



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

ESTUDIO DE TELEDETECCION EN APOYO A LA CARTOGRAFIA GEOLOGICA
DE LAS HOJAS Nº 474-75 (LUMBRALES) A ESCALA 1:50.000.

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 lineamientos, 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 una imagen Thematic Mapper con fecha de 15 de Julio de 1984, para que la vegetación esté en su estado de menor pujanza.

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. El desnivel mayor se produce por el encajamiento del río Agueda, del orden de 200 o 300 m. Las altitudes mayores, superiores a los 800 m., se dan a lo largo de una cresta formada por cuarcitas de edad paleozoico inferior en el Cerro de S. Jorge y el Alto de la Berzosa, al N de Olmedo de Camaces y Fuenteliante.

Las depresiones terciarias 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.



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.

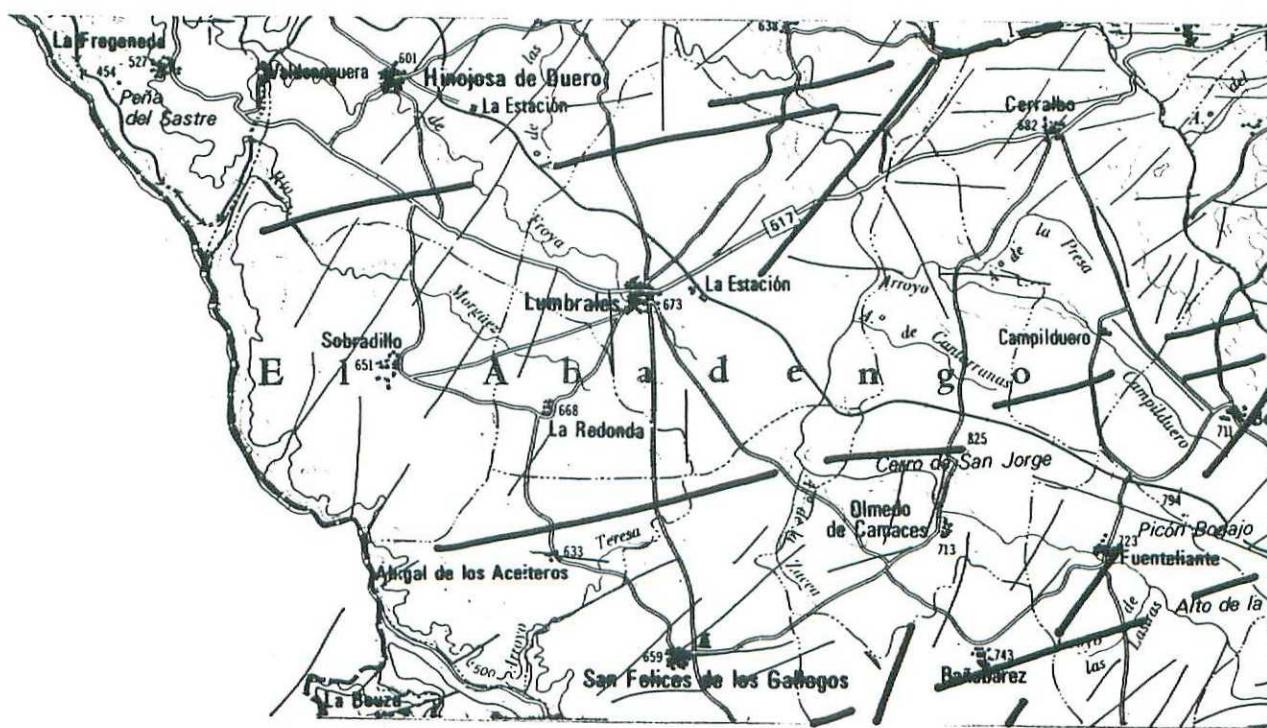
Tomaremos el término lineamiento como un rasgo de la superficie simple o compuesto, cuyas partes se alinean de modo rectilíneo o ligeramente curvo, y que se distingue claramente de las formas en las zonas adyacentes, representando presuntamente un fenómeno subterráneo.

Para la cartografía de lineamientos se ha utilizado una imagen Thematic Mapper en papel en blanco y negro, banda 7, del 26 de Enero de 1986. 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 en la región en la que está incluida la zona cartografiada siguen tres direcciones predominantes bien diferenciadas (fig.1). Los lineamientos con una expresión más clara y mayor longitud siguen la dirección ENE-OSO. Se les asocian con menor frecuencia los ONO-ESE, que siguen las estructuras mayores, y que giran a la altura



de Olmedo de Camaces para adoptar la dirección reseñada anteriormente.



