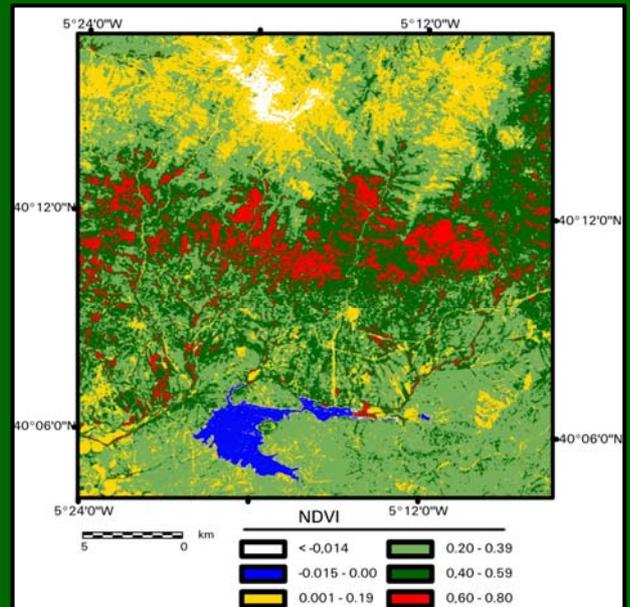




GUÍA PRÁCTICA DE TELEDETECCIÓN Y FOTOINTERPRETACIÓN



Autores:

Dra. M^a Pilar García Rodríguez

Dr. Juan José Sanz Donaire

Dra. M^a Eugenia Pérez González

Dr. Ángel Navarro Madrid

Dpto. Análisis Geográfico Regional y Geografía Física

Universidad Complutense de Madrid

Guía práctica de teledetección y fotointerpretación

Autores:

Dra. M^a Pilar García Rodríguez

Dr. Juan José Sanz Donaire

Dra. M^a Eugenia Pérez González

Dr. Ángel Navarro Madrid

Dpto. Análisis Geográfico Regional y Geografía Física

Universidad Complutense de Madrid

Esta guía ha sido financiada gracias al Proyecto de Innovación y Mejora de la Calidad Docente, nº 82 (2011-2012) convocado por el Vicerrectorado de Evaluación de la Calidad de la Universidad Complutense de Madrid. Asimismo quiere agradecerse la financiación y mantenimiento del software científico utilizado (ERDAS imagine) por parte de la UCM y, especialmente, de la Facultad de Geografía e Historia, imprescindible para la realización de esta guía.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	5
I. Relieves tabulares: Guadalajara (Chiloeches e Hita)	17
II. Serranía de Cuenca: relieves en estructura plegada y modelado kárstico	43
III. Relieves volcánicos: Campo de Calatrava	67
IV. Los Montes de Toledo y su piedemonte septentrional	93
V. Dinámica fluvial: vertiente meridional de Gredos	125
VI. Bibliografía citada	153

El objetivo de esta obra es realizar una guía didáctica de aplicaciones de teledetección y fotointerpretación en Geografía. Las nuevas materias de grado y máster relacionadas con las tecnologías de información geográfica, abreviadas a TTIIGG o TIGs, requieren nuevos documentos didácticos adaptados a las técnicas actuales de enseñanza.

Existe una gran carencia de material didáctico accesible para los alumnos en la interpretación de fotografías convencionales, fotografías aéreas e imágenes de satélite. Por otra parte resulta de especial interés, para la Geografía y también en ciencias afines, el manejo de las diferentes escalas – a pesar de que el constante cambio de una a otra sea tan dificultoso si no se posee cierta destreza, pero al propio tiempo tan fructífero-. También es interesante la elección del punto de vista y la correcta interpretación, integrando desde la imagen de satélite y fotografía aérea hasta la fotografía convencional, según la relevancia geográfica y utilidad de los objetos. En todos los casos de fotografía a pie de tierra las tomas son *ex professo* para esta ocasión, al igual que los gráficos de línea.

En esta guía se han seleccionado imágenes de satélite del Instituto Geográfico Nacional, (del Plan Nacional de Teledetección, PNT) y del programa americano *Global Land Cover Facility* (GLCF). Además, se utiliza material de apoyo para la interpretación de las fotografías aéreas e imágenes de satélite, tanto en formato impreso como en formato digital, accesible en las páginas web institucionales. Se han incluido: mapas topográficos, ortofotografías y mapas del Sistema de Información de Ocupación del Suelo (SIOSE) del Instituto Geográfico Nacional (IGN), modelos digitales del terreno (MDT), ortofotogramas e imágenes extraídos del popular programa Google Earth © y mapas geológicos y geomorfológicos del Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Estas herramientas, casi universales a disposición de los alumnos e interesados, son de máxima utilidad en cuanto que disponen de:

- 1) Orientación de las imágenes
- 2) Escala gráfica
- 3) Posibilidad de cotejo de imágenes de distintas fechas, lo que favorece el estudio diacrónico o evolutivo
- 4) Posibilidades de geovisualización (especialmente útil en estudios con relieve)

Sin embargo, la gran resolución espacial obtenida mediante las ortofotografías aéreas no puede sustituir a la fotografía aérea convencional en el estudio de algunos aspectos del medio físico, entre los que destaca la geomorfología. Además, para esta disciplina es absolutamente imprescindible conocer la verdad terreno.

Para un máximo aprovechamiento de las ventajas que ofrece la fotografía aérea debe tenerse en cuenta algunas consideraciones previas, que, no por elementales, son más sabidas. La fotografías son imágenes obtenidas por medios químicos de reacción a la exposición de energía lumínica (en el sentido amplio de la expresión) a través de una pequeña abertura (diafragma), que se abre y cierra (obturador). Con frecuencia se habla impropiaemente de fotografías digitales o de satélite cuando son simplemente imágenes y no se han obtenido por el procedimiento anteriormente descrito. Existen diversos tipos de fotografías:

- Fotografía horizontal: “normal”
- Fotografía oblicua descendente: “menos normal”, salvo en paisajes desde altozanos, otros... Todavía resulta algo familiar en las vistas generales desde elevaciones adecuadas. Fotografía oblicua ascendente: es tan anormal que sólo se hace uso de ella cuando se quiere agrandar una imagen, pues distorsiona grandemente la realidad. En ciertas ocasiones es la única posible (toma de una gran fachada, un murallón, etc.)
- Fotografía vertical: anormal; el zénit no es punto de vista habitual (salvo en cúpulas, pozos...); la máxima diferencia permitida respecto de la vertical es de 3°.

La vista zenital hace algunos lugares invisibles, a saber:

a) los cubiertos por otros objetos (por ejemplo, el dosel arbóreo impide ver el sotobosque, el roquedo; esto es especialmente así en lugares de vegetación exuberante, como en las áreas ecuatoriales)

b) los enmascarados por sombras (lo que, a su vez, depende de las alturas de los objetos y del ángulo de altura del Sol)

c) los que tengan igual color que el fondo (principio del camuflaje)

d) los ínfimamente pequeños (depende de la resolución o tamaño de grano de la emulsión de la película ISO, DIN...).

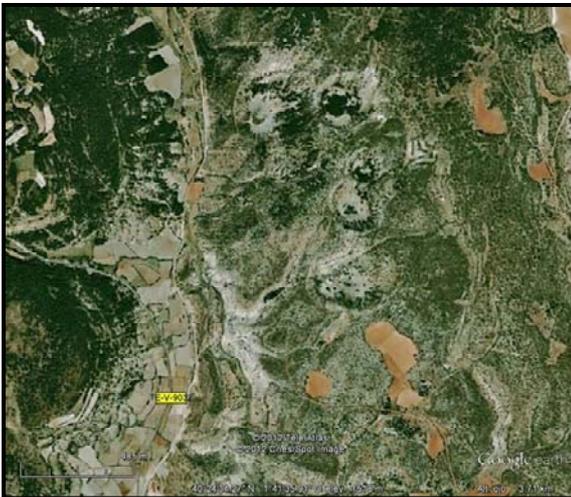
La fotografía aérea es parecida a un mapa pero con mucha más información: es una imagen verdadera de la realidad, en cuanto que captada por un aparato –la cámara fotográfica- que simula el ojo humano. Para obtener unos frutos más succulentos se recomienda un uso combinado de fotografía aérea y cartografía, lo mismo que el uso combinado de foto aérea vertical y oblicua, dado que la segunda, como ya se dijera, resulta más natural al ser humano.



Vista a pie de tierra de dos de las celadas de Griegos.



Vista oblicua y hacia el Este de las celadas de Griegos desde la Muela de San Juan, donde nace el Tajo. Es preciso encontrar un punto dominante que permita tomar la vista.



El pleno dominio se logra desde el espacio, en vista zenital.

Imagen Google Earth ©.

Fig. 1. Imágenes con diferentes puntos de vista.

La fotografía aérea es una proyección cónica, sólo real en el punto en que el eje óptico vertical corta a la realidad (el llamado “punto principal” de la fotografía) y, por lo tanto, con una progresiva deformación o anamorfosis al separarse del nadir del fotógrafo (Fig. 2). Frente a ello la cartografía es, por lo general, en escalas comparables, una proyección ortogonal. Por lo tanto, la fotografía aérea precisa de correcciones geométricas a las que denominamos ortofotos (ortoimágenes si son de procedencia no

fotográfica). Si a la ortofotografía se le agrega más información cartográfica y geográfica (generalmente, símbolos y referencias, de entre las que destacan la localización) se genera el ortofotomapa u ortofotoplano (en función de la escala de menor a mayor detalle).

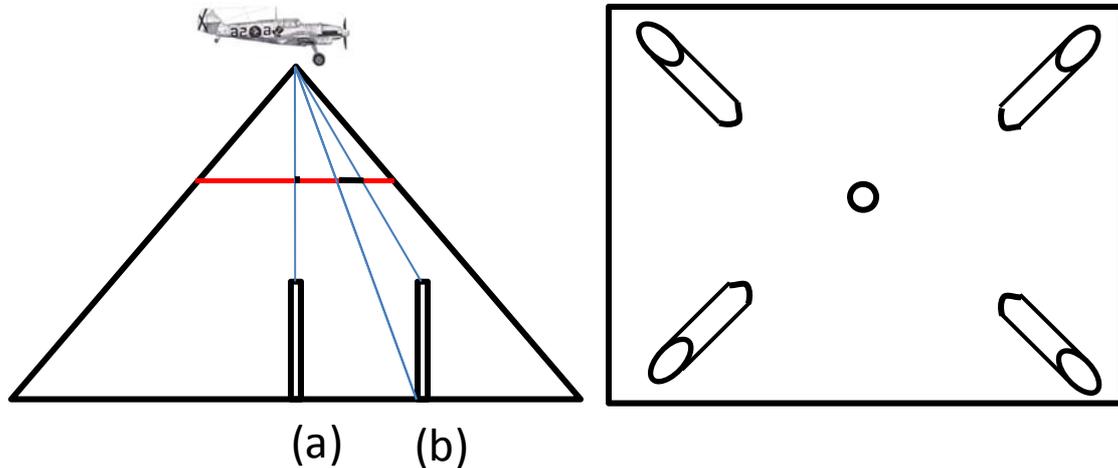


Fig. 2. A la izquierda: en este esquema la imagen zenital de un poste cilíndrico es verdadera (a). La imagen oblicua está distorsionada (b) por la proyección cónica desde el punto de vista. A la derecha: vista de los postes cilíndricos en fotografía aérea según la posición relativa respecto del eje zénit – nadir.

El análisis de la fotografía aérea permite una mayor aproximación a la realidad a tenor de su mayor escala (de denominador menor). Se trabajará habitualmente con la ventaja de la estereoscopia, que permite el reconocimiento del relieve.

Para el estudio del relieve se puede utilizar:

- a) Un par estereoscópico
- b) Una tripleta estereoscópica

Como se sabe el par fotográfico debe posicionarse correctamente siguiendo la línea de vuelo, pues si estas posiciones se invierten aparecerá pseudoscopia: falso relieve o inversión del relieve (montañas hundidas y ríos elevados en crestas). La distancia de dos puntos homólogos en sucesivas imágenes será la distancia interpupilar (70-80 mm), salvo que se utilice algún dispositivo corrector. En cualquier caso es necesario cubrir una parte importante (alrededor del 60%) del área fotografiada en los fotogramas inmediatos. Cuando la topografía sea excepcionalmente plana se puede ver relieve mediante la visión del fotograma ante-anterior y post-posterior (con eliminación de los fotogramas inmediatos) (Fig. 3).

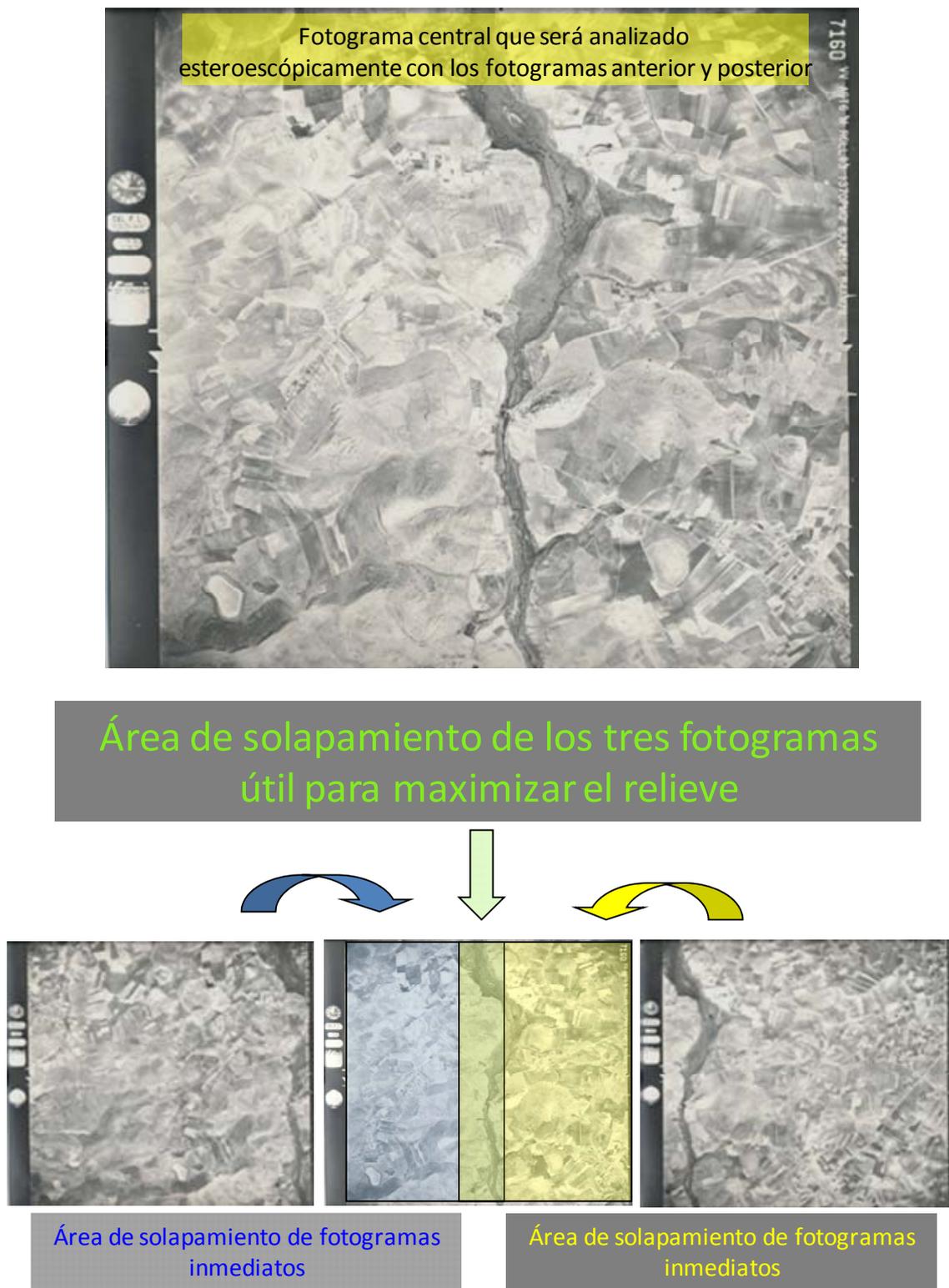


Fig. 3. Utilización de fotografías aéreas para el reconocimiento del relieve.

Esta herramienta es imprescindible en los estudios de tipo geomorfológico e interesante en todo trabajo que necesite conjugar topografía a otras realidades del

medio. En la interpretación se podrá utilizar todo el material adicional adecuado: mapas geológicos, geomorfológicos, cartografía topográfica de escala adecuada, etc.

Debe destacarse la necesidad de comprobar sobre el terreno la interpretación realizada en el análisis fotográfico.

Una parte destacada de esta guía está basada en la Teledetección, técnica explicada en otros manuales (Chuvienco, 2000 y 2010; Pinilla, 1995; Martínez-Vega y Martín, 2011 y Labrador *et al.*, 2012). En las imágenes seleccionadas para esta guía se aplican diversos tratamientos visuales y digitales con el fin de mejorar la discriminación de los elementos objeto de estudio. Aquí se hará hincapié en las aplicaciones de las imágenes de satélite en el medio físico y humano, pero no se explican con detalle estos tratamientos, dado que esto ya se realiza en los manuales citados anteriormente.

La Teledetección es una técnica en la que se obtienen imágenes de la tierra a través de distintos sensores, situados en plataformas aéreas o espaciales. Esta técnica se basa en la radiación electromagnética que reflejan o emiten los diferentes objetos y que, recogida por un sensor, es posteriormente tratada de forma digital y transformada en imágenes similares a una fotografía. Los sensores pueden emitir su propia energía (sensores activos) o captar las radiaciones emitidas por los objetos a partir de la energía solar (sensores pasivos). En sentido amplio, la teledetección no engloba sólo los procesos que permiten obtener una imagen sino también su posterior tratamiento, en el contexto de una determinada aplicación.

A través de la historia son numerosos los aparatos fabricados para transportar los sensores, aunque cabe destacar los aviones y los satélites heliosíncronos y geostacionarios.

En los estudios medioambientales la mayor parte de las imágenes utilizadas corresponden a satélites heliosíncronos. Su órbita está a una altura entre 700 y 1000 km y sobrevuelan cada punto de la tierra siempre a la misma hora. Son los satélites más utilizados para estudios de la litosfera, hidrosfera y biosfera.

Esta obra incluye numerosas imágenes de los satélites Spot y Landsat, pues se pueden obtener de forma gratuita en distintos servidores de *internet*.

Los satélites Landsat de la NASA están orientados hacia el campo de los recursos naturales y el ambiente. Estos satélites tienen una resolución espacial de 30 m en el espectro visible e infrarrojos próximos y medios, 60 (ETM, *Enhanced Thematic Mapper*) o 120m (TM, *Thematic Mapper*) en las bandas térmicas y 15 m en el pancromático (ETM), con una resolución espectral de 7 canales en el TM y 8 en el ETM, por lo que se obtienen buenas imágenes para estudios del paisaje, geología, vegetación y problemas de erosión/degradación. Sobrevuelan cada 16 días la misma área de la Tierra, por lo que también sirven para estudios multitemporales, aunque no para analizar procesos que cambien muy rápidamente.

Frente al dominio americano, con los satélites anteriores desde los años setenta, la agencia francesa CNES (*Centre National d'Études Spatiales*) en colaboración con Bélgica y Suecia, desarrolla el proyecto SPOT (*Système Pour l'Observation de la Terre*) lanzando en 1986 el primer satélite. Con el sensor HRV (*Haute Résolution Visible*), este satélite obtiene imágenes tanto en pancromático (resolución de 10 m) como en los espectros visible e infrarrojo próximo. Además, es capaz de variar su campo de visión, por lo que se pueden obtener visiones estereoscópicas, muy útiles en estudios geomorfológicos. Sus aplicaciones más genéricas son: diferenciación entre suelo desnudo y cubierto con vegetación, discriminación entre coníferas y árboles de hoja caduca, medida de la reflectancia en la región verde del espectro para determinar la salud de las plantas, estudio del contenido de biomasa, clasificación de coberturas del suelo, estudio de la sedimentación /erosión en medios litorales (deltas, barras, playas, tómbolos, etc.), reconocimiento de la línea de costa, cartografía de áreas costeras, identificación de áreas cubiertas de nieve, identificación de cenizas volcánicas, delimitación de masas de agua, etc. La alta resolución espacial de este satélite le hace ser también muy útil en cartografía urbana. En 1998 se lanzó el SPOT-4 (*Végétation*) con el objetivo de realizar un inventario global de las cubiertas vegetales. En este trabajo se han utilizado imágenes del satélite SPOT 5 lanzado en 2002, con cuatro canales espectrales desde el visible al infrarrojo próximo y resolución espacial de 10 m.

Existen pues, en el mercado, numerosos satélites y sensores con diferente resolución espacial, temporal, radiométrica y espectral. La disponibilidad de imágenes y su alto coste económico, así como el tiempo necesario para el tratamiento e interpretación, visual y digital, de toda la información obliga a plantearse una serie de consideraciones a la hora de afrontar un estudio medioambiental que permita escoger el satélite y sensor más adecuado para cada estudio, teniendo en cuenta como puntos más importantes:

- ✓ objetivo del estudio
- ✓ número de imágenes y fechas más adecuadas de las mismas
- ✓ escala de trabajo y, por tanto, resolución espacial
- ✓ resolución espectral o bandas del espectro electromagnético con las que es necesario trabajar
- ✓ disponibilidad económica

Para estudios ambientales resultan interesantes las series de imágenes históricas como fuente indiscutible de estudio sobre la evolución de muchos de los aspectos de los ecosistemas: litológicos, geomorfológicos, edáficos, climáticos, biogeográficos, etc. También el poder tener imágenes multitemporales, en diferentes estaciones del año, permite hacer un seguimiento continuado de los procesos, especialmente para análisis de erosión, degradación, incendios, etc.

En todo caso la Teledetección es una técnica de apoyo, que complementa, pero no suple, la información que podemos obtener mediante la fotografía aérea tradicional – que hoy tiende a abarataarse mediante helicópteros no tripulados en miniatura– y, sobre

todo, mediante el trabajo de campo. Ahora bien, las numerosas investigaciones que se ha realizado sobre terrenos conocidos, con datos de campo y múltiple información medioambiental, facilitan la interpretación de las imágenes que envían los satélites, tanto visual como digitalmente. Extrapolando esta información, podemos conocer, sólo a través de las imágenes, muchos datos de lugares a los que el acceso directamente del hombre o de otros aparatos está totalmente vedado, como ocurre en la actualidad con numerosas imágenes que los científicos tratan de interpretar sobre la composición de otros planetas o, incluso, más próximas a nosotros, en regiones casi inaccesibles de la Tierra.

Esta guía se propone presentar unos pocos ejemplos de algunos paisajes más característicos del Centro peninsular, elegidos por su diversidad y por la proximidad a la sede de la Universidad Complutense de Madrid.

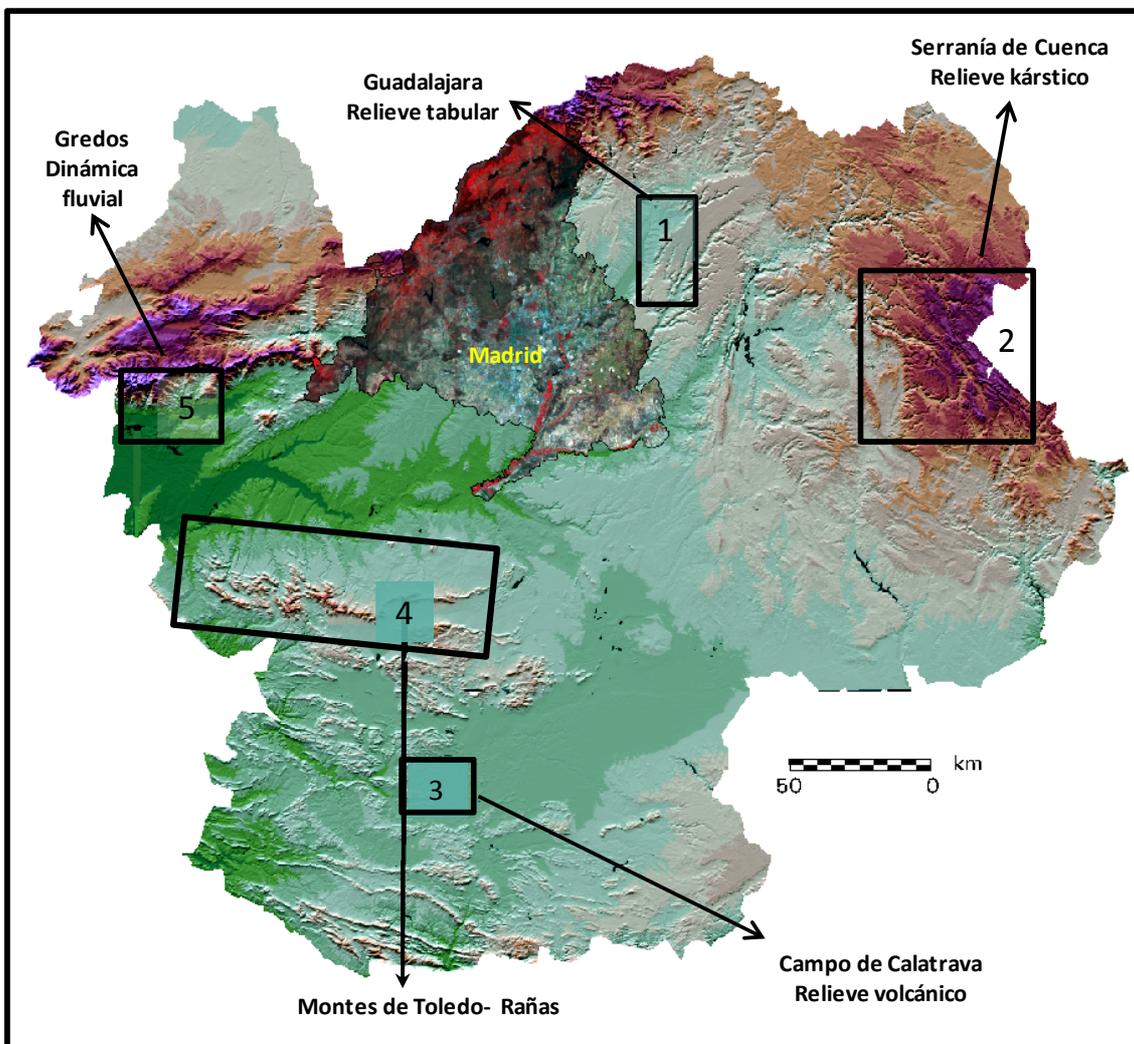


Fig. 4. Localización de las cinco áreas de estudio en una representación cartográfica extraída de un modelo digital del terreno (MDT) y en una imagen Landsat-TM de Madrid.

No pretende esta guía ofrecer un estudio completo y acabado ni siquiera de las áreas escogidas, una labor por otra parte totalmente inabarcable, dado que se debe respetar la iniciativa del profesor y del alumno. En algún caso, se puede sugerir ulteriores tratamientos o investigaciones con ánimo de fomentar la continuación del trabajo.

La exposición de áreas de trabajo está basada en una progresiva dificultad. Tomamos la geomorfología, esto es, el estudio del relieve, como básico y previo en el análisis del territorio, en la medida que da explicación a lo más perdurable del paisaje. Como se sabe lo litosférico –en el sentido literal de esfera del roquedo- constituye la mayor masa (> 80%) de las que entran en juego en los territorios, muy por encima de las masas hídricas, biológicas o atmosféricas, y no digamos antrópicas o antropoinducidas. A mayor masa también mayor inercia, o lo que es lo mismo, resistencia al cambio: la base litosférica es la menos cambiante, la más perdurable de cuantas componen el paisaje, aunque no siempre sea la más característica de un territorio, la que le imprima más carácter.

Así se comienza con el tipo de modelado más simple, el propio de una cuenca de sedimentación que apenas ha sufrido posterior evolución salvo en que la red fluvial se haya encajado en ella. Se continúa con un relieve en estructuras plegadas y falladas, aunque no demasiado complejo en cuanto que se trata de una cobertera suavemente plegada y localmente fallada por la actividad de un zócalo infrayacente. Complejidad creciente ofrece el Campo de Calatrava inmediato a Ciudad Real por introducir en un relieve apalachense con amplias depresiones terciarias la novedad del vulcanismo finiterciario y cuaternario. Los Montes de Toledo son otro ejemplo, más vigoroso eso sí, de relieve apalachense, a cuyo pie septentrional se depositarán las rañas. Finalmente se tomó Candeleda y sus inmediaciones como ejemplo de deposición aluvial de abanicos.

En cualquiera de las áreas elegidas se hace una presentación general para ir descendiendo poco a poco al detalle. Así se aprovecha para abordar algún problema más específico en los lugares escogidos: la diferenciación entre anteceros, cerros testigo y cerros tobáceos en Guadalajara; la génesis y posterior evolución de dolinas en los ejemplos de la Cadena Ibérica; la importancia local y regional de las posibles corazas ferruginosas y encostramientos férricos en el Campo de Calatrava; la problemática de la raña en el contexto de los Montes de Toledo y, finalmente, la dinámica torrencial y sus peculiaridades en la cara meridional del Alto Gredos en Candeleda.

La importancia que las imágenes fotográficas tienen en Geografía, especialmente las clásicas tomadas sobre el terreno, nos ha sugerido que no podía estar completado un capítulo sin el comentario adecuado de, al menos, una fotografía. Así pues, y con ánimo de mantener todo aquello que de positivo tiene la tradición geográfica y que sin duda ayuda a una más profunda captación de la realidad espacial, se agrega a cada área un ensayo de comentario, cuyos principios de análisis se esbozan a continuación.

EL COMENTARIO DE UNA IMAGEN GEOGRÁFICA

ANÁLISIS.

Lo que se ve en la imagen.

I. Identificación.

- Tipo de paisaje que aparece en la imagen.

II. Estructura del paisaje.

- Unidades que aparecen.
- Elementos que componen cada unidad.

III. Descripción del paisaje.

- Descripción o caracterización de las unidades y elementos citados.

COMENTARIO GEOGRÁFICO

Además de lo que se ve (los hechos geográficos), sus componentes (unidades y elementos), deben tenerse en cuenta su explicación (causas o factores), las consecuencias que se originan o pueden desprenderse de esos hechos y su posible localización. Considerar los siguientes puntos:

- I. Tipos de paisaje.
- II. Estructura del paisaje.
- III. Características que presenta.
- IV. Factores que intervienen e interrelación entre los de carácter natural y los antrópicos.
- V. Consecuencias, tanto existentes como posibles

RECOMENDACIONES

1. Empezar y acabar bien. La imagen no es un cuadro, ni un gráfico, sino una lámina o fotografía que muestra paisaje geográfico natural, agrario, rural, urbano, industrial...., que hay que identificar.
2. Describir y analizar únicamente lo que se ve en la imagen, fijándose en sus principales señas de identidad, lo que lo caracteriza.
3. No hacer afirmaciones tajantes (como paisaje kárstico, roquedo granítico, especie vegetal o cultivo concreto, ciudad tal o cual, etc.), salvo cuando sea muy claro, por lo que se deben presentar diversas hipótesis o posibilidades.
4. Hay factores que intervienen en la caracterización de un paisaje que no se ven, sino que se deducen (clima, litología, vegetación, influencia del mar, caracteres demográficos); otros sí (orografía, vías de transporte, actividad económica, poblamiento, etc.).
5. Hacer referencia a la relación existente entre los distintos elementos geográficos y los factores que aparecen o se deducen de la imagen.

TÉCNICA DEL COMENTARIO DE UNA IMAGEN GEOGRÁFICA

COMENTARIO GEOGRÁFICO

Lo que se ve (los hechos geográficos), sus componentes (unidades y elementos), su explicación (causas o factores), las consecuencias que se originan o pueden desprenderse de esos hechos y su posible localización. Tener en cuenta los siguientes puntos:

- I. Tipos de paisaje.**
- II. Estructura del paisaje.**
 - Unidades
 - Elementos
- III. Características que presenta.**
 - Geomorfología (topografía y litología) e hidrografía.
 - Vegetación (formaciones y especies vegetales)
 - Usos del suelo
 - Poblamiento y hábitat rural (localización y caracteres)
 - Estructura y morfología urbanas
 - Morfología industrial, minera o energética.
 - Localización y caracterización turística o de las comunicaciones
- IV. Factores que intervienen e interrelación entre los de carácter natural y los antrópicos.**
 - Naturales (Geología, topografía, clima, hidrografía, vegetación y edafología)
 - Humanas (Ocupación del territorio y actividades económicas)
 - Herencia histórica
- V. Consecuencias, tanto existentes como posibles (realidades y potencialidades)**
 - Pervivencia de los paisajes actuales
 - Cambios de usos del suelo
 - Impactos ambientales
 - Transformaciones urbanas
- VI. Posible localización espacial de la imagen.**

Tras esta guía metodológica, si se lograra descubrir o avivar la curiosidad geográfica en el lector por desgranar la interpretación de los diferentes paisajes, se habría cumplido con creces el objetivo de esta obra.

I. Relieves tabulares: Guadalajara (Chiloeches e Hita)

Este capítulo se centra en dos áreas de la provincia de Guadalajara (Chiloeches e Hita), caracterizados por relieves tabulares. La topografía de estos sectores son ejemplos de relieve estructural de centro de cuenca de sedimentación.

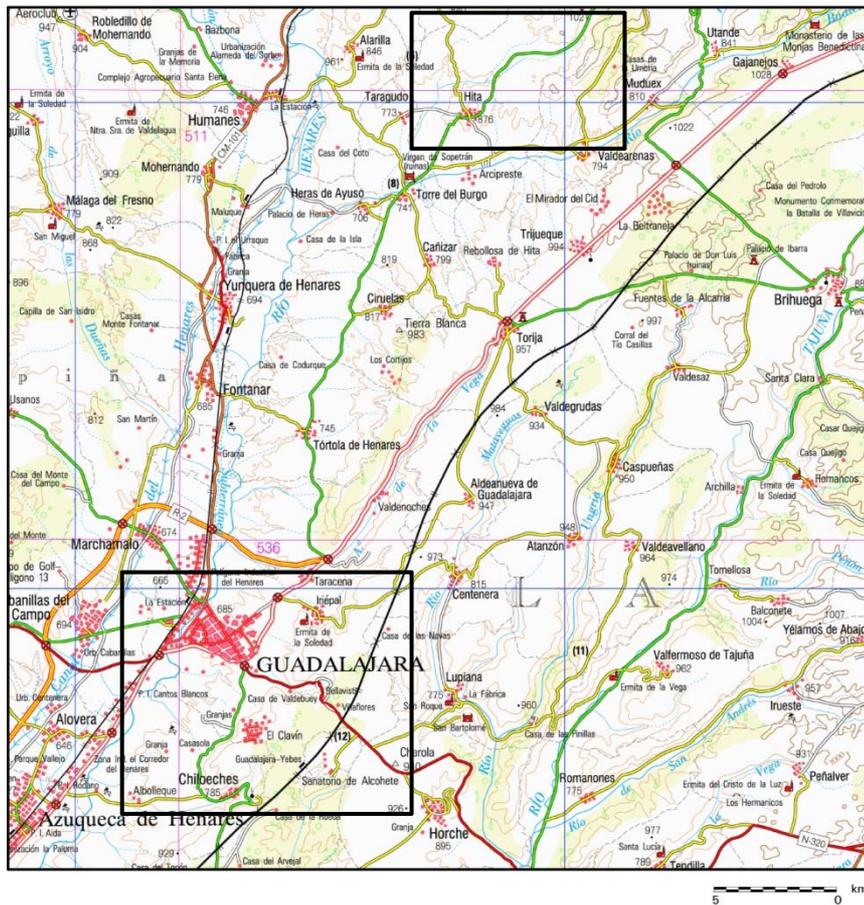


Fig. 5. Localización de áreas de estudio en el mapa topográfico 1:200.000, Guadalajara.

Las características de estos relieves tabulares son:

- **Rocas sedimentarias** (propias de una cuenca de sedimentación)
- **Estructura aclinal**, a veces denominada tabular, dadas las formas en mesa que genera

- Por ello, todo el relieve es fruto de los agentes erosivos, en principio, la **incisión fluvial**, por ser el agente más común en España

En estos relieves actúa el juego del binomio roca dura/ roca blanda.

I) ROCAS RESISTENTES (a la erosión)

a) las rocas duras pueden tener posición culminante

→ **mesa**, si la extensión es grande

→ sombrero, techo del **cerro testigo**, si la extensión es limitada

b) las rocas duras tienen posición intermedia en la serie estratigráfica

→ génesis de **rellanos** en un **graderío estructural**

c) en posición basal

→ generan un “suelo” topográfico (nivel de base local)

II) ROCAS BLANDAS (menor resistencia a la erosión)

a) en posición culminante

→ sólo se conservan si se apoyan en rocas resistentes infrayacentes

b) en posición intermedia de una ladera

→ generan laderas de mayor o menor pendiente según sea mayor o menor el tamaño de grano en las rocas detríticas, o mayor o menor la resistencia a los agentes modeladores

c) en posición basal:

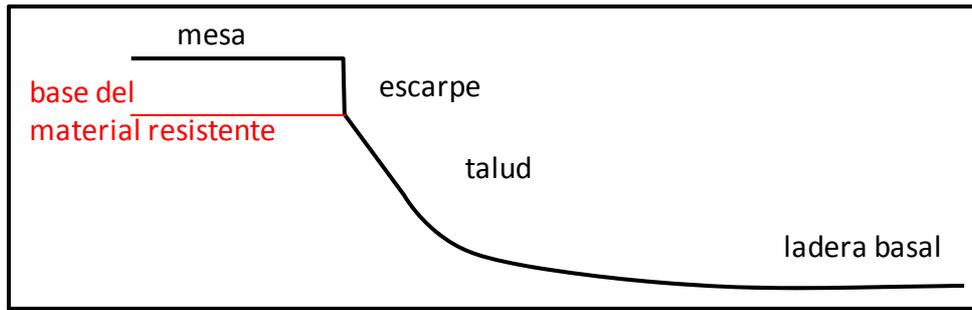
→ dan lugar a profunda incisión, consecuencia de su debilidad

- La destrucción erosiva del sombrero de roca dura en una serie que posee rocas blandas infrayacentes da origen a un **antecerro**. Su reconocimiento se realiza por la conjunción de varios elementos:

a) características propias de una cuenca de sedimentación

b) proximidad de mesas y/o de cerros testigo

Así los relieves tabulares se descomponen en una plataforma culminante, una cornisa (escarpe casi vertical coincidente con la potencia del material duro), un talud pronunciado en altura que se va haciendo más tendido (ladera basal) al aproximarse al nivel de base, como se muestra en el dibujo adjunto.



En la terminología clásica española estas partes se llamaban: páramo, cuesta y vega.

