ESTUDIO DE TELEDETECCION EN APOYO A LA CARTOGRAFIA GEOLOGICA DE LAS HOJAS Nº 422 (ALDEADAVILA DE LA RIBERA; 448 BIS (SAN MARTIN); 449 (VILVESTRE); 450 (VITIGUDINO); 451 (LEDESMA) Y 452 (LA VELLES).

Asunción Riaza García
Instituto Tecnológico GeoMinero
de España
Ríos Rosas, 23
28003 Madrid

ESTUDIO DE TELEDETECCION EN APOYO A LA CARTOGRAFIA GEOLOGICA DE LAS HOJAS Nº 422 (ALDEADAVILA DE LA RIBERA), 448bis (SAN MARTIN), 449 (VILVESTRE), 450 (VITIGUDINO), 451 (LEDESMA) Y 452 (LA VELLES)

Asunción Riaza García
Instituto Tecnológico Geominero de España
Rios Rosas 23
28003 Madrid

INTRODUCCION

La aparición de imágenes tomadas desde satélite, ya por métodos ópticos como electrónicos, supuso un cambio en la interpretación de fotografías aéreas en geología.

La escala es la primera diferencia, que permite la generalización de observaciones fragmentarias realizadas sobre mapas geológicos o fotografía aérea, y el seguimiento directo de rasgos mayores que pueden prolongarse en grandes distancias.

La segunda es la disponibilidad de datos cuantitativos de reflectancia en distintos intervalos de longitudes de onda correspondiente a la superficie terrestre en forma digital, que permite su tratamiento en ordenador, y la cartografía litológica de distintos materiales basados en sus propiedades espectrales.

Por ello se ha planteado el uso de imágenes de satélite, como complemento a otras técnicas bien conocidas, en apoyo de la cartografía geológica en el marco del Plan Nacional de Cartografía Geológica a escala 1:50.000, que desarrolla actualmente el Instituto Tecnológico Geominero de España.

METODO DE ESTUDIO

Las dos líneas de trabajo en geología tradicionales en teledetección se dirigen a la geología estructural a gran escala, por medio de la cartografía de linamientos, y a la cartografía de unidades litológicas en función de sus propiedades espectrales.

En este trabajo se ha realizado una cartografía de lineamientos sobre copias en papel obtenidas a distintas escalas por procedimientos fotográficos convencionales a partir de negativos proporcionados por distribuidores comerciales de imágenes.

Para extraer posibles diferencias litológicas , se ha tratado digitalmente tres imagenes Thematic Mapper del 15 de Julio de 1984 (202-032-1), del 6 de Agosto de 1986 (203-031-4) y del 28 de Agosto de 1985 (202-032-1), para que la vegetación esté en su estado de menor pujanza. Ambas se han combinado con una imagen SPOT pancromático del 29 de Agosto de 1986 (028/267/0) para mejorar la resolución espacial en algunas combinaciones.

El programa de tratamiento de imágenes de uso público desarrollado por la NASA empleado, escrito en FORTRAN, está instalado en un microordenador que funciona autónomamente con dos puestos de trabajo. La unidad de proceso central posee una velocidad de proceso de 16.7 MHz, acelerador vectorial y acelerador de coma flotante, 478 Megabytes de capacidad de almacenamiento en disco duro, y cuenta con un sistema operativo UNIX. La resolución espacial del monitor de presentación es de 910 por 1152, y 10 bits de resolución de color, que proporciona 1024 colores distintos escogidos en una paleta de 16.7 millones de colores, con 256 niveles de gris por cañón en 12 planos, de los cuales dos están disponibles para la superposición de gráficos.

Tanto las cartografías de lineamientos como las composiciones de color han sido utilizadas por los restantes miembros del equipo como documento de trabajo accesorio. Por ello no se insistirá en las interpretaciones, que están en su caso incorporadas a los mapas confeccionados, cuanto al método utilizado para la producción de las mencionadas imágenes.

GEOGRAFIA Y CLIMA

El área de estudio está enmarcada en la meseta septentrional, sometida aun clima mediterráneo con veranos secos y calurosos y inviernos fríos. Pertenece fitográficamente al dominio del encinar (Quercus ilex) al que acompaña el desarrollo de un sotobosque acusadamente xerófilo de matorrales como el tomillo (Thymus sp.) y el espliego (Lavándula sp.). Localmente hay manchas de robles relativamente esparcidos. Amplias áreas muestran modificaciones antrópicas generalizadas en forma de cultivos.

