

CARTOGRAFIA DE ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS EN EL COMPLEJO DE BURGUILLOS DEL CERRO (BADAJOZ) CON IMAGENES THEMATIC MAPPER

Asunción RIAZA y José Luis GARCIA CASQUERO
Instituto Tecnológico GeoMinero de España. Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid

RESUMEN

La reflectancia de rocas ígneas intrusivas con composiciones petrológicas que varían desde extremos muy ácidos a ultrabásicos ha sido estudiada con imágenes Thematic Mapper en el Complejo de Burguillos del Cerro (Badajoz). El aumento de reflectancia global en el visible e infrarrojo cercano desde las rocas básicas a las ácidas se constata en las imágenes estudiadas. Asimismo, los gabros noríticos muestran reflectancias similares a las rocas ígneas ácidas. La presencia de piroxenos con distinta simetría cristalina diversifica de igual modo la respuesta espectral de las rocas que los contienen.

El análisis de regresión aplicado a cocientes de bandas se ha utilizado para apreciar la capacidad discriminadora de las imágenes para las mencionadas litologías. Los cocientes 5/7, 4/7, 2/4 y 4/1 separan rocas de composición ácida que no contienen cantidades significativas de minerales máficos, de aquellas rocas, de composición intermedia y básica, que sí los contienen. Los cocientes 5/3 y 5/1 separan rocas con una reflectancia global mayor en bandas individuales, incluyendo los gabros noríticos, del grupo de rocas de composición intermedia y básica que presentan una reflectancia más baja.

Palabras clave: Thematic Mapper, Rocas ígneas intrusivas

ABSTRACT

Thematic Mapper images have been used to study the reflectance of igneous intrusive rocks with petrological composition ranging from acidic to ultrabasic in the Burguillos del Cerro Complex (Badajoz). Images confirm the increase in overall reflectivity from basic to acidic rocks. Noritic gabbros outcropping in the complex show similar reflectance to acidic rocks. The spectral response from rocks containing pyroxenes with different crystal symmetry shows different features.

Evaluation of TM images discriminating ability for the above mentioned lithologies was carried out through band ratios regression analysis. Ratios 5/7, 4/7, 2/4 and 4/1 distinguish acidic rocks, with minimum amounts of mafic minerals, from intermediate to basic rocks containing higher percentages of them. Ratios 5/3 and 5/1 distinguish between rocks showing a higher overall reflectivity, including noritic gabbros, from those rocks of intermediate and basic composition reflecting less intense electromagnetic radiation.

Key words: Thematic Mapper, Igneous intrusive rocks

1. INTRODUCCION

El área de estudio está enmarcada en la periferia de la meseta, sometida a un clima templado con veranos secos e inviernos suaves. Perteneció fitográficamente al dominio del encinar (*Quercus ilex*), y del alcornoque (*Quercus suber*), al que acompaña el desarrollo de un sotobosque acusadamente xerófilo de matorrales como el tomillo (*Thymus* sp.) y el espliego (*Lavandula* sp.).

En un paisaje predominantemente llano, desarrollado sobre los materiales de edad precámbrico y cámbrico inferior, emergen las sierras formadas por los niveles calcáreos del cámbrico o las cuarcitas grafitosas precámbricas. También los macizos intrusivos ofrecen una topografía relativamente elevada, caracterizada por un paisaje en cerros coronados por fragmentos redondeados de rocas, conocido como berrocal. La llanura extensa de Tierra de Barros aparece al noreste, sobre la que se desarrolla un cultivo generalizado.

El macizo de Burguillos del Cerro presenta una forma circular, con una estructura interna arqueada con borde cóncavo al noreste bien identificable en las imágenes. Se le superpone una distribución en tres franjas con dirección aproximada noreste-suroeste, fundamentalmente definidas por uso del suelo. Las dos franjas laterales, influidas por las dos poblaciones de Burguillos del Cerro y Valverde de Burguillos, abundan en campos cultivados de tamaño relativamente grande. La franja central, por el contrario, sirve de asiento a los encinares más densos.

Existen testimonios acerca de la inhibición en el crecimiento de vegetación sobre rocas ultrabásicas (Raines y Wynn, 1982). La complejidad de la intrusión y las pequeñas dimensiones de afloramientos suficientemente homogéneos en composición, así como la escasa superficie de los campos cultivados, no sugieren una influencia decisiva del sustrato rocoso en el desarrollo de vegetación, sino que apuntan a causas antrópicas.

2. MARCO GEOLOGICO

El Complejo Intrusivo de Burguillos del Cerro (CBC) intruye en el sector central del Anticlinorio de Olivenza-Monesterio, una de las estructuras más importantes que constituyen la Zona de Ossa-Morena del Macizo Hespérico en la Península Ibérica (Lotze, 1945; Julivert, et al., 1974) (figura 1). Pons (1982) estudió el CBC relacionándolo con diversos cuerpos intrusivos próximos, deduciendo que el conjunto, que abarca rocas de muy diversa naturaleza, desde granítica a gabroica con todos los términos intermedios, formaba parte de una asociación magmática. Todos los tipos petrográficos definidos por Pons (1982) se hallan presentes en el CBC.