Otras características de estas áreas son:

- Si la roca culminante es calcárea, esto es, dura, y las mesas de mayor o menor extensión y potencia, pueden aparecer formas kársticas, en especial con suficiente potencia de roca karstificable:

depresiones endorreicas con o sin exutorio y con o sin *ponor* (sima)

→ la denudación kárstica (disolución de calizas) progresará hasta alcanzar niveles no karstificables infrayacentes

→ génesis de dolinas o uvalas de paredes tanto más pronunciadas cuanto mayor sea la potencia de las rocas karstificables

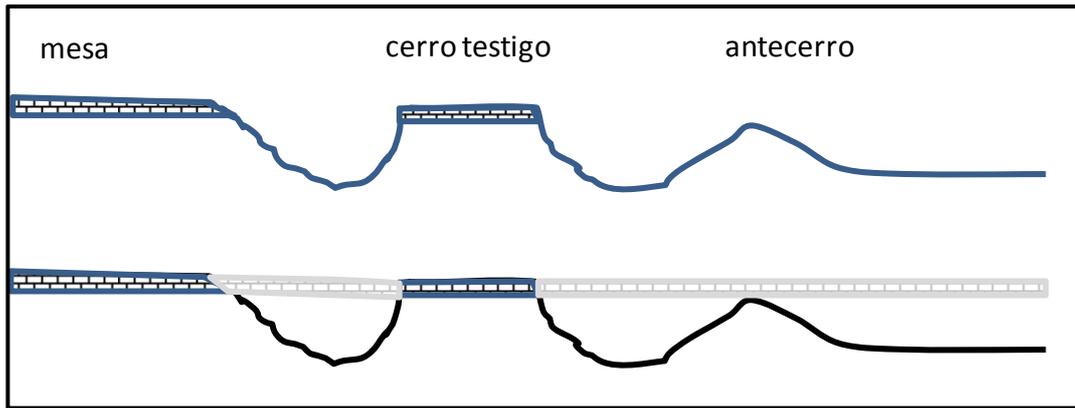
→ con potencia calcáreas reducidas, aparición de dolinas pandas, de mayor eje *x* e *y* que *z*

→ la progresión erosiva estará controlada por la antigüedad y virulencia del proceso

Como fenómeno asociado a la disolución kárstica puede aparecer el depósito de calizas en manantiales: **tobas calcáreas**. Éstas, si son suficientemente importantes, podrían generar relieves en resalte, especialmente si el depósito se localiza en un entorno de rocas deleznales.

- En las rocas arcillosas y limosas podrá aparecer el típico relieve de **cárcavas** o badlands propio de las aguas encauzadas en materiales impermeables de fuerte pendiente
- En las rocas limosas se podrá generar un **relieve ruiforme** de cárcavas menos afiladas con frecuentes ejemplos de subfosión (*piping*)

Evolución geomorfológica del paisaje: a partir de una superficie estructural (materiales horizontales que imponen una topografía plana, acorde con su estructura), las mesas, la erosión incide en determinadas áreas y aísla algunos cerros testigo (testigos de que la superficie estructural fue más amplia en el pasado geológico) y, cuando ha desaparecido la capa dura protectora, comienza el desmantelamiento del material infrayacente, relieve al que se llama antecerro.



El material seleccionado en este capítulo es:

1. Imágenes Landsat-TM de la escena 201/32 del 25-07-2010 y 26-06-2011
2. Imagen Spot-5 268/35 del 25-09-2009
3. Modelo digital del Terreno (MDT), escena 201/32
4. Ortofotografías aéreas obtenidas del servidor “*Iberpix 2*” del I.G.N.
5. Imágenes del Google Earth ©
6. Mapas topográficos en formato raster a escala 1:200.000 (Guadalajara) del I.G.N.
7. Mapas Geológicos del Magna 1:50.000: 511 (Brihuega) y 536 (Guadalajara)
8. Fotografías aéreas del vuelo nacional de septiembre de 1983, 1:30.000, Hoja 536, fotogramas 3686 y 3687.
9. Fotografías convencionales *in situ*

Tras este marco geomorfológico, se irá entrando progresivamente en el detalle, comenzando con una visión de toda la comarca, a partir de la imagen de satélite.

En la imagen Landsat TM en pseudocolor se identifican por su patrón espacial y color distintas unidades geomorfológicas y usos del suelo (Fig. 6). Las formas de relieve que mejor destacan son:

- la superficie del páramo mioceno: techo y frente
- los valles que inciden en el páramo
- anteceros u otros
- la campiña
- la vegas de los ríos
- la superficie de la raña (será objeto de estudio preferente en el capítulo de los Montes de Toledo).

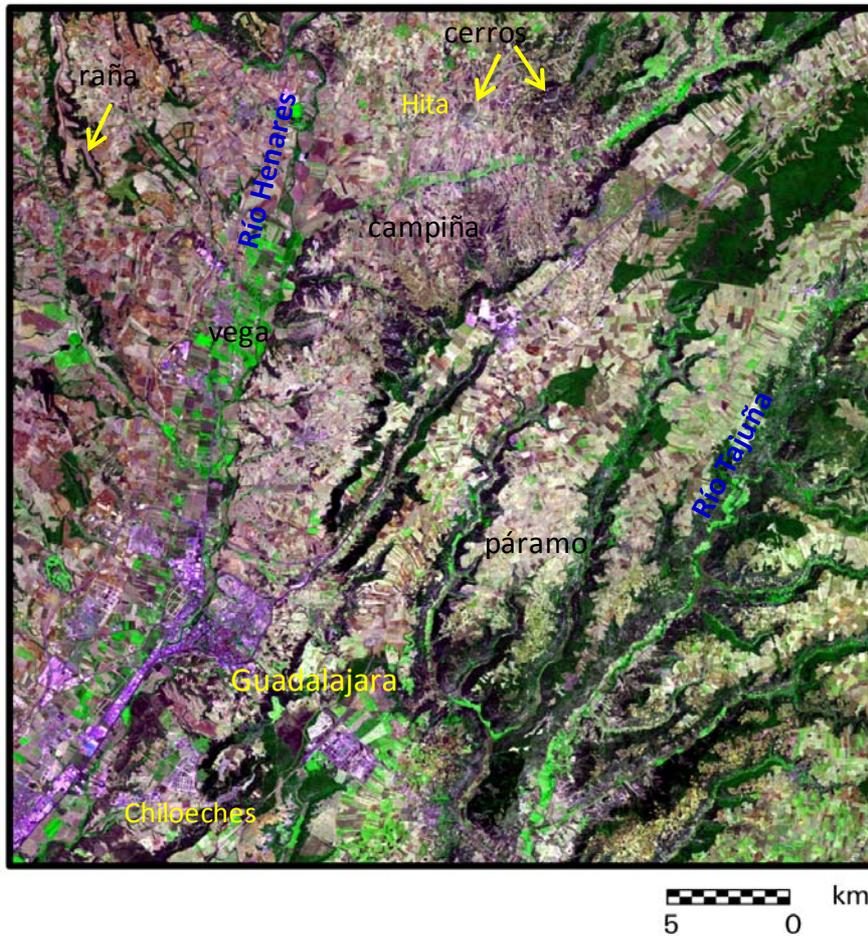


Fig. 6. Imagen Landsat-TM, bandas 3-4-1 (rojo, verde y azul: R-V-A) del 25-07-2010.

Respecto a las coberturas del suelo se reconocen fácilmente en color morado y formas geométricas los núcleos urbanos, urbanizaciones, naves industriales e infraestructuras viarias. Los cultivos en regadío de las vegas de los ríos (Henares, Tajuña, etc.) en verde claro y, en verde oscuro la vegetación arbórea y arbustiva (pinos de repoblación, encinares, coscojares, etc.). Los cultivos de secano, ya recolectados la mayoría en esa fecha, ofrecen tonos muy claros, especialmente sobre el techo del páramo, mientras que las parcelas de la campiña, con textura más arcillosa, tienen tonos rojizos.

El MDT muestra que la superficie del páramo pierde altitud del NE al SW, con un descenso de unos 50 m. Esto significa que ya se pudo generar como estructura ligeramente inclinada hacia el depocentro (centro de depósito de la cuenca de sedimentación) que se ubicaría en la actual Mesa de Ocaña, ya fuera de esta imagen. Esta superficie está cortada por ríos que erosionan los frentes de las mesas estructurales formando una red dendrítica con densidad media y cabeceras en forma pinzada, características de los materiales calcáreos. En algunos bordes del páramo, fuertemente atacado por la erosión, quedan relieves residuales, constituyendo anteceros u otros, que todavía conservan el techo calizo de mayor resistencia (Fig. 6 y 7). Por otra parte se observa que la superficie de la raña, nacida a mayor altitud fuera de la imagen, pierde

más altitud al recorrer un espacio menor, por lo que tiene una pendiente mayor. Este hecho avala su juventud respecto de la superficie del páramo, dado que la cortaría.

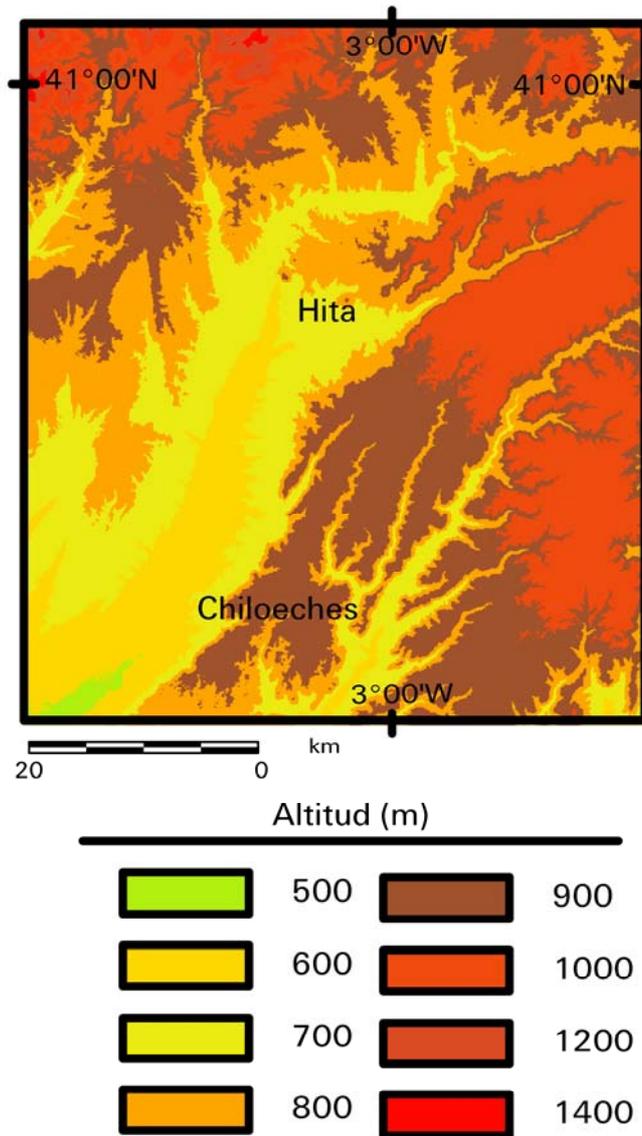


Fig. 7. MDT, escena 201/32 (GLCF, 2012).

A) *Relieves tabulares en los alrededores de Hita (Guadalajara)*

La imagen Spot-5 en falso color 1-2-3 (R-V-A), con 10 metros de resolución espacial, discrimina con claridad las distintas formas tabulares: páramos, oteros y cerros testigos (Fig. 8.). El techo del páramo destaca por su horizontalidad y por el dominio de cultivos de secano, con colores claros. El frente del páramo sustenta un bosque mediterráneo, con mayor desarrollo en las vertientes noroeste que se refleja en tonos granates; por el contrario las vertientes al sudeste están más expuestas a la erosión, con procesos de acarcavamiento, por lo que tienen menor cobertura vegetal, que ofrece tonos más claros.

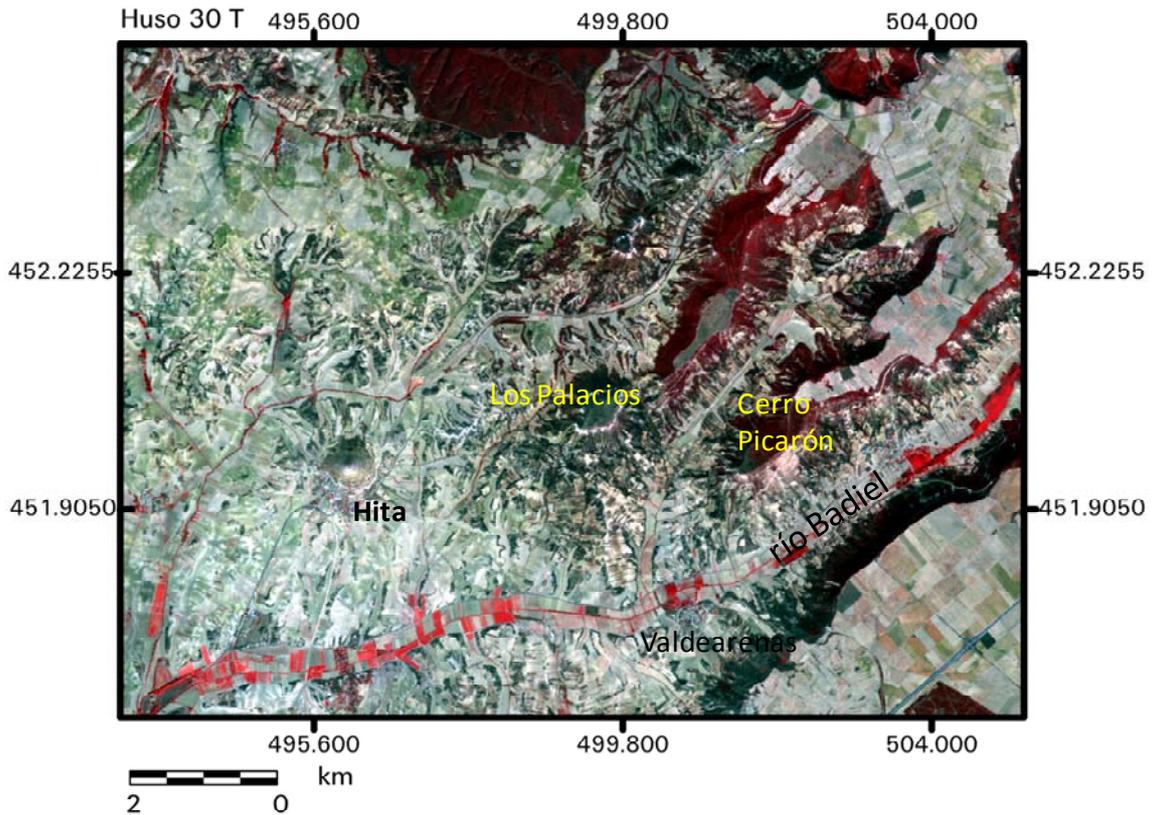


Fig. 8. Imagen Spot5-25-09-2009, bandas 1-2-3 (R-V-A). Mejora radiométrica con ajuste de color (Porcentaje LUT).

Esta imagen también permite identificar los estratos horizontales de formas menores, como los cerros testigo de Hita y Los Palacios. La red fluvial dendrítica alcanza una mayor densidad en la campiña, pues incide en materiales blandos. Las vegas de los ríos, dedicadas a cultivos de regadío resaltan en rojos intensos.



Fig. 9. Relieves tabulares residuales: cerros testigo de Hita y Los Palacios.

En el mapa geológico de Brihuega puede verse la degradación erosiva de la mesa del páramo, a través de dos cerros testigo progresivamente menores hasta llegar a la forma cónica del tercer cerro testigo a cuyo pie se sitúa Hita, que, dada la mínima extensión del caparazón calcáreo, más parece un antecerro (Fig. 10). Obsérvese que de E a W la altitud de la mesa del páramo es de 1010 m, 1001 m el apuntamiento septentrional de Los Palacios, 1014 m en el Cerro Picarón y 981 m en el cerro de Hita. Estas diferencias de altitud pueden explicarse sin necesidad de recurrir a extravagantes teorías gracias a la propia disposición original de los materiales de relleno de la cuenca sin descartar la tectónica de suaves basculamientos que ha sufrido la Fosa de Madrid.

Nótese igualmente la proliferación de niveles carbonatados hacia el depocentro (centro de depósito) de la cuenca: Hita posee 5 niveles frente a los 2 debajo de la mesa alcarreña.

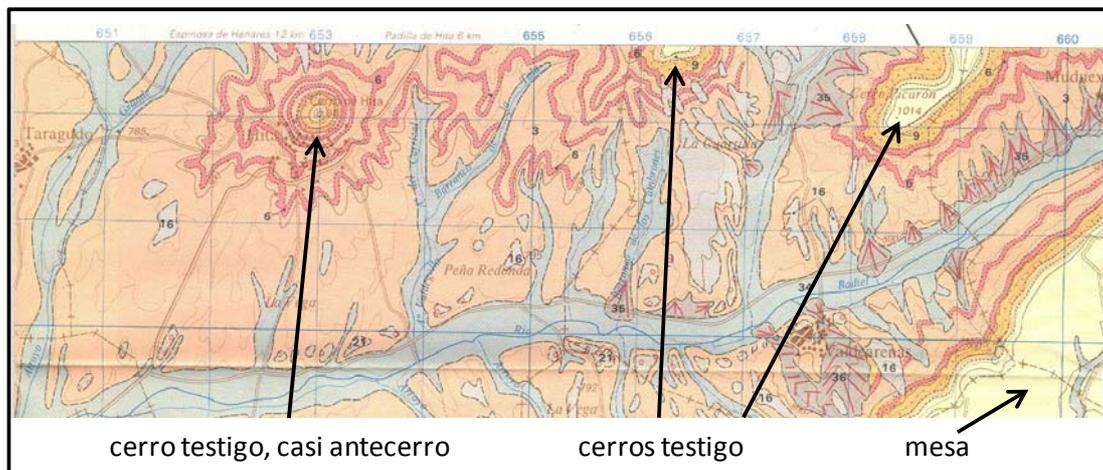


Fig. 10. Mapa geológico, Hoja 511 (Brihuega). Ver leyenda en: <http://www.igme.es/internet/cartografia/cartografia/magna50.asp>

La imagen en falso color de los componentes principales permite detectar la red fluvial, que destaca en color azul. La población de Hita está emplazada al SW del cerro testigo, al abrigo de los vientos del norte. También se observan los estratos horizontales y la escasa extensión de la cornisa calcárea. Las infraestructuras viarias se diferencian de los cursos fluviales por su coloración rosada.

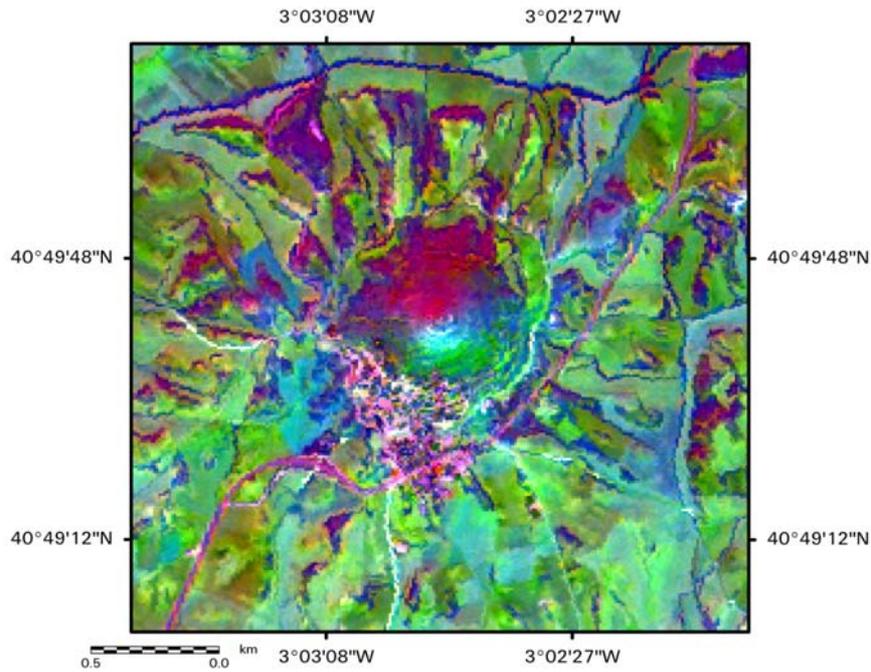


Fig. 11. Componentes principales de la imagen Spot-5. Bandas 3-1-4 (R-V-A).

A partir de la imagen de los componentes principales puede cartografiarse la red de drenaje, que en torno al cerro de Hita tiene forma radial.

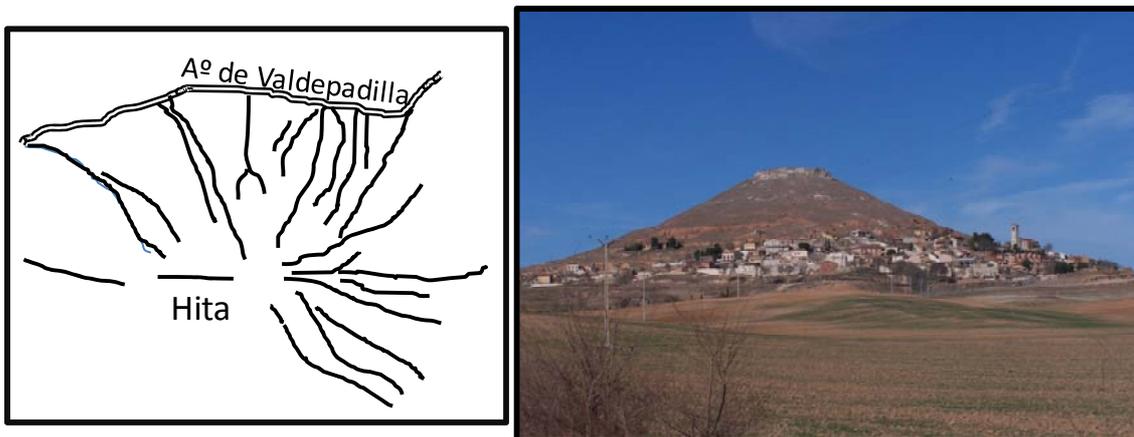


Fig. 12. Red dendrítica radial y paisaje de Hita.

En la fotografía anterior se observa la culminación del cerro de Hita con sombrero calcáreo, tan minúsculo que resulta difícil su representación cartográfica. Ésta tiene que

ser exagerada en algunas ocasiones (“expresionismo cartográfico”) con tal de que sea expresiva de lo que se quiere destacar en el mapa.

La población se localiza en la cara S, probablemente al abrigo de los vientos que se encallejonan en el corredor del Henares, o buscando la orientación más cálida a mediodía. Por otra parte se apoya en los niveles calcáreos lo que favorece la cimentación.

En la ladera superior se puede observar los diversos bancos calcáreos (blanquecinos) que, a tenor de su escasa potencia, apenas dan origen a rellanos y cornisas.

Imágenes de más detalle pueden obtenerse del I.G.N. Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) (Fig. 13). En el cerro de Hita destaca con forma elíptica la cornisa calcárea de la cumbre, más resistente. Los materiales sedimentarios del frente están bastante erosionados, pero sí pueden diferenciarse los estratos horizontales (a) de los bancales realizados para el aprovechamiento agrícola (b).



Fig. 13. Ortoimagen de Hita. www.ign.es

En otra imagen obtenida mediante componentes principales entre el cerro testigo de Los Palacios y la superficie del páramo (Fig. 14) se destaca:

- en verde claro la vegetación natural muy densa, que se corresponde con matorral-pinar en las laderas NW de los páramos y cerros, con vegetación de ribera y cultivos en regadíos.
- en rosa y magenta la vegetación poco densa de las laderas del SE de los páramos y cerros testigo próximos
- en blanco los sedimentos horizontales constituidos por niveles carbonatados y margas yesíferas
- en azul los suelos desnudos correspondientes a las parcelas ya recolectadas o en barbecho

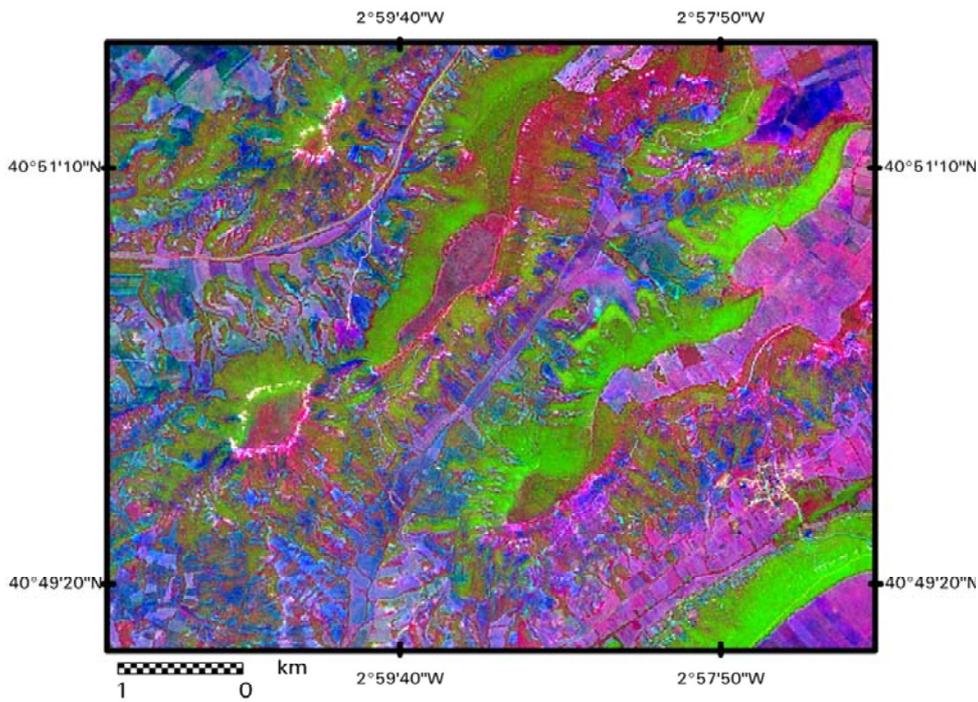


Fig. 14. Componentes principales de la imagen Spot-5 (4-3-1, R-V-A).

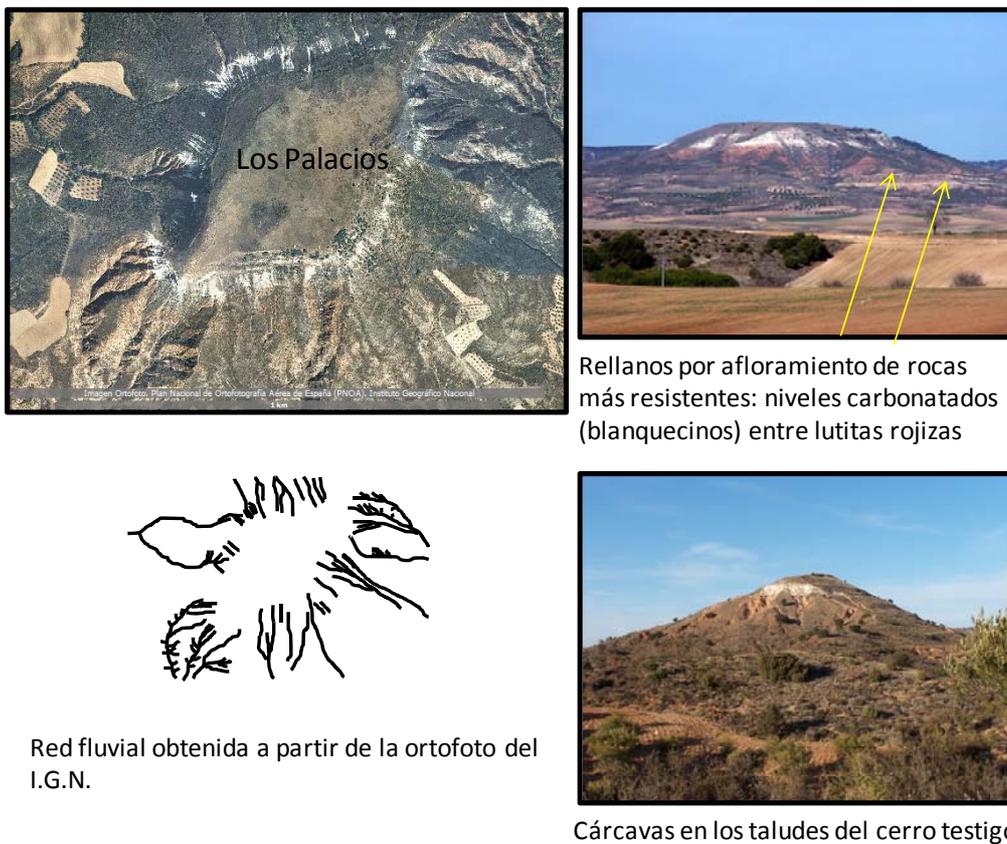


Fig. 15. Relieves tabulares residuales al este de Hita. Superficie estructural de la mesa (Alcarria) y graderío estructural propio de las áreas centrales de cuenca con suficiente diferenciación litológica.

En la imagen del I.G.N. y en las fotografías de campo (Fig. 15) se observa la intensa incisión fluvial en los sedimentos de la campiña que erosiona los taludes del cerro de “Los Palacios”. Esto da lugar a una red fluvial radial en torno al cerro, con sectores dendríticos o arborescentes en la campiña y pinnados en las cárcavas. En estos relieves residuales los sedimentos horizontales carbonatados destacan en color blanco.

B) Relieves tabulares en las proximidades de Chiloeches (Guadalajara) y depósitos tobáceos

Los páramos calizos situados cerca de Guadalajara constituyen relieves fácilmente identificables mediante teledetección. Asociados a estos páramos surgen durante el Cuaternario cerros tobáceos formados a partir del depósito por precipitación química de los carbonatos disueltos en las aguas. Uno de los más característicos se encuentra en el Mirador de Chiloeches.

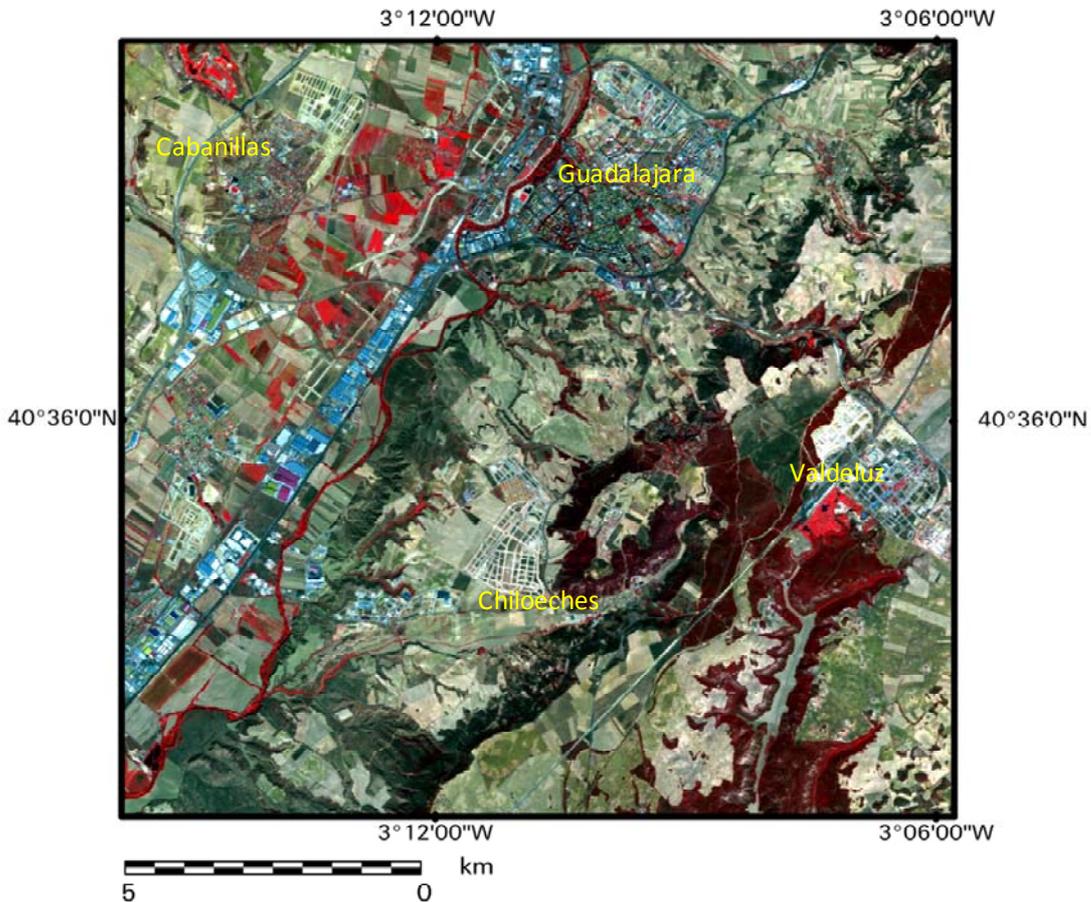


Fig. 16. Imagen Spot-5: bandas 3-2-1 (R-V-A).

A partir de la imagen Spot se discriminan los diferentes elementos del páramo: techo calcáreo, cornisa y talud, así como el uso del suelo en un momento dado. Destacan en rojo intenso los recientes campos de golf, situados en los municipios de Valdeluz y Cabanillas. En este mismo color aparece la vegetación higrófila, que sigue el curso de los ríos y las parcelas en regadío, pero se diferencian entre sí por sus distintos patrones espaciales. En tonos granates destaca la vegetación perennifolia, pinares de repoblación, encinares y coscojas. En verdes oscuros aparecen las superficies no cultivadas, con escaso recubrimiento vegetal (matorral-erial). En verde claro las parcelas con cereales de secano, vid, olivos y almendros. Entre las superficies urbanizadas puede distinguirse el núcleo urbano más antiguo, con tejados de teja (verde oscuro) de las naves industriales (azul claro) del Corredor del Henares y los proyectos inacabados de nuevas edificaciones (color blanco y plano regular). Debe destacarse que algunas naves industriales están instalando sus cubiertas con materiales mejor adaptados a los cambios térmicos (cubiertas verdes), que en esta imagen se ven en morado y formas rectangulares.

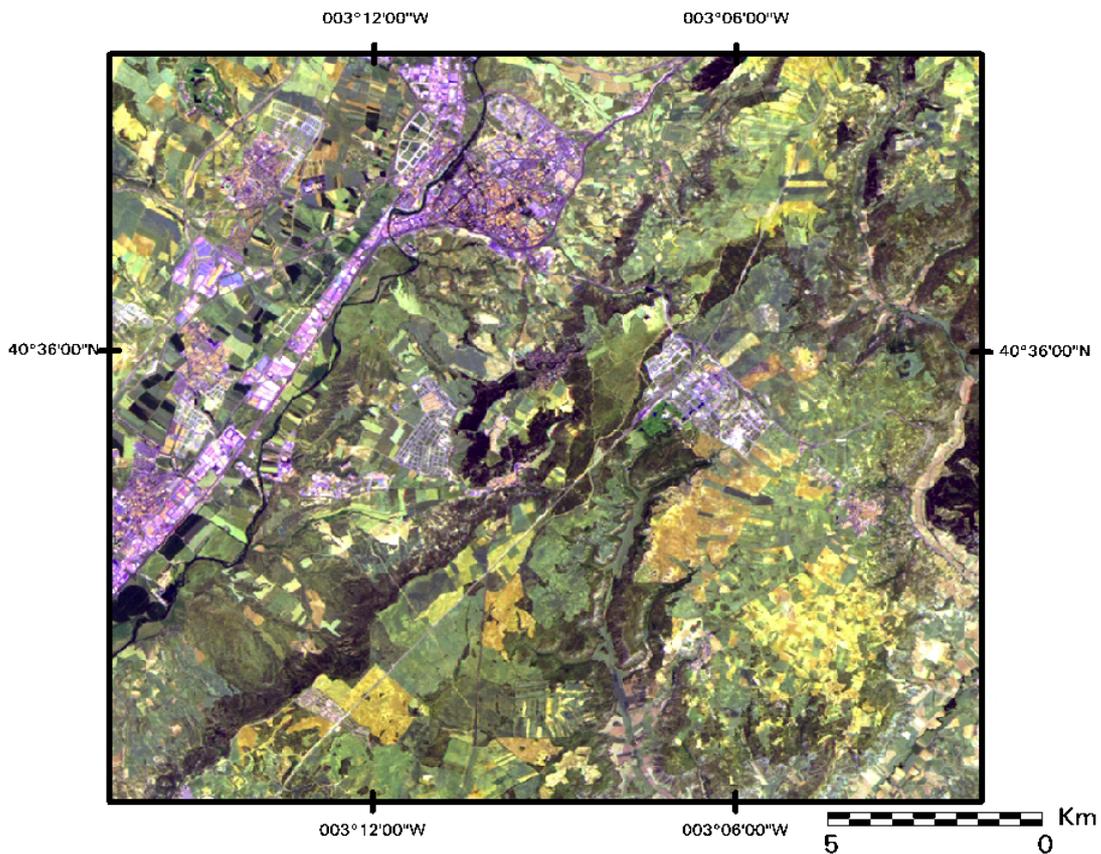


Fig. 17. Imagen Landsat TM 7-5-1 (R-V-A), 26-06-2011.

Otra forma de cartografiar los suelos sellados es mediante imágenes Landsat, que aún con menor resolución espacial, su mayor resolución espectral permite combinar bandas que resalten el crecimiento urbano y las infraestructuras. La combinación de bandas 7-5-1 (R-V-A) es adecuada para discriminar los suelos sellados, que aparecen en tonos morados. Así destacan el crecimiento industrial del Corredor del Henares y las

urbanizaciones y nuevos proyectos urbanísticos impulsados por el efecto frontera Madrid-Guadalajara. Por el contrario esta combinación de canales no permite diferenciar entre los usos agrícolas, ganaderos y forestales, ya que todos ellos aparecen en la gama cromática del verde al amarillo.

A partir de las imágenes analizadas se seleccionó la imagen Spot para realizar una clasificación supervisada para cartografiar las diferentes ocupaciones del suelo. Se han escogido seis clases correspondientes a:

- Superficies de agua: estanques de los campos de golf, cursos fluviales (visibles al ampliar la imagen) y graveras
- Vegetación natural: pinar, encinar, matorral mediterráneo (coscoja y plantas aromáticas principalmente) y pastos
- Cultivos en regadío y vegetación higrófila: ocupan poca superficie, dado que su lugar natural, la vega de los ríos está sellada por uso industrial y urbano
- Suelos sellados urbano-industrial: destacan en color rosa las infraestructuras viarias (AVE, autopista, carreteras, caminos y red viaria de nuevas urbanizaciones) y el entramado urbano de Guadalajara, núcleos próximos y la ocupación industrial del Corredor del Henares
- Cultivos en secano: cereales, viñas, frutales, olivos, etc.
- Suelo desnudo: incluye las parcelas en barbecho y suelos muy erosionados



2 0 km

Leyenda

	agua		sellado: urbano-industrial
	vegetación natural		secano
	regadío-veg. higrófila		suelo desnudo

Fig. 18. Clasificación supervisada con el algoritmo de mínima distancia a partir de la imagen SPOT 5 del 25-09-2009.