- LINEAMIENTOS MENORES
- LINEAMIENTOS MAYORES

Fig. 1 Mapa de Lineamientos

En rasgos de menor longitud, pero con elevada frecuencia, se sitúa la dirección NNE-SSO. Se han cartografiado con anterioridad fracturas con esta dirección denominadas "sierros" por albergar estructuras silicificadas.



La familia con dirección ENE-OSO está representada por tres lineamientos mayores que se prolongan ampliamente en las áreas adyacentes. De norte a sur, Hinojosa del Duero-Picones, que continúa hacia Vitigudino, Ahigal de los Aceiteros-Cerro de S. Jorge, que parece prolongarse hacia Traguntia y Cipérez, y que coincide groseramente con el núcleo del sinclinal de Olmedo de Camaces, y por último Puerto Seguro-Bañobárez, que se prolonga hacia Villavieja de Yeltes.

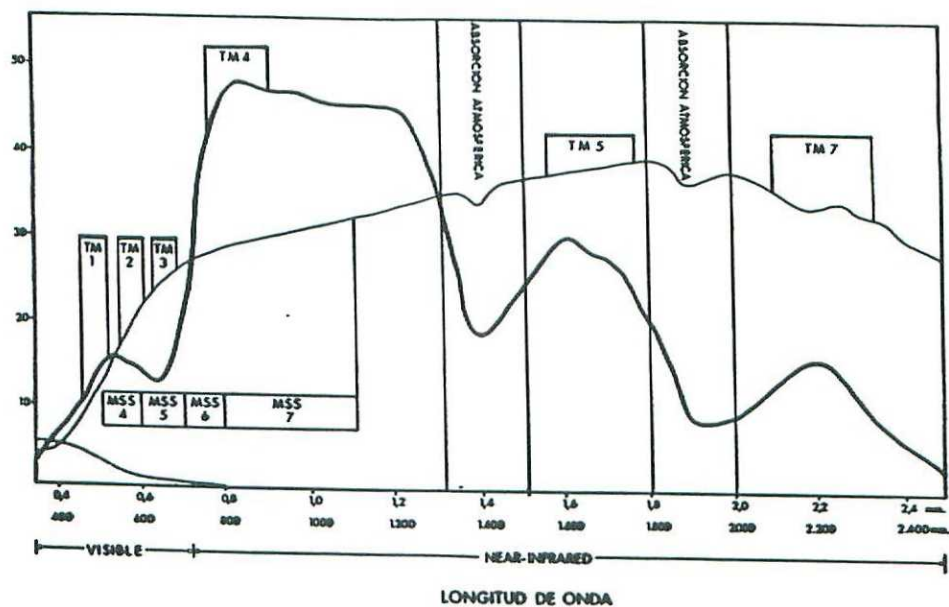
La familia ONO-ESE no está apenas representada en este área, con la excepción del tramo occidental del sinclinal de Olmedo de Camaces hacia Fuenteliante, que coincide con la dirección de las estructuras hercínicas mayores en el área.

La familia NNE-SSO sólo tiene cierta expresión en la pequeña porción occidental del granito de Villavieja de Yeltes.

CARACTERISTICAS DE LAS IMAGENES THEMATIC MAPPER

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, 0.50-0.65, 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.



REFLECTANCIA ESPECTRAL - SUELO - VEGETACION - AGUA

Fig.2: Medidas espectrales de reflectancia de agua, suelos y rocas en el intervalo de longitudes de onda 0.4-2.5 correspondientes al visible e infrarrojo cercano del espectro de energía electromagnética, con expresión de los intervalos de longitudes de onda que recogen los canales del sensor Thematic Mapper.

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.



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.

Los parámetros estadísticos de las seis bandas utilizadas se resumen en la tabla siguiente.

	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
Promedio	85.28	40.03	49.30	73.91	117.67	52.09
Desv. típica	15.66	9.25	14.83	15.68	30.45	24.05
ND mínimo	0	0	0	0	0	0
ND máximo	255	183	200	255	255	255

Estos valores numéricos iniciales pueden someterse a una serie de operaciones algebraicas y estadísticas, que se conocen como tratamiento digital de imágenes, de las que describiremos las empleadas en este trabajo.