El Anticlinorio de Olivenza-Monesterio es una megaestructura de dirección NO-SE, en cuyo núcleo afloran materiales precámbricos atribuidos a la denominada Serie Negra, que litológicamente se caracteriza por la presencia de esquistos bandeados y pizarras silíceas negras, alternando con lilitas y con algunas intercalaciones de protocuarcitas grafitosas negras (Muelas y Soubrier, 1977). Discordantemente, se dispone en su flanco septentrional la Formación Malcocinado (Delgado Quesada, 1971) de naturaleza vulcanodetrítica, y en su flanco sur por materiales asimilables al Complejo de Bodonal-Cafa (Hernández Enrile, 1971) constituido por pizarras con niveles de porfíroides y tramos carbonatados. Todos estos materiales, de edad precámbrica, fueron deformados en diferentes fases de la Orogenia Panafricana (Quesada, 1987).

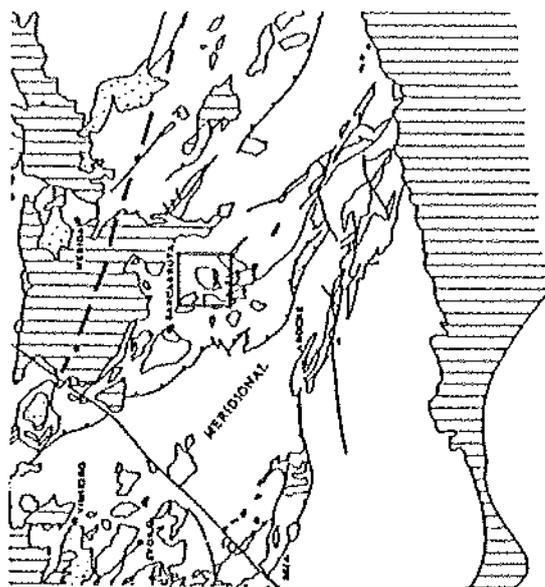


Figura 1.— Mapa geológico. Esquema de situación del área de estudio (en Geología de España, Tomo I. IGME, 1984).

La secuencia paleozoica, que ocupa los flancos de la estructura, se limita al Cámbrico inferior-medio. Está constituida por: a) una unidad eminentemente detrítica (Formación Torreárboles; Liñán, 1979), b) Una unidad carbonatada (Formación Alconera; Liñán y Perejón, 1981), c) una unidad pizarrosa (Formación La

Lapa; Liñán y Perejón, 1981) y d) una unidad vulcanosedimentaria (Bard, 1964). Deformada durante la Orogenia Hercínica, estos materiales casi nunca presentan deformación interna. No se genera en ellos una esquistosidad de carácter regional.

El Complejo de Burguillos del Cerro intruye en la Serie Negra y en los niveles basales del Cámbrico, siendo el techo de la intrusión los tramos inferiores de la unidad carbonatada. El metamorfismo regional es en estos materiales de grado bajo. En la Serie Negra, se citan (Muelas Y Soubrier, 1977), cordierita y biotita generadas a lo largo de la esquistosidad principal. El metamorfismo de contacto producido por el CBC, forma una orla estrecha salvo en su extremo SE, donde sus efectos pueden unirse al de metamorfismo de contacto producido por la intrusión del Macizo de Valencia del Ventoso. En la Serie Negra, se observa cómo blastos de cordierita aparecen aplastados por la esquistosidad principal, mostrando sombras de presión, si bien se superponen a formaciones previas presentes en estas rocas. También se observa crecimiento de moscovita y recristalización de albita y cuarzo. Las relaciones entre estos minerales y la textura de las rocas que los contienen son ambiguas. Sobre los materiales cámbricos, los efectos de la intrusión del Complejo de Burguillos del Cerro son aún más complejos, al producirse fenómenos locales de asimilación, y de alteración, con desarrollo de "skarns" en los materiales carbonatados, y la transformación de los mismos en mármoles brucíticos y serpentínicos, alcanzándose condiciones de corneanas piroxénicas.

El Complejo de Burguillos del Cerro, se presenta como un cuerpo circunscrito, constituido por una amplia gama de tipos petrológicos correspondientes a cuatro asociaciones principales (García Casquero, en prep.): 1) una asociación gabroica, 2) una asociación de rocas dioríticas, 3) una asociación de rocas monzoníticas y 4) una asociación de rocas graníticas. Las relaciones genéticas y espaciales entre estas asociaciones y su disposición cartográfica no es sencilla, siendo en la actualidad objeto de estudio por el segundo autor.

3. TIPOS DE ROCAS Y PROPIEDADES ESPECTRALES

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, tschermaquítico, no está siempre presente, pero puede ser la fase más abundante, e incluso desarrollarse en facies muy características como grandes cristales poiquilíticos tardíos (Facies Ojo de Culebra; Pons, 1982).

La asociación diorítica, contiene rocas de naturaleza diorítica hasta granodiorítica. Su tipo más característico es el "Ochavo Negro" de los canteros de Burguillos. Es 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. El contenido en cuarzo y feldespato alcalino aumenta también en las facies más evolucionadas.

La asociación monzonítica, compuesta por rocas de naturaleza muy diferente presenta como tipo más característico, un granito "hipersolvus" constituido por un sólo feldespato alcalino perfitico, con anfíbol 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.