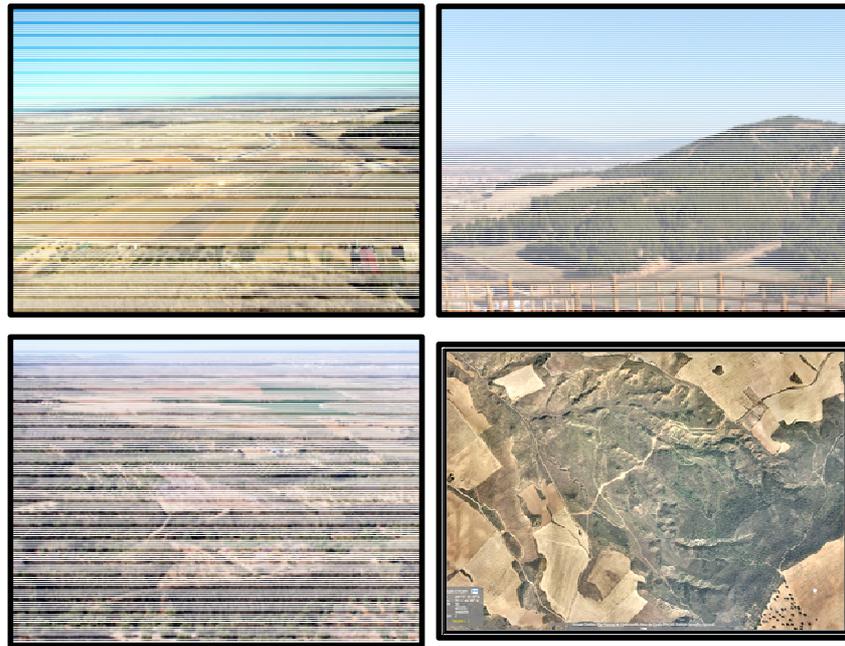
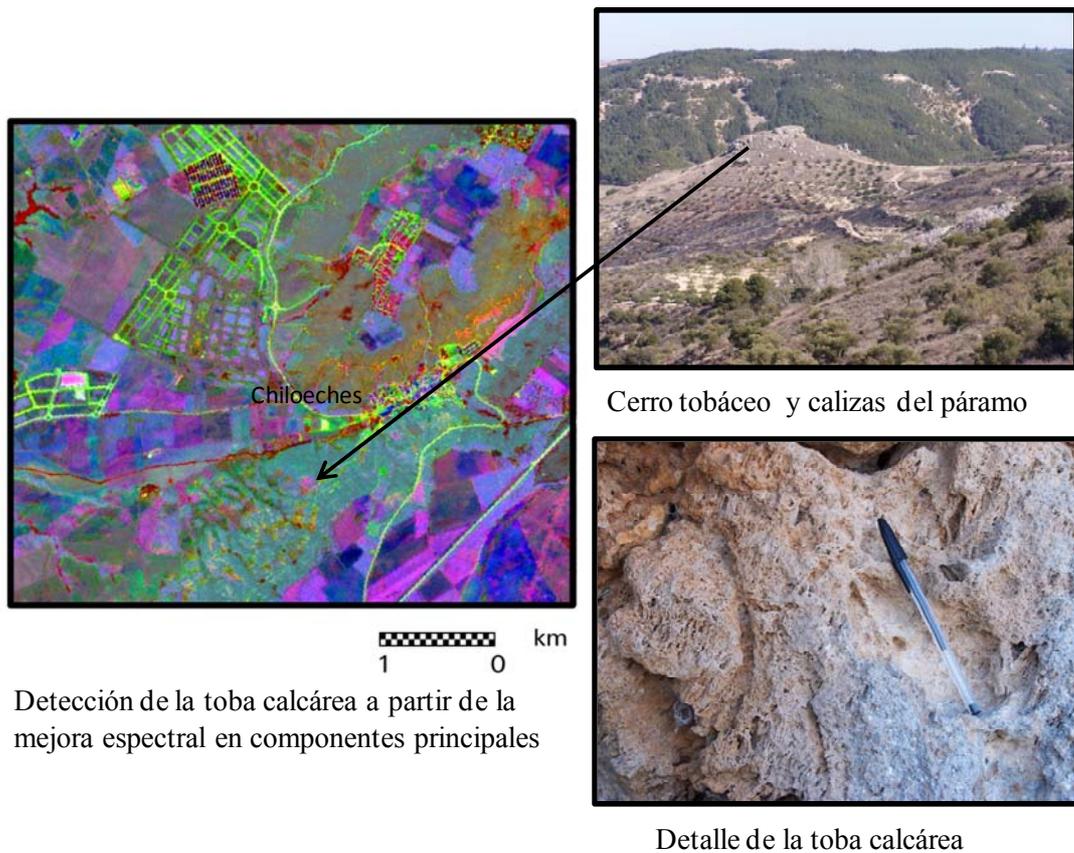


Fig. 19. Fotografías de los usos del suelo dominantes y ortofoto (I.G.N., 2012).

La imagen en componentes principales es de gran utilidad para detectar el sellado del suelos por infraestructuras viarias y urbanizaciones, pues resaltan en verde claro.



Detección de la toba calcárea a partir de la mejora espectral en componentes principales

Cerro tobáceo y calizas del páramo

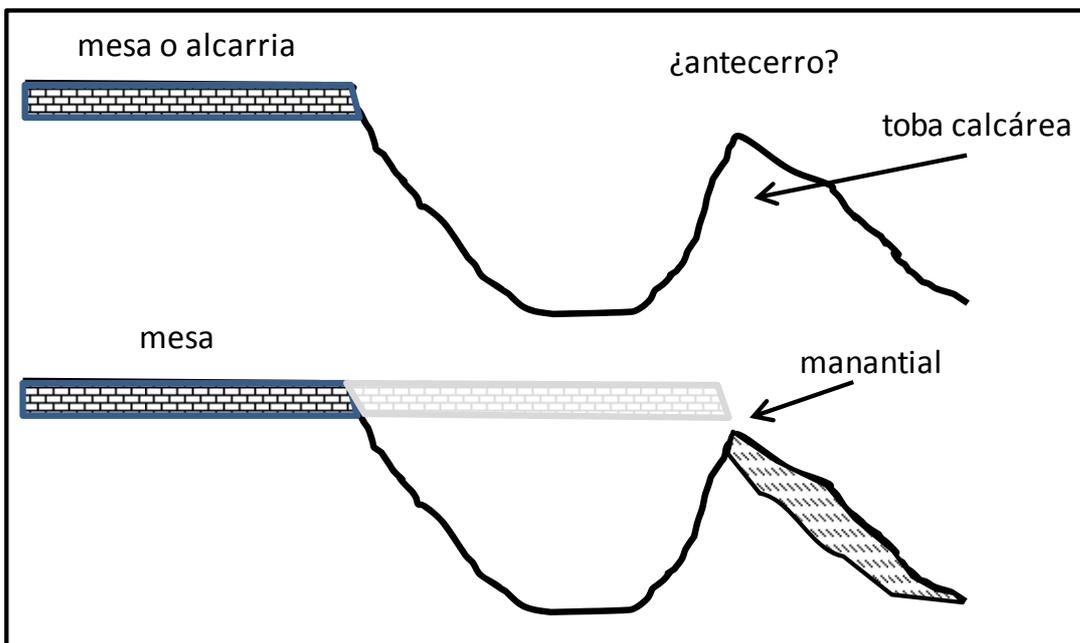
Detalle de la toba calcárea

Fig. 20. Componentes principales de la imagen Spot del 25-09-2009 y fotografías de la toba calcárea.

Los materiales ricos en carbonatos, dominantes tanto en la superficie del páramo como en los suelos de campiña y formaciones tobáceas, adquieren colores violetas. Sin embargo, esta mejora espectral no permite separarlos entre sí, por lo que es imprescindible la visión estereoscópica de la fotografía aérea. La vegetación de ribera, cultivos en regadío y frondosas se discriminan en rojo.

Interpretación del relieve en torno a Chiloeches, en especial del cerro del Mirador del Castillo a partir de imágenes de libre acceso (Google Earth ©), fotografía aérea y trabajo de campo

Al S de Chiloeches se aprecia un relieve de forma aproximada cónica y de una notable menor altitud que el páramo, que pasa a esquematizarse e interpretarse en el dibujo adjunto.



La interpretación que se hace de este relieve residual por acumulación de calizas tobáceas es que, antes de que se retirara la cornisa del páramo o alcarria (geomorfológicamente una mesa) debía existir una fuente por la que desaguaba el agua caída y percolada a través de las calizas culminantes. Esta agua, cargada en bicarbonato cálcico y con CO_2 disuelto, liberaba el gas al contacto con la atmósfera, por lo que los bicarbonatos pasan a carbonatos que precipitan en la vegetación, originando la toba calcárea. Siendo las tobas calcáreas más resistentes que el material circundante se han mantenido formando un cerro a menor altitud que el páramo (por lo que no puede ser un cerro testigo, amén de que tampoco dispone de las calizas tabulares en su cima), diferenciado también de un antecerro en cuanto que presenta un cubrimiento de calizas.



Fig. 21. Fotografía del Mirador del Castillo.

No se descarta que en la génesis del manantial haya podido desempeñar un papel importante una red fluvial intramiocena que está bien localizada y publicada más al S, y que aquí podría estar enmascarada por los depósitos de ladera, red que habría materializado su salida al exterior en el mencionado manantial, y cuya huella sería el caparazón tobáceo del Mirador del Castillo.

A favor de esta interpretación juega la existencia de un retranqueo en el frente de la cornisa calcárea, bien visible en el rellano de la carretera de Chiloeches a Pozo de Guadalajara.



Fig. 22. Fotografía de la toba calcárea del Mirador del Castillo.

Lamentablemente en el mapa geológico oficial no se ha reconocido como toba el material culminante del Mirador del Castillo, aunque sí otros restos igualmente visibles en las ortofotografías de acceso universal y gratuito (Google Earth © o Iberpix 2). En la

cartografía expuesta y como capa continua debajo de las calizas del páramo (consignadas con el nº 11) se dibuja un miembro de areniscas arcósicas, conglomerados cuarcíticos y arcillas, calizas arenosas y localmente lutitas y calizas grises (identificado con el nº 10) que, en cierta medida, representaría a la red fluvial intramiocena antepáramo. Ésta sería la responsable de las irregularidades en el trazado cartográfico de la cornisa, por lo que, parcialmente al menos, las digitaciones del páramo podrían estar reproduciendo la red anterior. Se trataría, pues, de un bello ejemplo de herencia geomorfológica.

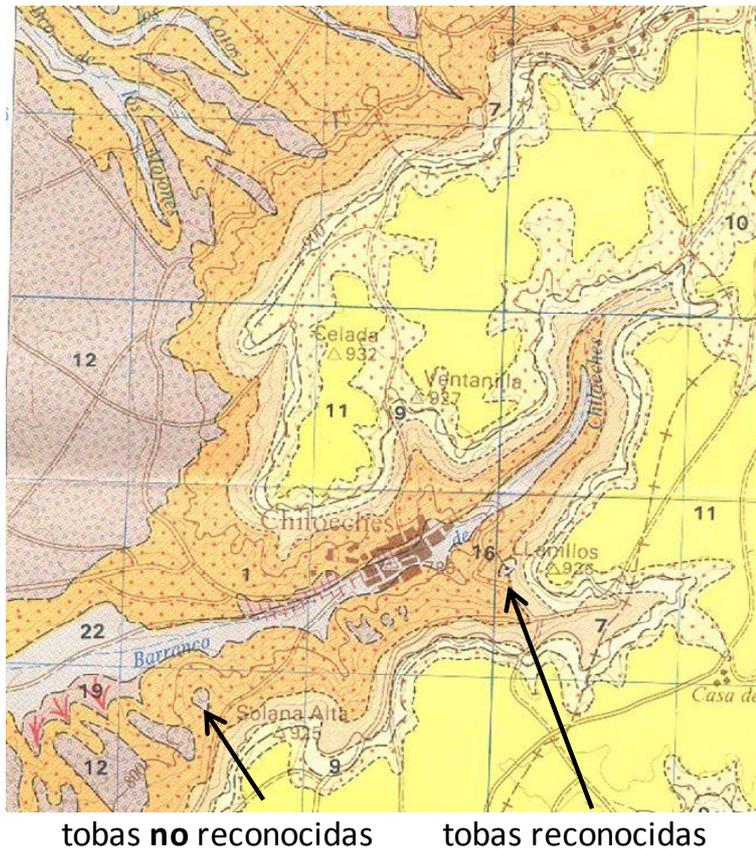


Fig. 23. Mapa geológico de Guadalajara (Nº 536). Ver leyenda en www.igme.es

En el mapa geológico se aprecia con el nº 16 las tobas calcáreas de edad pleistocena, frente al nº 12, que ha sido clasificado como glacis.

En el mapa geomorfológico del mismo área y que acompaña al mapa geológico sí se aprecian los apuntamientos tobáceos (t), aunque se hayan considerado morfodinámicamente “caídas de bloques”. También se aprecian las anchas y pandas dolinas sobre la caliza del páramo (d).

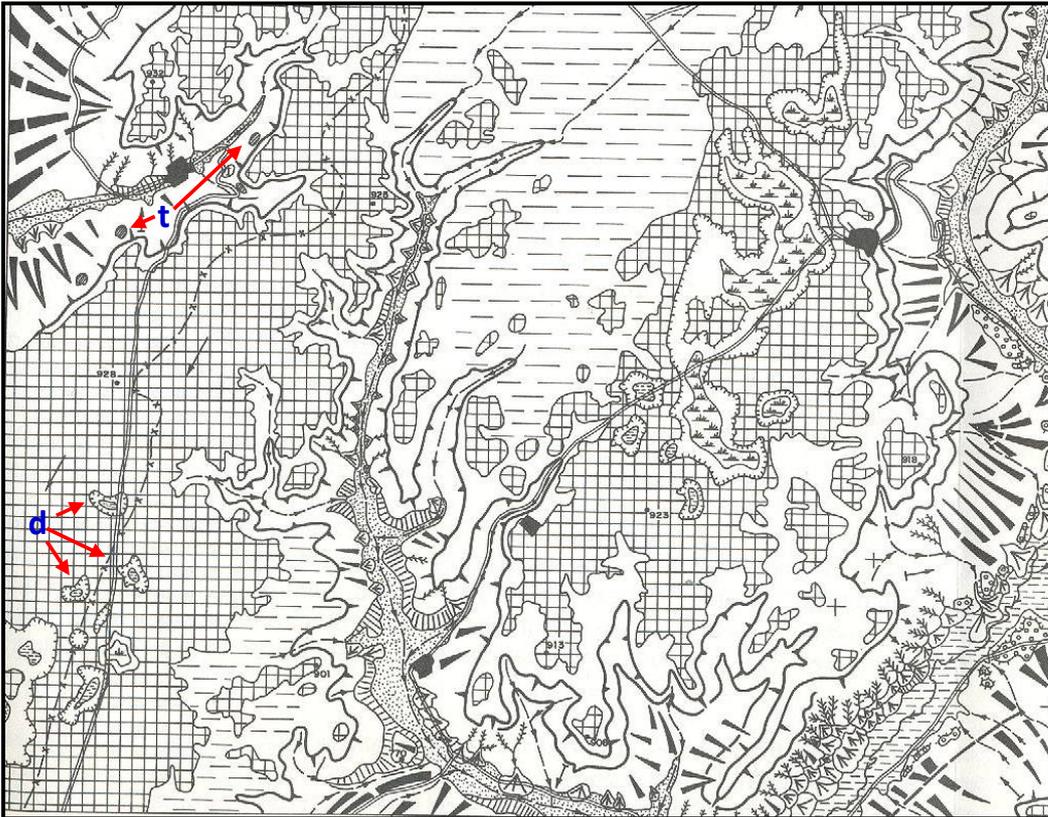


Fig. 24. Mapa geomorfológico de Guadalajara. Fuente www.igme.es

A partir de la imagen del Google Earth © se identifican varios apuntamientos, con menor altitud que el techo del páramo (Figs. 25 y 26). El más destacado es el correspondiente al Mirador del Castillo, aunque se localizan otros restos tobáceos en las proximidades de Chiloeches.

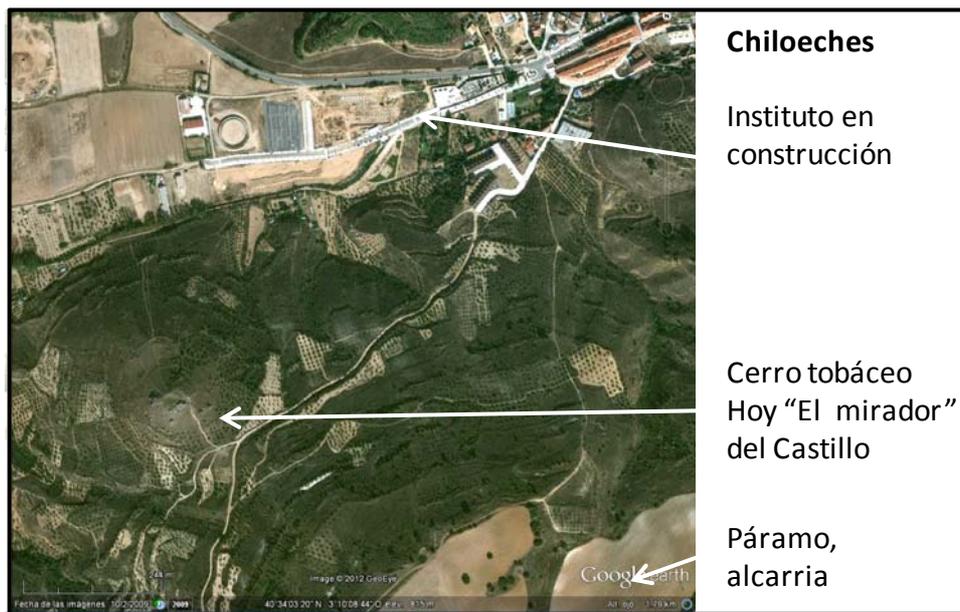


Fig. 25. Localización del cerro tobáceo en Chiloeches. Google Earth ©.



Fig. 26. Localización de restos tobáceo en Chiloeches. Google Earth ©.

Mediante la visión estereoscópica de las fotografías aéreas se identifican los relieves tabulares con las siguientes características:

- Horizontalidad de la superficie del páramo y de los estratos infrayacentes
- Incisión fluvial y formación de cárcavas en las vertientes
- Posibles cerros tobáceos a corroborar en campo
- Repoblación forestal
- Parcelas de cultivo
- Redes viarias
- Núcleo rural



Fig. 27. Par estereoscópico de Chiloeches: páramo y calizas tobáceas.

En las fotografías aéreas también pueden localizarse las formas ocasionadas por procesos de disolución en la caliza del páramo: dolinas o uvalas (por coalescencia de las primeras). La escasa energía del relieve hace difícil su reconocimiento, que puede lograrse a través de la tonalidad oscura (acúmulo de humedad en el suelo). No obstante, los diferentes usos del suelo modifican el contenido de humedad y, con ella la gama cromática.

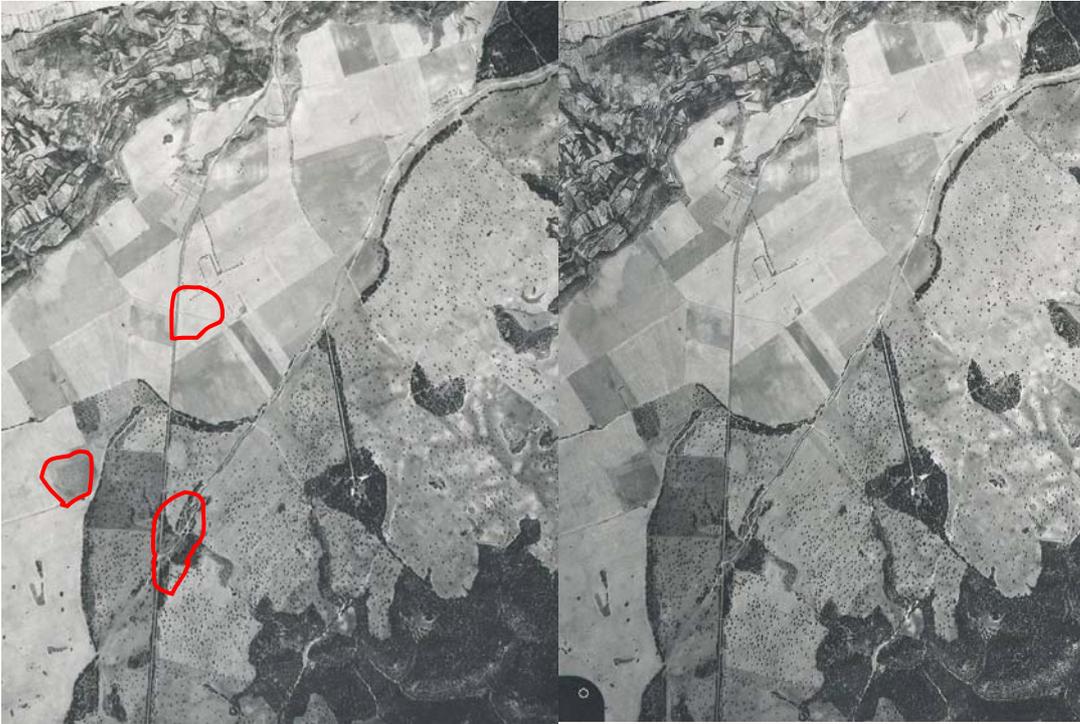


Fig. 28. Par estereoscópico de las dolinas en la superficie del páramo.

Siendo importante e ineludible –por la posición y extensión que abarca– el análisis de gabinete de la fotografía aérea y de las imágenes, nada sustituye a la visita al campo, en la que mejor se aprecia la realidad terreno. En ciertos casos es necesario un análisis más pormenorizado mediante muestras y probetas, llevadas al laboratorio.



Fig. 29. Fotografías de los navazos ocupados por vegetación marcescente de quejigos en un fondo húmedo frente al encinar seco de la caliza del páramo.

En definitiva en el presente capítulo se ha estudiado la variedad de paisajes geomorfológicos y usos del suelo de un centro de cuenca de sedimentación del interior peninsular. Si en lo geomorfológico destacan la uniformidad de las mesas y sus relieves derivados (cerros testigo y anteceros), mesas que por ser calcáreas presentan rasgos kársticos (dolinas muy abiertas; localmente cerros con recubrimiento tobáceo propio de los manantiales), la utilización del suelo va desde las áreas de cereal, hoy preferentemente forrajero, a las áreas forestales naturales (encinares, quejigares) y repobladas (pinars), a las que se asocian progresivamente los usos industriales y urbanos –en buena parte especulativos, como los campos de golf o las urbanizaciones de residencias unifamiliares-, merced a la proximidad a la gran ciudad, capital del estado y la actual coyuntura económica.

Esta realidad queda todavía más patente en las fotografías que se pasan a comentar geográficamente.

ANÁLISIS Y COMENTARIO DE UNA IMAGEN GEOGRÁFICA: CHILOECHES



Fig. 30. Fotografía del núcleo de Chiloeches (Guadalajara), marzo de 2012.

ANÁLISIS

I. Localización.

- Chiloeches (Guadalajara).
Castilla-La Mancha.

II. Tipo de paisaje.

Natural, rural y agrario.

III. Unidades y elementos paisajísticos.

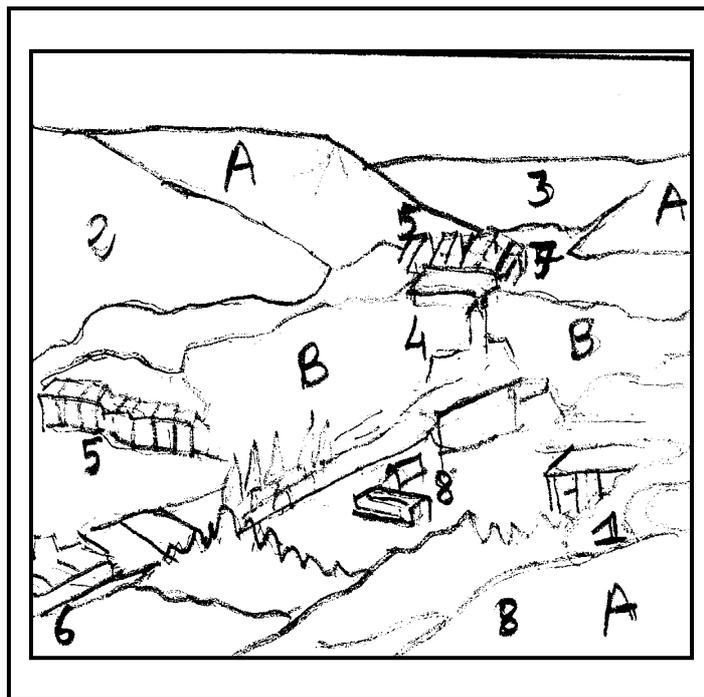
Laderas del valle.

- Páramo.
- Laderas superiores reforestadas.

- Fondo del valle.
- Núcleo rural (tradicional y nuevas construcciones: urbanizaciones de chalets, naves industriales, polideportivo, etc.
- Actividad agraria residual

IV. Factores.

- Naturales.
- Clima (mediterráneo de interior)
- Topografía (valle típico de La Alcarria)
- Antrópicos.
- Transformación de usos del suelo (de agrario a residencial, repoblación forestal de las laderas)



COMENTARIO

La imagen muestra un paisaje natural, rural y agrario, perteneciente a la cabecera de un típico valle de La Alcarria, abierto en la superficie del páramo por la acción fluvial. En la unidad paisajística natural (A, páramo y laderas) se aprecia la superficie horizontal del páramo, en la parte superior (calizas, probablemente), y la erosión de las laderas, formadas por materiales blandos (yesos o margas), que da un paisaje abarrancado (1), apenas visible en la parte inferior de la imagen, ya que en la superior izquierda queda oculto por la masa forestal (pinos), objeto de una repoblación (2). En la parte superior es posible apreciar el paisaje vegetal natural, de encinar clareado, matorral y prados (3), propios de un clima mediterráneo continentalizado o de interior.

El fondo del valle (B), casi totalmente ocupado por la población, constituye la segunda unidad, la rural y agraria. El núcleo urbano original (4) aparece arracimado en torno a la iglesia, que destaca en el centro del pueblo, y está formado por una concentración densa de viviendas, con una trama viaria irregular. Sin embargo, se aprecia un crecimiento reciente, tanto en la parte superior del valle, como la inferior y hasta el pie de las laderas, sobre la antigua ocupación agraria de estos terrenos.

En la parte superior se puede apreciar una urbanización de chalets unifamiliares adosados (5), junto a una gran instalación cubierta (probablemente un polideportivo), y también aparecen estos tipos de chalets en la parte inferior derecha e izquierda (5), en el borde del valle. Un poco más al interior de la población las nuevas viviendas tienen varios pisos.

El crecimiento de la localidad ha llegado a englobar lugares como el cementerio (con los cipreses que lo acompañan) e incorporándose en sus márgenes un centro educativo (6) y espacios industriales (materiales de construcción). La actividad agraria parece casi abandonada, con solo algunas parcelas cultivadas: cereal, en la parte superior del valle (7), y frutales e invernaderos en la inferior (8).

En resumen, se trata de un paisaje natural, agrario y, sobre todo, rural, perteneciente a la España del interior, concretamente en la región de La Alcarria.

ANÁLISIS

I. Localización.

- Hita (Guadalajara).
Castilla-La Mancha.

II. Tipo de paisaje.

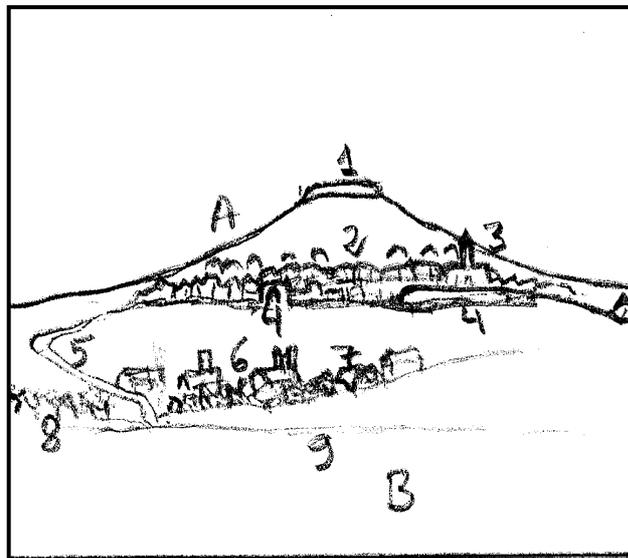
- Rural y agrario.

III. Unidades y elementos paisajísticos.

- Cerro testigo.
 - Cumbre del cerro testigo.
 - Muralla, iglesia y viviendas.
- Campiña.
 - Naves agrarias.
 - Carretera.
 - Parcelas agrícolas.

IV. Factores.

- Naturales.
 - Topografía y litología (cerro testigo calcáreo y llanura)
 - Clima mediterráneo de interior y vegetación escasa.
- Antrópicos.
 - Emplazamiento defensivo.
 - Uso agrícola cerealista de la campiña.



COMENTARIO

La imagen es uno de los mejores ejemplos del paisaje alcarreño: páramo (aquí representado por los restos casi desmantelados de un cerro testigo) y campiña (de clara vocación cerealista, como muestra la imagen). Es un paisaje rural y agrario, perteneciente al valle del Henares, en la comarca de La Alcarria y localizado concretamente en la localidad de Hita (Guadalajara). Se pueden observar claramente las dos unidades citadas: el cerro testigo (A), con el pequeño pueblo asentado en sus faldas y la extensa campiña cerealista a sus pies (B).

La primera unidad culmina en una superficie de calizas (1), que es el escudo de protección del cerro y en el que apenas es posible apreciar los restos de una antigua fortaleza. Inmediatamente más abajo se abren varias cuevas (2), sin duda almacenes de grano u otros usos, ya que no parecen haber sido casas-cueva, en unos materiales blandos (probablemente margas y yesos). Al pié del cerro de asienta, rodeándolo y protegiéndose en él, la población de Hita. Destacan su iglesia (3), y los lienzos de muralla y puerta fortificada (4), testigos de un pasado medieval (recuperado por el turismo cultural). La carretera (5) actúa de enlace entre ambas unidades y conecta al pueblo con el exterior.

La mitad inferior de la imagen está constituida por la campiña (B), en la que destacan unas naves agrarias (6) con depósitos de cereales, situadas probablemente junto a un arroyo y con la presencia de algunos pinos de repoblación (7) y árboles frutales (8), probablemente manzanos o almendros en floración, lo que nos indica, como también los cultivos (9) que la época en que fue tomada la imagen fue a comienzos de la primavera.

En definitiva, es un claro ejemplo de paisaje meseteño, básicamente agrario, perteneciente a la comarca de La Alcarria.



Fig. 31. Fotografía de Hita (Guadalajara), marzo de 2012.

II. Serranía de Cuenca

Se ha seleccionado un sector de la Cordillera Ibérica, caracterizado por un relieve sobresaliente de primera categoría en la Península: una anteclise, que es debida a la tectónica de plegamiento y de fracturación (estilos estructurales jurásico y sajónico).

En el centro de la Ibérica existe una alargada fosa, la de Teruel-Calatayud, rellena de materiales cenozoicos, que divide a la cadena en dos ramas, la castellana y la aragonesa. En la rama castellana, la única que aquí se contempla, también se aprecia que al E de la Serranía de Cuenca se localiza la cuenca de Loranca, una cuenca de sedimentación igualmente colmatada de rocas terciarias, y delimitada al W por las estribaciones de la Sierra de Altomira, que ya da paso a la Fosa de Madrid.

Es una serie de cobertera, despegada del zócalo debido a la presencia de unos niveles de arcillas plásticas –con yesos y sales haloideas- de edad Triásico Superior (Keuper). Esto da lugar a muelas en los sinclinales colgados, la más conocida la de San Juan donde nace el Tajo, cerca del nudo hidrográfico del Júcar y la vertiente del Ebro. Y a anticlinales desventrados, originando corredores. El zócalo ha estado tan activo que ha perforado hasta la superficie (especialmente en la rama aragonesa de la Ibérica, donde aflora en multitud de lugares), con protusión y génesis de fallas inversas con cabalgamientos de repercusión geomorfológica.

Dada la potencia de las rocas carbonatadas (en principio calizas y dolomías, secundariamente margas calcáreas), la Ibérica tiene en detalle numerosas formas exokársticas, desde las minúsculas (lapiaces, lenares) a las mayúsculas (vertidos tobáceos de manantiales o exurgencias, dolinas, uvalas, poljes, gargantas, etc.).

Desde el punto de vista general geomorfológico, la Ibérica presenta una superficie culminante, la llamada “superficie fundamental de la Meseta”, que arrasó el conjunto montañoso y de la que sobresalen apenas unos cuantos relieves residuales que conforman las máximas altitudes.

La incisión fluvial, en parte aprovechando redes de galerías endokársticas, ha propiciado un área montañosa a la que denominamos localmente “serranía” o “paramera”, porque la sensación de altura sólo se obtiene si se mira desde lo profundo de los valles encajados, que no cuando se asciende a la superficie culminante.



Fig. 32. Superficie fundamental de la Meseta. Relieves residuales sobre ella. Fuerte incisión fluvial. Reserva de El Hosquillo desde la Peña del Reloj. Cuenca.

La utilización del suelo es muy diferente en las áreas serranas donde domina el bosque original de encinar basófilo, quejigal y rebollar, o el pinar natural o de repoblación, respecto de las áreas de cuenca, menos elevadas y con un claro aprovechamiento agrícola.



Fig. 33. Gran estructura sinclinal (destacada mediante el teñido de amarillo) cercada por Las Majadas, Huélamo y Uña, un pando sinclinal rodeado de anticlinales parcialmente eyectivos (merced a la aparición de los materiales, arcillosos con sales, del Keuper). Típicas estructuras de estilo sajónico, en el que el sustrato inmediato ha respondido con fracturación y ésta se hace visible en superficie en la cobertera sedimentaria.

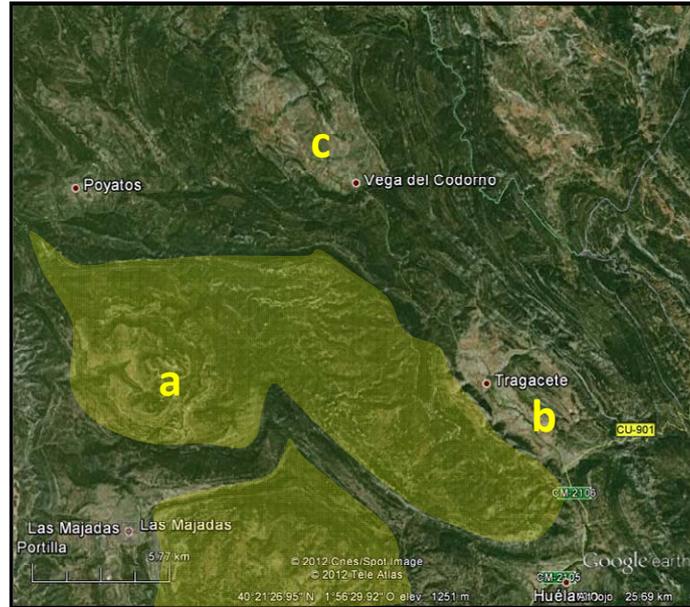


Fig. 34. Localización en una imagen del Google Earth © de las estructuras sinclinales con amplio sinclinal colgado –y una geomorfología muy próxima a un graderío estructural (a)-, con pasillo intermedio debido a anticlinal eyectivo. Las estructuras anticlinales de Tragacete (b) y Vega de Codorno (c) son igualmente bien visibles.

Por lo intrincado del relieve es una de las áreas menos pobladas de la España peninsular, “paraíso” natural en parte bien conservado, que merece general reconocimiento. Las poblaciones están fuertemente unidas a la disponibilidad de agua, lo que las aproxima a los cursos fluviales, lo mismo que a los manantiales tan típicos de las áreas con karstificación.

A la baja densidad de población se une una intrincada red de comunicaciones que hace uso al máximo de las vías naturales (red fluvial, pasillos o corredores tectónicos), pero que no puede obviar la dificultad de pasos montañosos bastante elevados, aunque sin graves problemas invernales de acumulación de nieve. Ocupando, sin embargo, una posición oriental en el conjunto de la Península, merecen destacarse los riesgos por helada que dificultan el tránsito automovilístico por las altas parameras.

En este capítulo se estudian ejemplos sobre el relieve en estructuras plegadas y algunas formas del modelado kárstico, situadas entre los Montes Universales y La Serranía de Cuenca. Allí dominan las formas estructurales plegadas y las rocas carbonatadas (calizas y dolomías del jurásico y cretácico), que dan lugar a una amplia diversidad de formas de origen kárstico. Se seleccionan tres áreas de estudio:

- Las dolinas de Griegos y Frías de Albarracín
- Las Majadas-Los Callejones
- El Nacimiento del río Cuervo, junto a Vega de Codorno

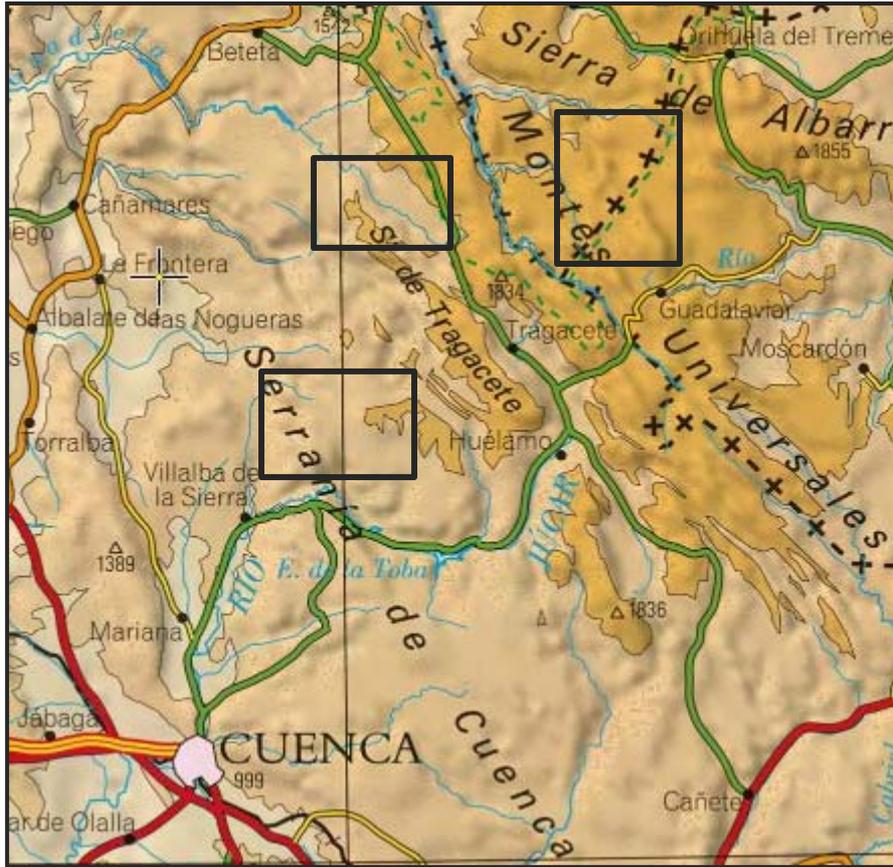


Fig. 35. Área de estudio y localización de los sectores analizados en detalle.