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 correlación entre distintas bandas se expresa por medio de una matriz en la que los índices más bajos indican una baja



correlación en la información numérica entre las dos bandas correspondientes.

La matriz de correlación en el área correspondiente a las hojas 474, 475, 476, 500 y 501, es la siguiente;

	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
TM1	1.00					
TM2	0.88	1.00				
TM3	0.81	0.96	1.00			
TM4	0.61	0.61	0.52	1.00		
TM5	0.81	0.84	0.85	0.56	1.00	
TM7	0.76	0.86	0.88	0.39	0.92	1.00
ev	4.81	0.69	0.24	0.19	0.05	0.02

Esta matriz se repite en todas las áreas incluidas en la inicial, y los índices reflejados en ella pueden tomarse como representativos de las relaciones entre las distintas bandas para todas ellas.

Así, la banda 4 recoge los índices menores de correlación con todas las demás bandas. Puesto que la banda 4 es especialmente sensible a la abundancia de vegetación, es conveniente tomar nota de los índices de orden siguiente, si se trata de diferenciar en zonas no especialmente cubiertas por vegetación. El segundo grupo de índices tiene a la banda 1 como factor común, con la banda 7 en primer lugar, y la 3 y la 5 en segundo.

Los eigenvalues (ev) indican el porcentaje de participación del conjunto de la información contenida en todas las bandas en cada una de las imágenes de componentes



principales producidas. La primera componente ($ev=4.81$) acumula la mayor parte de la información, mientras que la sexta componente sólo recoge una porción muy reducida ($ev=0.02$), y expresará características que aparecen con muy poca frecuencia en la información inicial.

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.

Sin embargo, las composiciones en falso color aconsejadas por aquellas bandas que presentan índices de correlación más bajos, pueden orientar el estudio de identificación espectral.

En este caso, un falso color con las bandas 2, 4 y 5 proporcionará la mayor variabilidad de información expresada en color sin tener en cuenta su mayor o menor frecuencia estadística.

EVALUACION DE RECUBRIMIENTO VEGETAL

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.

En el área de estudio, las áreas más vegetadas se sitúan al SE y S de Cerralbo, en los alrededores de Olmedo de Camaces y Bañobarez, en la llanura presuntamente desarrollada sobre materiales precámbricos, cámbricos y paleozoico inferior.

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.



LITOLOGIAS DIFERENCIABLES EN IMAGENES

Un primer examen de las imágenes en falso color con bandas Thematic Mapper no modificadas, y con componentes principales, revela tres grupos litológicos principales diferenciados (lam. 1: Los granitos topográficamente elevados y relativamente desprovistos de vegetación de Villar del Ciervo y Villavieja de Yeltes; el complejo de granitos variados y migmatitas comparativamente degradados de los alrededores de Lumbrales, bordeado septentrionalmente por el Complejo Laminar del Alamo; y los materiales precámbricos y paleozoico inferior.

Los granitos de Villar del Ciervo y de Villavieja de Yeltes, comparativamente más biotíticos, además de sus características geomorfológicas, les hacen distinguirse de otros granitos predominantemente moscovíticos, y más degradados.

Aunque algunas migmatitas contienen cantidades apreciables de biotita, su concentración en schlieren y capas de espesor centimétrico dificulta la percepción en imágenes, que requieren una uniformidad de composición considerable en áreas amplias. La resolución espacial de 30 m. de las imágenes Thematic Mapper utilizadas no permite la cartografía de inhomogeneidades a pequeña escala.

La llanura que bordea y circunda el granito de Villar del Ciervo al norte del mismo está supuestamente ocupada por materiales precámbricos, cámbricos y paleozoico inferior. El límite superior está formado por una cresta de cuarcitas que delimitan un sinclinal, y que muestran un plegamiento secundario de las estructuras, del que hemos hablado en el apartado de lineamientos.