Ross, Adler y Hunt (1969), estudiaron las propiedades espectrales de distintas rocas ígneas y de sus componentes minerales en el intervalo de longitudes de onda del visible y del infrarrojo cercano del espectro de energía electromagnética (figura 2). Los factores más decisivos en los rasgos distintivos de las curvas espectrales son el tamaño de grano, su composición y la longitud de onda de la luz incidente. Según sus estudios estadísticos, la reflectancia aumenta a medida que disminuye el tamaño de grano de la muestra, así como con el índice de acidez de las mismas. Señalan la región verde del espectro visible y el infrarrojo cercano como las longitudes de onda más representativas de las relación acidez/basicidad.

Más adelante, Hunt, Salisbury y Lenhoff (1974), hacen un estudio comparativo en el que concluyen en una tendencia general de las rocas a presentar una reflectancia más alta a mayor índice de acidez, si bien

señalan como excepción las rocas ultrabásicas, que ofrecen valores similares a las rocas ácidas (figura 3). Las rocas ácidas presentan curvas planas sin rasgos distintivos, y su reflectancia alta se debe al color claro. Cuando aparecen irregularidades, se deben al contenido en agua y grupos OH^- sobre 1.4 y $1.9 \mu\text{m}$, y a partir de $2.3 \mu\text{m}$. La intensidad de estos picos de absorción se debe a la abundancia de inclusiones fluidas, o a la transparencia o a un estado de alteración de sus minerales fémcicos. Las rocas intermedias acusan menos estos picos de absorción, desapareciendo habitualmente el situado en $1.4 \mu\text{m}$. Ninguno de estos picos de absorción aparece en las curvas espectrales de las rocas básicas o ultrabásicas.

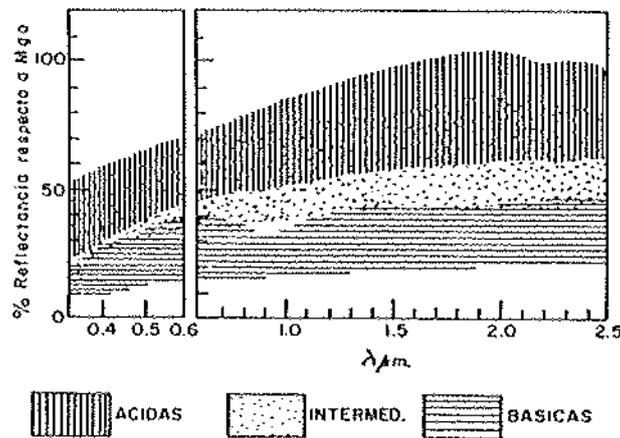
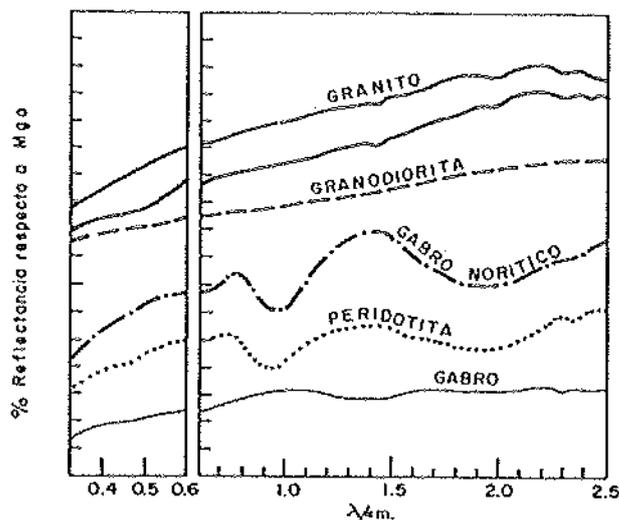


Figura 2.— Curvas espectrales de rocas ígneas. (Ross, Adler y Hunt, 1969.)

El suavizamiento de los rasgos mencionados en las rocas intermedias y básicas no sólo es función del menor contenido en fémcicos o el menor grado de alteración, sino también de una mayor abundancia de minerales opacos, que debilitan de modo general la reflectancia de las rocas, y enmascaran sus rasgos distintivos. Los gabros norítcos se escapan de esta norma general, presentando reflectancias similares a las de las rocas ultrabásicas, al igual que algunas rocas ultrabásicas excepcionalmente ricas en opacos, que acompañan a las rocas básicas.

Un incremento en el grado de basicidad de las rocas produce el refuerzo de los rasgos característicos del hierro contenido en los minerales máfcicos. La mayor parte de las rocas básicas ofrecen una banda amplia centrada en $1.0 \mu\text{m}$, y otra próxima a $1.7 \mu\text{m}$ y $2.0 \mu\text{m}$, además de una caída hacia el azul en el visible.



in HUNT, SALISBURY y LENHOFF (1970, 1973, 1974)

Figura 3.— Curvas espectrales de distintas rocas ígneas (Hunt, Salisbury y Lenhoff, 1974.)