El relieve es suave, en forma de una llanura con una altitud media de 650 m. sobre el nivel del mar. La gran abundancia de rocas ígneas y materiales sedimentarios sometidos a procesos de migmatización proporciona una textura granular en las imágenes producto de los afloramientos en berrocal de estos afloramientos. Las diferencias de tono en esta distribución corresponden a diferencias en la meteorización de estos materiales por su distinto estilo de fracturación e intensidad de degradación de sus asociaciones minerales en función de su composición y textura.

Los cambios más notables en la uniforme apariencia granular de los materiales graníticos y gneísicos corresponden a encajamientos de drenajes con una disposición angular a lo largo de fracturas y crestas en los "sierros" de cuarzo que rellenan asimismo algunas fracturas.

Las depresiones terciarias orientales desarrollan una superficie comparativamente más plana, con menor encajamiento de cursos de drenaje, que dibujan una red dendrítica, controlada de una manera más laxa por la red de fracturación. Su expresión en imágenes está fundamentalmente determinada por el desarrollo de campos cultivados, dándoles una textura en manchas poligonales con fuertes contrastes en función de la secuencia de cultivos en la época del año.

LINEAMIENTOS

Las imágenes tomadas por satélites permitieron por primera vez observar bajo un punto de vista único vastas extensiones de la superficie terrestre. Así se descubrieron un número de rasgos lineares no cartografiados con anterioridad en áreas geológicamente conocidas.

Estos rasgos, denominados lineamientos, consisten en alineaciones de estructuras morfológicas regionales, tales como cursos de drenaje, escarpes y cadenas montañosas, además de diferencias tonales, que en muchos casos expresan fallas o zonas de fractura, bordes entre dominios geológicamente diferentes, o contactos litológicos.

Tomaremos el término lineamiento como un rasgo de la superficie simple o compuesto, cuyas partes se alinean de modo rectilíneo o ligeramente curvo, y que se distingue claramente de las formas en las zonas adyacentes, representando presuntamente un fenómeno subterráneo.

Para la cartografía de lineamientos se han utilizado tres imagenes Thematic Mapper en papel en blanco y negro, banda 7, del 26 de Enero de 1986 (202-032-1), del 23 de Noviembre de 1985 (203-031-4) y del 6 de Enero de 1987 (202-032-1). Las imágenes de invierno presentan características

favorables para este propósito, ya que al ser el ángulo de iluminación solar bajo, los rasgos topográficos se realzan.

Los lineamientos mayores en la región en la que está incluida la zona cartografiada siguen una dirección predominante NNE-SSO (fig.1), en contraste con el área inmediatamente al sur, en la que predominan los rasgos ENE-OSO en dirección subperpendicular a la anterior. Tres rasgos mayores se suceden de Oeste a Este: Hinojosa de Duero-Barruecopardo-Pereña, Vitigudino-Sanchón de la Ribera-Iruelos y Cipérez-Villar de Peralonso-Mazán. Debe añadirse el tramo del Río Duero que recorre la frontera con Portugal entre Saucelle y Aldeadávila de la Ribera.

En las hojas más orientales de Ledesma y La Vellés predomina la dirección ENE-OSO, en dos rasgos que constituyen la prolongación de trazos más meridionales que pasan por Zafrón-Baños de Ledesma- Huelmos de Cañedo y Villaselva-La Vellés. Hacia el oeste sólo cabe mencionar por su mayor expresión en imágenes el tramo Sanchón de la Ribera-Menceros (450, Vitigudino).

Numerosos rasgos menores acompañan a los trazos antes descritos siguiendo las mismas direcciones. Su expresión menos acentuada en imágenes obedece en la mayor parte de los casos a una topografía más suave. Los rasgos mayores más pronunciados coinciden con drenajes más encajados o con "sierros" de cuarzo localizados a lo largo de fracturas.