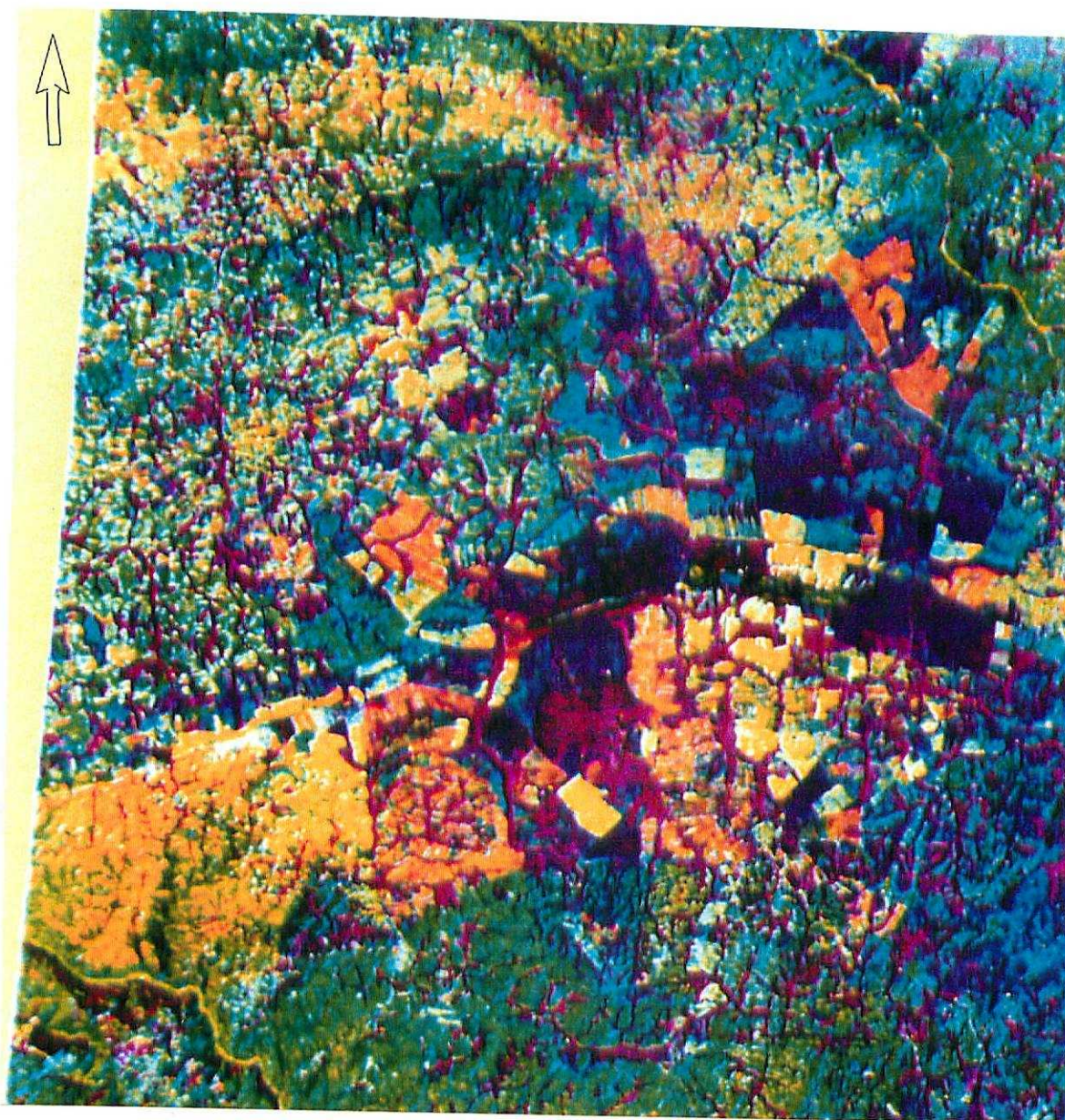


Lámina 1: Composición en color de tres componentes principales en rojo, azul y verde calculadas sobre las seis bandas del Thematic Mapper en el visible e infrarrojo cercano.



Por último, una unidad en forma de abanico con vértice en Cerralbo, que se dispone en dirección E-O abriéndose hacia el oeste, que coincide con el Complejo esquisto-grauváquico indiferenciado, y que presenta un aspecto diferente en las imágenes a la unidad inferior del mismo complejo que aflora al norte del granito de Villar del Ciervo.

Las laderas de las crestas de cuarcita están recubiertas de un coluvión con una alteración roja muy evidente, especialmente en los campos cultivados adyacentes que estaban recién arados en el momento en que se registró la imagen. La alteración roja toma una expresión diferente sobre otras unidades estratigráficas, pero es generalmente detectable cuando se extiende en áreas suficientemente amplias.



BIBLIOGRAFIA

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.

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.