En numerosas ocasiones, los rasgos distintivos de la curva espectral de una roca no se deben a sus componentes principales, sino a la presencia de minerales accesorios o de productos de alteración relacionados con la mineralogía inicial. Entre las rocas de Burguillos del Cerro, se distinguen petrográficamente distintos grupos por la presencia o ausencia de piroxenos o anfíboles, y por la existencia de distintas variedades de piroxenos con simetría monoclinica o rómbica, además de olivino (figura 5). Los piroxenos monoclinicos registran las bandas de absorción debidas al hierro en picos estrechos, a lo largo de una curva ascendente hacia longitudes de onda más largas. La curva espectral de los piroxenos rómbicos es más suave en su pendiente general y con rasgos más amplios resumibles en dos depresiones anchas centradas en 1.0 μm y 1.7 μm . Los anfíboles, a diferencia de los piroxenos, presentan rasgos más acusados por influencia de los iones OH^- centrados en 2.4 μm , además de una estructura en doble banda en el intervalo de 0.6 a 1.1 μm , debido al ión ferroso (Hunt y Salisbury, 1970). Por último, es de señalar la presencia muy generalizada de magnetita, que produce la disminución global de reflectancia de las rocas.

4. TRATAMIENTO DE IMAGENES. METODO

Se ha utilizado para el presente trabajo una imagen Thematic Mapper correspondiente a la escena 202-203 cuarto tercero, de fecha 12 de Agosto de 1985. Han sido objeto de tratamiento las bandas del visible y del infrarrojo cercano y medio, por su resolución espacial uniforme.

Para evaluar la variabilidad en la información que las distintas bandas aportan, se efectuó un análisis de correlación. La banda 4 presenta los índices de correlación más bajos, con la banda 1 en el visible, y las 5 y 7 en el infrarrojo. Puesto que la banda 4 se relaciona primordialmente con propiedades de la vegetación, un examen del siguiente orden de índices de correlación reveló la asociación de la banda 1 con la 5 y la 7, y la 2 asimismo con la 5 y la 7, así como en último lugar, las bandas 5 y 7.

De esta manera, se seleccionaron dos falsos colores que recogieran las mayores variaciones posibles, con las bandas 4, 5 y 7 para incluir estimaciones de vegetación, y el 1, 5 y 7. Ambos falsos colores presentan tonos parecidos, con la diferencia de que el FC 457 (azul, verde y rojo, respectivamente) homogeniza las áreas más densamente vegetales en azul (granito de Salvatierra de los Barros, sierras y campos cultivados de vegas).

En el interior del macizo, las franjas laterales, más desprovistas de vegetación y con mayor extensión de cultivos, recogen influencias variables de las tres bandas, con predominio de la 7, expresadas en colores verdes, amarillos y blancos. Los morados, blancos y amarillos reinan por el contrario en la franja central, sugiriendo una mayor influencia de la banda 1 y la 7 que en las franjas externas.

Las composiciones de color de componentes principales calculadas sobre las seis bandas del visible y del infrarrojo cercano y medio, así como las bandas 4, 5 y 7 que ostentan índices de correlación más bajos, revelan una enorme fragmentación de áreas con distintos significados espectrales, traducida en un mosaico de pequeñas manchas de distintos colores. Un análisis ponderado y minucioso de cada una de estas áreas es necesario.

4.1. ESTIMACION DE RECUBRIMIENTO VEGETAL

Puesto que el objeto del trabajo se centra en el intento de cartografiar distintas unidades litológicas, y como se ha expuesto anteriormente, la vegetación recubre de un modo desigual el área, y decide sobre el aspecto espectral de la superficie de estudio, se ha realizado una estimación de la intensidad y distribución geográfica de la misma.

El cociente entre las bandas 4 y 3 refleja la gradación en el uso de suelo, recogida en una segmentación en tres intervalos. Las áreas ocupadas por números digitales más bajos corresponden a campos recién arados. Los campos cultivados en barbecho, con un crecimiento limitado de hierba, se dibujan en el siguiente intervalo de valores. El último sector de números digitales abarca los campos regados, las sierras, el granito de Salvatierra de los Barros, y los cauces que recorren el plutón de Burguillos del Cerro.

El límite inferior del intervalo de valores más altos del cociente 4/3, tomado cuando es distintivo en las imágenes el trazado de los cauces que recorren los macizos ígneos, se ha usado como umbral para producir una máscara representativa de la influencia predominante de la vegetación en la respuesta espectral de la superficie de la tierra.

Las franjas externas del plutón de Burguillos del Cerro están recogidas en el sector intermedio de valores segmentados en el cociente 4/3, y gran parte de la franja central en el sector más alto. Solamente los materiales precámbricos en los que intruye el plutón, y parte de la franja suroriental se sitúan en el área menos influida por la vegetación. Esta distribución aconsejó una concentración de esfuerzos en la localización de áreas comparativamente con menos vegetación en el interior del plutón, y su asignación a litologías conocidas.

4.2. COCIENTES DE BANDAS

Es generalizado el uso de cocientes entre dos bandas con el objeto de realzar diferencias que se manifiestan con amplitud limitada en una de ellas, mientras que su significado sería uniforme en la segunda. Para ello se calcularon cocientes entre las bandas que presentan menor correlación.