CARACTERISTICAS DE LAS IMAGENES

El sensor Thematic Mapper produce imágenes con datos de reflectancia en seis canales en el visible y infrarrojo cercano, y uno en el infrarrojo térmico (fig.2). En lo sucesivo nos referiremos a cada canal como bandas.

Cada unidad elemental en las imágenes referidas cubre una superficie aproximadamente cuadrada de 30 m. de lado.

Las bandas 1, 2 y 3 (0.43-0.55, 0.50-65, 0.59-0.73 μm respectivamente), se sitúan en las regiones del azul, verde y rojo del visible. La banda 4 (0.73-0.94 μm) aparece en las longitudes de onda del infrarrojo próximo, y las bandas 5 (1.52-1.96 μm) y 7 (1.96-2.41 μm) se sitúan más alejadas. La banda 6 (9.81-12.61 μm) no ha sido considerada en este trabajo, por pertenecer al infrarrojo térmico y tener una resolución espacial más grosera que las demás, lo que la hace menos manejable para la cartografía a escala 1:50.000.

También se ha utilizado una imagen procedente del satélite SPOT en modo pancromático (0.51-0.73 μm) con una resolución espacial de 10 m. para tratar de mejorar la localización geográfica en imágenes de geometría difusa como consecuencia del tratamiento al que han sido sometidas.

TRATAMIENTO DE IMAGENES

Las imágenes tomadas por sensores electrónicos como el Thematic Mapper consisten en distribuciones bidimensionales de valores numéricos (números digitales ND) comprendidos entre 0 y 255, que se traducen visualmente en niveles de intensidades de gris, correspondiendo el 0 al negro, y el 255 al blanco.

Puesto que el área de estudio es muy extensa , y algunos de los módulos del programa de tratamiento de imágenes utilizado están limitados por el número de datos con el que operan, se ha fragmentado la imagen original en distintos sectores que comprendían geográficamente cada una de las hojas 1:50.000, y una orla circundante para facilitar el seguimiento de

rasgos identificados en las imágenes en hojas adayacentes. La estadística de los datos que cubren estas áreas es distinta en cada una de ellas, y se omitirá su descripción pormenorizada. El tratamiento ha sido, por lo tanto, diverso para cada una de ellas, y los resultados son diferentes para cada de las hojas con tratamientos similares.

A continuación se describirán brevemente las combinaciones que parecen sugerir mayor capacidad de distinción de distintas litologías utilizables con los criterios seguidos por el equipo que ha cartografiado estas hojas.

Correcciones atmosféricas

La atmósfera interfiere en la captación de energía electromagnética reflejada por la superficie de la tierra, produciendo fenómenos de absorción y dispersión. Los efectos de dispersión son especialmente notables en los intervalos de longitud de onda del visible, que se traducen en un aumento generalizado de reflectancia difusa y el desplazamiento de los histogramas de números digitales hacia valores más altos.

Para minimizar este efecto en los tratamientos cuantitativos, se han aplicado a todas las imágenes correcciones atmosféricas por el procedimiento de sustraer el valor del número digital más bajo en cada banda en las cuatro bandas del visible y del infrarrojo cercano de longitud de onda más corta.

Evaluación de recubrimiento vegetal. Máscaras.

La vegetación proporciona respuestas espectrales muy llamativas, que dominan generalmente cualquier imagen, aunque se trate de zonas en medio

semiárido como el área de estudio. Puesto que las imágenes de satélite se han utilizado muy intensamente en estudios morfoclimáticos y de ocupación de suelo, se han desarrollado una serie de índices que expresan la densidad del recubrimiento vegetal y su vigor. Sirve de base para ello la distinta respuesta espectral de los tejidos de las hojas según su estado fenológico, y el contenido en clorofila.

Uno de los índices más generalmente aceptados en la comunidad geológica para la delimitación de áreas en que predomina la vegetación es el cociente entre el rojo y el infrarrojo cercano, que en el sensor Thematic Mapper corresponde a las bandas 4 y 3.