El material seleccionado es:

1. Imagen Landsat-TM de la escena 200/32 del 19-junio-2011
2. Imagen Spot-5 de las escenas 269/37 del 4-julio-2009 y 269/38 del 29-08-2010
3. Ortofotografías aéreas obtenidas del servidor "Iberpix 2" del I.G.N.
4. Mapa topográfico nacional a escala 1:50.000 (núm. 565) y mapa provincial 1:200.000 (Cuenca) del I.G.N.
5. Mapas Geológicos del Magna 1:50.000: Majadas (587), Fuertescusa (564), Tragacete (565)
6. Fotografías aéreas del vuelo nacional de junio de 1985, 1:30.000 de la Hoja 565, fotogramas K 05, 06 y 07; M 05 y 06
7. Fotografías convencionales tomadas *in situ*

La imagen Landsat resulta de gran utilidad para el reconocimiento de formas de relieve en estructuras plegadas. Puede precisarse la localización y extensión de numerosas líneas de fractura, algunos tipos de pliegue (cabalgamientos, inclinados, en rodilla, etc.) y sus cierres periclinales. En esta imagen también pueden detectarse numerosas formas erosivas de los relieves jurásicos: *cluse*, *combe*, *ruz*; mientras que

para caracterizar con precisión las principales formas resultantes de la tectogénesis (anticlinales y sinclinales directos o inversos -sinclinales colgados o anticlinales desventrados-), cabalgamientos, etc. será imprescindible el estudio mediante fotografía aérea, con visión estereoscópica y, trabajo de campo (Fig 36). Sólo así, podrá reconocerse con precisión el buzamiento de los estratos sedimentarios y concretar el tipo de forma estructural.

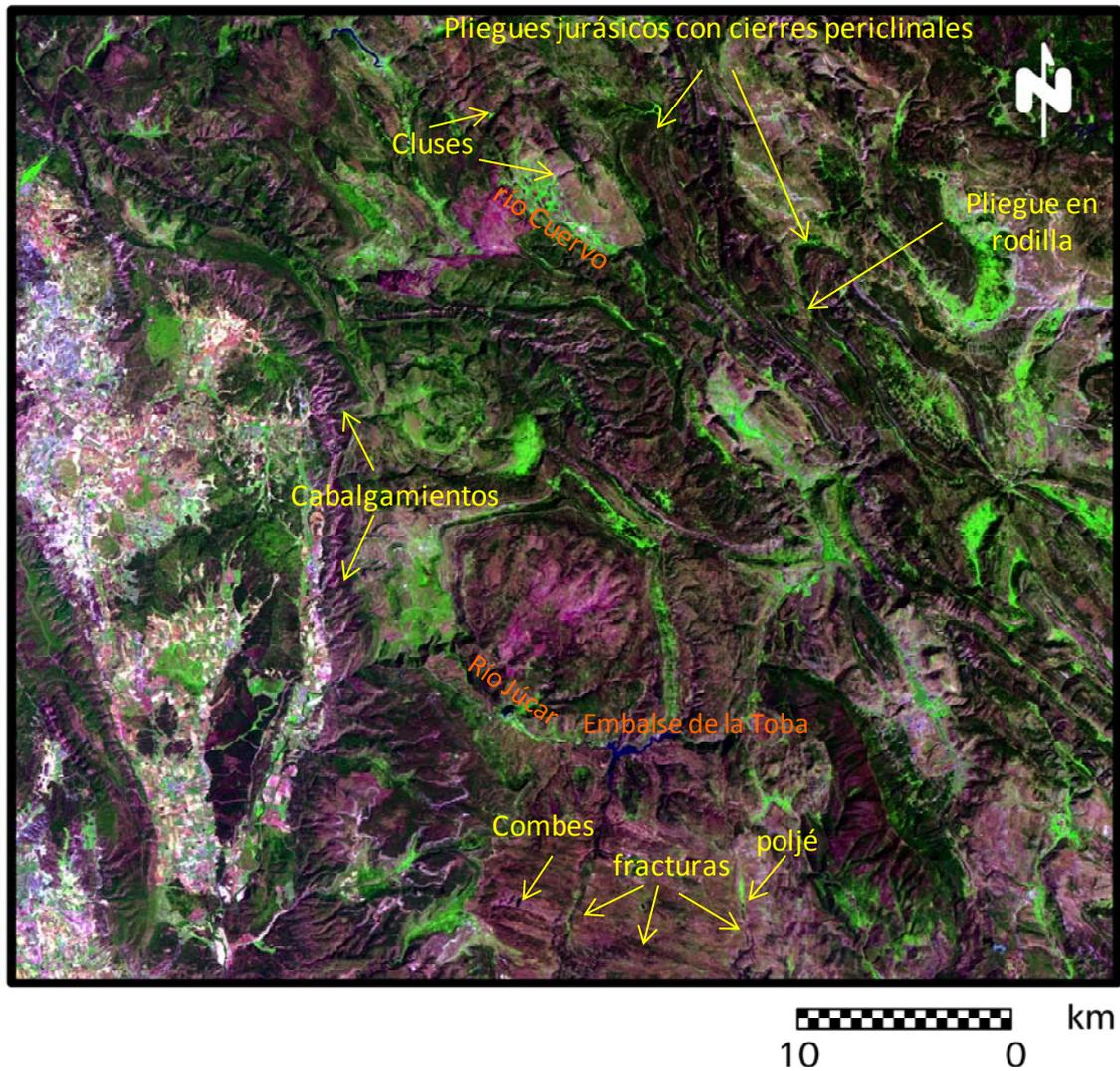


Fig. 36. Imagen Landsat TM, bandas 5-4-1 (R-V-A), 19-06-2011.

Desde el punto de vista del aprovechamiento del terreno, puede apreciarse que el uso agrícola, limitado al sector occidental de la imagen, es fundamentalmente de secano, está en esta fecha gran parte en barbecho o ya recolectado y dedica pequeños sectores a pastizales para uso ganadero. El resto del territorio, con relieve muy accidentado y con vías de comunicación secundarias tiene cultivos de regadío en los fondos de valles y vegas de los ríos principales (tonos verde claro). El monte, con una ocupación forestal muy desigual está formado fundamentalmente por coníferas y ofrecen tonos verde oscuro.



Fig. 37. Par estereoscópico de las inmediaciones del Puerto del Portillón, entre Guadalaviar y la Vega del Tajo.

El cabalgamiento de los materiales cretácicos y jurásicos de la Sierra sobre los paleógenos de la Vega del Tajo son especialmente visibles en el Portillón, a 1774 m, (Figs. 37, 38 y 39).



Fig. 38. Cabalgamiento: el material antiguo monta al moderno.

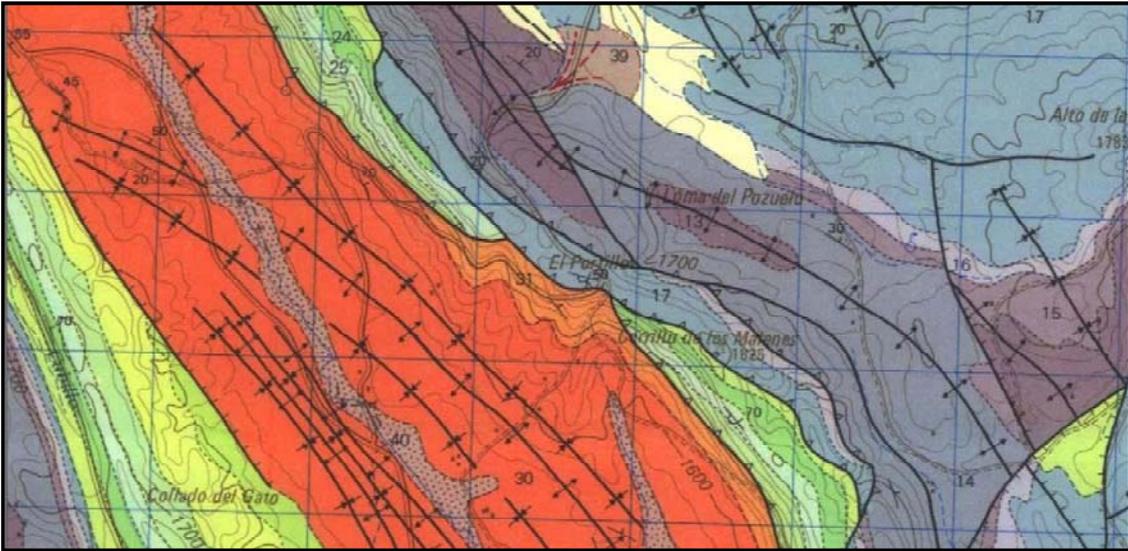


Fig. 39. Fragmento del mapa geológico que explicita la falla inversa del Jurásico sobre el Paleógeno. La Vega de Tajo viene ocupada por los depósitos recientes, enmarcados por sendas sierras cretácicas y jurásicas. (Ver leyenda en www.ign.es).

No obstante, aún cuando estas estructuras se observan mejor en fotografía aérea, (Fig. 37), los datos de satélite permiten realizar distintas mejoras para poder discriminar más nítidamente los rasgos geológicos. Entre ellas se ha seleccionado la mejora radiométrica de la ecualización del histograma de la imagen Landsat ya que amplía los contrastes de los tonos cromáticos, resaltando los diferentes materiales carbonatados mesozoicos (calizas dolomíticas y dolomías tableadas) y depósitos detríticos del cenozoico (conglomerados calcáreos, areniscas, arenas y arcillas, IGME Magna, núm. 587). Estos sedimentos destacan en la imagen en tonos muy claros dominando el sector occidental de la imagen.

Mediante esta mejora espectral también se visualizan con más claridad algunas formas del relieve estructural propias de las rocas calcáreas (ejes de pliegues, sinclinales colgados, cierres periclinales, pliegues en rodilla, inclinados, verticales, cabalgamientos, etc.). También muchas formas derivadas de la erosión pueden reconocerse en la imagen (*combes, cluse, ruz*, etc.).

A su vez, esta imagen permite identificar mejor fracturas debidas a la tectónica en cualquiera de sus modalidades (líneas de falla, grandes fracturas y red de diaclasas). Estas fracturas actúan como líneas de debilidad en los materiales carbonatados, pues favorecen una intensa disolución, lo que da lugar a múltiples formas típicas del relieve kárstico: *poljes*, dolinas, uvalas, cursos de agua que se pierden, valles ciegos, etc.

En cuanto al uso del suelo, la imagen ecualizada (Fig. 40), en su combinación de bandas 4-3-2 (R-V-A), destaca en tonos rojizos la vegetación de ribera, pastizales muy verdes, regadíos y frondosas. En granate o rojo oscuro destaca la vegetación perennifolia y en colores muy claros el suelo desnudo y eriales. Algunas superficies forestales afectadas por incendios se destacan en azul claro intenso. Los sedimentos areno-arcillosos dominantes en el sector occidental de la imagen tienen un aprovechamiento agrícola de secano y ganadero.



Fig. 40. Imagen Landsat ecualizada, bandas 4-3-2 (R-V-A).

La mejora espectral de Tasselet cup (Fig. 41) separa tres categorías principales: suelos, vegetación y agua. En esta combinación de bandas se discriminan:

- en tonos rojos y magenta los suelos desnudos, tanto más rojo cuanto más seco esté el terreno
- en azul claro las superficies de agua
- en tonos azulados el suelo más húmedo
- en verde la superficie cubierta de vegetación forestal, pastos y cultivos.

Cabe destacar que esta mejora no separa las grandes clases de vegetación (frondosas, coníferas, matorrales o vegetación herbácea) y, sobredimensiona la superficie real ocupada por la vegetación. Tampoco permite diferenciar entre monte bajo y monte alto, ni diferentes densidades de arbolado o matorral.

Sin embargo, esta mejora permite discriminar la incisión fluvial en los materiales carbonatados y su exposición a la erosión.

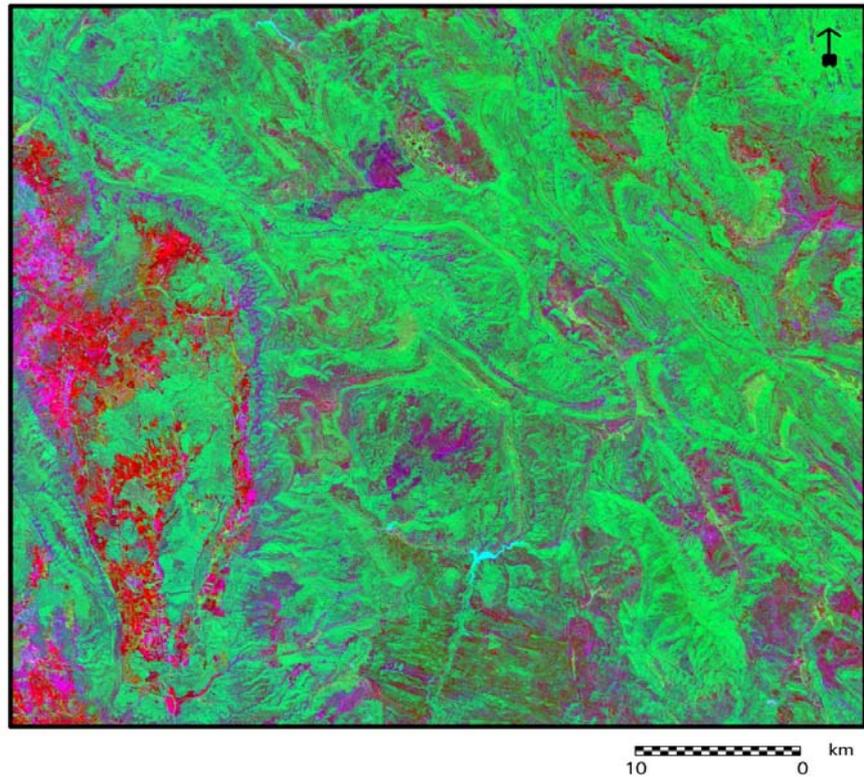


Fig. 41. Imagen Landsat TM- Tasselet cup (TTC), bandas 1-3-4 (R-V-A).

También las mejoras espaciales mediante filtros aplicados a la imagen Landsat TM facilita la discriminación de algunas estructuras. De todos los filtros se han seleccionado el de paso alto 5 x5 y el Laplaciano de detección de bordes 3 x 3.

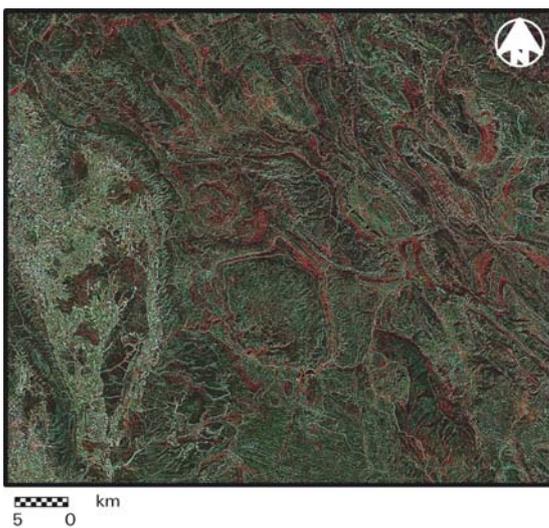


Fig. 42 Imagen obtenida mediante el filtro de paso alto 5 x 5 de la imagen Landsat TM. En ella resaltan los cauces fluviales de orden menor, las formas de relieve en estructuras plegadas (cierres periclinales, cabalgamientos, pliegues en rodilla, etc.) y las líneas que conforman los estratos sedimentarios.

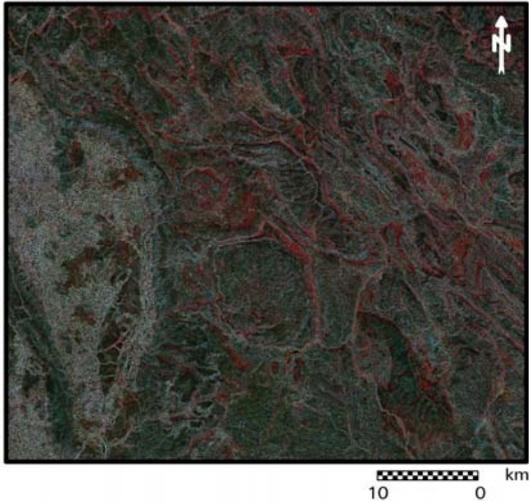
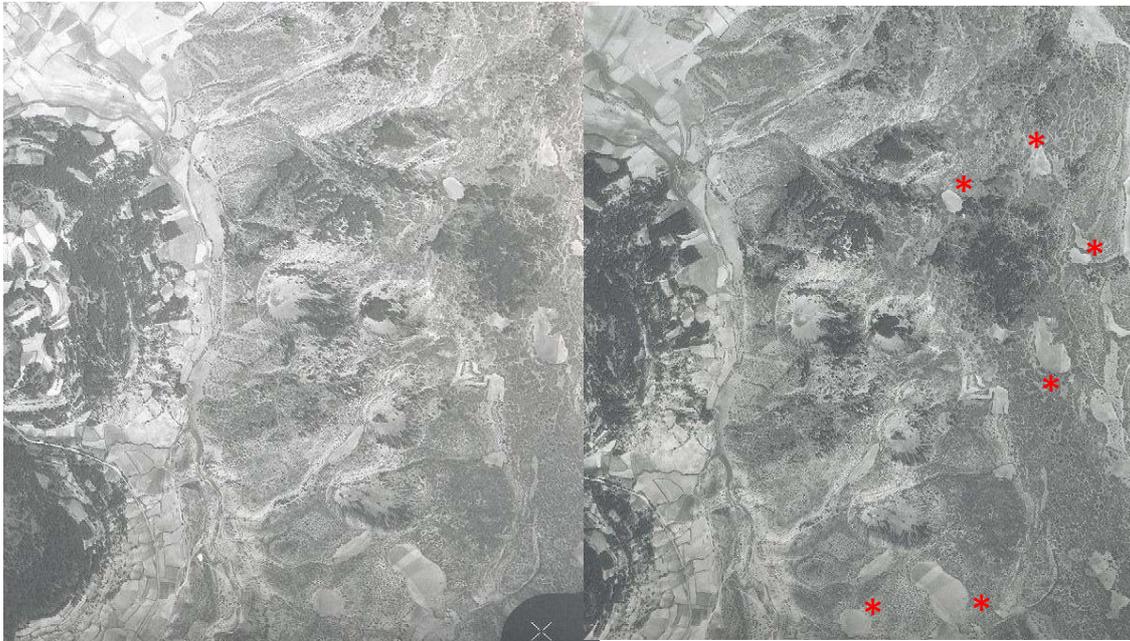


Fig. 43. Filtro Laplaciano de detección de bordes 3 x 3 de la imagen Landsat TM. Destaca la vegetación de frondosas, regadíos y pastizales en pleno desarrollo en tonos rosados; los materiales terciarios predominantes al oeste, en grises claros; los relieves en estructuras plegadas, en los que se dibujan los contornos y algunas infraestructuras viarias, en tonos muy claros y formas lineales, por lo que se identifican por su patrón espacial.

Como ya anunciamos anteriormente, dentro del área de estudio seleccionada se han analizado tres sectores concretos con más detalle, que se pasa a pormenorizar:

A) *Estudio detallado de las “celadas” o dolinas de Griegos y Frías de Albarracín*

La localización de las dolinas suele responder en primer lugar a una potencia suficiente de material kástificable (soluble), así como a la apropiada estructura (horizontalidad pero con diaclasas verticales; verticalidad). Deben coalizarse otros factores, los realmente decisivos, pues en las proximidades con la misma serie e idéntica estructura no se desarrollan celadas activas como las que aquí se muestran.



* celadas y uvalas incipientes

Fig. 44. Par estereoscópico de las celadas (dolinas) de Griegos.

La disposición en arco de las 4 principales dolinas profundas (activas) parece responder a motivos estructurales.

Las imágenes de Google Earth © ayudan, mediante el color, al reconocimiento de las dolinas cultivadas (contorno circular, fondo rojo debido a la presencia de la *terra rossa*). Las dolinas activas están cubiertas de derrubios en algunas caras y de vegetación en los bordes y fondo) (Fig. 45).

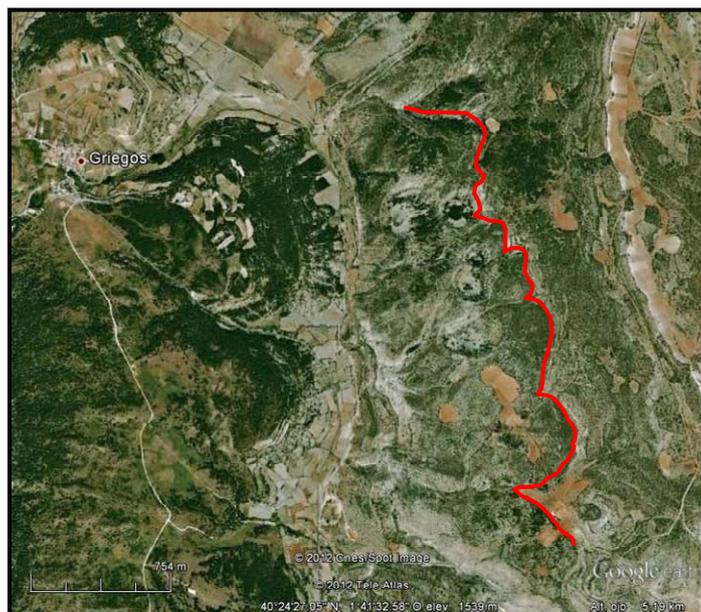


Fig. 45. Localización de las dolinas de Griegos en una imagen del Google Earth ©. En rojo se ha dibujado una línea de capa que forma un *flatiron*, *chévron* u ojiva, indicando, por la regla de la V, que el sentido de buzamiento es hacia el W, hacia el fondo del valle. La localización, pues, de las dolinas es en una serie jurásica del Dogger, bastante potente, de calizas tableadas, ligeramente buzantes.

En el detalle del mapa geológico de la serie MAGNA, hoja de Tragacete (565), se ve la población de Griegos y sus dolinas (Fig. 46). Los suaves pliegues de eje N-S están ligeramente deformados por la dirección conjugada E-W, de tal modo que la plancha perforada de dolinas es una especie de cierre periclinal. Éste podría tener una serie de fisuras radiales a lo largo de las cuales pudieran prosperar las dolinas. No obstante, dado el aspecto casi perfectamente circular de las oquedades, se ha de pensar con preferencia en una roca isótropa.

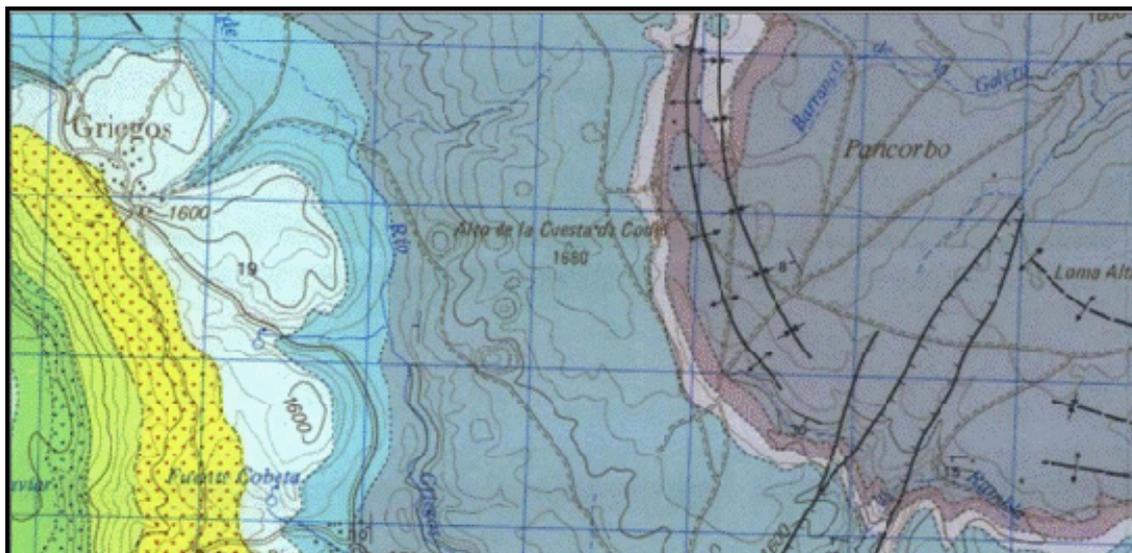


Fig. 46. Mapa geológico 1:50.000 de Tragacete (Hoja 565). Ver leyenda en www.igme.es

Dada la altitud de las formas kársticas, 1600 m de media, cabe pensar en la importancia de una precipitación copiosa, mas tampoco a la misma altitud se hallan bien desarrolladas otras formas semejantes. La altitud, determinante del tipo de cubierta vegetal junto con el sustrato, la orientación y demás variables geocológicas, no parece entonces factor de peso en la génesis y ulterior evolución de las dolinas. Si fuese determinante la altura respecto del río, habríamos de encontrar muchos más embudos y artesas kársticas a lo largo de la margen derecha del Barranco de Griegos, la arteria que drena esta área.

La pendiente topográfica, nada despreciable, tampoco resulta un factor favorable a la génesis de las dolinas, pues aceleraría la escorrentía superficial, impidiendo el contacto de las aguas aciduladas con la roca.

La identificación de las dolinas de Griegos y Frías de Albarracín mediante imágenes de satélite de resolución espacial media es compleja. En las imágenes Landsat TM estas formas pasan casi desapercibidas. Sin embargo, en La imagen Spot-5, de mayor detalle se facilita la detección, identificación y cartografía de formas más pequeñas. No obstante, para el estudio de estas formas kásticas es preferible utilizar ortofotografías de gran resolución espacial y fotografía aérea, con visión estereoscópica.



Fig. 47. Localización de las dolinas (círculos amarillos) junto a los núcleos urbanos de Griegos y Frías de Albarracín (círculos rojos). El sombreado plástico ayuda a la visualización de las oquedades de las celadas, (Fuente: www.ign.es).

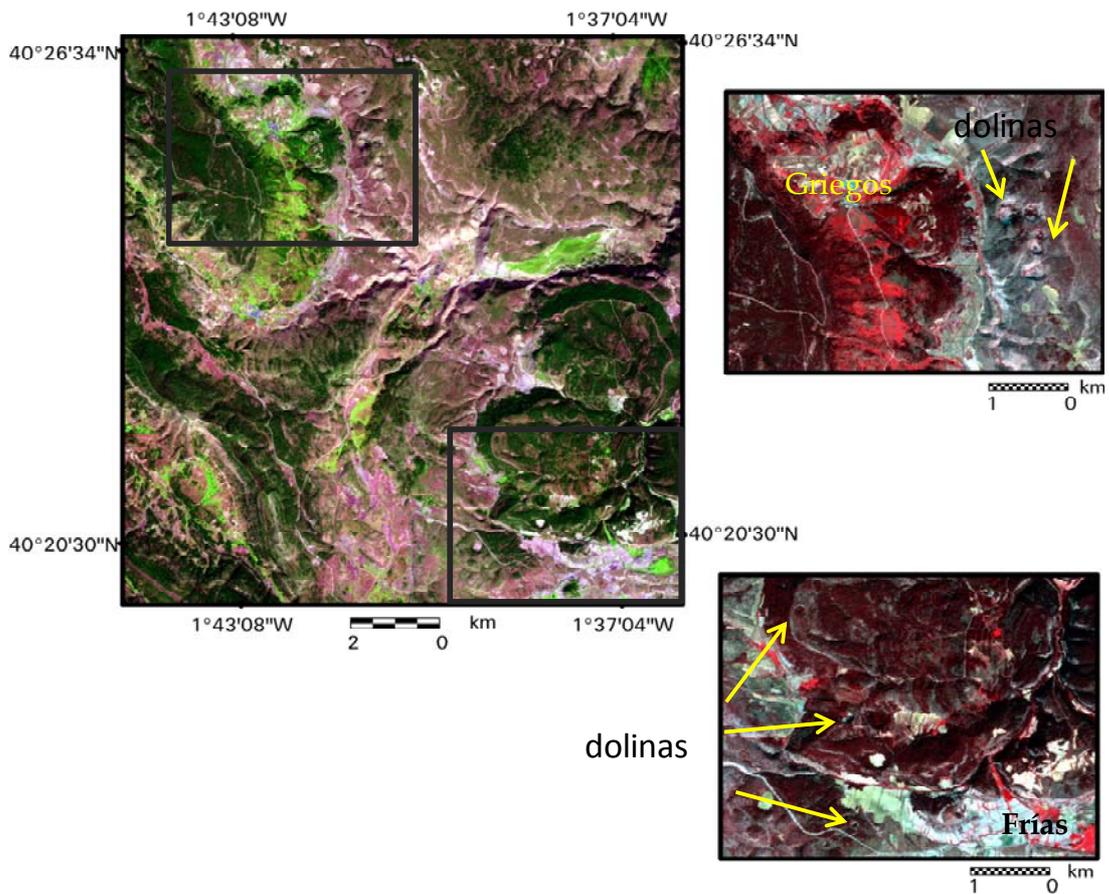


Fig. 48. Imagen Spot5 del 29-08-2010, bandas 4-3-2 (R-V-A) y detalle de las dolinas de Griegos y Frías (Teruel), bandas 3-2-1 (R-V-A).

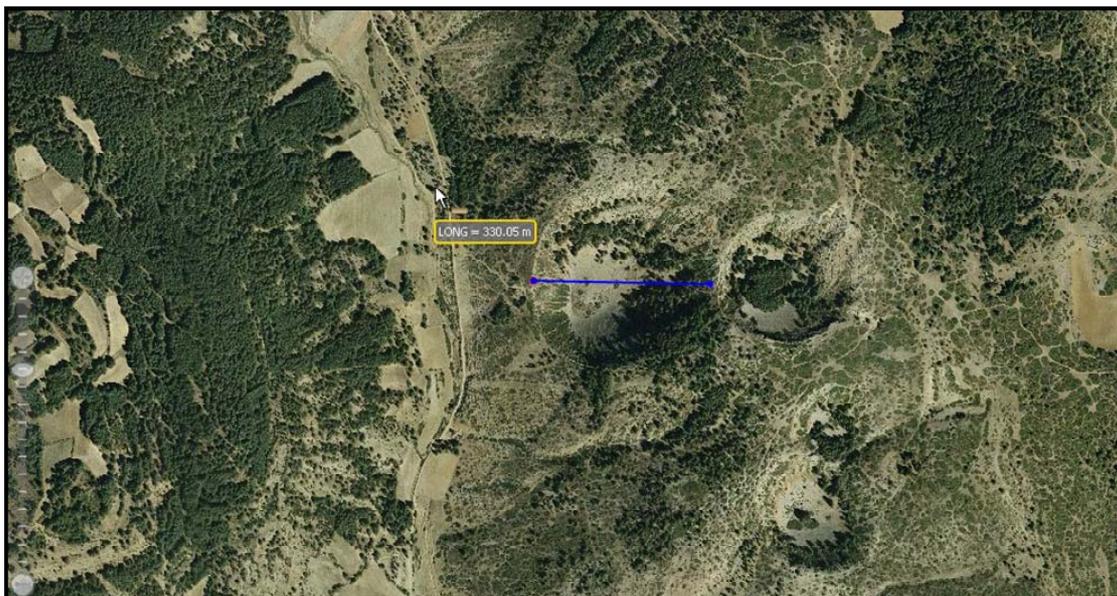


Fig. 49. Ortofotografía del I.G.N. Detalle de las dolinas de Griegos y medida del diámetro en la más occidental.



Fig. 50. Ortofotografía del I.G.N. Detalle de una dolina de Friás de Albarracín y medida de su diámetro.

En las ortofotografías, conocida la escala – o, en su defecto, calculada ésta a partir de medidas precisas conocidas en la realidad-, se puede hallar las longitudes de los diámetros de las distintas dolinas, y verificar si para una misma celada existen diámetros diferentes (Figs. 49 y 50).

A partir de las imágenes y fotografías convencionales pueden reconocerse en las dolinas diferencias de vegetación y procesos de laderas. Además, se pueden plantear algunos aspectos de su localización:

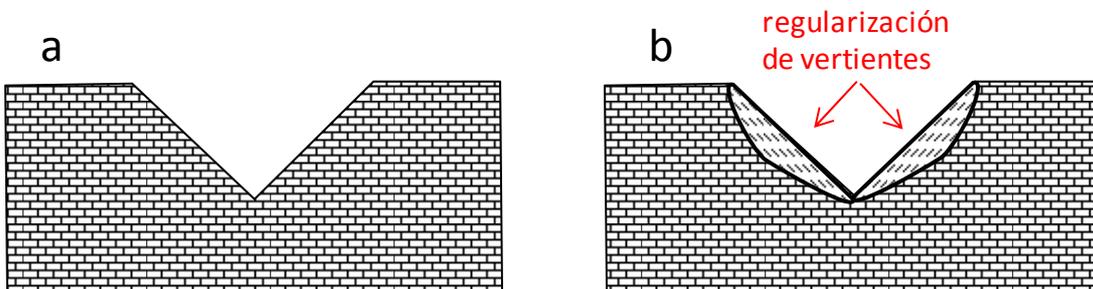
- ¿a qué altitud?
- ¿en qué exposición?
- ¿en qué naturaleza de material?
- ¿con qué estructura geológica?
- ¿en qué pendiente?

La helada se ceba en las orientaciones al NE del hemisferio N, a latitudes extratropicales, dando lugar a una cortina de derrubios gelifractos. Dada la falta de colonización de vegetales superiores, podemos considerar este proceso actual (activo).

El tapizado del fondo de las dolinas no impide la evacuación del agua de lluvia, o bien de la fusión de la nieve, a través de un *ponor* o sima. Probablemente uno de los factores que coadyuven a la progresión del proceso disolvente sea esta agua –fría- de fusión, que, como se sabe, puede contener un más alto volumen de CO₂ disuelto (de procedencia atmosférica tanto como edáfica), lo que favorece la disolución.

La forma en embudo de las celadas de Griegos puede deberse a varios factores:

1. Un material isótropo; en esquema simplificado, en posición horizontal
2. Una abertura máxima en superficie, cerrándose progresivamente en profundidad, denota que el proceso es más activo en superficie y va disminuyendo hacia el interior: es exógeno
3. A mayor abertura exterior, mayor recolección de agua, originando tendencia al gigantismo cuanto más avanzado el proceso; también progreso en profundidad, siempre que no exista cambio vertical de facies
4. No se minimiza la acción de la nieve en sus múltiples facetas: aislante térmico cuando alcanza suficiente espesor; fusión parcial que provee de agua a las fisuras, susceptible de helada y subsiguiente crioclastismo.



La realidad de la dolina más noroccidental de Griegos es una combinación de los tipos **a** y **b** anteriormente expuestos. La cara orientada al N, la más fría, es la que mantiene por más tiempo la nieve. Su actividad geomorfológica le impide el tapizado

vegetal. Obsérvese los *pieds de vache* o terracillas, que denotan continuidad en los procesos de ladera (Fig. 51 y 52).



Fig. 51. Detalle de la dolina más noroccidental de Griegos (Teruel). Su pared casi vertical muestra los estratos calizos del techo y materiales finos (arcillas de descalcificación) con derrubios en caída libre. El fondo está tapizado por un suelo que da soporte a pies arbóreos de gran porte.



Fig. 52. Fotografías en las que se observa el rebajamiento de las paredes entre dos celadas que es el modo en que una dolina deviene en uvala y, vista oblicua y hacia el Este de la celadas de Griegos desde la Muela de San Juan (Cerro de San Felipe), donde nace el Tajo.

En estas dolinas de Griegos se observa bien la disimetría entre las caras al NE, escarpadas, con apariencia de frente de “cuesta” y fuerte gelifracción, y la suavidad de las que miran al SW, porque, entre otros factores, se encuentran a favor de la estructura geológica (dorso de los estratos).

Aunque las dolinas de Griegos y Frías de Albarracín adquieren tamaños espectaculares estas formas kársticas son muy frecuentes en la Ibérica, siendo identificables en imágenes de libre acceso (Fig. 53).



Fig. 53. Campo de dolinas del Majadal de las Palomas (extremo E de la hoja del mapa de Las Majadas). Obsérvese la importancia de la fracturación ortogonal en la determinación de las posiciones de las dolinas. El material en el que se labran son calizas y dolomías (de la Formación Cuevas Labradas, de nombre bien expresivo).

B) *Las Majadas*

En las superficies más aplanadas se desarrollan innumerables procesos de disolución dando lugar a múltiples formas exokársticas, desde pequeñas oquedades, surcos, lapiaces o dolinas de diferente tamaño, bien reconocibles en fotografías aéreas e imágenes de satélite. En la evolución de las formas kársticas hay una preparación inicial del material a disolver a favor de líneas de fractura. La disolución puede empezar a partir de estas líneas de fractura y formar lapiaces lineales (Fig. 54).

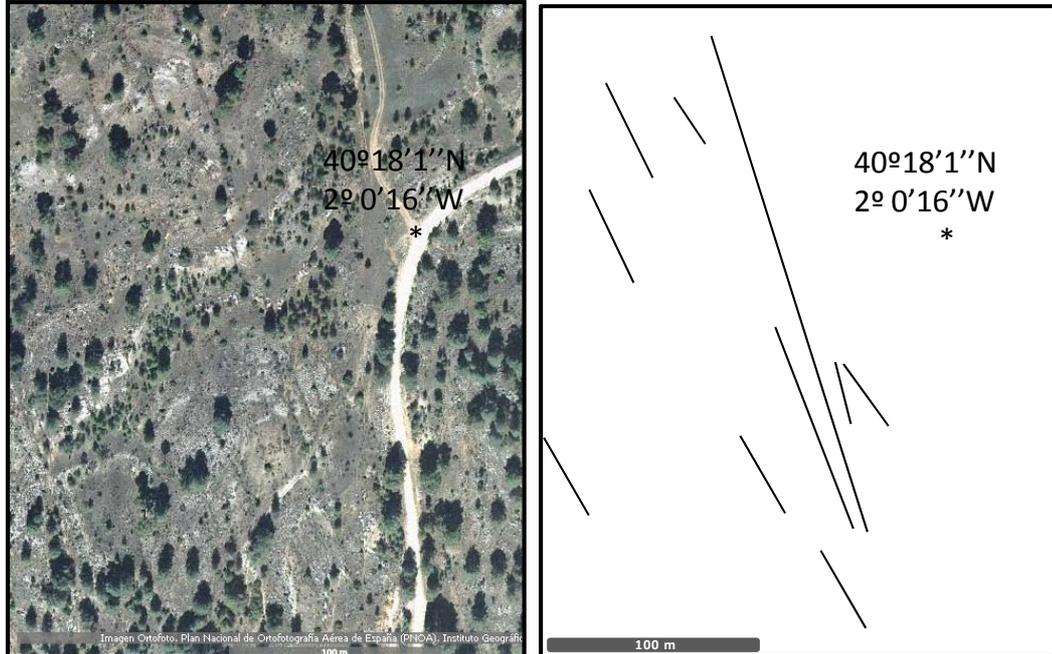


Fig. 54. Ortofotografía del Iberpix 2 (I.G.N.) y red de diaclasado en las calizas y dolomías del Mesozoico.

Los Callejones de Las Majadas

Cuando el proceso de incisión lineal continúa se abren canales estrechos y largos, que van dejando la roca carbonatada expuesta a mayor erosión y disolución hasta formar un paisaje ruiforme, con **pasillos** y **tormos** como se produce en “Los Callejones”, junto al municipio de Las Majadas (Fig. 55).

