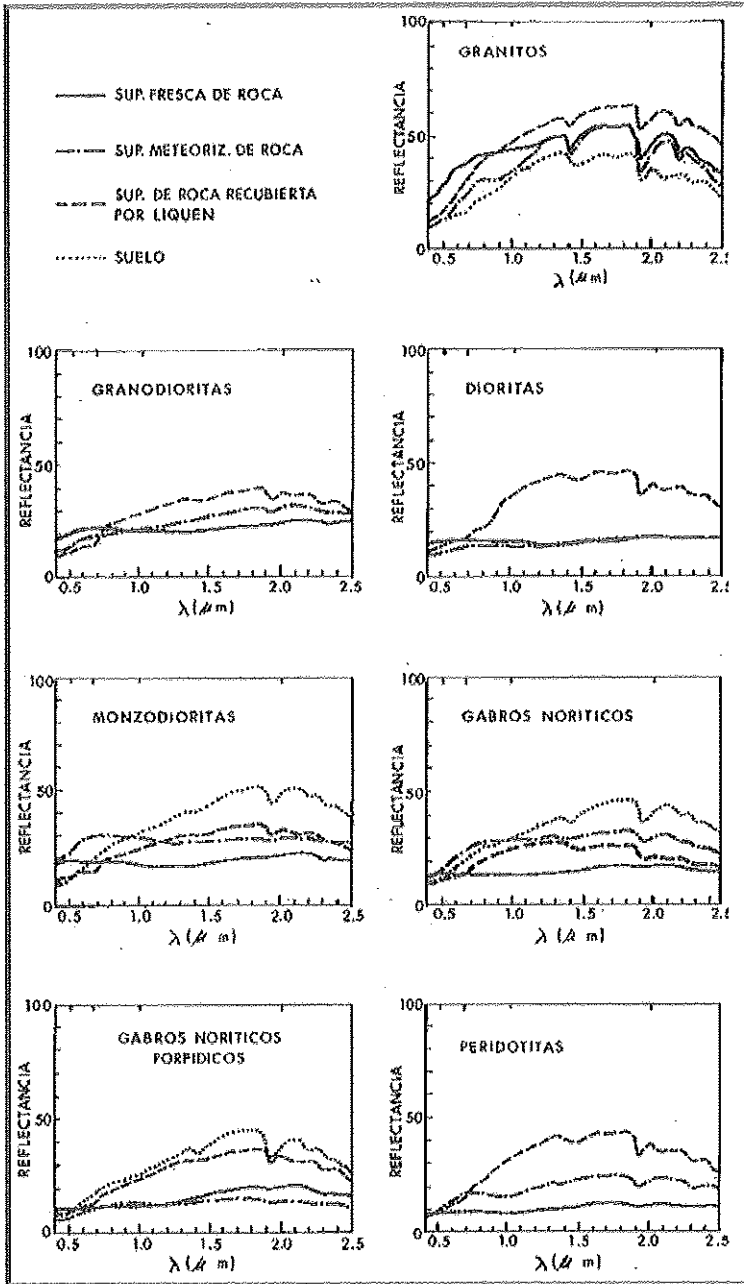


Figura 3.- Curvas espectrales promedio sobre superficies frescas y meteorizadas de roca, superficies de roca recubiertas de líquen y suelos, agrupadas por tipos de rocas con afinidades petrográficas.

ñarse una débil depresión centrada en  $1,0 \mu\text{m}$ , ocasionada por la abundancia de olivino (Singer, 1981). Se aprecia el mínimo en  $2,3 \mu\text{m}$ , aunque atenuado, por la presencia de aniones  $\text{OH}^-$  ligados a magnesio.

## 5. REFLECTANCIA ESPECTRAL EN SUELOS

Los espectros de todos los suelos estudiados muestran una forma similar, con una caída fuerte hacia el azul en el visible, y reflectancia comparativamente alta en el infrarrojo cercano, con absorciones bien definidas en  $0,9, 1,4, 2,2, 2,3$  y  $2,4 \mu\text{m}$  (Figura 1). Los picos de absorción se deben a la presencia de agua en los granos de cuarzo y de iones  $\text{OH}^-$  existentes en las arcillas desarrolladas por alteraciones de las rocas subyacentes.

Mantienen la misma progresión en reflectancia global que las rocas, siendo más oscuros los suelos desarrollados sobre las rocas más básicas de la asociación gabroica, y más claros los desarrollados sobre granitos, pasando por las rocas de composición intermedia.