Por ello, se calculó el cociente 4/3 en el área de estudio. De modo general, las zonas en que afloran masivamente granitos con buena expresión morfológica y desarrollo de paisaje en berrocal, aparecen más desnudas. Dejando aparte las vegas de los ríos mayores, y los cursos de drenaje, que siempre dibujan bien su trazado proporcionando valores altos en el cociente 4/3, aparecen con respuestas altas de vegetación las áreas cultivadas. Muestran una distribución típicamente geométrica definida por los lindes de las parcelas cultivadas, en que aquellas en las que crecían cosechas en el momento en que se registró la imagen se distinguen nítidamente de las que ya han sido cosechadas, o no han sido cultivadas ese año.

Tomando como referencia los valores del cociente 4/3, se contruyeron máscaras que se han aplicado a otras imágenes para identificar con claridad los rasgos espectrales atribuibles a diferencias en suelos y rocas más o menos limpias.

El examen visual de cualquier composición de color enmascarada dificulta la localización geográfica a los usuarios poco avezados en la observación de imágenes. Por ello, se mantuvo el uso de imágenes

enmascaradas en las sesiones de tratamiento para consideraciones de cálculo, pero se prefirió proporcionar a los cartógrafos productos fotográficos en los que la vegetación no estuviera enmascarada.

Composiciones en Falso Color

Cada una de las bandas de una imagen consiste en una distribución bidimensional de valores numéricos que se traducen visualmente en tonos de gris. Si se toman tres series de datos, y se les asigna una escala de color equivalente en azul, rojo y verde, y se superponen, se obtiene una composición en falso color.

Cada uno de los elementos unitarios de esta composición ostenta un color que es función de los valores iniciales. Así, si el número digital correspondiente al azul es 10, el correspondiente al rojo es 100 y el correspondiente al verde es 100, el color compuesto resultante será amarillo, como resultado de una participación similar en rojo y verde, y casi nula en azul.

De este modo se han realizado distintas composiciones en falso color utilizando las bandas de imágenes thematic mapper corregidas atmosféricamente. Estas composiciones son las más cercanas visualmente a una fotografía aérea en color, y la localización geográfica en las mismas es fácil para un usuario acostumbrado a la utilización de mapas topográficos y fotografía aérea. Por ello se han adoptado como primer documento de aproximación para la identificación de distribuciones texturales de color posiblemente ligadas a distintas litologías y la identificación de áreas de referencia para tratamientos posteriores.

Análisis de Componentes Principales

El análisis de componentes principales consiste en una evaluación estadística basada en la estimación de la repetitividad de valores en distintas bandas. La correlacción entre distintas bandas se expresa por medio de una matriz en la que los índices más bajos indican una baja correlacción en la información numérica entre las dos bandas correspondientes.

La matriz de correlacción es diferente para cada una de las imágenes que cubren las diferentes hojas, en función de una estadística inicial igualmente diversa. Se omitirá el repetir la relación de matrices de correlación para cada una de ellas.

Las seis imágenes producidas al aplicar la transformación de Karunen-Loewe, pueden componerse en color asignando tonos rojo, verde y azul, a tres series de datos escogidas entre las mismas, y superponiéndolas en un falso color. Una composición de color con las componentes principales de los tres primeros órdenes indica qué áreas presentan una respuesta espectral distinta, y pueden ser diferenciables en imágenes. Sin embargo, no permite identificar los materiales en función de sus propiedades espectrales. Las composiciones en falso color aconsejadas por aquellas bandas que presentan índices de correlación más bajos, pueden orientar el estudio de identificación espectral.

Cocientes de bandas

El uso de cocientes de bandas es habitual en la detección de diferencias espectrales. Suele escogerse un numerador que represente valores espectralmente constantes para el objeto escogido, mientras que el

denominador está sujeto a variaciones respecto a las características espectrales del mismo.

Los cocientes eliminan las variaciones globales de reflectancia y ponen de manifiesto aquellas que obedecen a causas locales. De este modo, los efectos topográficos se reducen considerablemente, y se favorece la expresión de litologías espectralmente diferentes.

ALDEADAVILA DE LA RIBERA (422) Y VILVESTRE (448-449)

La composición en falso color con bandas de imágenes thematic mapper que proporciona mayor nitidez y variabilidad en las distintas zonas corresponde a la 1 (azul) 4 (rojo) y 5 (verde). La vegetación más densa se distribuye de manera muy uniforme en manchas de pequeña extensión, lo que dificulta la identificación litológica indirecta por criterios de uso de suelo. Las áreas más uniformemente descubiertas se sitúan sobre materiales precámbricos, además de algunos granitos más denudados.