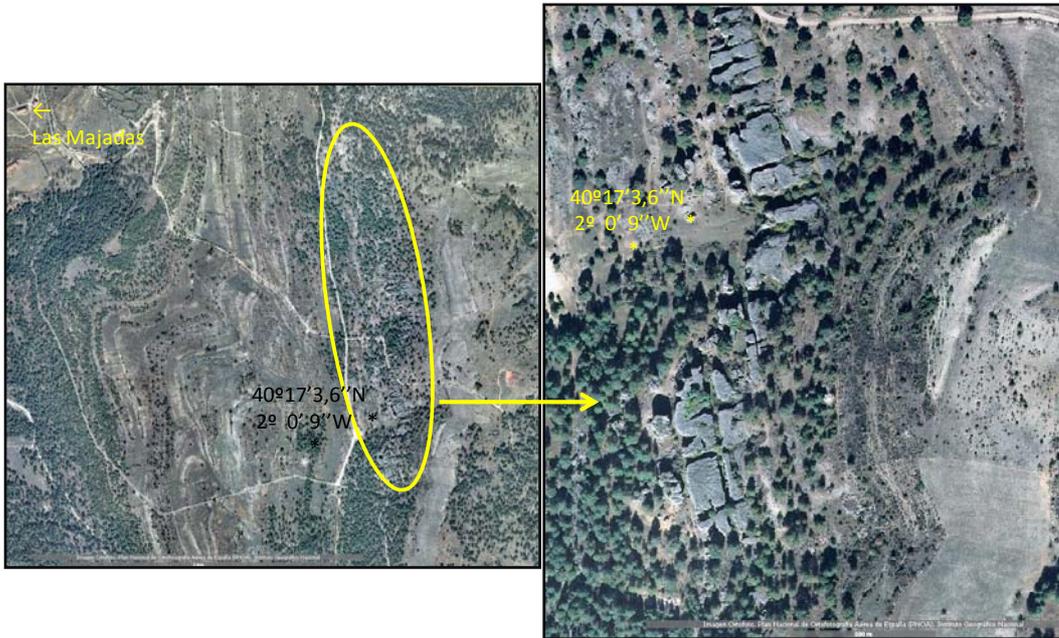


Fig. 55. Ortofotografía del I.G.N. Importancia de la fisuración en “Los Callejones”: red ortogonal de pasillos que enmarcan manzanas en damero. La fisuración guía el trayecto del agua capaz de disolver las calizas.



Fig. 56. Detalle de Los Callejones, con incisiones longitudinales de orden métrico o centimétrico y de la vegetación arbórea dominante (*Pinus nigra*).

Los *lapiaces* en mesa se desarrollan sobre las calizas y dolomías masivas, en superficies ligeramente inclinadas, tanto más cuanto más al borde se encuentra. Aquí, la incisión lineal es de orden métrico y se produce un mayor ataque erosivo, hasta conformar un paisaje ruiforme, con **tormos**, rocas caídas y amplios espacios abiertos. En los **tormos** la disolución y erosión es mayor en los depósitos intermedios, de posible composición margoarenosa, hasta dejar formas tipo “chupachups”, que finalmente terminan por caer.

Los “callejones”, además de facilitar el paso al visitante, reúnen condiciones edáficas y microclimáticas favorables (mayor humedad y menor amplitud térmica) para el crecimiento de diversas especies rupícolas (*Potentilla caulescus*, *Guillomo amelanchier*, *Globularia repens*, *Rhamnus pumila*, *Sedum dasyphyllum*, etc.), arbustivas y arbóreas del ámbito mediterráneo y del eurosiberiano (*Pinus nigra*, *Pinus sylvestris*, *Ilex aquifolium*, *Corylus avellana*, etc.).



Fig. 57. *Lapiaces* en mesa y *tormos* muy erosionados en “Los Callejones”, Cuenca.

Los “tormos” fungiformes son formas ajetadas debidas a la erosión diferencial. También se ha llamado la atención sobre el hecho de que los tramos dolomíticos son más difícilmente solubles, por lo que generan salientes, y, si están en posición cimera, constituyen los sombrerillos de las setas. Por el contrario, los pedúnculos que sustentan a éstos tienen un diámetro menor por haberse cebado la disolución en sus materiales, predominantemente calizos. No se descarta, no obstante, una más incisiva progresión erosiva gracias a la textura de la roca, en la que influyen el tamaño del cristal (a igualdad de otros factores, las micritas –calizas de tamaño de grano microscópico- se disuelven más fácilmente que las esparitas –con cristales mayores-), la nodulosidad, microfisuración, etc.

A pesar de la similitud que estas formas tienen respecto de las de la Ciudad Encantada, los materiales en los que se labran no son los mismos, sino ligeramente anteriores en el tiempo. No necesariamente igualdad de edad significa idéntico proceso, pues dentro de un mismo tiempo coexisten distintas facies, depósitos variados en cuanto a la cantidad y calidad de las rocas

Las diferentes formas del relieve kárstico de Las Majadas se observan con detalle en la imagen Spot. En la combinación de bandas 4-3-2 se identifican la superficie con

numerosos procesos de disolución, formas oquerosas y lineales, con el máximo desarrollo en Los Callejones. Estas formas resaltan en colores azules oscuros con la mejora espectral que cambia los cañones de color Rojo-Verde y Azul a valores de Hue-Intensidad y Saturación.

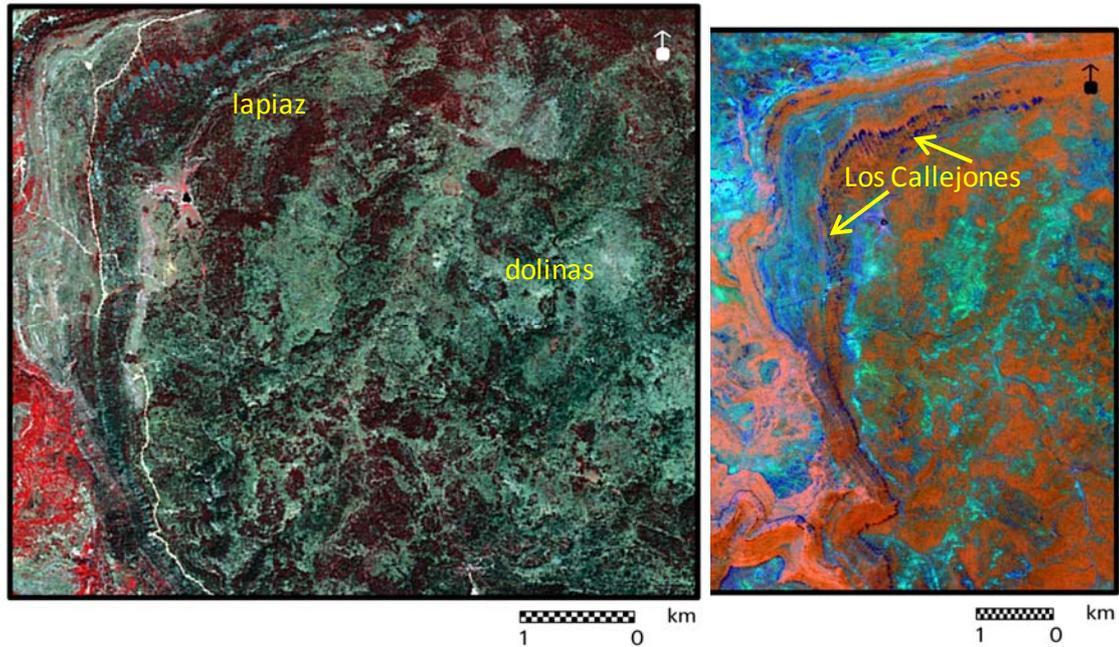


Fig.58. Detalle de “Los Callejones” en la imagen Spot y mejora espectral de RVA a HIS

C) *El nacimiento del río Cuervo*

La tercera comarca de la Serranía de Cuenca se centra en el nacimiento del Río Cuervo. Se trata de un paraje protegido y de fácil acceso a través de una senda. Está situado en el municipio de El Perchel, junto a la Vega de Codorno (Fig. 59). Casi todo el área circundante al nacimiento del río constituye un bosque mediterráneo denso. Aunque el nacimiento real del río Cuervo se sitúa en la parte culminante a 1633 m de altitud, resultan más sorprendentes los saltos de agua y cascadas que aparecen en la ortofotografía del IGN como círculos oscuros, debido al sombreado y gran cantidad de vegetación. Estas cascadas funcionales, en épocas y años húmedos, constituyen surgencias de aguas subterráneas y contribuyen a la continua precipitación, y más esporádicamente disolución, del carbonato cálcico, por lo que el modelado kárstico es muy dinámico (Fig. 60).

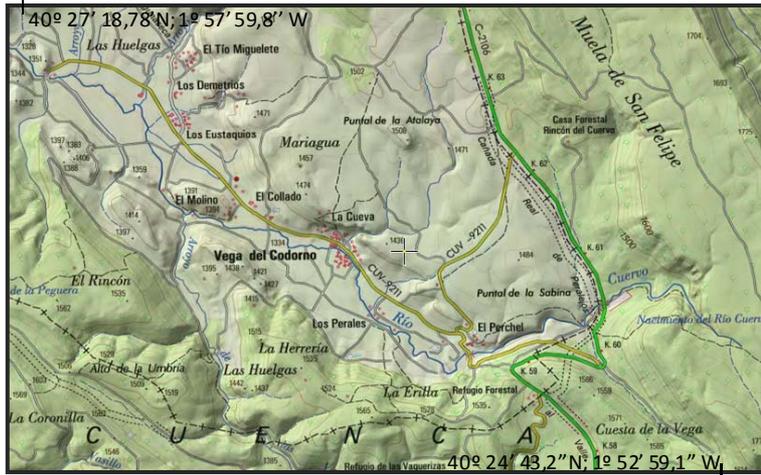


Fig. 59. Localización del nacimiento del río Cuervo (Fuente: www.ign.es).

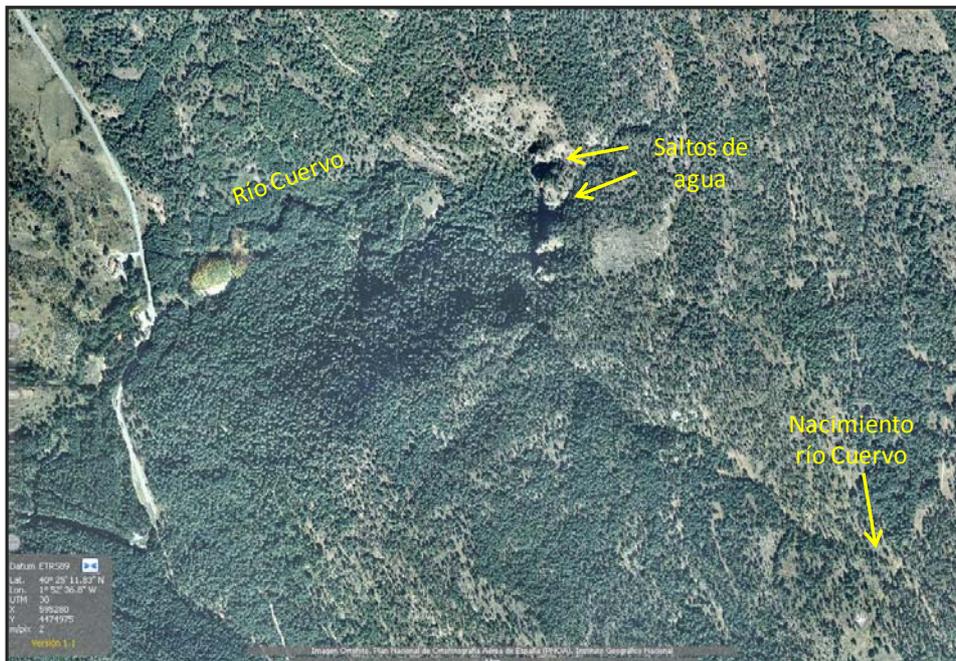


Fig. 60. Ortofotografía del nacimiento del río Cuervo y del tramo alto visitable. (Fuente: www.ign.es, Iberpix 2, 2012).

La imagen Spot permite discriminar las diferentes litologías del Mesozoico. La mayor parte de la figura 61 corresponde a calizas dolomíticas del Cretácico, fuertemente plegadas y que albergan una densa vegetación arbórea, con predominio de coníferas. Esto le confiere colores rojizos y granates. Por debajo de estos Cretácicos, aparecen en tonos más claros los materiales jurásicos, constituidos por margas y calizas. El aprovechamiento de esta superficie es fundamentalmente ganadero. Los sedimentos

triásicos, yesos y arcillas del Keuper, se localizan en pequeñas manchas moteadas junto a los núcleos de El Perchel y La Cueva, rodeando a los depósitos fluviales cuaternarios, que destacan en tonos rojos por su dedicación agrícola de regadío y vegetación de ribera.

Además de distinguir las principales unidades litológicas la imagen Spot permite cartografiar las grandes estructuras geológicas: pliegues en rodilla, ejes de pliegues, charnelas, cabalgamientos y líneas de fracturación.

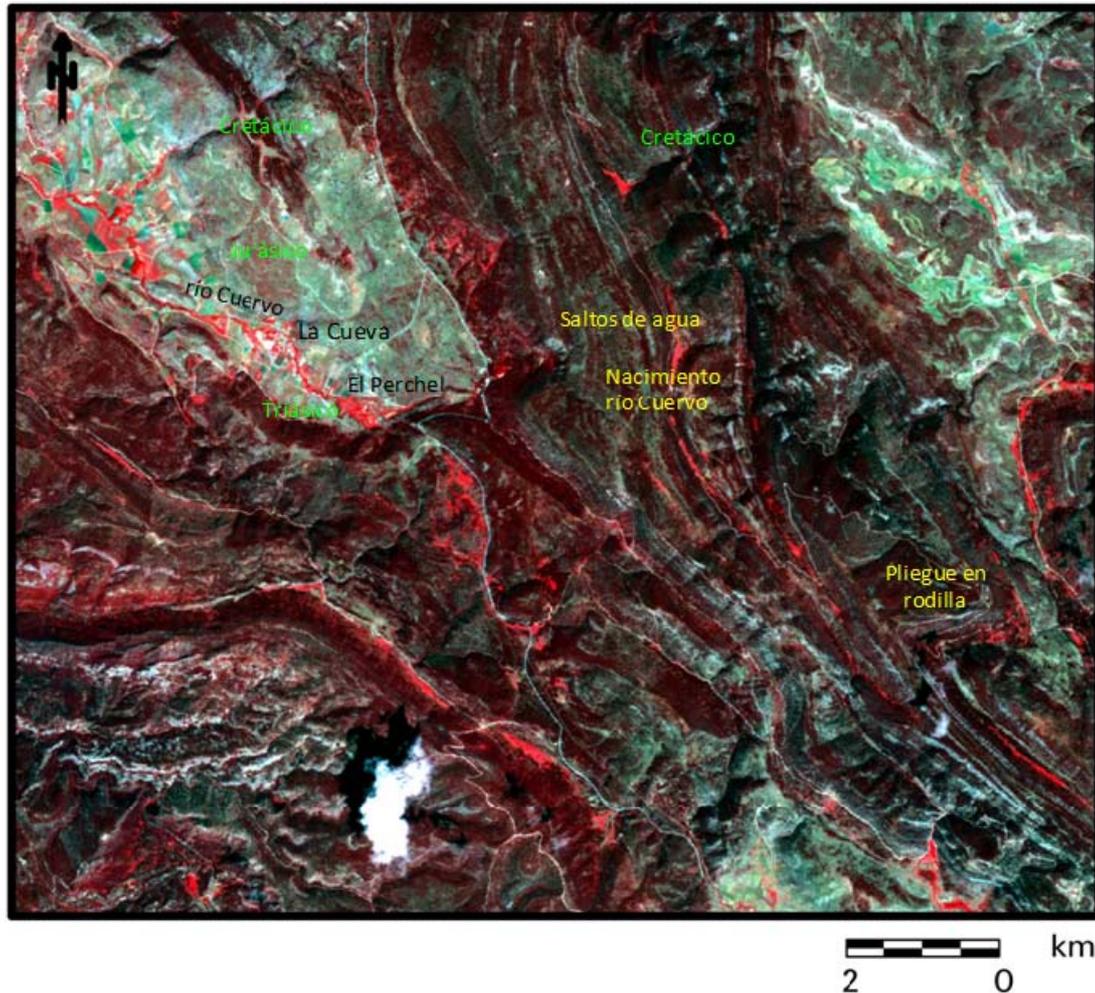


Fig. 61. Imagen Spot 5 de 04-07-2009, bandas 3-2-1 (R-V-A).

En áreas con alta densidad de vegetación es conveniente realizar índices que reflejen el estado de la vegetación en un momento dado. Aquí se ha aplicado el índice IR/R (banda 4/banda2). Los valores más altos (de 1,8 a 3,5) se corresponden con la vegetación de ribera, cultivos en regadío y frondosas. El bosque de coníferas, con alta densidad ofrece valores entre 1,5 y 1,8. El bosque claro tiene valores entre 1,3 y 1,5 y las superficies sin apenas recubrimiento vegetal (pastos secos, eriales, afloramientos rocosos, etc) ofrecen entre 1,0 y 1,3 y en blanco destaca la superficie sin vegetación (infraestructuras viarias, núcleos rurales, nubes, suelo desnudo, etc.).

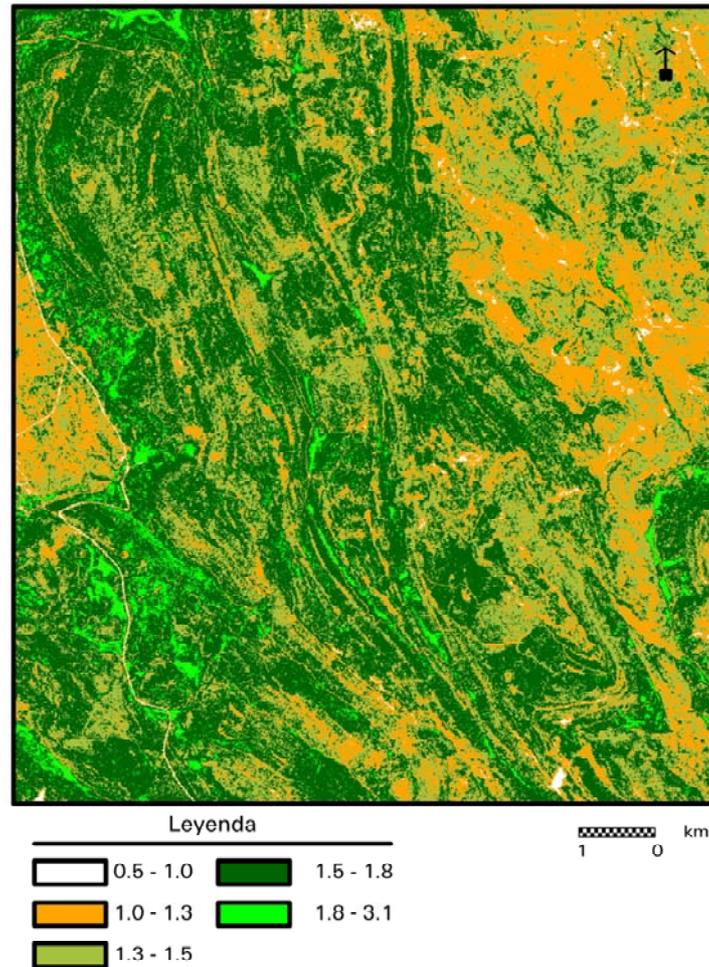


Fig. 62. Índice de vegetación, infrarrojo próximo/rojo (IR/R) de la imagen Spot 5, 04-07-2009.

En este capítulo se ha puesto especial interés en mostrar las aplicaciones de la teledetección en imágenes tratadas en diferentes modos para destacar los aspectos más relevantes de la geología, naturaleza del roquedo, estructura geológica, grado de humedad del suelo, sin infravalorar los usos forestales y agrarios del paisaje. Una pormenorizada investigación con estas herramientas y las más clásicas de análisis estereoscópico de fotografía aérea y visita a la realidad terreno ha permitido la exposición de hipótesis de trabajo en la evolución de las dolinas, que necesitarían de una ulterior corroboración o rechazo para ser sustituidas por nuevas hipótesis que habrían de ser contrastadas a su vez. Con ello no se hace sino aplicar el principio del llamado método científico. Desde un punto de vista geográfico no debe extrañar el continuo cambio de escala, el paso de lo particular a lo general (del detalle a lo genérico) y viceversa, una práctica absolutamente habitual en el proceder territorial que, lamentablemente, no siempre es comprendida ni asimilada con facilidad. En las escalas a las que nos movemos no ocurre como en la física atómica o subatómica en la que no se cumplen los presupuestos de la física clásica o newtoniana. Las pautas de comportamiento espacial se mantienen desde lo milimétrico a lo megamétrico, salvando las distancias evidentes de que en las primeras no puede intervenir tan evidentemente el hombre.

III. Relieves volcánicos: Campo de Calatrava

La provincia Ciudad Real acoge en su parte central una comarca que se ha venido llamando Campo de Calatrava, más por la importancia histórica que esta Orden Militar tuvo que por las manifestaciones volcánicas que para los naturalistas, determinan el carácter a este territorio. Desde este punto de vista es definitorio del ámbito calatraveño la posesión de remanentes de actividad volcánica. Por lo demás es el área típica de una parte de la Meseta meridional avenida por el Guadiana y sus afluentes, tales como el Jabalón y más al S el Tirteafuera, en la que conviven unos relieves apalachenses, con la conocida secuencia de bajas y cepilladas sierras (serratas) cuarcíticas junto a pasillos labrados en materiales más blandos, con depresiones mayores en las que se depositó una somera serie del Terciario Superior, en parte contemporánea a las manifestaciones volcánicas.

Son éstas las que le confieren al terreno su singularidad, pues no deja de ser un fenómeno relativamente raro el vulcanismo en el interior de una placa. Pero dada la antigüedad de los procesos, los restos son escasos y desdibujados por la ulterior evolución. En principio cabe exponer que los volcanes originaron materiales que se sobreponen a los antiguos y sólo mantienen frescura gracias a la poca virulencia de los procesos posteriores, en la medida en que no ha existido suficiente energía de relieve.

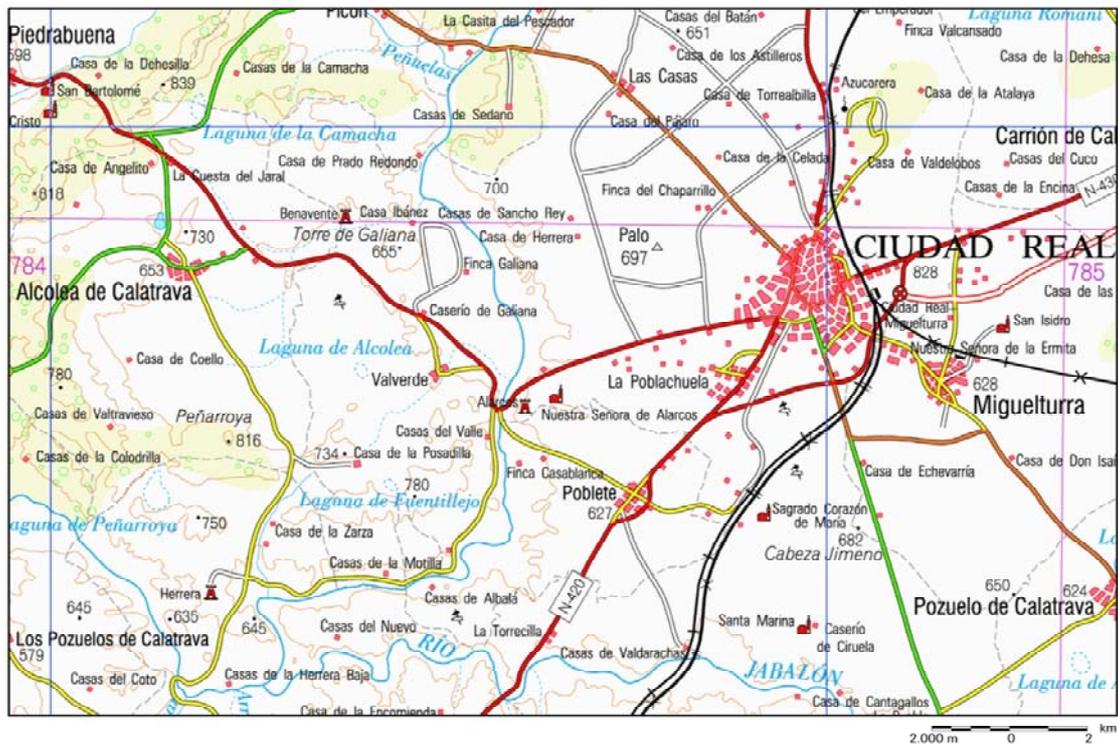


Fig 63 Localización de áreas de estudio en el mapa topográfico 1:200.000, Ciudad Real.

Mientras el territorio cartografiado culmina en los 839 m de La Camacha (Fig. 63), junto a la carretera de Ciudad Real a Piedrabuena, y la mayor parte de las serratas alcanzan los 818 m cerca de Alcolea, los 816 m en Peñarroya o los 780 m del vértice Malosaires junto a la Laguna de La Posadilla - lo que expresa la isoaltitud de una vieja superficie de aplanamiento -, los fondos son ocupados por unas corrientes de agua que discurren tan lentamente que no hacen honor a su nombre: el Guadiana al pie del embalse del Vicario tiene una cota de 600 m y abandona el mapa de la figura 63 en la central eléctrica de El Martinete a 549 m, tras un recorrido aproximado de 37 km (0,14% de gradiente).

Las serratas, con frecuentes pedreras sin cubierta, son montes en el sentido vegetal, específicamente monte alto y en ocasiones bajo, donde señorean las encinas, quejigos y, secundariamente, alcornoques acompañadas de otras plantas acidófilas del cortejo de las cistáceas, como la jara o el ojaranzo, si bien a los pies de estos cordales topográficos dominan los depósitos de ladera y los del tipo raña en la actualidad muy transformados los paisajes vegetales originarios por el uso agrícola del olivar, si bien recientemente también destaca otro aprovechamiento de menor cuidado, el pinar. Como manchas oscuras son visibles las sierras cuarcíticas en cualquier imagen de satélite y sirven de esqueleto al paisaje. Sin embargo los terrenos volcánicos, de coloración tan oscura que localmente reciben el nombre de negrizal, suelen estar ocupados por el encinar basófilo. La vegetación de las cuencas terciarias sería semejante a la mencionada de los volcanes, aunque excluyendo las plantas exclusivas de estos últimos. No obstante, la actividad humana, al menos neolítica e intensificándose desde el Bronce, ha impuesto el aprovechamiento de la típica trilogía mediterránea en estos espacios: vid, cereal y olivo. Completa el paisaje la presencia de un número elevado de lagunas, frecuentemente estacionales cuando no efímeras, que ocupan los fondos de los *maares* volcánicos, otros boquetes explosivos, restos heredados del relieve plioceno o más genéricamente antecuaternario (período al que se asigna la incisión de los ríos), así como algún lago de barrera ocasionado por la perturbación del flujo de los arroyos por la irrupción de coladas volcánicas.

Resulta sorprendente que exista tanta vinculación entre los asentamientos humanos de población y los volcanes, pues, aún bastante destruidos, no dejan de dar lugar a cabezos que tuvieron otrora carácter defensivo. Las áreas de menor pendiente a su pie debieron tener siempre preferencia por el aprovechamiento agrícola. Los pueblos más recientes se localizan junto a las tierras de labor, en plena planicie. Las vías de comunicación se apoyan en los corredores fruto de los desenganches por fractura de las serratas cuarcíticas, o bien explotan los anticlinales desventrados como el del anticlinario (a veces mal llamado antifirma) de la capital, sin menospreciar los caminos preestablecidos por la red fluvial, en especial la del Guadiana, sobrepuesta en la parte meridional del área que consideramos (tramo aguas abajo del Puente de Alarcos).

Para el trabajo fotointerpretativo y de teledetección se ha seleccionado el siguiente material:

1. Imágenes Landsat-TM de la escena 201/33 del 26-06-2011
2. Imagen Spot-5 272/35 del 06-06-2010
3. Imágenes del Google Earth ©, 2012
4. Mapa Topográfico Nacional a escala 1:200.000 (Ciudad Real) y 1:50.000 (MTN50, Hoja 784) del I.G.N.

5. Mapas Geológicos del Magna 1:50.000: 759 (Piedrabuena) y 784 (Ciudad Real)
6. Fotografías aéreas del vuelo americano de junio de 1956 (fotogramas 7158, 7159 y 7160 del rollo 83; fotogramas 7361 y 7360 del rollo 84) y del vuelo nacional de septiembre de 1984 a escala 1:30.000 de la Hoja 784 (fotogramas K3 y K4)
7. Fotografías convencionales *in situ*

En el Campo de Calatrava se identifican los siguientes relieves (Fig. 64):

- **Barras apalachenses:** formadas por materiales resistentes (cuarcitas y asimilados) con restos de antiguas superficies de aplanamiento (sólo detectables mediante estudios regionales), que probablemente estén desniveladas
- **Corredores o ensilladuras entre crestones:** labrados en materiales menos resistentes
- **Amplias y pandas cuencas de sedimentación:** depósitos terciarios poco potentes
- **Red de avenamiento perezosa,** en parte sobreimpuesta

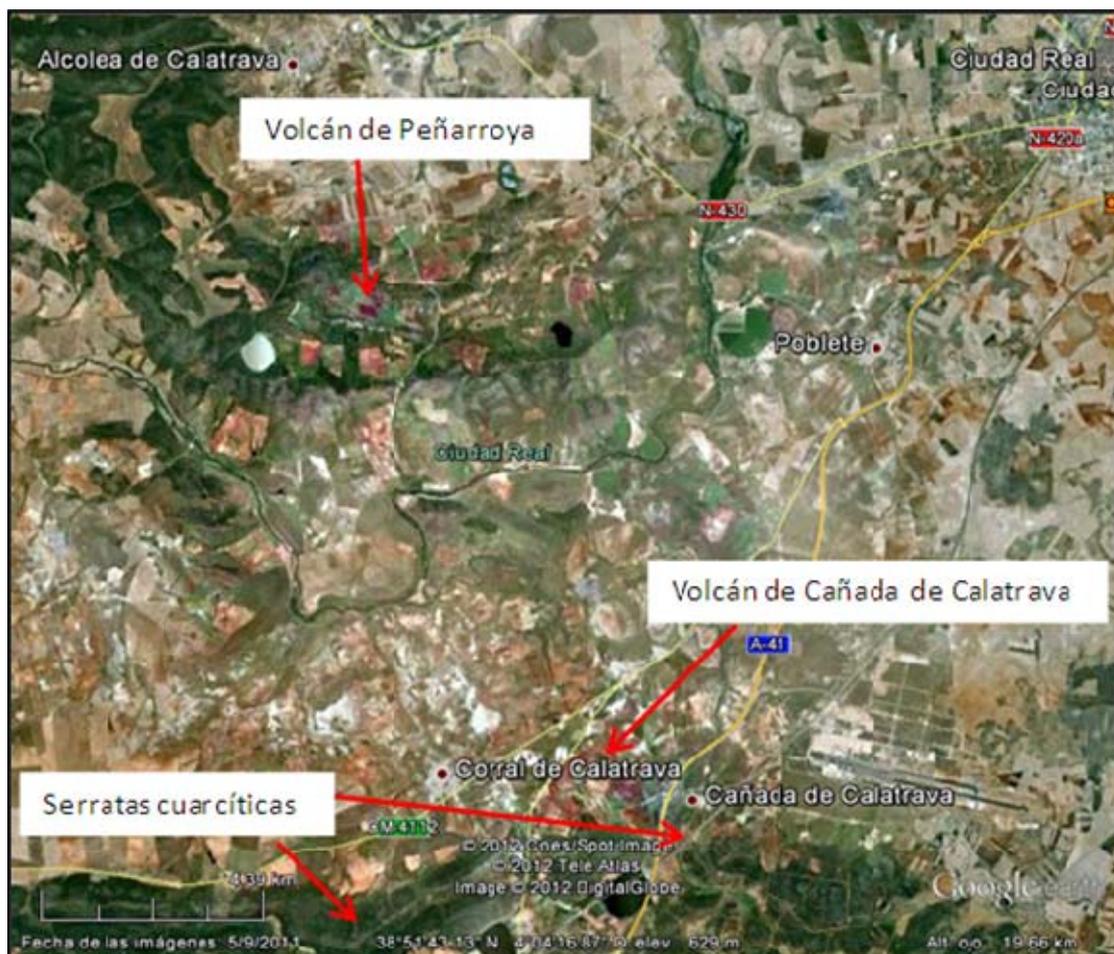


Fig. 64. Imagen general del Google © del Campo de Calatrava junto a Ciudad Real.

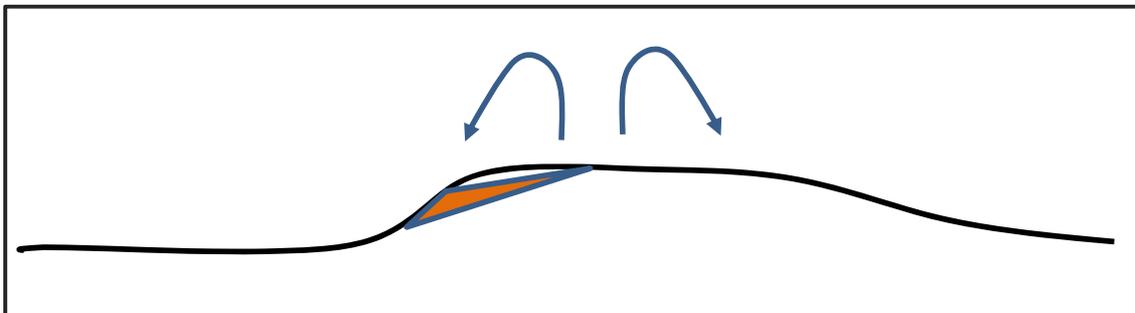
Los tipos de vulcanismo que aparecen en el Campo de Calatrava son:

- *estromboliano*: con manifestaciones de piroclastos y coladas
- *hidromagmático*: violentas explosiones de nubes laterales, con oleadas piroclásticas secas o húmedas

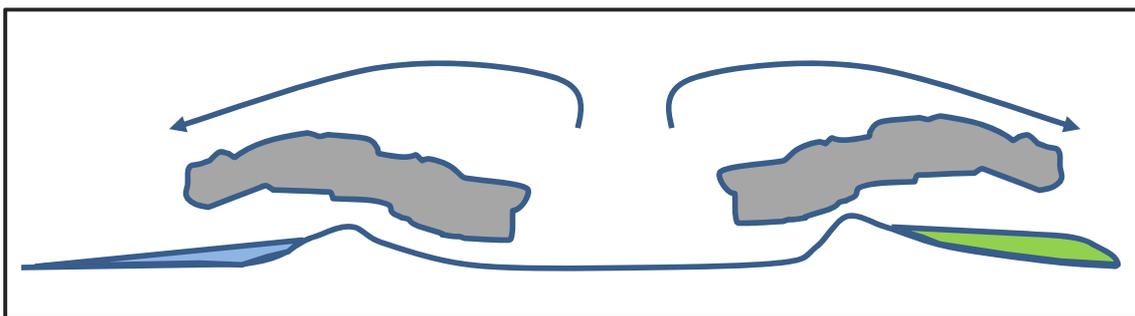
Este vulcanismo es de edad antigua, Terciario (Mioceno, Plioceno) y Pleistoceno, (8 Ma – 5.400 a.J.C.), por lo que los edificios y productos volcánicos están mal conservados.

Los diferentes tipos de volcanes tienen las siguientes características:

- **cerros de tipo estratovolcanes** con piroclastos (materiales de proyección aérea), bombas cerca de la boca, pendientes uniformes, coladas (material efusivo) que pueden generar escarpes en los cerros o coladas que recorren los valles, los taponan y favorecen la génesis de lagos de barrera



- **oquedades amplias por erupciones hidromagmáticas** con piroclastos (materiales de proyección aérea) en anillos tobáceos poco resaltados, oleadas piroclásticas secas — grandes expansiones areales (en azul) —, oleadas piroclásticas húmedas — con carácter “efusivo” de “tipo colada” (en verde) —.



En general, las hondonadas se identifican bien porque tienen unos bordes más nítidos, debido a la “orilla”, mientras que los cerros son siempre más irregulares, dado el tiempo transcurrido desde su génesis.

En las imágenes de Google Earth ©, ortofotogramas en región visible del espectro electromagnético, se destaca por las variaciones de color las siguientes unidades (Fig. 64 y 65):

- *serratas cuarcíticas*: alineaciones visibles mediante las líneas de capa, fracturación de los cordales (desenganches) y canchales de piedras sueltas (pedreras)
- *negrizales volcánicos*
- *volcanes de Peñarroya y de Calzada*: visibles en violeta
- *erupciones hidromagmáticas*: maar de Manoterías (Corral-Cañada de Calatrava) y maar de Cabezuelas (Alcolea de Calatrava)
- *áreas anegadas* – lagunas, con varias coloraciones (azulado, **a**; blanco, **b** y negro, **c**), debido al ángulo de incidencia del sol sobre ellas (reflejo), a la profundidad y/o a la presencia de sales

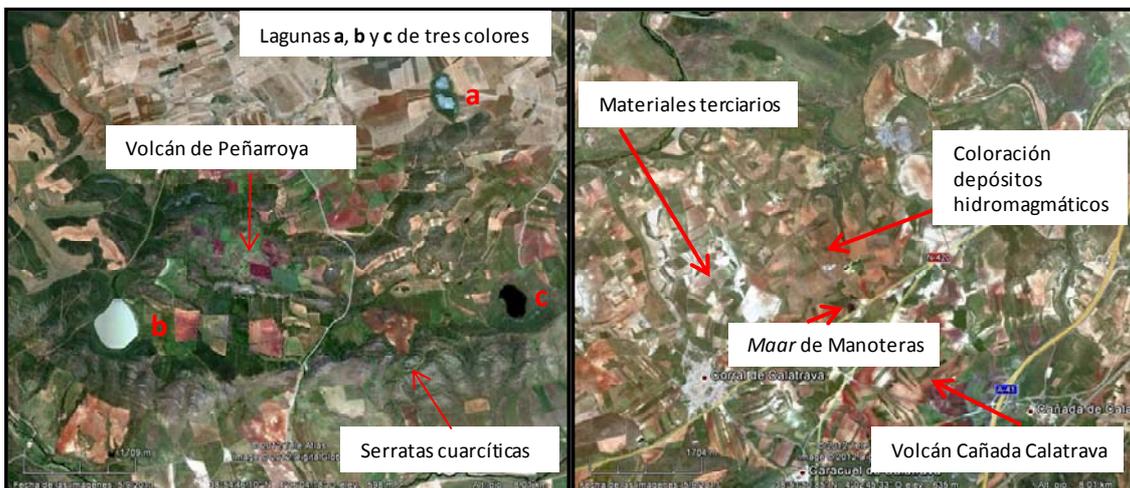


Fig. 65. Identificación de formas del relieve en imágenes del Google Earth ©.

Las imágenes del Google Earth tienen la ventaja de estar a libre disposición de los usuarios así como, en general, la alta resolución espacial. Pero, si bien es posible en estas imágenes localizar las principales unidades morfoestructurales, la identificación de determinadas litologías es con frecuencia difícil en una comarca tan compleja como ésta con distintos materiales volcánicos que se intercalan con otras litologías. Por esta razón se han seleccionado también imágenes de los satélites Spot y Landsat que, al poder ser sometidas a distintos tratamientos digitales, van a facilitar una cartografía de mayor precisión.