Entre  $0,4$  y  $0,8 \mu\text{m}$ , la reflectancia sigue una trayectoria rectilínea, cuya pendiente disminuye progresivamente desde las rocas ácidas a las básicas, actuando como un indicador de la abundancia de material ferruginoso, o de su predominio sobre otros componentes en la reflectancia resultante. Las rocas relativamente básicas son más abundantes en minerales ricos en hierro. Sin embargo, la abundancia correlativa en magnetita y opacos hace que la caída hacia el azul predecible por su contenido en hierro, sea por el contrario, menos acentuada, siendo la pendiente de la recta menor. Por ello los suelos graníticos exhiben tramos con pendientes más altas en el visible.

## 6. REFLECTANCIA ESPECTRAL DE SUPERFICIES METEORIZADAS DE ROCAS

Los espectros medidos sobre superficies de rocas con signos de haber experimentado alteración por meteorización presentan formas intermedias entre las curvas obtenidas en superficies frescas de roca, y la reflectancia de los suelos correspondientes (Figuras 1 y 3).

Las reflectancias globales aumentan respecto a las de las rocas frescas, y los picos de absorción coinciden con los de los suelos, desapareciendo las diferencias de reflectancia sutiles entre unas rocas y otras antes señaladas. Aparece la absorción en  $0,475 \mu\text{m}$  por la presencia de óxidos de hierro (Hunt y Salisbury,