Cada uno de los cocientes obtenidos fue examinado para detectar el nivel de homogeneidad de valores dentro del plutón, y su potencialidad por tanto para expresar distintas litologías. La mayor parte de ellos recogen una información redundante en contenido de vegetación (5/7, 3/1, 4/3, 4/7, 2/3), especialmente aquellos en los que se involucran las bandas del visible o la banda 4, además del 5/7. Los cocientes 5/4, 5/3, 3/7, 2/7 y 2/4 mostraban mayores contrastes dentro del plutón.

Para tener una muestra más amplia, siguiendo a Raines, et al. (1982) y Ross et al (1969), se añadieron cocientes calculados con las bandas del visible, a pesar de presentar información redundante estadísticamente. Ello se traduce en cocientes de bandas con histogramas muy estrechos y desviaciones standard pequeñas.

5. ESTUDIO DE LITOLOGIAS EN IMAGENES

La heterogeneidad espacial en la distribución de distintas rocas y su constante mezcla en tipos de composición intermedia por efecto de la secuencia y los mecanismos de intrusión de masas ígneas, hace difícil generalizar extensiones apreciables con una cierta uniformidad litológica en el complejo de Burguillos del Cerro.

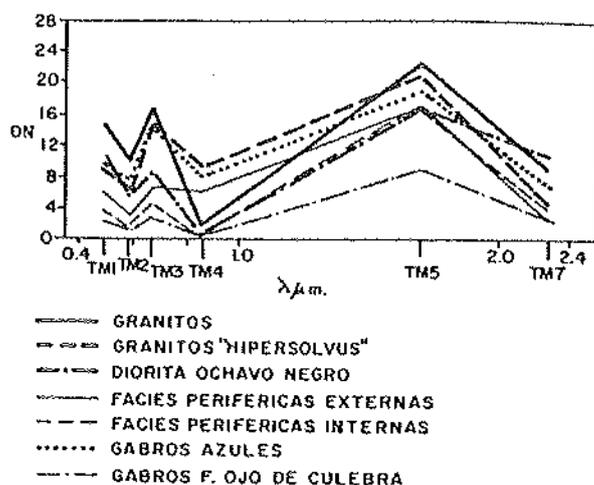


Figura 4.— Números digitales calculados en imágenes TM para litologías mencionadas.

Asimismo, distintas densidades de vegetación por la presencia de encinas y el estado de relativo abandono de muchos de los campos cultivados, interfiere notablemente en la respuesta espectral de la superficie en relación a su sustrato rocoso (Raines y Wynn, 1982). Para asegurar que todas las áreas de control utilizadas tienen mínimas interferencias de vegetación, se toma como referencia una máscara confeccionada con el cociente de bandas 4/3 como se ha explicado en apartados anteriores.

Las bandas individuales en el visible e infrarrojo cercano proporcionan un registro de números digitales que ha sido comparado con las observaciones de Ross, Adler y Hunt (1969). Las rocas de composición ácida muestran las reflectancias más elevadas, mientras que los gabros Facies Ojo de Culebra ocupan el rango inferior de reflectancias. Las facies monzodioríticas periféricas de composición intermedia confirman las previsiones situándose en valores intermedios de reflectancia global (figura 4). Es muy de destacar la superposición de los valores de los gabros azules con las rocas ácidas. Los gabros azules son rocas compuestas fundamentalmente por piroxeno y plagioclasa básica de tipo labrador, término petrográficamente conocido como gabro norítico. Los gabros noríticos (Hunt, Salisbury y Lenhoff, 1974), tienen un comportamiento espectral anormal respecto al conjunto de los gabros, desplazándose hacia reflectancias comparativamente más altas, y mostrando irregularidades más acusadas en su curva espectral por la presencia masiva de piroxenos.

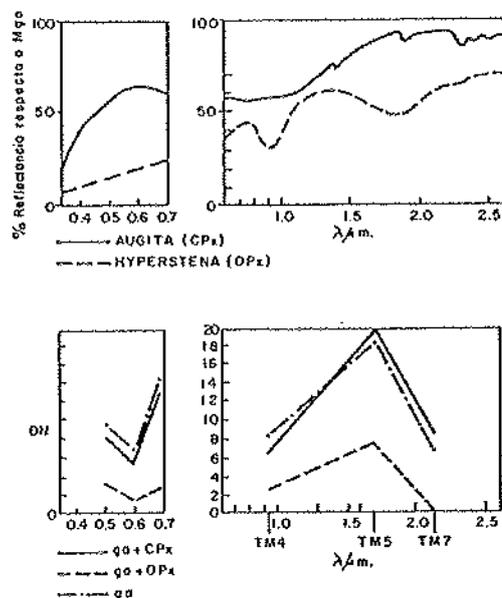


Figura 5.— Curvas espectrales de clinopiroxenos (CPx) y ortopiroxenos (OPx). (Hunt y Salisbury, 1970). Números digitales en imágenes TM para gabros noríticos con OPx y CPx.

Las facies periféricas monzodioríticas de composición intermedia se distinguen en dos grupos por su situación en el plutón, y por su tamaño de grano. Las facies periféricas externas de grano fino pertenecientes a la asociación gabroica presentan reflectancias más altas que las periféricas internas de grano grueso pertenecientes a la asociación diorítica. Esto confirma de nuevo el supuesto de la mayor reflectancia de las rocas de tamaño más fino para una composición mineralógica similar. Las rocas de composición más básica, los Gabros Facies Ojo de Culebra, tienen una textura porfídica con grandes fenocristales de anfíboles de tamaño centimétrico o decimétrico. Es posible que esta peculiaridad influya, además de su composición, en determinar su reflectancia más baja en las imágenes.