La composición en color de componentes principales de orden sexto (azul), quinto (rojo) y cuarto (verde) permite distinguir una mayor variabilidad tonal. Han sido calculadas sobre las seis bandas del thematic mapper corregidas atmosféricamente, y estiradas posteriormente para incrementar la variaciónen color de tres series de datos cuyos histogramas son muy estrechos, por consituir las componentes de orden más alto. La variabilidad en términos litológicos se ve realzada así, tratando de minimizar los efectos de las manchas de vegetación tan uniformemente repartida espacialmente, y que se vería expresada en las componentes principales de los primeros órdenes.

Una composición de color con los cocientes 2/1 5/1 y 4/1 (ARV) calculados sobre bandas corregidas atmosféricamente y posteriormente enmascarados para densidades de vegetación altas aumenta la variabilidad espectral . El hecho de que el denominador sea el mismo en los tres cocientes potencia las variaciones relativas en las tres bandas que figuran en el numerador. Por ejemplo, aparecen diferencias en el precámbrico entre Saucelle y Vilvestre (Franco et al, 1983; Martinez, 1984), donde se distinguen los afloramientos ordovícicos y los granitos aplíticos y una orla bien diferenciada entre las dos fracturas más prominentes citadas en el capítulo de lineamientos. También se sigue el contacto del granito aplítico de los alrededores de Milano (Franco et al, 1983; Martinez, 1984) y los granitoides de dos micas que le flanquean al este y sur.

VITIGUDINO (451)

La topografía es más homogénea si cabe que en la región de Aldeadávila de la Ribera y Vilvestre,y la vegetación se distribuye de manera similar, siendo los materiales precámbricos los que ofrecen áreas más denudadas. Por ello, una composición en falso color con las bandas 7 5 y 1 (ARV) presenta tonos más vivos sobre ellos, y en parcelas pequeñas esparcidas en la gran extensión de leucogranitos y granitos de dos micas (Martinez, 1974) al este de Ahigal de los Aceiteros.

Las mismas áreas se observan en una composición de color con las tres componentes principales de orden más bajo CP 321 (ARV), aunque las diferencias en uso de suelo son más evidentes. Sin embargo, al tomar las tres componentes de orden alto en una composición CP 456 (ARV), se delinean distintas zonas, sobre todo en la mitad occidental.

El aspecto de la composición CP 456 es muy ruidoso, y la localización geográfica en detalle completamente imposible. Por ello, se georeferenciaron las imágenes thematic mapper y spot para poder registrarlas simultáneamente. La imagen SPOT pancromática utilizada se asignó sistemáticamente al verde, puesto que los elementos geográficos destacaban más visualmente sobre el rojo y el azul, que en ninguna otra combinación de colores. Fué necesario estirar la imagen SPOT adaptando su histograma a los valores de las componentes principales calculadas sobre thematic mapper, de modo que sus parámetros estadísticos fueran similares, y contribuyeran equilibradamente a la composición de color.

De este modo, fué sencillo cartografiar el granito de La Vídola y Villar de Samaniego, así como otro granito al norte de Guadramiro. El afloramiento de rocas básicas al norte de Encinasola se sugiere, aunque es necesario intentar otras combinaciones para confirmarlo.

Ninguna de las composiciones de color realizadas con cocientes de bandas contribuyó a mayores diferenciaciones. Por el contrario, se uniformizan comparativamente todos los rasgos topográficos, y se realzan las diferencias en uso de suelo en las pequeñas y escasas parcelas esparcidas ocupando las zonas deprimidas de esta gran extensión granítica.

LEDESMA (451)

El rasgo más importante es el lineamiento anteriormente mencionado que pasa por Villasdardo, Encina y Zafrón en dirección ENE-OSO. En las imágenes thematic mapper se reconoce por una franja con campos cultivados y una morfología característica, facilitada por la presencia de esquistos y gneises de grano fino (López Plaza, 1982). Este rasgo se pone de manifiesto

especialmente en la composición en falso color con las bandas 3 5 y 7 (ARV) corregidas atmosféricamente.