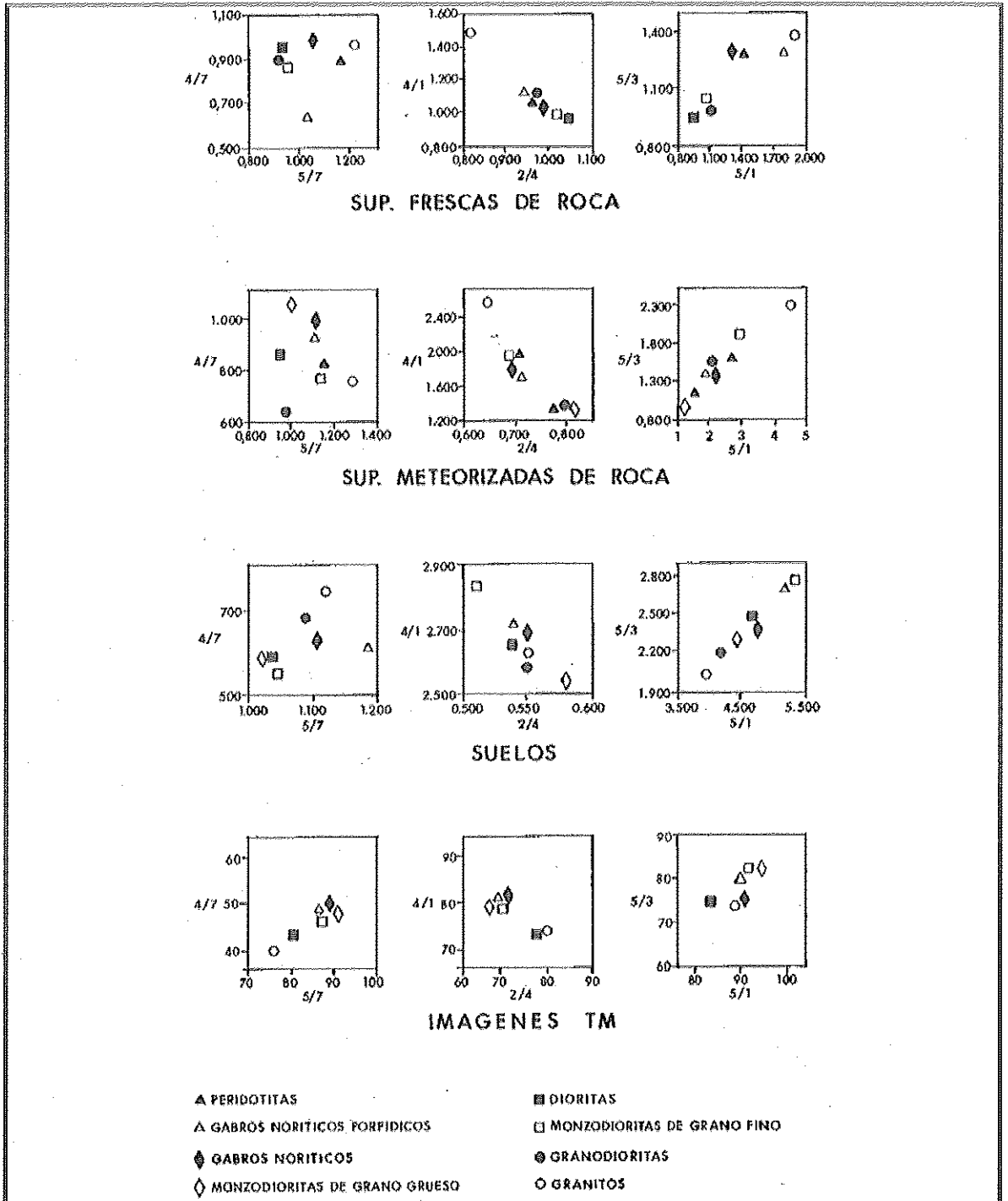


Figura 4.- Diagramas bidimensionales de cocientes calculados sobre curvas espectrales de laboratorio en superficies frescas de roca, superficies meteorizadas de roca y suelos en los intervalos de longitud de onda de los canales de thematic mapper, y cocientes procedentes de imágenes thematic mapper.

1971).

El ordenamiento de reflectancias globales se mantiene de modo general, correspondiendo reflectancias bajas a rocas básicas, y altas a ácidas. Los cambios en comparación con la secuencia seguida por las rocas en superficie fresca y los suelos, pueden atribuirse al grado de meteorización.

## 7. RELACIONES ENTRE LAS REFLECTANCIAS EN DISTINTAS SUPERFICIES DE ROCAS Y SUELOS

Tanto la alteración como el recubrimiento por líquenes modifica el albedo de las rocas (Figura 3). La reflectancia global decrece en los granitos, tanto por meteorización, como por la aparición de líquenes. El efecto es contrario en las rocas básicas e intermedias, que, siendo oscuras en corte fresco, se aclaran por meteorización y crecimiento de líquenes.

Al margen de la depresión de albedo generalizada en las superficies meteorizadas y con líquenes, las rocas de la asociación granítica mantienen los mismos mínimos de absorción en el infrarrojo cercano, con la excepción de los amplios mínimos de absorción adicionales a las plantas verdes en los líquenes. El visible es más sensible, experimentando variaciones espectrales inexistentes en las rocas frescas. Los procesos de meteorización incorporan mínimos debidos a la presencia de óxido de hierro en 0,5, 0,65 y 0,9  $\mu\text{m}$ . La reflectancia en imágenes Thematic Mapper estaría deprimida en las bandas 1, 3 y 4. El efecto de los líquenes, con el mínimo en 0,68  $\mu\text{m}$  también sería globalmente depresor en el visible. Si bien los suelos describen una caída hacia el azul más pendiente que las rocas frescas, su uniformidad altera en menor medida potencialmente las propiedades de las rocas frescas.

Todas las rocas de las asociaciones dioríticas y gabroicas experimentan un aumento de reflectancia global por efecto de la vegetación y meteorización, y la completa destrucción de las sutiles diferencias espectrales que distinguen unas rocas de otras en corte fresco. Puesto que se trata de curvas muy planas, el efecto resultante es la depresión entre 0,4 y 0,7  $\mu\text{m}$  (Bandas 1, 2 y 3 en el Thematic Mapper), el aumento lineal entre 0,7 y 1,9  $\mu\text{m}$ , y el mantenimiento de reflectancia alta en longitudes de ondas superiores, con mínimos de absorción en 1,4, 1,9, 2,2 y 2,3  $\mu\text{m}$ , más amplios y profundos que los que las rocas correspondientes presentan.

## 8. EVALUACIÓN ESTADÍSTICA SOBRE MEDIDAS ESPECTRALES DE LABORATORIO E IMÁGENES THEMATIC MAPPER

Los resultados de efectuar cocientes entre valores producidos por la aplicación de funciones que simulan la señal recogida por los sistemas electrónicos del sensor Thematic Mapper sobre medidas de reflectancia en laboratorio entre 0,4 y 2,5  $\mu\text{m}$  sobre rocas intrusivas y suelos, se comparan con cálculos equivalentes procedentes de imágenes Thematic Mapper (Figura 4).