Los Gabros Azules diversifican su aparición cartográfica en dos facies diferenciables por la simetría de sus piroxenos, bien rómbica (Ortopiroxenos), o monoclinica (Clinopiroxenos). Raines y Wynn (1982) cartografiaron distintas unidades de rocas ultrabásicas con imágenes MSS en una región densamente cubierta por vegetación. Además de la respuesta espectral diversa de las distintas unidades de reflectancia global más baja en los Gabros Azules con Ortopiroxeno (figura 5). Los valores en los Gabros Azules con Ortopiroxeno son comparativamente inferiores al conjunto de los Gabros Azules en las bandas 3, 4 y 5 del Thematic Mapper, cuyos intervalos de longitud de onda coinciden con los amplios mínimos reflejados por las curvas espectrales de los Ortopiroxenos.

Los diagramas bidimensionales de dispersión de números digitales tomados de distintos cocientes de bandas revelan una tendencia generalizada de las distintas litologías a agruparse en dos conjuntos, las rocas ácidas en uno, y las rocas de composición intermedia y básica en otro (figura 6.). El análisis de regresión de valores medios calculados para las distintas litologías seleccionó los cocientes 5/7, 4/7 y 2/4 como mejores discriminadores de rocas ácidas y menos ácidas, a los que puede añadirse el 4/1. El diagrama de dispersión entre los cocientes 5/3 y 5/1 individualiza los términos básicos (Gabros Ojo de Culebra y Facies Periféricas Monzodioríticas) de los Gabros Azules y las asociaciones granítica y diorítica.

Con estas bases, los cocientes mencionados se sometieron a expansión parcial con el objeto de aumentar la expresión visual de las posibles variaciones en reflectancia de las rocas objeto de estudio. Sobre los cocientes expandidos se realizó una clasificación tomando los pares de cocientes con mejores índices de regresión, y utilizando sus diagramas de dispersión para la misma.

Las imágenes producidas con pares entre los cocientes 5/7, 4/7, 2/4 y 4/1 muestran una coincidencia mayoritaria de las áreas cubiertas por rocas ácidas, y los restantes tipos de rocas sobre distintos intervalos de la imagen clasificada revelados por una segmentación de valores. Lo mismo se observa en la imagen clasificada a partir de los cocientes 5/1 y 5/3 para las asociaciones granítica y diorítica, a las que se unen los Gabros Azules en el intervalo inferior de valores segmentados, y los gabros Facies Ojo de Culebra acompañados de las facies periféricas en el superior.

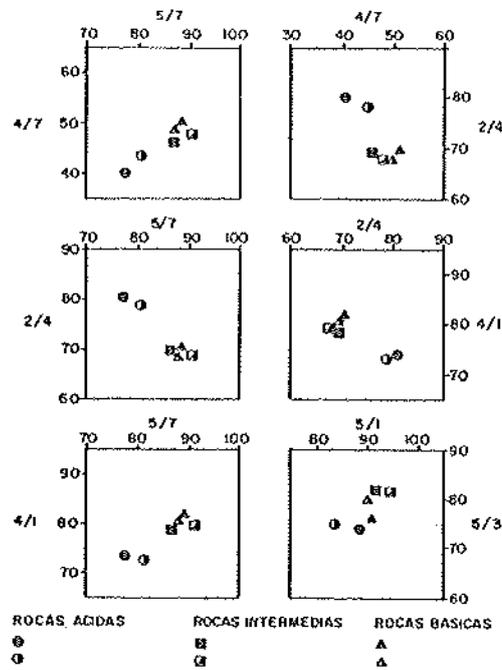
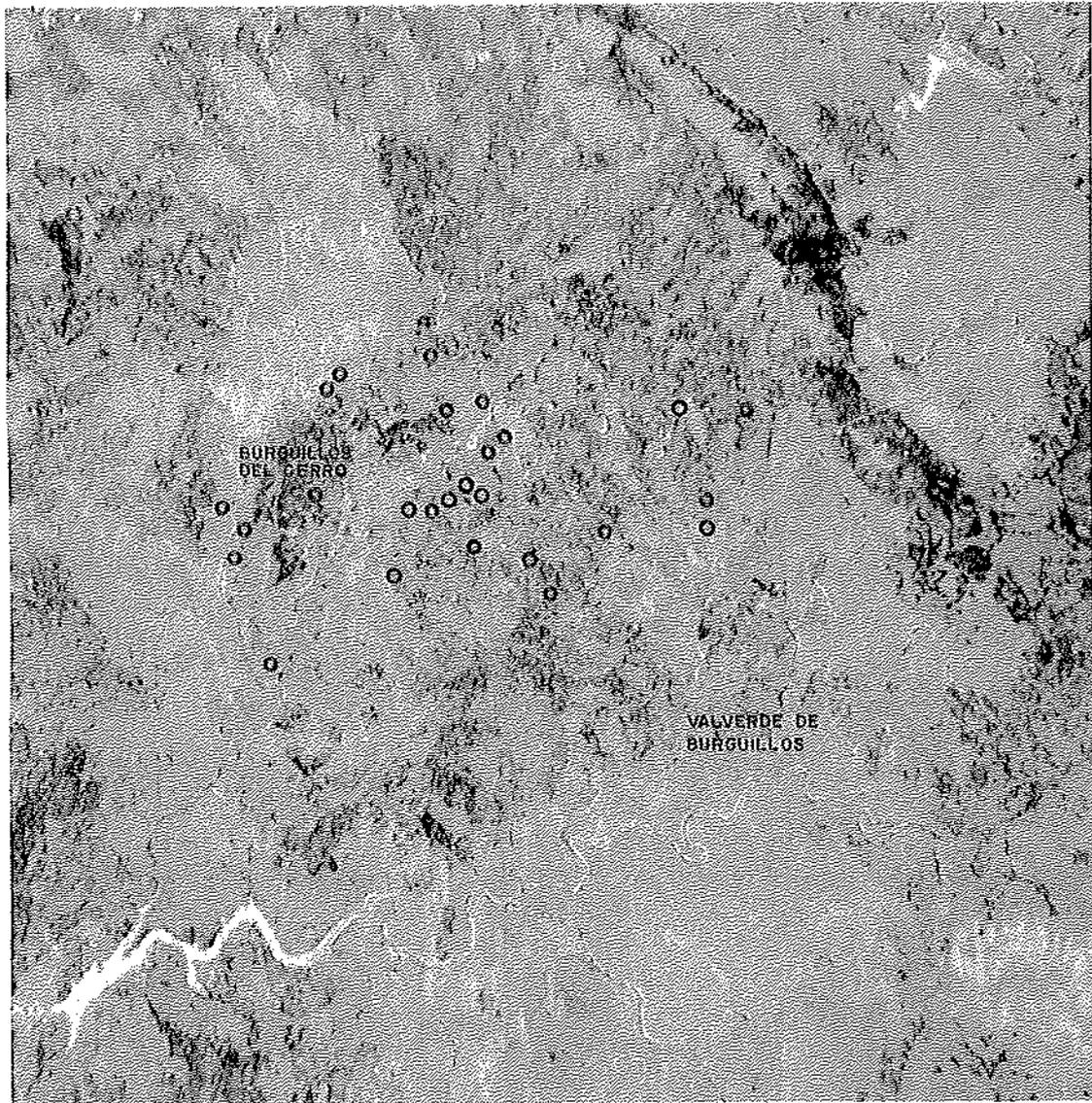