Este falso color y una composición en color con las componentes principales de orden sexto, cuarto y quinto (CP 645) calculadas sobre bandas corregidas atmosféricamente, y estiradas después de su cálculo, han sido las dos combinaciones que parecen ofrecer una mayor coincidencia entre la variación de colores y las litologías aflorantes.

Al NO de Zafrón se distinguen los granitos metatéxicos, migmatitas y gneises glandulares del conjunto de granitos de grano grueso de dos micas frecuentemente porfídicos al sur de Ledesma (López Plaza, 1982). Al oeste, se sugieren los afloramientos de granitos de grano fino de dos micas con biotita (López Plaza, 1982), que aparecen en las inmediaciones de Villasdardo y Villaseco de los Gamitos.

En la región meridional, las diferencias más notables se dan entre los esquistos y gneises de grano fino sobre los que aparecen campos de cultivo alrededor de Villarmayor, y el conjunto de granitos de grano grueso de dos micas, o con turmalina de los alrededores de Doñinos de Ledesma. También se sugiere la cuña de granitos de grano fino de dos micas con moscovita al sur de Villasdardo y Encina.

LA VELLES (452)

Las imágenes presentan una distribución más o menos homogénea de campos cultivados en casi toda la superficie de la hoja de La Vellés, donde predominan materiales terciarios. Las diferencias en coloración, tamaño y distribución de las parcelas cultivadas definen las posibles unidades.

Sólo el extremo NO, donde aflora el granito de Zamayón, ofrece una morfología diferente, que también se traduce en colores distintivos. Este sector está separado del resto de la llanura por un valle de trazado rectilíneo por el que discurre el Arroyo de la Ribera, relleno por sedimentos cuaternarios, que coincide con una fractura.

La composición en falso color 4 7 5 (ARV) y la composición en color de componentes principales 2 4 y 3 se han utilizado para la cartografía litológica de modo preferente.

En ambas imágenes destaca la unidad arcósica que aflora en ambas orillas del Tormes entre Almenara de Tormes y Salamanca. Existe una alteración roja que afecta a la mayor parte de las unidades terciarias, y que se manifiesta de modo especial en una franja de recorrido N-S que comienza en Huelmos de Cañedo, baja hasta Castellanos de Villiquera, y bordea la unidad arcósica por el oeste hasta Salamanca. La presencia de zonas alteradas rojas más o menos generalizada se manifiesta en imágenes en una textura de color de grano fino ocasionada por la fragmentación espacial de las zonas alteradas.

La presencia de costras parece asociarse a zonas topográficamente más elevadas, ocupadas por dehesas más o menos densamente arboladas (laderas del Arroyo de la Vega al NO, Las Quebradas al SO). La extensión de las zonas dedicadas a una ocupación del suelo determinada es mayor, y en las imágenes aparecen con una textura mucho más gruesa que el resto.

BIBLIOGRAFIA

CHUVIECO, E., 1990, Fundamentos de teledetección espacial, Ed. Rialp, 453 p.

FRANCO,P., CASTRO,A., UGIDOS,J.M., BEA,F., MORENO VENTAS,I., MALDONADO,C., DIEZ BALDA,A., PELLITERO,E., RODRIGUEZ ALONSO,D., GARCIA DE FIGUEROLA,L.C., CORRETGE,L.G., LOPEZ PLAZA,M., CARNICERO,A., MARTIN IZARD,A., MARTINEZ,F.J., ARRIBAS,A., IGLESIAS,A., GONZALO,F.J., GARCIA DE LOS RIOS,J.I., GONZALO,J.C.,MACAYA,J., 1983, Síntesis geológica del Basamento (Zona del Centro-oeste español), Depto. de Petrología, Universidad de Salamanca.

JENSEN,J.R.,1986, Introductory Digital Image Processing, A Remote Sensing Perspective, 379 p.

MARTINEZ, F.J., 1974, Estudio del área metamórfica y granítica de los Arribes del Duero (Prov. de Salamanca y Zamora). Tesis Doctoral. Universidad de Salamanca.

SABINS,F.F.,Jr., 1987,Remote Sensing, Principles and Interpretation, W.H.Freeman and Co.,449 p.

SIEGAL,S.B., GILLESPIE,A.R.,1980, Remote Sensing in Geology, John Willey and Sons,702 p.