Las imágenes Thematic Mapper presentan los coeficientes 5/7, 4/7 y 2/4 como mejores discriminadores de las asociaciones graníticas y dioríticas respecto a la asociación gabroica. Los extremos más básicos con mayor abundancia de minerales opacos y máficos se individualizan mejor en los coeficientes 5/1 y 5/3.

Los coeficientes calculados sobre medidas de laboratorio realizadas sobre superficies frescas de rocas se asemejan a los obtenidos en superficies meteorizadas de las mismas rocas.

El cociente 4/7 en medidas de superficie frescas de rocas presenta una separación mejor de distintos tipos de rocas en función de su índice de acidez en términos petrológicos. El par 5/3 y 5/1 presenta una distribución más próxima a una línea recta en los distintos tipos de rocas.

Distintas características de las curvas de reflectancia contribuyen a la selección de los coeficientes anteriores. La banda 4 recoge el punto más alto en la caída de reflectancia hacia el visible que experimentan las rocas ácidas y básicas en superficie meteorizada. La banda 7 recoge las absorciones en 2,3  $\mu\text{m}$  por efecto de aniones OH ligados a magnesio, y en 2,2  $\mu\text{m}$  por los mismos aniones ligados a aluminio. Las bandas 1 y 3 comprenden absorciones por presencia de minerales ferruginosos.

Ligeras diferencias en las pendientes de los distintos tramos en las muy parecidas curvas de reflectancia medidas sobre suelos producen diferencias sensibles en los cocientes. También en las curvas de los suelos es el cociente 4/7 el que distribuye tipos de rocas con más claridad, y el 5/1, 5/3 el que reproduce la mayor aproximación a una disposición lineal.

Los diagramas bidimensionales que representan pares de cocientes son similares en los obtenidos en medidas sobre superficies frescas y meteorizadas de rocas y difieren en suelos. La discrepancia es notable con diagramas equivalentes obtenidos en imágenes de satélite, por efecto de la mezcla en píxeles de efectos de meteorización, vegetación, además del calibrado de las imágenes y las correcciones previas al tratamiento que se describe en este trabajo.

La superposición de la respuesta espectral de todos los materiales que aparecen en una unidad superficial terrestre no es necesariamente un promedio de las respuestas espectrales individuales de cada uno de ellos, como se ha comprobado en repetidas ocasiones en mezclas de distintos minerales (Nash y Conel, 1974; Singer, 1981; Gafrey, 1985; Clark, 1983). No es de esperar, por ello, que los resultados numéricos calculados sobre imágenes proporcionados por las medidas de laboratorio, como se ha comprobado en este capítulo. Sin embargo, es razonable esperar que los cálculos que han resultado más esclarecedores en laboratorio tengan más probabilidad de producir mejores resultados en imágenes.

## 9. CONCLUSIONES

La alteración de las superficies de las rocas por su meteorización, su recubrimiento por líquenes y su desagregación

produciendo material suelto, modifica la respuesta espectral del conjunto. Las áreas cubiertas por rocas graníticas experimentan un oscurecimiento en albedo por estas causas, mientras que el resto aumentan generalizadamente su reflectancia. Con la excepción de los granitos, todas las demás rocas pierden sus sutiles caracteres de absorción distintivos. Sin embargo, sin contar con recubrimiento de líquenes, superficies frescas y meteorizadas de rocas y suelos mantienen una secuencia progresiva de reflectancia desde bajas en rocas básicas a reflectancia altas en ácidas.

De los coeficientes de bandas calculados sobre medidas de laboratorio e imágenes Thematic Mapper, los 4/7, 5/1, 5/3 distinguen mejor los distintos grupos petrográficos de rocas.

La coincidencia de varios cocientes calculados sobre medidas de laboratorio e imágenes en su capacidad discriminadora de litologías, a pesar de no existir la misma relación cuantitativa en sus respuestas espectrales, confirma la utilidad de los estudios de laboratorio en la orientación del tratamiento de imágenes.

## 10. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias a una beca del Programa de Formación de Doctores y Tecnólogos, que ha financiado una estancia en el United States Geological Survey (Reston, Va, USA). J.L. García Casquero proporcionó muestras y análisis en su área de estudio que facilitaron la interpretación espectral. L. Rowan me abrió las puertas del antiguo laboratorio de J. Salisbury, y comentó pacientemente las observaciones neófitas. J. Crowley fue asesor inapreciable en el uso del espectrómetro y la evaluación de datos. U. Vulkan escribió rutinas para cálculos algebraicos que hubieran sido muy largos sin su ayuda.