Figura 6.— Diagrama bidimensionales de medias aritméticas de números digitales calculados sobre cocientes de bandas de imágenes TM.

Parte de los picos de absorción característicos de minerales y rocas descritos por Hunt, Ashley y Lenhoff (1970, 1973 y 1974) coinciden con ventanas de absorción atmosférica, y no son registrables por sensores embarcados en satélites. La composición de color con los cocientes 5/7 (azul), 4/7 (rojo) y 2/4 (verde), ilustra el índice de basicidad de los grupos de rocas descritos en función de la absorción discriminada de energía electromagnética según su composición mineralógica (figura 7).

Las asociaciones granítica y diorítica toman colores añil y rosa, indicando el predominio del cociente 5/7 en los dos casos, con la contribución alternativa del 2/4 en el añil, y el 4/7 en el rosa (Tabla 1). La absorción debida al agua contenida en las inclusiones fluidas de las rocas ácidas es responsable de la depresión en 2.2 μm , que explica los valores relativamente predominantes de los cocientes 5/7 y 4/7 para las rocas más ácidas. Los tonos verdes de las rocas pertenecientes a la asociación gabraica denotan la preponderancia del cociente 2/4, debido a la absorción en 1.0 μm , por la presencia de ión férrico.

El análisis estadístico realizado sobre datos digitales de imágenes Thematic Mapper confirma ampliamente las conclusiones de Ross, Adler y Hunt (1969) a partir de estudios espectrales en muestras pulverizadas de rocas ígneas obtenidos con un espectrofotómetro. El cociente 5/7 del Thematic Mapper y la participación de la banda 2 en los otros dos cocientes seleccionados coincide con los intervalos de longitudes de onda recomendados en su trabajo para una mejor discriminación entre distintos tipos de rocas ígneas. Hay que añadir la banda 4 del Thematic Mapper, centrada sobre 1.0 μm como particularmente útil para la misma tarea, sin duda por constituir uno de los mínimos de absorción causados por transiciones electrónicas en los iones de hierro.



- Rocas ácidas
- ⊙ Rocas básicas e intermedias

Figura 7.— Composición en color de los cocientes de bandas Thematic Mapper 5/7 (azul), 4/7 (rojo) y 2/4 (verde), mostrando tendencia hacia colores añil y rosa en las rocas ácidas, y verde en las rocas básicas e intermedias.

TABLA 1

Roca	Color en imagen	5/7 azul	4/7 rojo	2/4 verde	Caract. absorción
Acidas	Añil	Medio	Bajo	Medio	H ₂ O
Acidas	Rosa	Medio	Medio	Bajo	H ₂ O
Básicas + intermedias	Verde	Bajo	Bajo	Alto	Fe ³⁺

Tonos en composición de color de cocientes 5/7 (azul), 4/7 (rojo) y 2/4 (verde) para rocas ígneas ácidas y básicas y elementos en su composición mineralógica responsables de su comportamiento espectral.