En la imagen obtenida mediante la combinación de bandas 3-2-1 (R-V-A) del satélite Spot se pueden distinguir los diferentes usos del suelo:

- En color rojo la vegetación higrófila en la ribera de los ríos y los cultivos de regadío.

- En azul las láminas de agua y las áreas urbanizadas e infraestructuras viarias. Ambas se pueden distinguir por el color más intenso del agua y su patrón espacial.
- En tonos verdes y granates la vegetación natural, constituida por formaciones de durilignosa y pinares.
- En tonos verdes las parcelas que mantenían cultivos de secano (ya recolectado) y suelos con escasa vegetación.

Mucho más problemático es diferenciar distintos materiales volcánicos, que se marcan en la imagen Spot con distintas letras:

- a, edificios volcánicos y depósitos de lava basáltica
- b, depósitos hidromagmáticos en mares
- c, corazas ferruginosas.

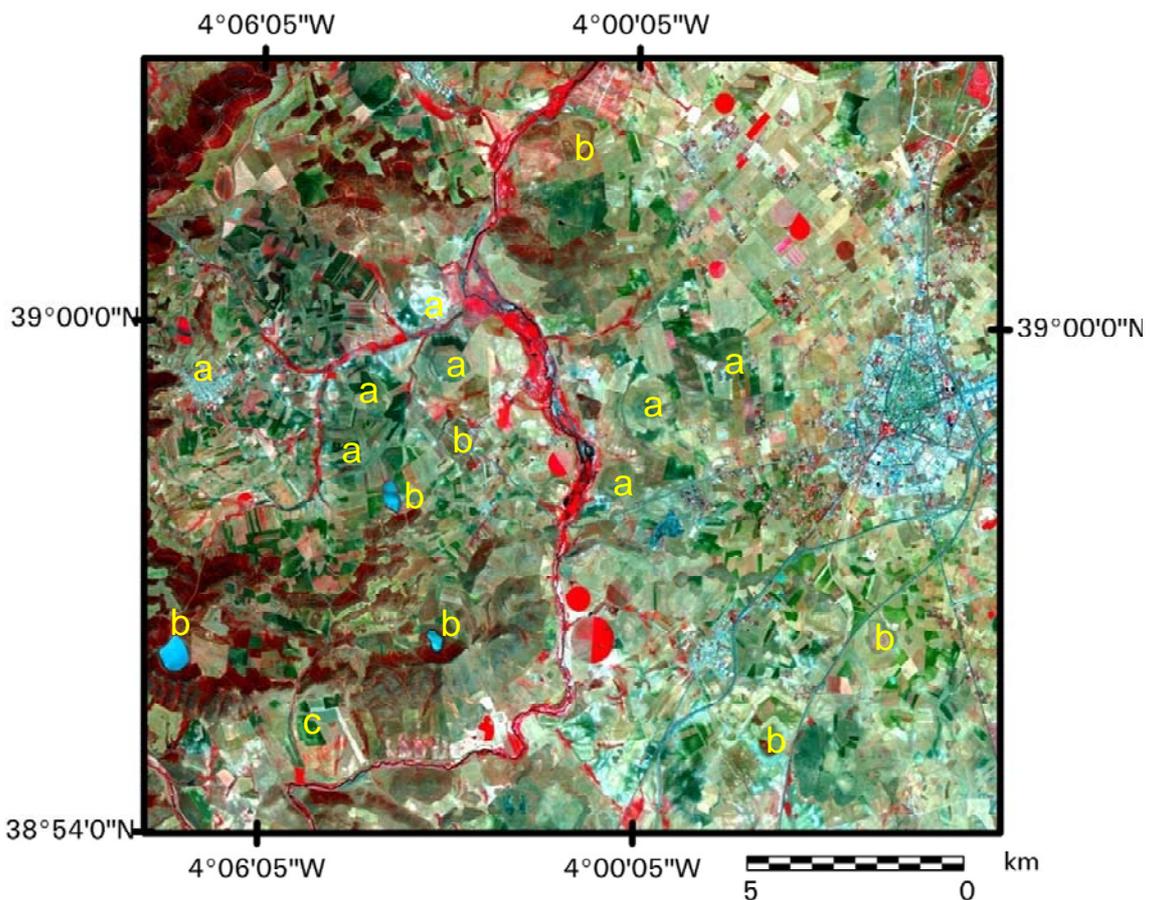


Fig. 66. Imagen Spot 35/272 de 6-6-2010, bandas 3-2-1 (R-V-A).

Tratando de distinguir mejor estos materiales volcánicos y diferenciarlos del resto de materiales se han realizado diferentes mejoras espectrales con los datos del satélite. De ellas la que mejor resultado ha dado ha sido la mejora mediante los tres primeros componentes principales que permiten discriminar (Fig. 67):

- Láminas de agua, ríos y laguna, en azul claro nítido
- Materiales volcánicos en tonos azulados tenues, debido a su carácter higroscópico
- Vegetación de ribera, bosque denso y regadíos en añil
- Infraestructuras viarias y edificaciones en aguamarina, como líneas y masas respectivamente
- Suelo desnudo en naranja

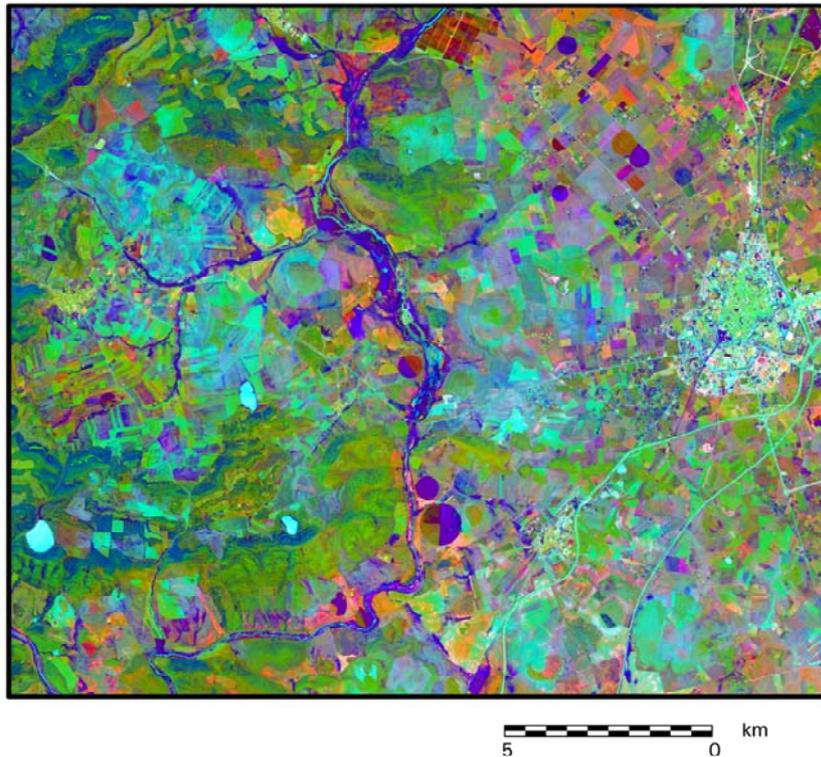


Fig. 67. Componentes principales de la imagen Spot-5 del 06-06-2010.

Con esta imagen podemos, pues, distinguir los materiales volcánicos en su conjunto, pero no establecer diferencias entre ellos debido a que el satélite Spot, aún con buena resolución espacial, es muy limitado en su resolución espectral. Para subsanar este problema se ha utilizado una imagen TM del satélite Landsat que permite obtener índices manejando sus siete bandas. Dado que los materiales volcánicos de esta área son ricos en hierro se ha obtenido una imagen del índice de óxidos de hierro (Fig 68), que se calcula mediante el cociente de los canales visibles rojo y azul ($b3/b1$).

La imagen de índice de óxidos tiene valores comprendidos entre 0 y 1. Los valores más elevados, en magenta y rojo, corresponden a los sectores ricos en hierro. Se identifican los materiales volcánicos que ocupan una gran extensión en la mitad oriental de la imagen. Los valores más bajos, en azul, corresponden a las superficies cubiertas de vegetación y al agua.

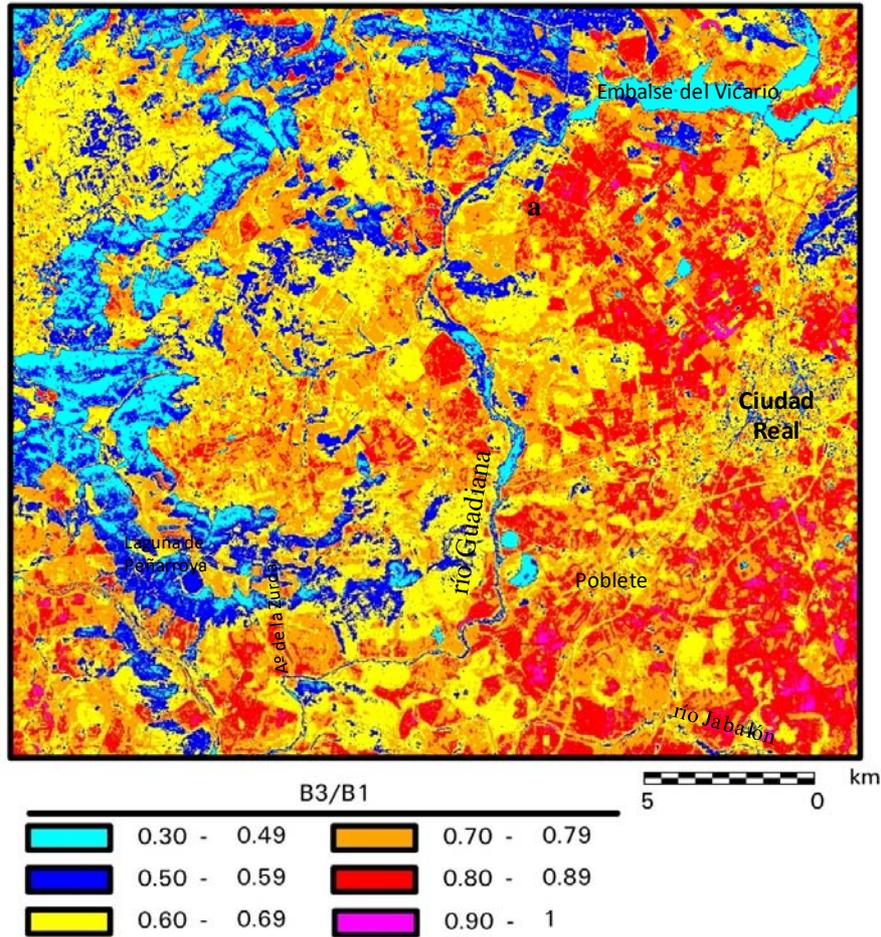
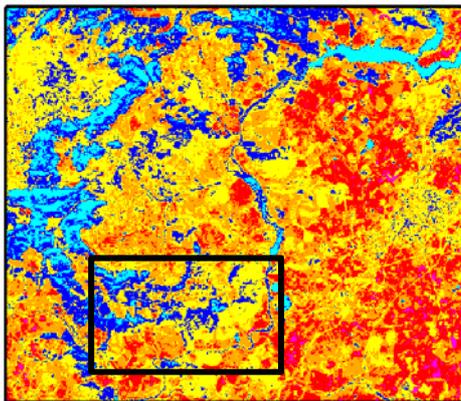


Fig. 68. Índice de óxidos de hierro de la imagen Landsat-TM.



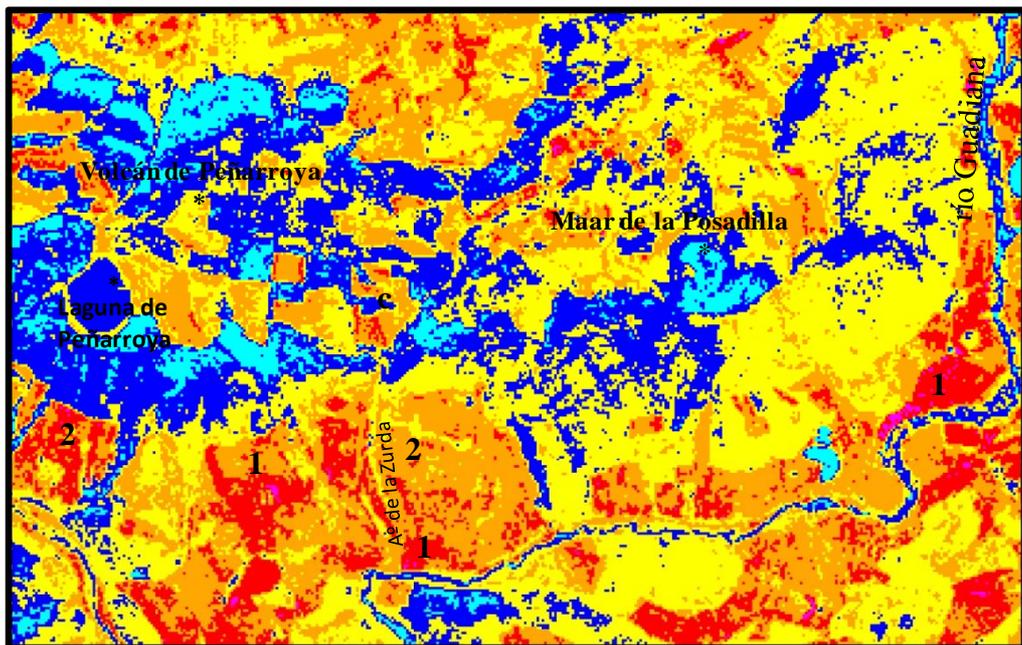
Fig. 69. Colada (a), conglomerados encostrados en hierro de las terrazas fluviales (b) coraza ferruginosa (c).

Se identifican los materiales volcánicos que ocupan una gran extensión en la mitad oriental de la imagen. En una imagen de detalle se distinguen los distintos tipos de material rico en hierro: corazas ferruginosas y conglomerados. El problema es que, en muchas ocasiones, las corazas ferruginosas están cubiertas por vegetación, por lo que el sensor sólo detecta ésta. Ello es un problema que requiere la ayuda de otras técnicas y métodos. Además, aunque mediante las mejoras espectrales de las imágenes de satélite se obtiene información sobre la distribución de materiales, para el estudio de las diferentes formas volcánicas es necesaria la fotografía aérea convencional. Debido a la antigüedad del vulcanismo, los relieves están muy erosionados y es imprescindible el reconocimiento en detalle, con visión estereoscópica y trabajo de campo.



Otros materiales ricos en hierro destacan en color magenta y rojo en una imagen de detalle. Se corresponden a:

- depósitos con cemento ferruginoso: abanicos y terrazas (1)
- corazas ferruginosas (2)



B3/B1

2 0 km

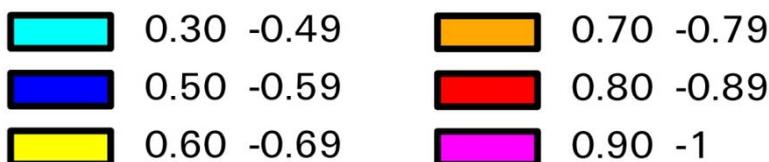


Fig. 70. Detalle de la imagen del índice de óxidos de hierro.

En la comarca del Campo de Calatrava se han seleccionado varias áreas para mostrar distintas manifestaciones del vulcanismo. Estas se localizan junto a:

1. Alcolea de Calatrava:
 - a. el maar de Cabezuela(s) (volcán hidromagmático de Alcolea de Calatrava)
 - b. el volcán de Peñarroya
 - c. el volcán de Alcolea de Calatrava
2. Valverde de Calatrava: maar volcánico de Fuentillejo o La Posadilla, y coladas u oleadas volcánicas subsiguientes
3. Arroyo de la Zurda (según MAGNA, 1985, ¿Zahurda?, Zarza según MTN 1:50.000 1954) al S de Alcolea de Calatrava corazas ferruginosas y terrazas del Arroyo encostradas

1.a. Alcolea de Calatrava: *Visión estereoscópica y en ortofotografía del maar de Cabezuela(s) (volcán hidromagmático de Alcolea de Calatrava)*

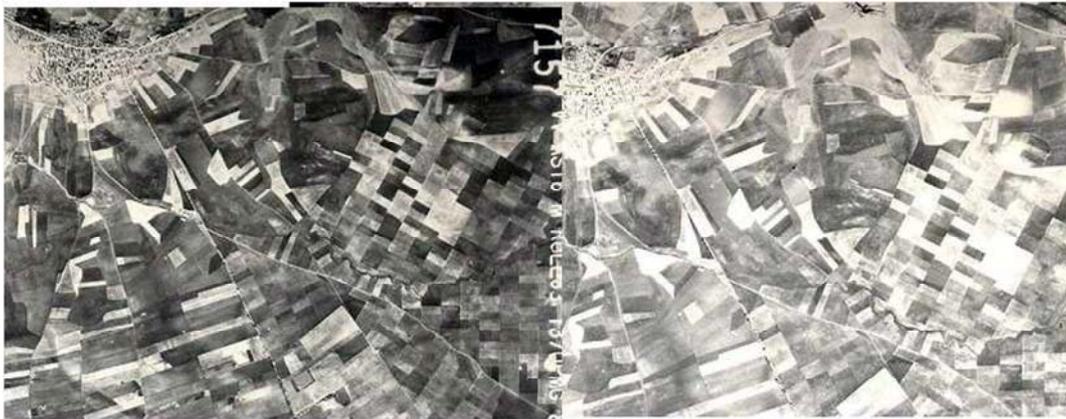


Fig. 71. Par estereoscópico (1956).

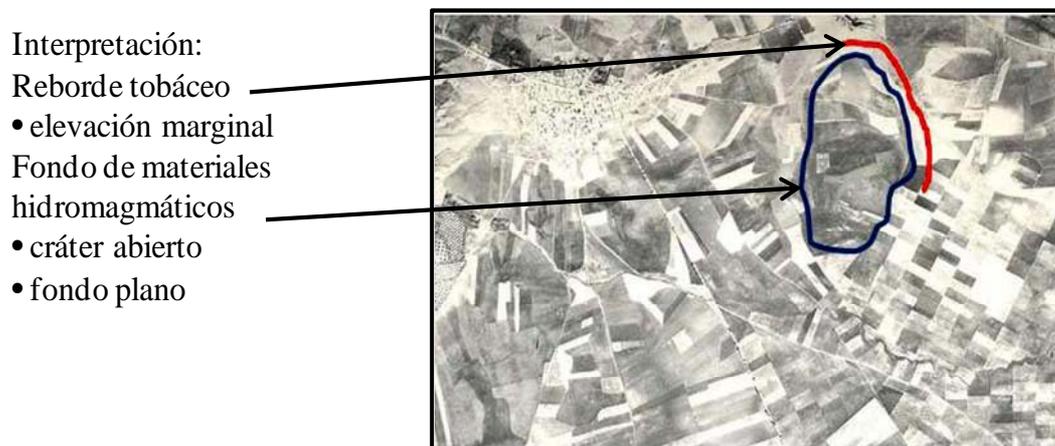
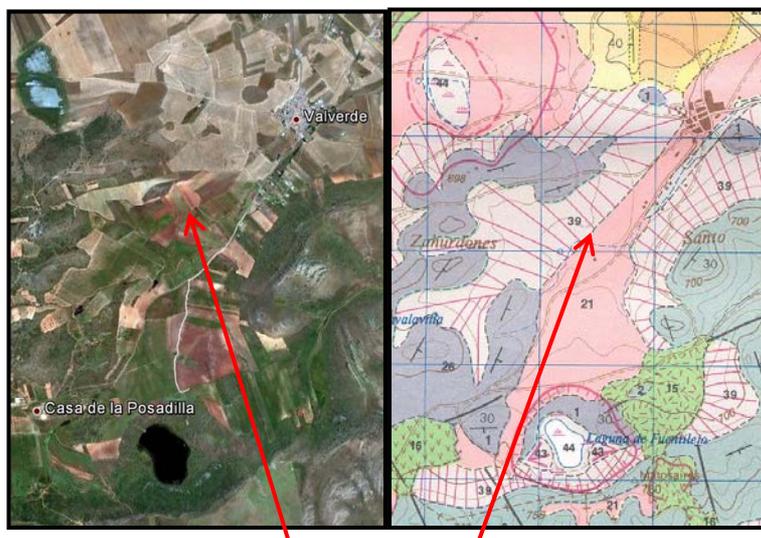


Fig. 72. Interpretación de la fotografía aérea anterior.



Fig. 73. Identificación del volcán hidromagmático de Alcolea de Calatrava en Google Earth © y en el mapa topográfico 1:25.000.



¿límite demasiado lineal si se compara con la foto?

Fig. 74. Imagen del Google Eath © y mapa geológico 784 (Ciudad Real). (Leyenda en <http://www.igme.es/internet/cartografia/cartografia/magna50.asp>).



Fig. 75. Vista del fondo del maar desde el reborde tobáceo y detalle del material que forma el reborde.

1.b. **Alcolea de Calatrava.** *Visión estereoscópica y en ortofotografía del volcán de Peñarroya*

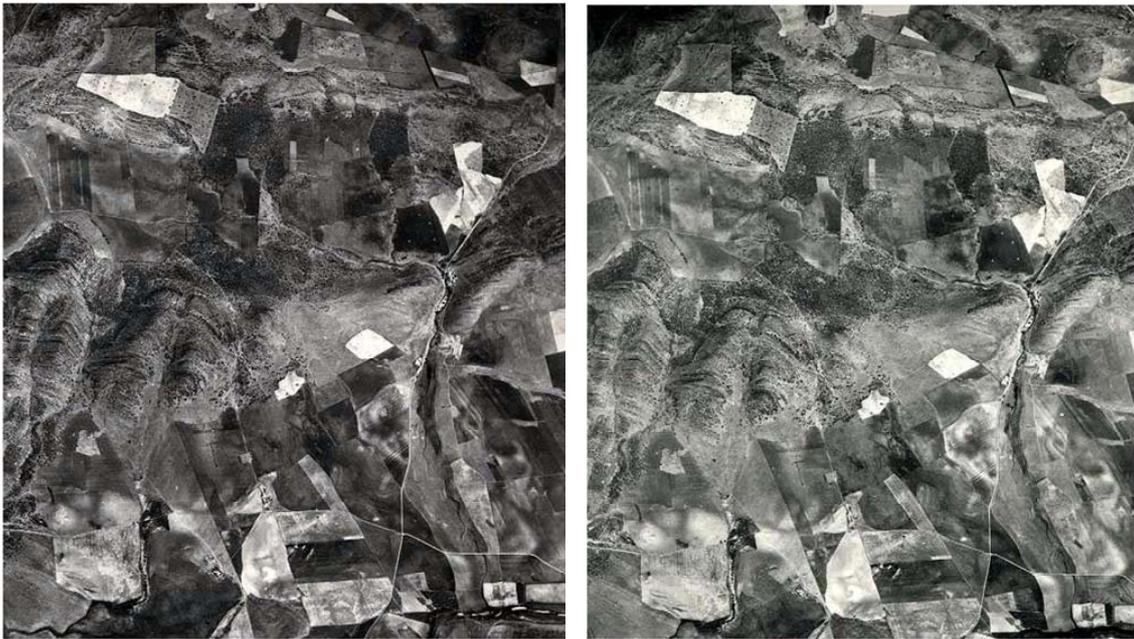


Fig. 76. Par estereoscópico. Vuelo americano 1956.

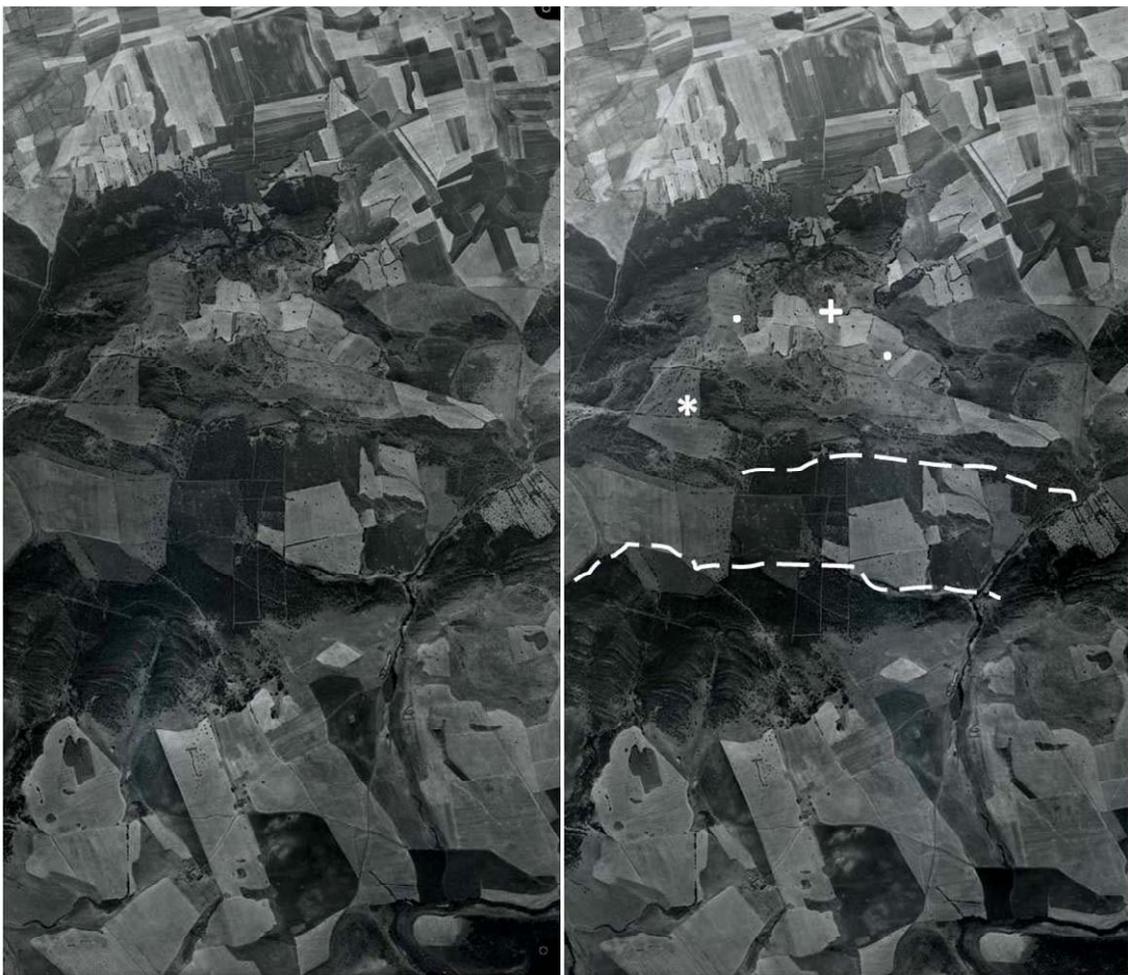


Fig. 77. Par estereoscópico. Vuelo 1984.

Interpretación, según se dibuja en el fotograma:

- * El foco emisor no coincide con la máxima altitud, sino con contacto litológico
- + Culminación en piroclastos volcánicos
- Hombreras en materiales cuarcíticos prevolcánicos
- ≡ Ensilladura apalachense por la que fluyó la lava

La boca volcánica piroclástica es más deleznable que los materiales emitidos, lo que da lugar a la génesis de un relieve invertido.

Si para un estudio del relieve lo más importante es una buena resolución –escala apropiada–, en los estudios del uso del suelo son fundamentales las consideraciones de los elementos diacrónicos. De ahí el uso de fotogramas de diferente tiempo, en los que se procederá a realizar comparativas en busca de analogías y diferencias.

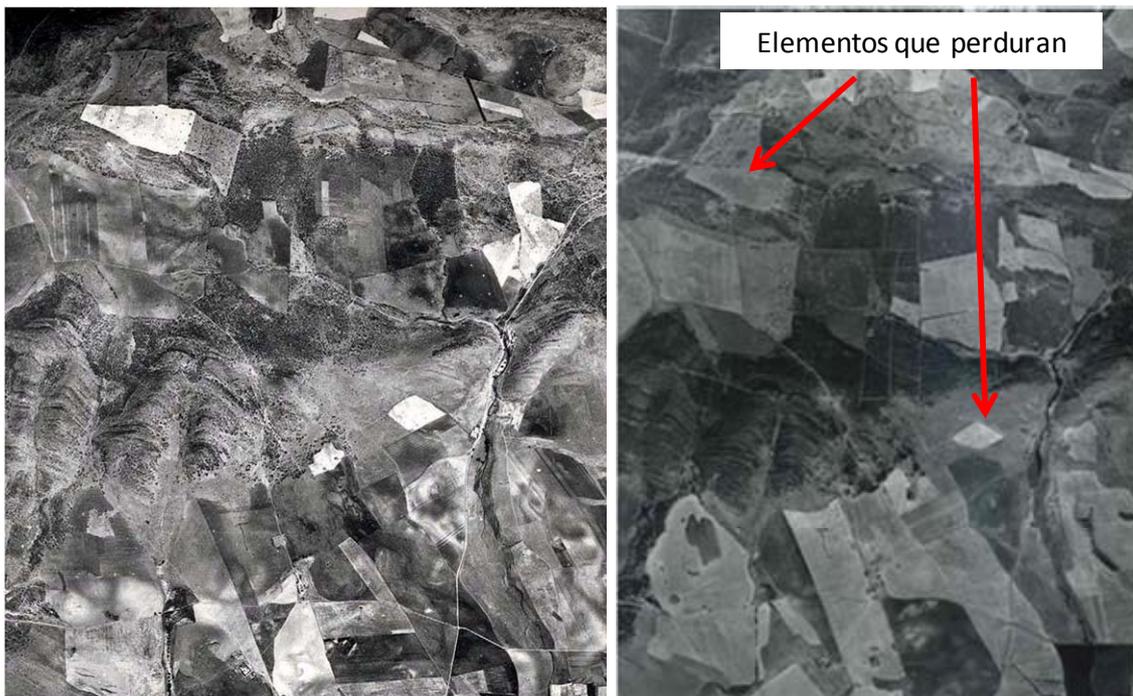


Fig. 78. Comparativa de la fotografía aérea 1956 y 1984.

Los elementos que perduran: rasgos geomorfológicos, ríos, red viaria, bosques, plano parcelario – salvo concentraciones, separaciones – y asentamientos rurales

Los elementos cambiantes: cultígenos, usos del suelo, repoblaciones forestales, cortafuegos, nuevas vías de comunicación – AVE, autopistas – y urbanizaciones

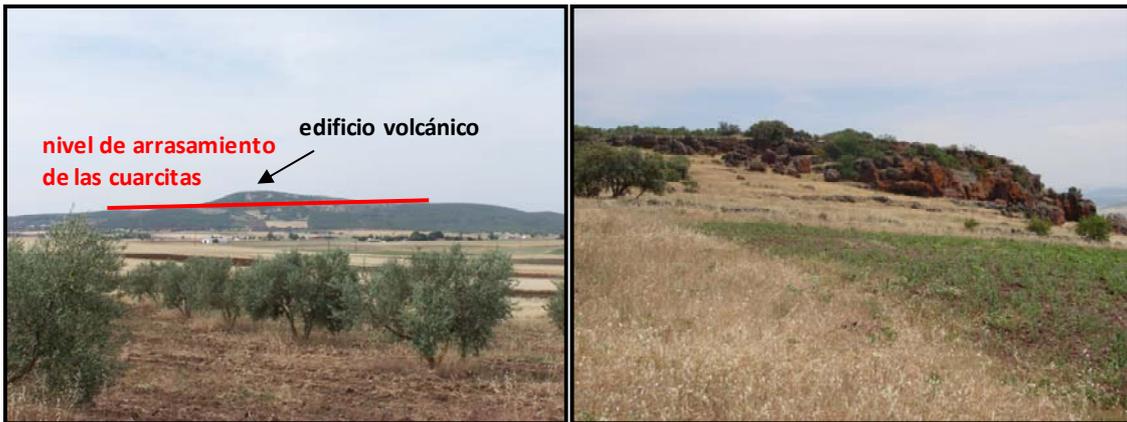


Fig. 79. Edificio volcánico de Peñarroya y detalle de una posible cantera en material piroclástico.

Propuesta de explicaciones alternativas al edificio del volcán de Peñarroya:

1ª posibilidad: la boca del volcán es producto de una chimenea que no está vertical, pues ésta distribuiría uniformemente los piroclastos en todos los sentidos del espacio, sino de una chimenea inclinada, de tal modo que el mayor acúmulo de material se hiciera al N: chimenea vergente, pues, al N o lo que es lo mismo, buzando hacia el S.

2ª posibilidad: con un conducto vertical o subvertical se habría depositado la carga de la erupción uniformemente, en todos los sentidos del espacio, y sería una transformación posterior la causante de la conservación en el N de las masas emitidas. Dado el paso de la corrida cuarcítica por el N del punto emisor, (cuarcita que equivale a hablar de roca de máxima estabilidad en cuanto a su comportamiento mecánico), frente a los materiales pizarrosos y esquistosos que caracterizan la ensilladura apalachense, (material que pudiera estar alterado con anterioridad al sellado o fosilización por los piroclastos, una alteración propia de ambiente cálido, al menos subtropical si no francamente tropical de los tiempos inmediatamente anteriores a las erupciones piroclásticas), los depósitos sobre los esquistos alterados podrían haberse deslizado, derrumbándose esa parte del edificio volcánico que, no obstante, se habría conservado sobre las cuarcitas. En cualquier caso la topografía preexistente al vulcanismo desempeñaría un papel destacado.

3ª posibilidad: una explicación eminentemente antrópica. Dado el corte vertical del afloramiento presente de los grandes piroclastos del volcán de Peñarroya, podría pensarse en el carácter de explotación o cantera del mismo. ¿Se ha podido extraer lapilli de diámetro pequeño y respetar el material más grueso, aparentemente inútil? No cabe duda del aprovechamiento del corte vertical, que localmente dispone de abrigos u oquedades métricas, para la ganadería. Más complicado de probar resulta la hipótesis del uso del pretendido lapilli. No se ha podido comprobar esta hipótesis entre los lugareños, lo que no descarta un uso suficientemente antiguo, hoy olvidado. Los cortes verticales darían con posterioridad paso a los vuelcos, derrumbes y deslizamientos que son visibles hoy.



Fig. 80. Fotos de detalle del Volcán de Peñarroya. La presencia de ciertos líquenes coadyuva a la coloración rojiza del conjunto, lo que explicaría su nombre.

1. c. Volcán de Alcolea de Calatrava

El volcán de Alcolea es un estratovolcán por apilamiento de coladas y piroclastos, constituido por melilititas olivínicas en el cerro de la Ermita al N de Alcolea de Calatrava. Aunque en superficie aparecen lavas y así se refleja en la cartografía geológica, en superficie se trata de piroclastos, explotados en cantera (Fig. 81 y 82).



Fig. 81. Imagen del Google Earth © y mapa geológico, 784, Ciudad Real. (Leyenda en <http://www.igme.es/internet/cartografia/cartografia/magna50.asp>).



Fig. 82. Interpretación de las fotografías tomadas en campo.

2. Valverde de Calatrava: *Visión estereoscópica y en ortofotografía del maar volcánico de Fuentillejo o La Posadilla, y coladas u oleadas volcánicas subsiguientes*

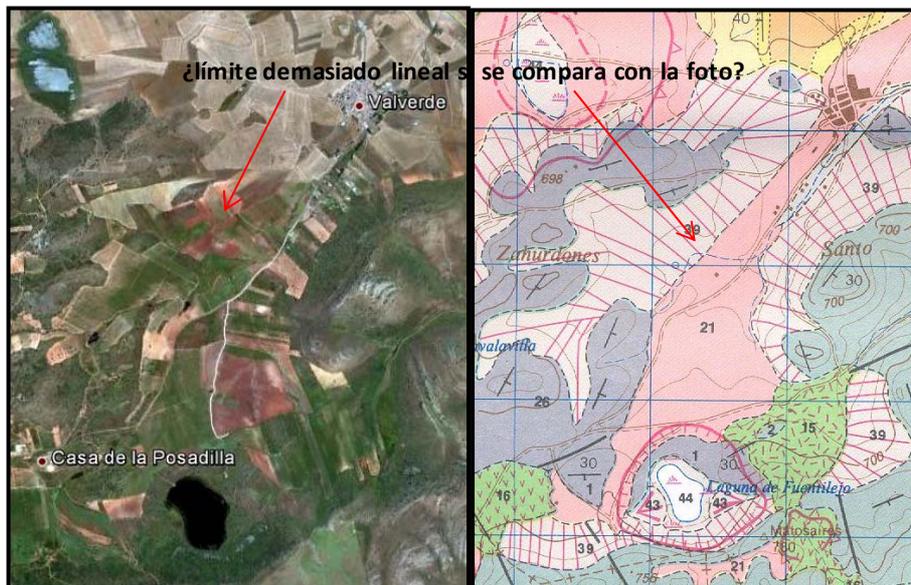


Fig. 83. Imagen del Google Earth © y mapa geológico, 784, Ciudad Real. Leyenda en <http://www.igme.es/internet/cartografia/cartografia/magna50.asp>

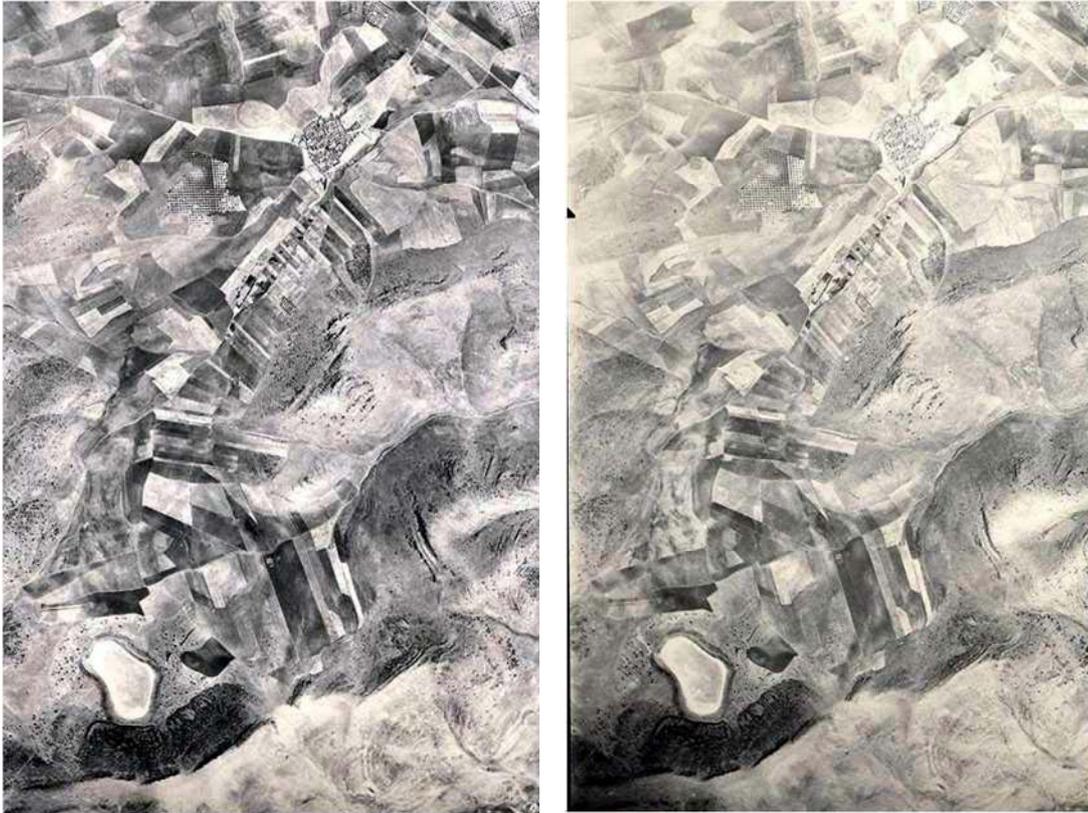


Fig. 84. Par estereoscópico del vuelo americano de 1956.