## 11. BIBLIOGRAFIA

- ✓ CLARK, R.N. (1983): Spectral Properties of Mixtures of Montmorillonite and Dark Carbon Grains: Implications for Remote Sensing Minerals Containing Chemically and Physically Absorbed Water, *Jr. of Geophys. Res.* 88 n° 812: 10635-10644.
- ✓ CROWLEY, J.K.; SHERMAN, D.M.; BENNET, I.S. (1986): A low-cost digital recording and display system for Beckman UV 5200 series spectrophotometers, *US Geol. Surv. Open-File Report 86-27*. 23 p.
- ✓ GAFFEY, S.J. (1985) Reflectance spectroscopy in the visible and near-infrared (0.35-2.55 mm): Applications in carbonate petrology *Geology* 13 Apr. 1985: 270-273.
- ✓ GARCÍA CASQUERO, J.L. (1991): El Complejo de Burguillos del Cerro. Un macizo polipítico y polintrusivo en la Cadena Hercínica Ibérica, *Tesis Doctoral Universidad de Salamanca*. inédita.
- ✓ HUNT, G.R.; SALISBURY, J.W.; LENHOF, J. (1971): Visible and Near-infrared Spectra of Minerals and Rocks: III Oxides and Hydroxides. *Modern Geology* 2: 191-205.
- ✓ HUNT, G.R.; SALISBURY, J.W.; LENHOF, J. (1973a): Visible and Near-infrared Spectra of Minerals and Rocks: VII. Acidic Igneous Rocks, *Modern Geology* 4: 217-224.
- ✓ HUNT, G.R.; SALISBURY, J.W.; LENHOF, J. (1973b): Visible and Near-infrared Spectra of Minerals and Rocks: VIII. Intermediate Igneous Rocks, *Modern Geology* 4: 237-244.
- ✓ HUNT, G.R.; SALISBURY, J.W.; LENHOF, J. (1974): Visible and Near-infrared Spectra of Minerals and Rocks: IX Basic and Ultrabasic Igneous Rocks, *Modern Geology* 5: 15-22.
- ✓ JULIVERT, M.; FONTBOTE, J.M.; RIBEIRO, A.; CONDE, L. (1974): *Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares*. Publ. IGME, Me, 113 p., mapa escala 1:1.000.000.
- ✓ LÖTZE, F. (1956): Das Präkambrium Spaniens, *Neues Jb. Geol. Paleont., Mh.* 8: 383-380. Traducido por J. Gómez Llarena, 1960. El Precámbrico en España, *Not y Com. Inst. Geol. y Min. de España* 60: 227-240.
- ✓ NASH, D.B.; CONEL, J.E. (1974): Spectral Reflectance Systematics for Mixtures of Powdered Hyperstene, Labradorite and Ilmenite, *Jr. of Geophys. Res.* 79 1974 Apr. 10: 1615-1621.
- ✓ RIAZA, A.; GARCÍA CASQUERO, J.L. (1989): Cartografía de rocas ígneas intrusivas en el Complejo de Burguillos del Cerro (Badajoz) con imágenes Thematic Mapper, en *III Reunión Científica del Grupo de Trabajo en Teledetección*. Madrid. pp 169-179.
- ✓ RIAZA, A., (1991): Estudio de reflectancia enfocado a la cartografía litológica de rocas ígneas, efectos de distintos tipos de metamorfismo y análisis estructural en materiales precámbricos, basado en datos espectrales de laboratorio e imágenes TM (Macizo Hespérico Central, prov. Cáceres y Badajoz). *Tesis Doctoral Univ. Complutense de Madrid*. 255 p. in litt.
- ✓ ROSS, H.P.; ADLER, J.E.; HUNT, G.R. (1969): A Statistical Analysis of the Reflectance of Igneous Rocks from 0.2 to 2.65 microns, *Icarus* 11: 46-54.
- ✓ ROWAN, L.C.; GOETZ, A.F.H.; ABBOT, E. (1987): Analysis of Shuttle Multispectral Infrared Radiometer Measurements in the Western Saudi Arabian Shield, *Geophysics* 52, n° 7 Jul. 1987. 907-923.
- ✓ SINGER, R.B. (1981): Near-infrared spectral reflectance of mineral mixtures: Systematic combinations of pyroxenes, olivine and iron oxides, *Jr. of Geophys. Res.* 86: 7967-7982.