5. CONCLUSIONES

Las imágenes Thematic Mapper son capaces de discriminar grados de acidez en rocas ígneas. Los datos de números digitales calculados sobre bandas individuales recogen un aumento de reflectancia global desde los términos más básicos a los más ácidos.

Revelan asimismo peculiaridades en el comportamiento espectral de rocas como los gabros noríticos, que se separan del conjunto de las rocas de composición básica al que pertenecen petrográficamente, para solaparse en sus respuesta espectrales con las rocas de composición ácida.

Aún dentro de una misma asociación de rocas, la distinta simetría cristalina de uno de sus componentes minerales influye en el distinto comportamiento espectral. Los gabros azules con orto o clinoperoxeno se agrupan en dos extremos de valores de reflectancia en los datos de bandas individuales de las imágenes Thematic Mapper.

Los cocientes de bandas 5/7, 4/7 y 2/4 discriminan mejor 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 cocientes 5/1 y 5/3.

6. AGRADECIMIENTOS

Las largas sesiones de tratamiento digital se han visto acortadas por la asesoría y el buen humor de P. García Santiago y F. Pérez Cerdán, así como las múltiples intervenciones en la puesta a punto del sistema utilizado del Sr. Serrano. C. Quesada y F. Bellido hicieron más livianos los entresijos de la geología regional y de la compleja problemática de la cartografía geológica y la evolución magmática del Complejo de Burguillos de Cerro.

BIBLIOGRAFIA

- Bard, J.P. 1964. Observaciones sobre la estratigrafía del Paleozoico en la región de Zafra (prov. de Badajoz, España). **Not. y Com. IGME. 76:** 175-180.
- Delgado Quesada, M. 1971, Esquema Geológico de la Hoja nº 878, Azuaga. **Bol. Geol. y Min. 82-84:** 277-286.
- Hernández Enrile, J.L. 1971. Las rocas porfiroides del límites Cámbrico-Precámbrico en el flanco meridional del Anticlinorio de Olivenza-Monesterio (Badajoz). **Bol. Geolo. y Min. 82-94:** 359-360.
- Hunt, G.R. y Salisbury, J.W. 1970. Visible and Near-infrared Spectra of Minerals and Rocks: I Silicate Minerals, **Modern Geology. 1:** 283-300.
- Hunt, G.R. Salisbury, J.W. y Lenhoff, J. 1973. Visible and Near-infrared Spectra of Minerals and Rocks: VIII. Acidic Igneous Rocks. **Modern Geology. 4:** 217-224.
- Hunt, G.R. Salisbury, J.W. y Lenhoff, J. 1973. Visible and Near-infrared Spectra of Minerals and Rocks: VIII. Intermediate Igneous Rocks. **Modern Geology. 4:** 237-244.
- Hunt, G.R., Salisbury, J.W. y Lenhoff, 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, Ribeiro, M.J. et al. 1974. **Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares.** Serv. Publ. IGME. 1 memoria. 113. p. Mapa E. 1:1.000.000.
- Liñán, E. 1979. **Bioestratigrafía de la Sierra de Córdoba.** Tesis Doctoral Universidad de Granada, 212 p.
- Liñán, E. y Perejón, A. 1981. El Cámbrico inferior en la Unidad de Alconera, Badajoz (SO España). **Bol R. Soc. Hist. Nat. (geol.). 79:** 125-148.

- López-Plaza, M. y Martínez Catalán, J.R. 1988. Síntesis estructural de los granitoides hercínicos del Macizo Hespérico, en **Geología de los granitoides y rocas asociadas del Macizo Hespérico**. Bea, Carnicero, Gonzalo, López-Plaza, Rodríguez Alonso (Eds.). Rueda. 542 p.
- Lotze, F. 1945. Zur Gliederung der Varisciden der Iberischen Meseta. **Geotek. Forsch.** 6: 78-92.
- Muelas, A. y Soubrier, J. 1977. **Mem. del Mapa Geológico de España escala 1:50.000 nº 853 (Burguillos del Cerro)**. Publ. IGME.
- Pons, J. **Un modèle d'évolution de complexes plutoniques: Gabbros et granitoïdes de la Sierra Morena Occidental (Espagne)**. Tesis doct. Travaux du lab. de Géol.-Pétrol. de l'Université Paul-Sabatier-Toulouse. 451 p.
- Quesada, C. 1987. **Memoria Mapa Geológico-Minero de Extremadura, escala 1:300.000**. Junta de Extremadura.
- Raines, G.L. y Wynn, J.C. 1982. Mapping of Ultramafic Rocks in Heavily Vegetated Terrain Using Landsat Data. **Economic Geology**. 77: 1.755-1.769.
- Ross, H.P.; Adler, J.E.M. y Hunt, G.R. 1969. A Statistical Analysis of the reflectance of Igneous Rocks from 0.2 to 2.65 microns. **Icarus**. 11: 46-54.
- Siegal, B.S. y Goetz, A.F.H. 1977. Effect of Vegetation on Rocks and Soil Type Discrimination. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. 43, 2: 191-196.