El volumen expulsado y la viscosidad impiden la continuación de la colada
Resto del valle, fluvial encajado (---)

Área de la oleada húmeda

- fondo de valle
- coloración
- uso agrícola

Cráter de explosión

- hondonada
- laguna = *maar*
- bombas

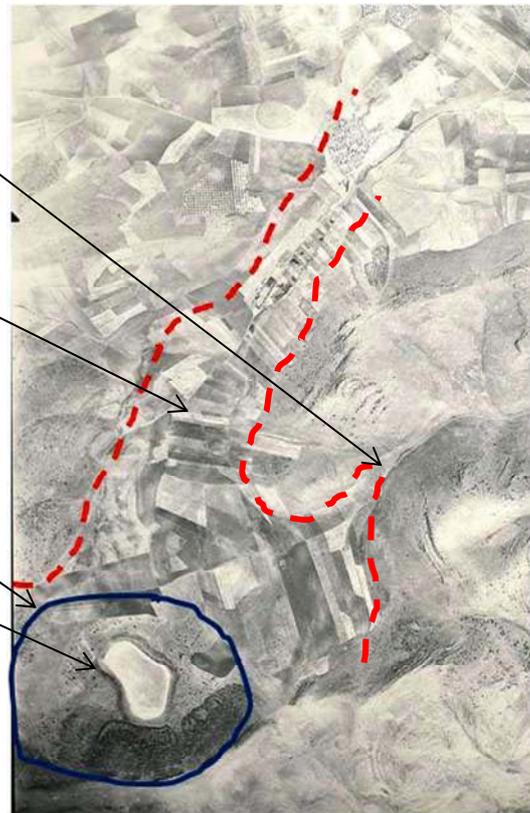


Fig. 85. Interpretación de la foto aérea y detalle de bomba volcánica.

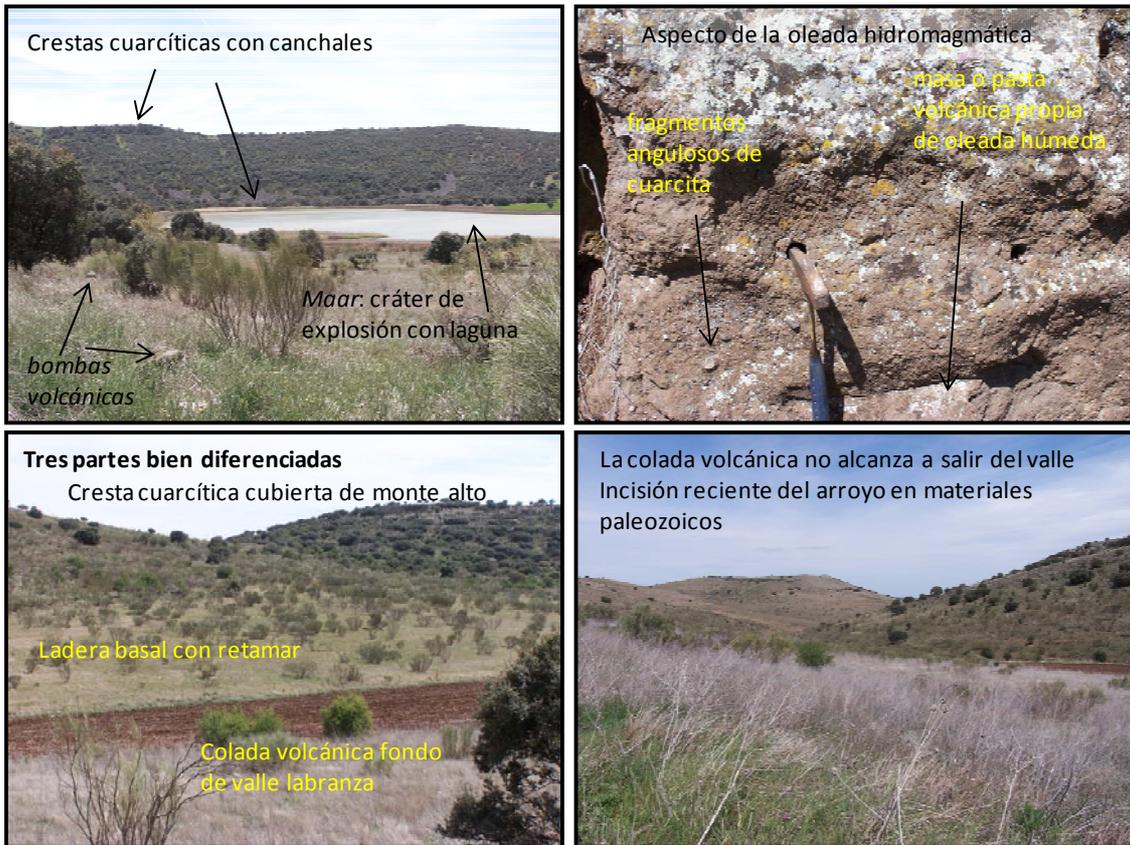


Fig. 86. Interpretación de las diferentes formas y usos del suelo en las fotografías tomadas en campo.

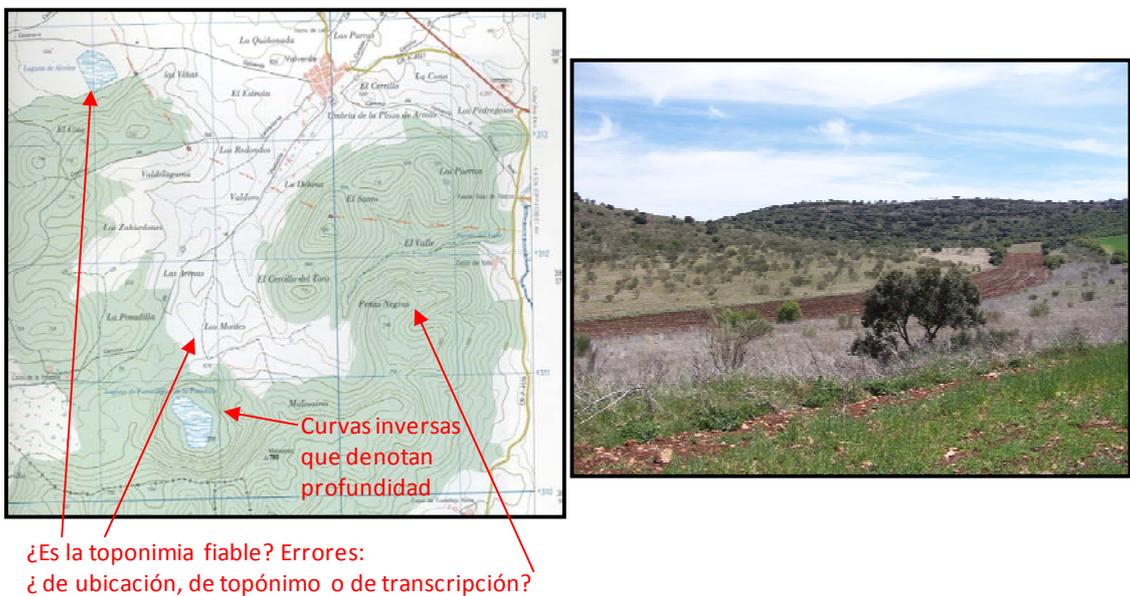


Fig. 87. Mapa topográfico 1:25.000 y detalle de la colada volcánica del volcán de Malosaires.

3. **Arroyo de la Zurda** al S de Alcolea de Calatrava. *Visión estereoscópica y en ortofotografía de las corazas ferruginosas y terrazas encostradas del Arroyo*

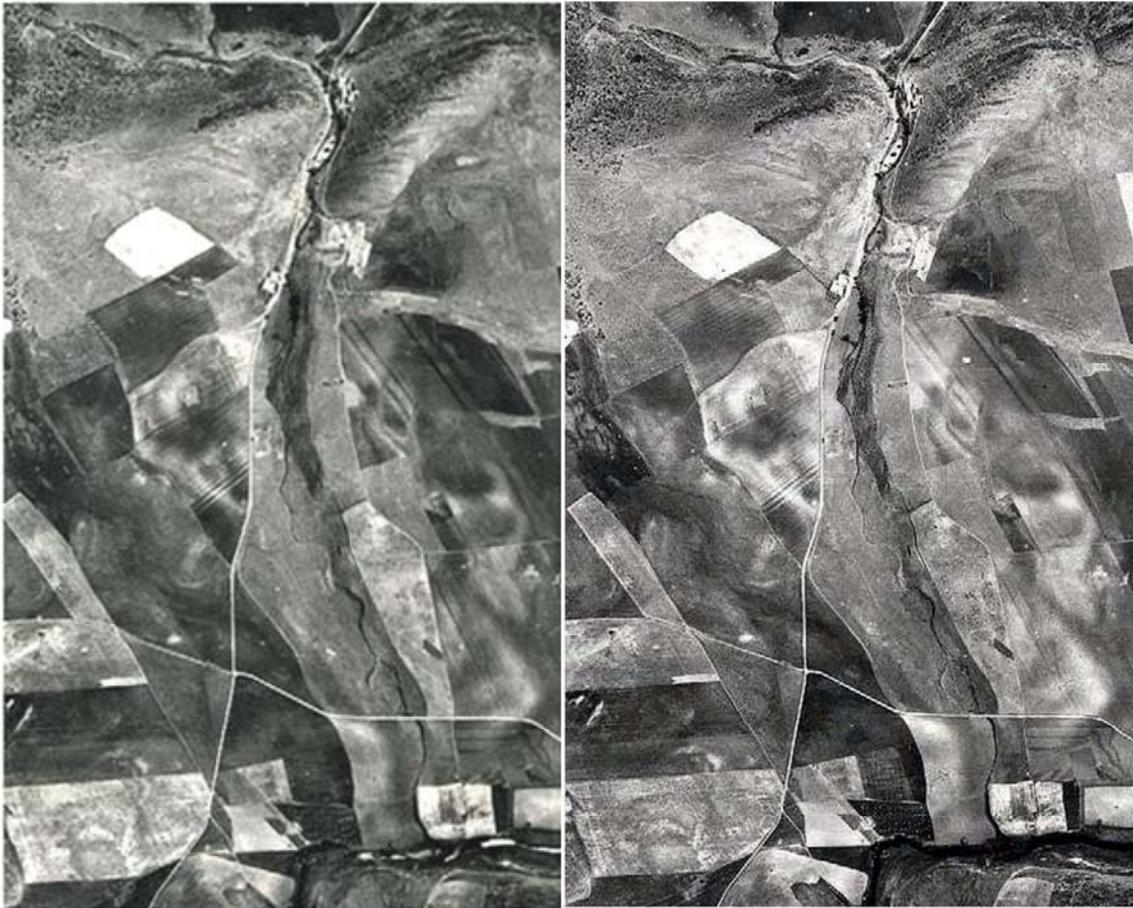


Fig. 88. Par estereoscópico del vuelo americano de 1956. Serratas cuarcíticas, canchales restos de un abanico aluvial del arroyo e incisión fluvial.

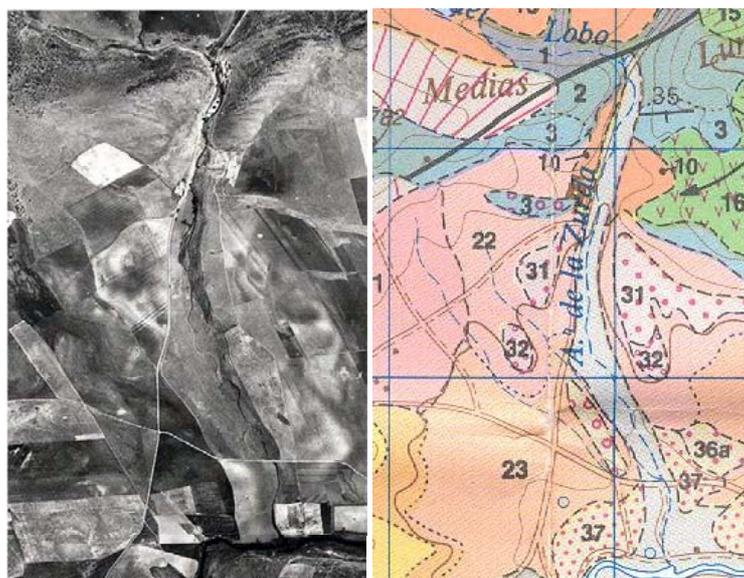


Fig. 89. Fotografía aérea y mapa geológico MAGNA, 784, Ciudad Real.

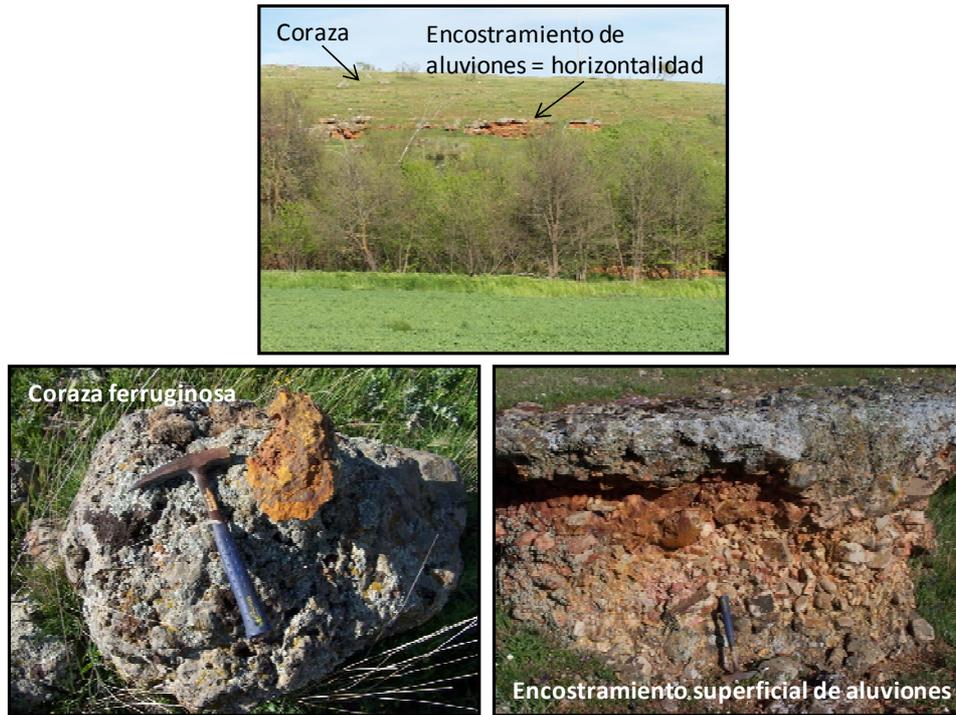


Fig. 90. Encostramiento de aluviones y corazas ferruginosas del Arroyo de la Zahurda.

Respecto a los depósitos ferruginosos se exponen dos interpretaciones:

- Serie estratigráfica continua de materiales terciarios de relleno de la cuenca de Vahondo (interpretación de Poblete Piedrabuena, M. A. (1994) (Fig. 91)
- Coraza ferruginosa antigua culminante que excava una corriente fluvial abandonando con posterioridad depósitos torrenciales de cuarcitas subredondeadas que se encostran por Fe (Fig. 91).

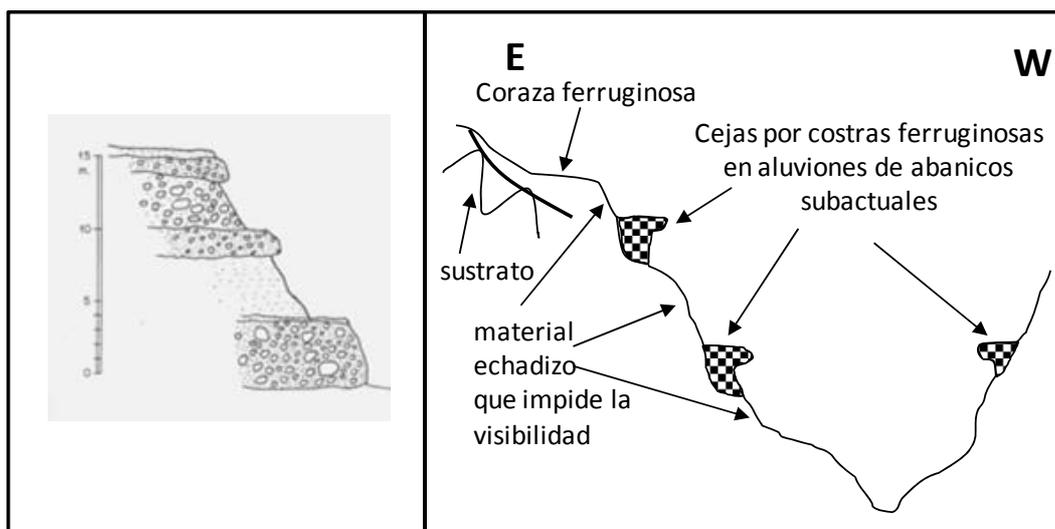


Fig. 91. Interpretación de las corazas y encostramientos ferruginosos: izquierda, “perfil estratigráfico de los abanicos aluviales encostrados de la subcuenca de Vahondo (Arroyo de la Zurda)”, Poblete (1994); derecha, elaboración propia.



Fig. 92. Interpretación de la fotografía tomada en campo.



Fig. 93. Corazas ferruginosas de la margen izquierda del Arroyo de la Zahurda.

Localización de la coraza: está dispuesta a la salida del Arroyo de la Zahurda al valle principal del Guadiana, pero más generalizada, pues ocupa tramos aguas arriba de esta cerrada. Igualmente está presente en la base de la cordada cuarcítica de S^a de La Umbría de la Sala y S^a de Medias Lunas, según el mapa geológico; esta interpretación no es compatible con la que hace el Prof. Poblete Piedrabuena.

La disposición de los encostramientos ferruginosos: se trata de una agregación de cemento ferruginoso a unos depósitos aluviales. Este proceso es semejante al visible en

el Puente de Alarcos. La presencia de las corazas puede explicar la cementación de los depósitos aluviales hacia aguas abajo, esto es, en las terrazas del Guadiana y afluentes.

En cartografía estos depósitos tienen aspecto palmeado y se trata de abanicos aluviales embutidos unos en otros.

La cementación afecta con preferencia a los niveles superiores por lo que genera afloramientos “en ceja”.

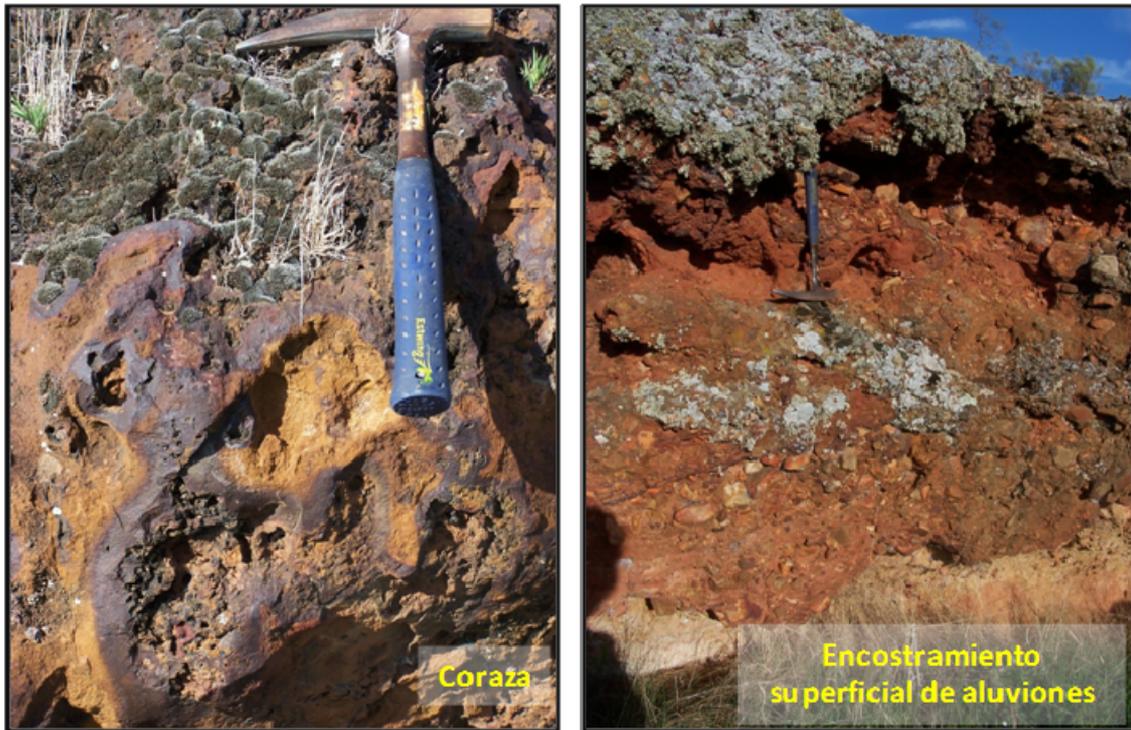


Fig. 94. Diferentes formaciones ferruginosas del Arroyo de la Zahurda.

Alternativas de génesis:

- el cemento procede de arriba, es añadido cuando ya existían los cantos (la estructura del sedimento implica que hay que buscar posibles áreas-fuente: ladera arriba o aguas arriba). Esta interpretación es compatible con los hervideros de Poblete Piedrabuena (1994)
- el cemento es fruto de oscilaciones del nivel del agua, en cuya superficie “flotan” las sales de hierro que luego cristalizan en forma de óxidos e hidróxidos

Se suele admitir que el depósito de hierro preferente en nuestro clima es el óxido-hidróxido férrico, goethita (FeOOH). Por lo general da coloraciones anaranjadas a rojizas. Cuando este compuesto envejece (en condiciones subaéreas) se convierte en hematites parda ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), de color evidentemente pardo, herrumbroso-, que posteriormente se deshidrata en hematites roja (óxido férrico, Fe_2O_3).

También se admite que la presencia de hematites es propia de climas tropicales, lo que implicaría igualmente antigüedad (Plioceno y tiempos terciarios anteriores).

La deshidratación progresiva se realiza en lugares bien aireados:

- (a) depósitos de colador (ápice de los abanicos aluviales)
- (b) escarpes en los frentes de coladas volcánicas básicas
- (c) escarpes de las terrazas fluviales, facies distales de los abanicos aluviales
- (d) escarpes de frentes de coluviones disecados por la ulterior erosión lineal

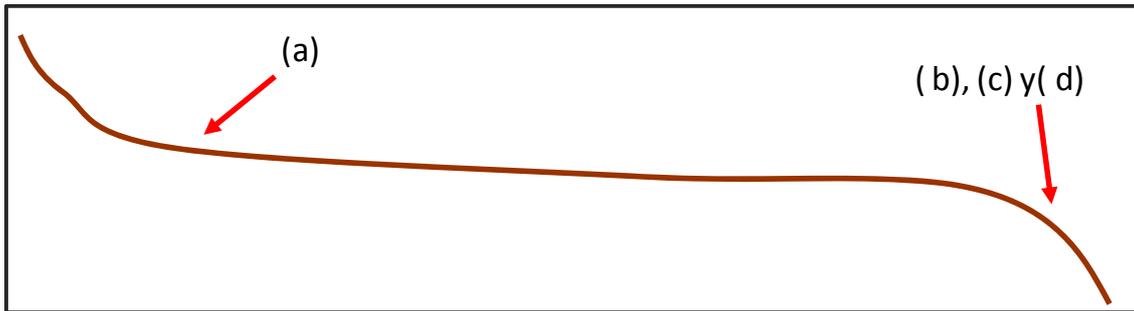


Fig. 95. Interpretación sobre los lugares donde se produciría la deshidratación de los depósitos de hierro.

No obstante, para que el hierro se pueda deshidratar tiene que haberse depositado previamente en alguna forma hidratada. Y ello ocurre en lugares de ralentización de la corriente (suavización de la pendiente, en la ladera basal).

¿Por qué se deposita en forma hidratada? Porque se suele transportar disuelto en el agua. De acuerdo a las condiciones del *pH*, el hierro se moviliza en forma reducida (ferrosa), y precipita en forma oxidada (férrica) en condiciones ácidas, si bien la acidez debida a ácidos orgánicos solubiliza grandes cantidades del ión férrico (génesis de quelatos).

En el presente capítulo se ha recopilado información tanto geomorfológica como litológica y de usos del suelo de un área al W y SW de Ciudad Real capital. Destacan los relieves volcánicos de diferente origen, estromboliano e hidromagmático con un distinto grado de conservación, sobrepuestos a una geomorfología apalachense de crestas, ocupadas por el monte alto y bajo, en cuyas ensilladuras y, de un modo preferencial, anticlinorios arrasados se han instalado pequeñas cuencas de sedimentación del Terciario Superior, donde se localiza preferentemente la actividad agraria. Las imágenes satelitales se han empleado para ahondar en los usos del suelo, y poner de manifiesto las concentraciones de hierro en el paisaje.

El *maar* de la Posadilla se considera una de las joyas del paisaje volcánico del Campo de Calatrava, por lo que se escoge para comentarla geográficamente.

Análisis y comentario de la imagen

ANÁLISIS

I. Localización.

- Cráter de La Posadilla (Ciudad Real).
Castilla-La Mancha.

II. Tipo de paisaje.

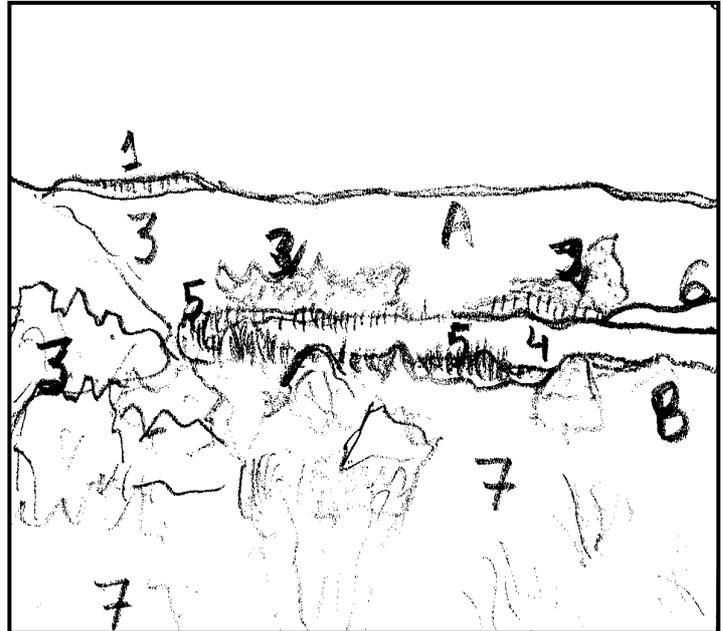
- Natural.

III. Unidades y elementos paisajísticos.

- Laderas del cráter.
 - Laderas cubiertas de vegetación (encinar).
 - Coladas de derrubios.
- Fondo del cráter.
 - Laguna (con vegetación lagunar: masiega, eneas, juncos, etc).
 - Terraza (cultivos, matorral).

IV. Factores.

- Naturales.
 - Clima (mediterráneo de interior)
 - Topografía y litología (cráter y rocas volcánicas)
- Antrópicos.
 - Transformación de usos del suelo (pequeñas superficies cultivadas)



COMENTARIO

Se trata de un paisaje casi exclusivamente natural, constituido por un viejo cráter volcánico (*maar*) casi desmantelado (A), en cuyo fondo se sitúa la laguna de La Posadilla, perteneciente al complejo volcánico del Campo de Calatrava, al sur de la provincia de Ciudad Real.

El roquedo de éste cráter apenas es visible en la parte superior izquierda (probablemente cuarcitas), formando el borde del mismo (1), y en las áreas desprovistas de vegetación, que permite descubrir una serie de derrubios (canchales), procedentes de la fractura y erosión de de las rocas caja y volcánica original (2). En general está cubierto de encina, coscoja y matorral (3), con pequeños espacios intercalados de pradera.

El fondo del cráter (B) está formado por la laguna, de escasa profundidad, alimentada por las escasas lluvias de la región (debido a su clima mediterráneo de interior, seco y de fuertes contrastes térmicos), pero que conserva esa importante lámina de agua (4), tanto más por encontrarse en una zona seca. La laguna aparece orlada de la vegetación típica de éstas áreas, especialmente masiega, juncos, etc (5), por lo que sin duda es lugar de descanso y anidación para aves lagunares y de aguada para otros animales.

En la orilla de la parte superior derecha se puede apreciar una parcela de cereal (6), que seguramente tiene continuidad en estas áreas más llanas y de mejores terrenos para la explotación agraria. En la mitad inferior de la imagen es visible alguna de la vegetación característica, como encina, masiega, retama, etc., aunque parece que se trata de la colonización de un espacio antes destinado a cultivos y cuyo abandono va permitiendo su recuperación natural (7).

Por tanto, se trata de un paisaje natural, un *maar* o cráter volcánico casi desmantelado, con laguna en su fondo, correspondiente a la región volcánica del Campo de Calatrava.



Fig. 96. Laguna de La Posadilla (*maar*), Ciudad Real, abril de 2012.

IV. Los Montes de Toledo y su piedemonte septentrional

El material seleccionado para este capítulo es el siguiente:

- Imagen Landsat-TM de la escena 201/32, 20-06-2009 y 26-06-2011; 201/33, 25-03-1989 y 26-06-2011. Imágenes Spot 270/32 13-08-2010 y 270/33 22-07-2011.
- Ortofotografías aéreas obtenidas del servidor “Iberpix 2” del I.G.N.
- Mapa topográfico a escala 1:50.000 (núm. 655 y 684) y mapa provincial 1:200.000 (Toledo) del I.G.N.
- Mapas Geológicos del Magna 1:50.000: Navalmorales (655), Navahermosa (684).
- Fotografías aéreas a escala 1:30.000, Hoja 654 (Fotogramas M 10, 11, 13 y 14); Hoja 684 (Fotogramas K 3 y 4)
- Fotografías convencionales tomadas *in situ*.

En el mapa adjunto (Fig. 97) puede diferenciarse entre dos grandes conjuntos de formas, las más extensas y que vienen impuestas por las grandes estructuras geológicas: anteclicles y sineclises, áreas elevadas y hundidas respectivamente. Las áreas elevadas, en principio, lo son tanto geológicamente (lo más antiguo) como topográficamente (lo más elevado). A su vez, las áreas hundidas, geológicamente lo más moderno, son topográficamente lo más deprimido. No es éste el momento de recalcar que anteclicles y sineclises pueden yuxtaponerse en un relieve absolutamente aplanado como en el antiguo Sáhara español, esto es con independencia de la topografía. Como tanto unas áreas como otras son de rocas rígidas, ante el abombamiento se han fracturado dando origen en las anteclicles aquí consideradas a **macizos**, en el sentido geotectónico del término y delimitados por fallas, y en las sineclises a **fosas** o, más genéricamente, **cuencas de sedimentación**.



Fig: 97. Área de estudio. Mapa del Iberpix, I.G.N.

En el espacio que nos ocupa se trata de:

- I) Anteclise de los Montes de Toledo
- II) Sineclise de la Fosa o Cuenca del Tajo

Es frecuente que se planteen diferencias en las uniones entre ante- y sineclise. Un tipo es la posible superposición del material de la cuenca sobre los márgenes de la anteclise: en nuestro caso, las rañas, de las que se hablará más adelante.

I. *Relieve de las anteclises*: relieve apalachense debido a la conjunción de varios elementos

- a) materiales diferenciados, suficientemente antiguos (paleozoicos)
- b) plegados en pliegues suaves, tipo cobertera en áreas externas de las orógenos, con notables desenganches tanto más visibles cuanto más coherente sea la roca (más competente mecánicamente)
- c) localmente puede haber intrusiones magmáticas, con granitoides en las charnelas anticlinales; presencia de diques en principio de cuarzo (Fig. 98)
- d) con cepillado ulterior que afectaría por igual a las diversas naturalezas de las rocas que condicionan la isoaltitud de los relieves

e) renovación de la erosión con diferenciación entre roca dura y blanda (resalte de los materiales más resistentes)

En detalle los tipos de relieve que dominan en la antecline de Los Montes de Toledo son apalachenses, caracterizados por:

1. **Barras apalachenses** en rocas coherentes o duras: cuarcitas, más raramente calizas
2. **Enselladuras apalachenses** en rocas deleznales: pizarras y esquistos
3. **Isoaltitud de las barras** que denota el aplanamiento (elemento imprescindible), aunque la superficie de aplanamiento pueda haber sufrido posteriores abombamientos, basculaciones, estar fracturada y desnivelada en diferentes bloques.
4. Localmente, si hay diques resistentes: “sierros” de cuarzo



Fig. 98. Serratas cuarcíticas y pedreras en Los Montes de Toledo. Google Earth ©.



Fig. 99. Serrata cuarcítica que muestra un sinclinal colgado y detalle de las pedreras de funcionalidad esporádica, sin vegetación superior, sólo colonizadas por líquenes. Bosque caducifolio y marcescente en altura en la cara N. Monte alto y bajo (cistáceas, como en el primer plano) en la base.



Fig. 100. “Sierro” erguido: paredón debido a un dique de cuarzo, con utilización defensiva. Bosque mediterráneo acidófilo. Aspecto enhiesto del “sierro”.



Fig. 101. Detalle de un dique que se ha abierto y sellado en numerosas ocasiones.

El dique de cuarzo es fácilmente detectable en fotografía aérea (Fig. 102). No así en las imágenes de satélite debido a la menor resolución espacial que hace difícil su identificación. Por esta razón aquí se han realizado tratamientos mediante mejoras espaciales con filtros que resaltan los alineamientos tanto naturales (diques, fallas, etc.) como antrópicos (carreteras, caminos, etc.). Los que mejor resultado han dado son los filtros de *convolution summary* 7 x 7, no direccional de bordes y el de paso alto 5 x 5 (Fig. 103).

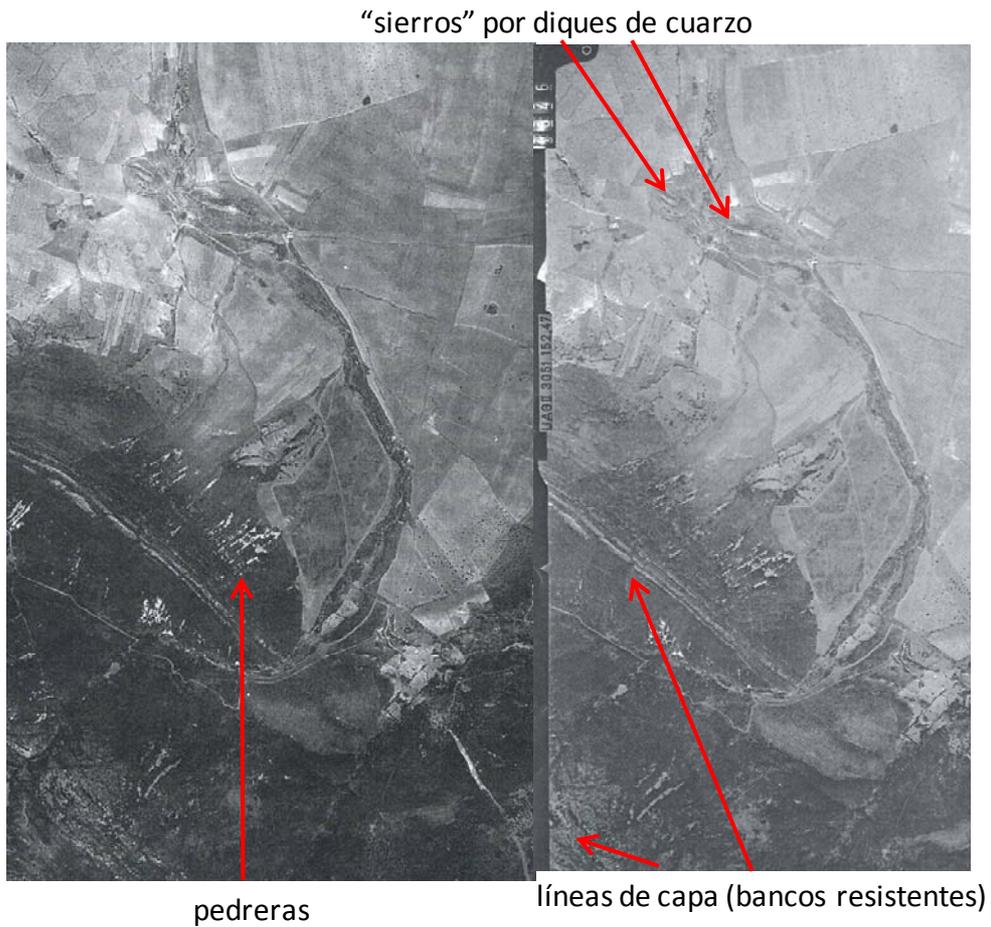


Fig. 102. Par estereoscópico del relieve apalachense y “sierro” en dique de cuarzo.

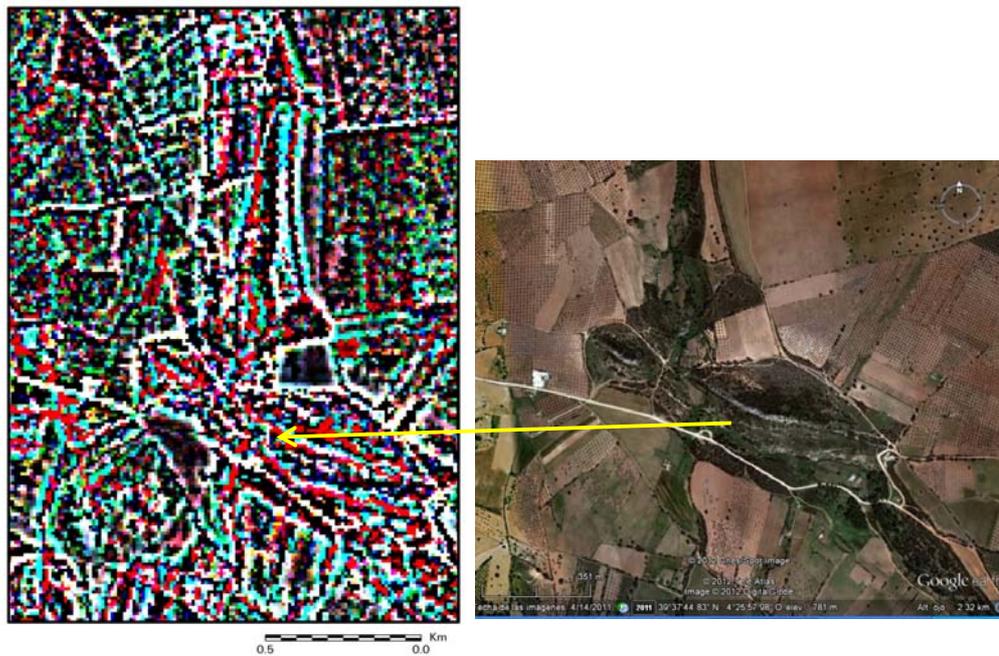


Fig. 103. Filtro de paso alto 5 x 5 de la imagen Spot 5 del 22-07-2011 e imagen del dique en Google Earth ©.

II. *Relieve de las sineclises*: delimitadas por fallas, son, más bien, fosas que cuencas de sedimentación y en principio pueden aparecer:

1. Relieves típicos de borde: relieves en cuesta (no aparecen)
2. Relieves típicos de centro de cuenca: relieves tabulares, ya vistos con motivo de la primera área de estudio

III. *Tránsito entre fosa y macizo*

1. Contacto por falla
2. Contacto por depósitos que monten y fosilicen el bloque elevado

Los Montes de Toledo se caracterizan por ser un relieve apalachense. Sobre lo expuesto en el Campo de Calatrava, se agregan algunos pormenores. Este relieve tiene características similares en lo estructural geológico a las estructuras jurásicas, con pliegues de cobertera, pero, dada la antigüedad, hay un endurecimiento máximo de las rocas, con posibilidad de intrusión o socavación de rocas magmáticas en los anticlinorios que, más bien, son antiformas porque no se cumple que el material más antiguo se halle en la charnela anticlinal, sino que las rocas intrusivas suelen ser más jóvenes que las que ocupan los flancos. Si aparecen las rocas granudas del tipo intrusivo (granitoides) éstas habrán sufrido un proceso de intensa meteorización, con génesis de arcillas (argilización) o al menos arenización (profundos mantos de alteración de jabre). Si ha habido esta alteración, el material puede muy fácilmente haberse cepillado, lo que contribuye a la extensión de las superficies de aplanamiento segundas e inferiores, las que se hallan por debajo de las afectan a las cuarcitas. Son éstas dos superficies las que tipifican el relieve de los Apalaches americanos.

Las características, pues, de los relieves apalachenses son:

a) **Barras**: con isoaltitud por cepillamiento o con basculamiento

- Lo más habitual: en cuarcitas y arenas de cemento silíceo (arenas o areniscas) que, por su altísima resistencia, ofrecen perdurabilidad al viejo cepillado
- Localmente ocupan su lugar rocas carbonatadas, con frecuencia marmorizadas, lo que contribuye a su endurecimiento; o bien descarbonatadas en el exterior, pero igualmente más duras

b) Los pliegues de las rocas competentes (cuarcitas, dolomías marmorizadas) son isopacos, típicos de cobertera. Estas rocas determinan los relieves por su dureza.

c) Los pliegues de las rocas incompetentes (pizarras, esquistos, etc.) son fluidales, pero no tienen tanta repercusión geomorfológica, dada la debilidad del material. Son las **ensilladuras** o corredores.

d) El comportamiento mecánico de las rocas ha favorecido la aparición de fallas, especialmente de desenganche, con movimiento de bloques, con desplazamientos que son especialmente visibles en las fotografías aéreas o imágenes de satélite.

Así se genera un doblete geomorfológico típico de las **serratas cuarcíticas** (con dientes e incisiones):

- **Cresterías** en las cuarcitas (a modo de “cuerdas” de igual altitud)
- **Collados** más o menos incididos en las cresterías y que en algunos casos pueden llegar a cortar en su totalidad a las barras, hasta dejar pasos o boquetes (p. e. , la Boca de Torre de Abraham que utiliza el río Bullaque) que tendrán:

1. Aprovechamiento para el discurrir del agua: “*water gaps*”
2. Sin corrientes fluviales: “*wind gaps*”

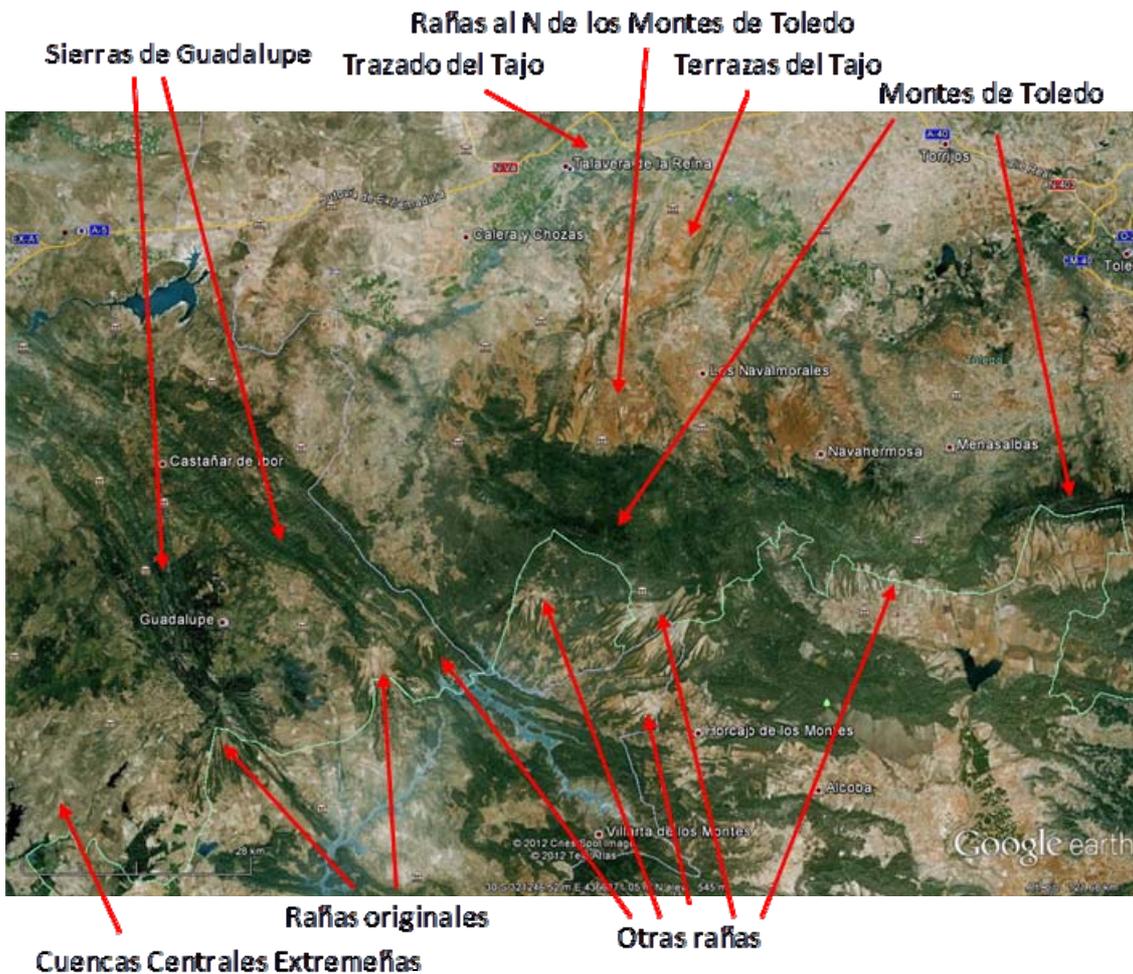


Fig. 104. Localización del área de estudio en el conjunto centro-occidental peninsular. Imagen Google Earth ©.

Estas profundas incisiones guiarán las comunicaciones terrestres, pues las serratas sólo se pueden salvar mediante pasos a través de puertos de montaña o, recientemente, por túneles (así en los puertos de Miravete y Los Yébenes, en los extremos occidental y oriental de los Montes de Toledo).

En el caso de los “*water gaps*” pueden darse dos tipos:

- Que sean utilizados por ríos actuales encajados [lo que se asocia al Cuaternario] y por ello con terrazas fluviales que acompañan a las corrientes de agua
- Usados por ríos antiguos, anteriores al encajamiento fluvial cuaternario: génesis de abanicos aluviales al salir las corrientes de agua a los llanos exteriores a los Montes. Son las que se denominarán “rañas”. Este tipo es especialmente importante en todo el centro peninsular, suficientemente alejado de las costas, donde la incisión fue tardía. Se supone, sin embargo, que en las áreas más próximas a la costa la erosión fluvial debió existir ya durante el Terciario Superior, por lo que apenas se encuentran rañas en ella: así no aparecen en Portugal, o están restringidas en su extensión como en la cara meridional de Sierra Morena. Otro tanto puede decirse de Galicia donde la formación *dente da besta* ha querido relacionarse en cuanto a su génesis con las rañas del interior de la Península.

La raña es una morfología propia de Extremadura, al S de la Sierra de Guadalupe, donde ciertas mesetas ostentan este nombre, pero, geodinámicamente, son depósitos de abanico aluvial.

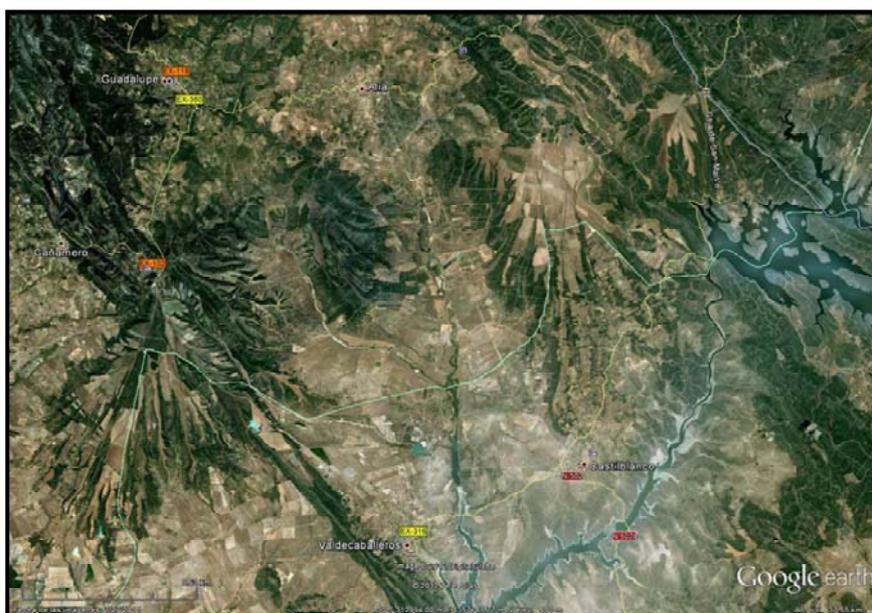


Fig. 105. Aspecto palmeado de las rañas originales: al S de la Sierra de Guadalupe. Google Earth ©.

Las principales características de la raña son:

- pendiente longitudinal, desde el ápice hacia las áreas distales
- edad muy antigua, luego con material poco rodado, pues sólo han padecido un ciclo de transporte [y no como los cantos de las terrazas fluviales, que frecuentemente han sido retrabajados]
- como depósitos de cauce, predomina el material grueso, aunque localmente pudiera haber arena en los cauces distributivos
- los rodados proceden de los bloques o cantos de cuarcita; las arenas pueden proceder de ciertas cuarcitas más arenosas, o arenizadas, sin descartar la procedencia de los jabres de los granitos. Dada la presencia de pizarras es presumible la existencia de limos y arcillas. Pero, con tan gran antigüedad, se puede haber destruido la arcilla del sedimento, aunque la antigüedad no necesariamente implica una intensificación del proceso, pero su prolongación en el tiempo tiene el mismo efecto destructor. Las arcillas pueden degradarse a los compuestos constituyentes: H_2O , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , etc. siendo -en la mayor parte de los casos- evacuados, por lo que desaparecen del suelo. Igual que existe la neoformación de arcillas, cabe la destrucción o descomposición en sus componentes más elementales.

En cualquier caso la evacuación se realizará en sentido descendente (percolación) con posible acumulación en profundidad. En tal caso, puede llegar a producir encharcamientos del agua por taponamiento de los horizontes inferiores del suelo. También puede producirse evacuación en sentido descendente y lateral, con migración a favor de la pendiente. Este movimiento está bastante restringido dado que la pendiente del abanico nunca es demasiado grande. Podría, por el tiempo transcurrido desde su depósito, haber sufrido algún basculamiento hacia la depresión, la sineclise, pero en cualquier caso será un gradiente bajo.



Fig. 106. Corte de una raña típica y aspecto de la superficie con absoluto predominio de cantos con pátina ferruginosa.

Si los horizontes superiores del suelo se han desargilizado, sólo restarán allí los materiales más gruesos, cantos y arenas. Con estos ingredientes no es de extrañar la probable aparición de planosoles como suelos en lugares “planos” o de escasa pendiente.

Los materiales de la raña presentan además unas características que les son únicas:

- Cantos, gravas y gravillas en superficie con una fuerte pátina rojiza (Fig. 107). Las cuarcitas deben haberse desilificado (perdido el cemento silíceo entre los granos de cuarzo del sedimento arenoso original) para permitir la entrada de la tinción del hierro hacia el interior.



Fig. 107. Típicas pátinas rojas en la superficie de los cantos de la raña por proceso de ferruginización. Diversa coloración de las pátinas ferruginosas de los cantos de la superficie de la raña. La cantidad de hierro en la pátina es suficiente para que un potente imán de neodimio se mantenga unido.

- Debajo se encuentran los mismos cantos de cuarcita desilificados, pero ya no con costra o tinción ferruginosa, sino a modo de “cantos pálidos” (Fig. 108): se ha extraído toda sustancia colorante y el canto ofrece una costra blanca.
- En profundidad, con frecuencia la matriz arenosa que engloba o rellena los intersticios del sedimento también está teñida de un moteado roji-blanco que denota movimientos alternantes del agua, con procesos de oxidación-reducción., esto es, encharcamiento estacional. Durante la fase de reducción (con agua) el hierro se disuelve y se evacúa (el hierro ferroso es más soluble);

durante la fase de oxidación (aireación) el hierro se oxida y precipita (se insolubiliza, formando óxidos e hidróxidos férricos). La combinación de los colores rojos y blancos denota el proceso de encharcamiento estacional conocido edáficamente por pseudogleyización. Este proceso estaría en parte explicando el lavado de las arcillas en superficie y su acumulación en profundidad.



Fig. 108. Cantos pálidos subsuperficiales de la raña.

Cabe destacar más notas a favor de la antigüedad de la raña:

- El [posible] desenganche del ápice del abanico del valle que los formó [generalmente encallejonado].
- La evolución, aislada de las laderas superiores, si ocurre el caso anterior. Sólo recibe agua de lluvia directa, y ya no de las corrientes ni de las laderas por encima.
- Si se mantiene unido al área-fuente puede tener una evolución diferente, con aportes hídricos adicionales.
- Localmente el abanico, por ser tan antiguo, está unido mediante depósitos de ladera a los crestones cuarcíticos. Pero, la continuidad topográfica no debe interpretarse como continuidad de los procesos, sino como superposición (y, por ende, sucesión temporal) de los mismos (Fig 109).
- Los materiales que constituyen la base de la raña suelen estar profunda e intensamente alterados; son frecuentes > 20 m de alteración en las pizarras o esquistos, por lo general, con típicas coloraciones vinosas (movilización del hierro). En ocasiones, el sustrato de la raña lo constituyen granitos, fuertemente alterados (Fig. 110).

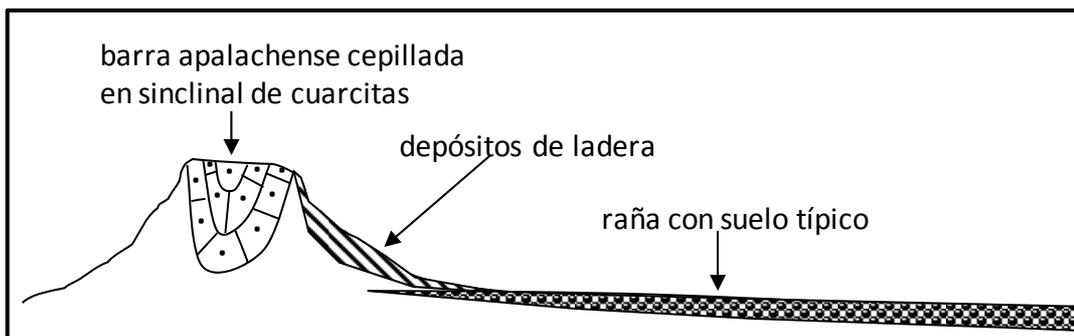


Fig. 109: Aunque topográficamente se pase sin solución de continuidad desde las barras apalachenses a las llanadas de la raña, las laderas mantienen depósitos de vertiente (con predominio de la gravedad sobre cualquier otro agente) y se separan genéticamente de las rañas (depósitos aluviales, transportados por agua).



Fig. 110. Badlands o cárcavas en el granito arenizado que constituye el sustrato de la raña.

Debe aclararse que la raña, en un principio, no constituye un buen nivel guía geológicamente hablando, pues no se halla siempre a la misma altitud, ni tampoco a la misma altura del río (los ríos en sus cabeceras pueden nacer en la raña, e ir encajándose progresivamente hacia aguas abajo). No obstante, en sus características típicas, es un elemento de máxima confianza en cuanto a la edad, aunque puede haber habido varias rañas, unas un poco encajadas en otras, hasta que se produjera la salida de los grandes ríos al mar, con incisión previa.

La existencia de varias rañas, esto es, de varios niveles de materiales aluviales con cantos rojos ferruginizados en superficie, sólo puede deberse a la historia tectónica propia de cada región: sólo cuando el área elevada o anteclise se ha levantado en varios impulsos (o, alternativamente, el área hundida o sineclise se ha deprimido a espasmos) se pueden generar estos abanicos aluviales a distintas alturas. Sin embargo, la ferruginización, que le es exclusiva, define perfectamente la raña y la sitúa en el Plioceno Terminal.



Fig. 111. A la izquierda, corte de una raña típica: capa externa con cantos ferruginizados (a), capa de cantos pálidos (b) y cantos con moteado rojiblanco (c). A la derecha, base típica con pseudogleyización de una raña, con moteado rojiblanco que afecta indistintamente a cantos y matriz.

En este capítulo se ha seleccionado dos áreas de la provincia de Toledo con depósitos característicos de rañas situados en: Navahermosa y Belvis - La Fresneda.

Una de las dificultades al hacer estudios espaciales es que en ocasiones, aún cuando el área de estudio sea reducida, se encuentra localizada entre varias fuentes de información geográfica, con el consiguiente problema que ello supone. Esto es lo que ha sucedido en el estudio de este sector de La Jara-Montes de Toledo.

El área de estudio se localiza en el suroeste de la imagen Landsat TM 201/32 y el noroeste de la 201/33. En la imagen Spot forma parte de las escenas 270/32 y 270/33, aunque la mayoría está en esta última.

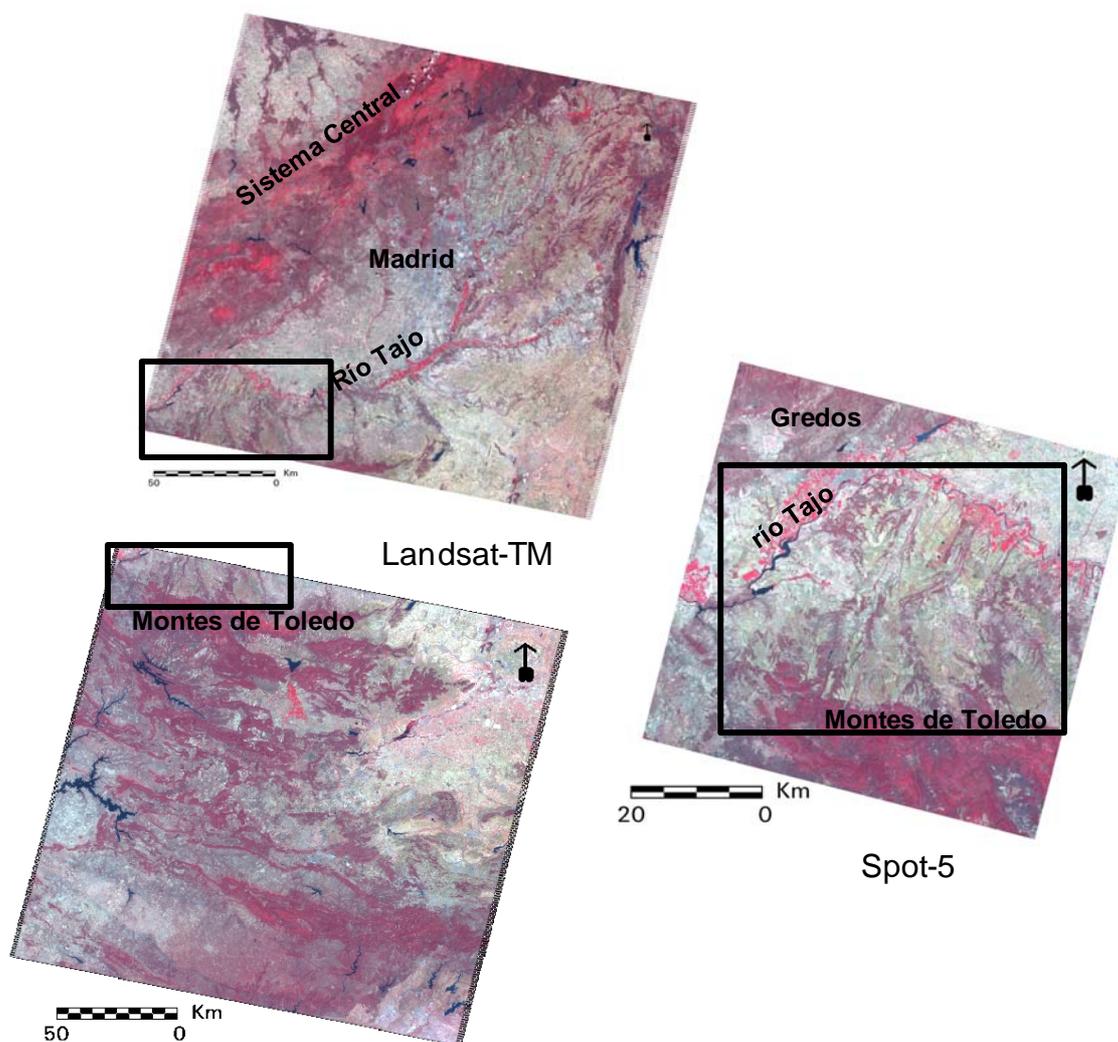


Fig. 112. Localización diversa de las áreas de estudio en imágenes Landsat-TM y Spot5.

Las combinaciones 3-2-1 (R-V-A) en la imagen Spot y la 4-3-2 (R-V-A) de la Landsat TM son muy útiles, en verano, para discriminar distintos usos de suelo. En la vega del Tajo aparecen cultivos de regadío en tonos rojo intenso. Por el contrario el resto de los materiales terciarios de la cuenca, muchos de ellos con cultivos de secano, aparecen en tonos verdosos, ya que en esta fecha han sido recolectados. Los tonos más blancos corresponden a superficies sin apenas vegetación. Las áreas de montaña, con vegetación natural, tiene tonos granates cuando hay vegetación perennifolia y más rojizos si tienen caducifolias. Lo más llamativo es el claro contraste entre la vegetación de la vertiente sur de Gredos con la norte de los Montes de Toledo ya que ésta tiene una actividad clorofílica mucho más elevada en esta fecha, por lo que sus colores rojizos son más intensos. En los materiales acarcavados bajo las rañas la presencia de matorrales esclerófilos le da tonos granates oscuros. En azul se distinguen las masas de agua (embalses, ríos, etc.).

Geomorfológicamente se diferencian las estructuras plegadas en los Montes de Toledo, con la formación de sinclinales colgados, las rañas y terrazas formadas por los ríos. Se delimitan bien las cabeceras de las rañas. El patrón espacial de las superficies de raña permite distinguirlas de otros depósitos, aunque se pueden confundir con terrazas y otros materiales sedimentarios, si se ven parcialmente. También se diferencian con claridad los núcleos de población y las infraestructuras viarias.

A) *Raña de Navahermosa*

Esta raña se distingue bien debido a su forma, tanto en imágenes de satélite como en fotografía aérea.



Fig. 113. Imagen de Google Earth © en la que se muestra la población de Navahermosa y el abanico de la raña al E y mapa geomorfológico (www.igme.es), en el que se observa desde el ápice, la disposición radial de las rañas a la salida de las entalladuras de las serratas cuarcíticas de Navahermosa.

La imagen Spot muestra la superficie palmeada de estas rañas, su ápice en contacto con la sierra (Los Montes) y los sedimentos neógenos, las pequeñas fracturas que afectan a la sierra, así como la heterogeneidad del sustrato subyacente. Para resaltar estas características se ha efectuado una mejora radiométrica de la imagen mediante la equalización del histograma.



Fig. 114. Imagen Spot-5, 3-2-1 (R-V-A) de 13-08-2010, ecualización del histograma.

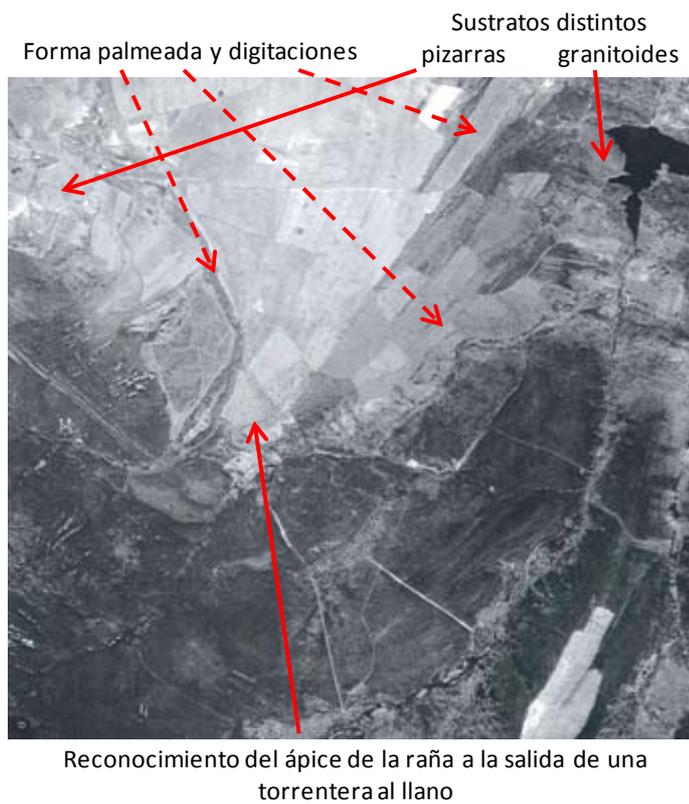


Fig. 115. Fotografía aérea de la raña de Navahermosa.

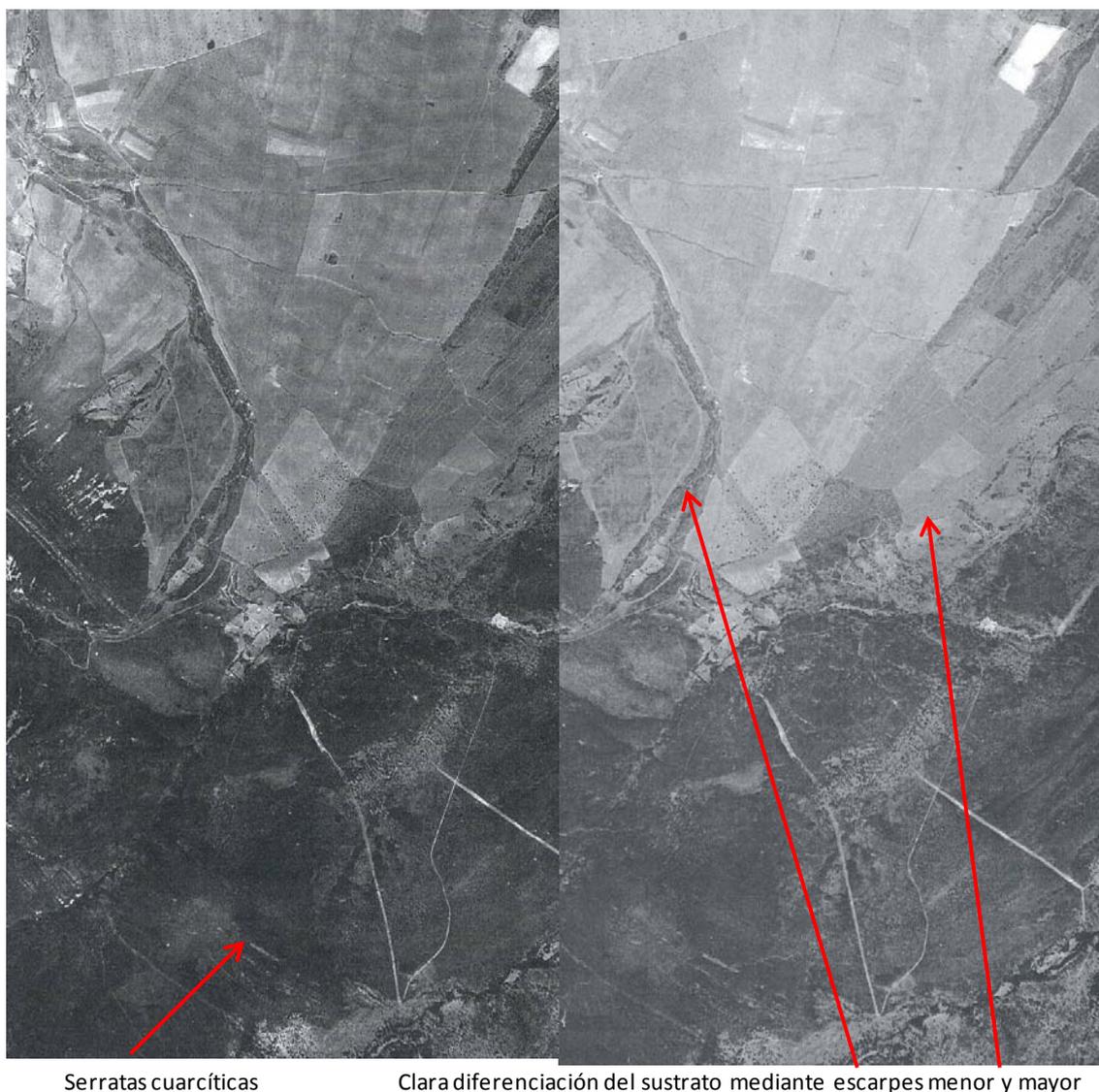


Fig. 116. Par estereoscópico de la raña al E de Navahermosa.

Otra aplicación de la teledetección es analizar los cambios en el paisaje a través del tiempo. Para ello se han seleccionado imágenes de distintos años y meses. En la primera imagen (25-03-1989) los campos de cereales aparecen en rojo porque en el mes de marzo están en pleno crecimiento mientras que los árboles caducifolios aún no tienen hojas, por lo que la sierra reflejan tonos oscuros. Por el contrario en la segunda imagen (26-06-2011) los cultivos ya han sido recolectados, por lo que la mayoría de las parcelas aparecen en tonos verdes mientras que la vegetación de frondosas y caducifolias que coloniza la sierra aparece en tonos rojos al tener mucha actividad clorofílica. Por tanto, cuando se inicia una investigación utilizando la teledetección es necesario seleccionar bien las fechas del año, ya que van a depender del objetivo del estudio. Además, en los estudios multitemporales que requieran conocer la evolución de un proceso, debe hacerse una exploración de la serie histórica de imágenes.

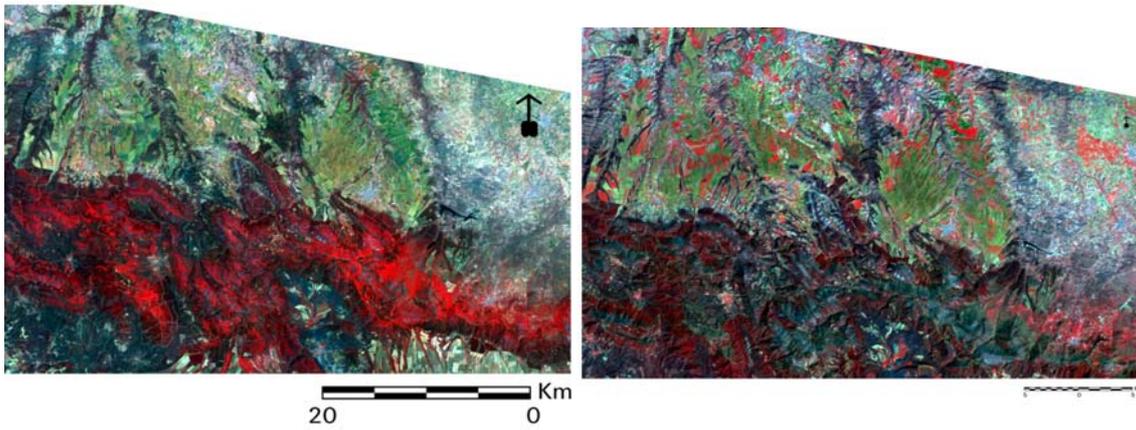
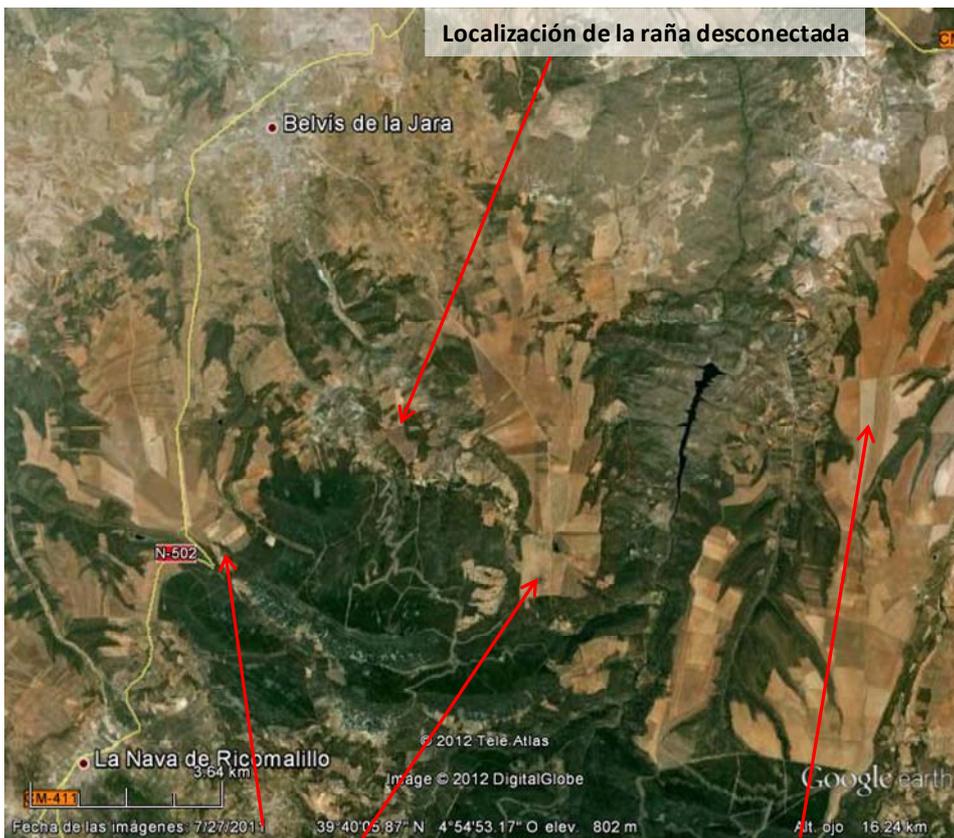


Fig. 117. Comparación entre imágenes Landsat TM (bandas 4-3-1, R-V-A) del 25-03-1989 y 26-06-2011.

B) Raña de Belvis y la Fresneda



Magníficos ejemplos de rañas palmeadas (abanicos) Las formas alargadas denotan un potentísimo agente de transporte (gran caudal)

Fig. 118. Localización de las rañas de Belvis y La Fresneda en la imagen del Google Earth ©.

Como en la raña anterior, en Navahermosa, las superficies de las rañas de Belvis y La Fresneda se delimitan muy bien en las imágenes de satélite y dejan entrever algunos

aspectos singulares: extensión, forma, conexión con el área fuente, cobertura del suelo, grado de incisión fluvial, etc.

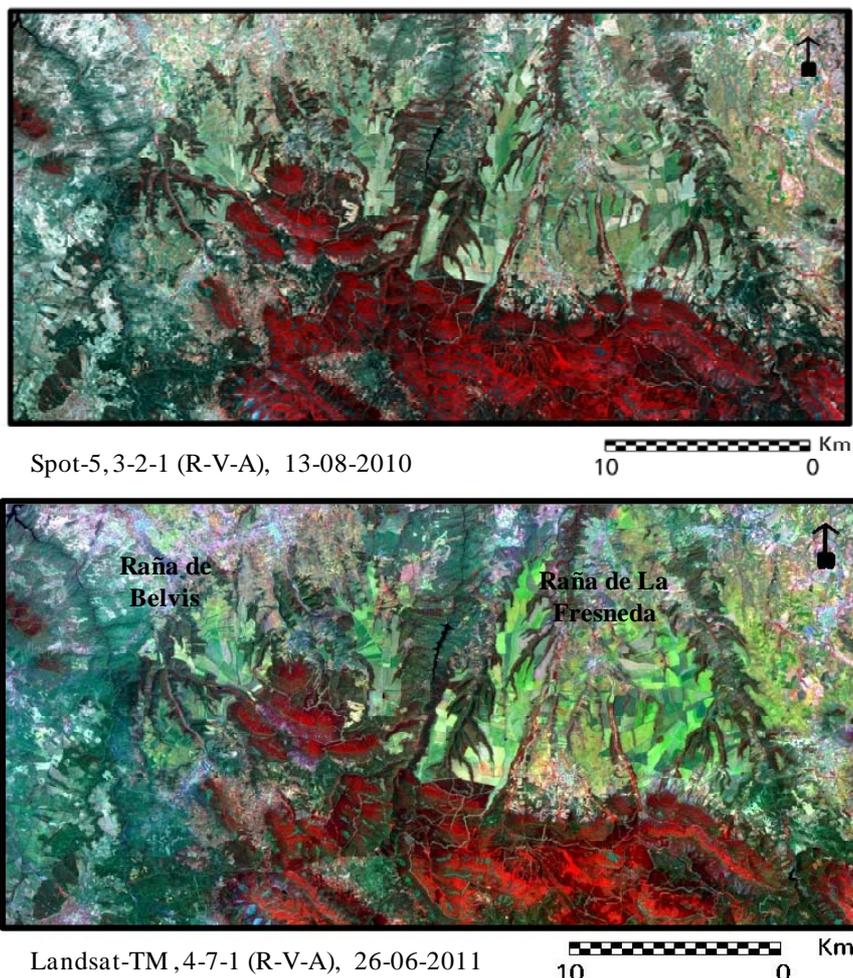


Fig. 119. Comparación de las imágenes Spot y Landsat.

En las imágenes anteriores se observa el patrón espacial de las rañas de Fresneda y Belvis con la forma palmeada. Los cultivos de secano ya se han recolectado por lo que los suelos tienen tonos verdes. Por el contrario en los materiales paleozoicos destacan los colores rojos de las masas de árboles. El resto de los depósitos terciarios no se diferencian bien entre sí. Pese a la menor resolución espacial de la imagen Landsat las superficies de las rañas quedan mejor contrastadas.

Una gran posibilidad de la teledetección es mezclar imágenes con distinta resolución espectral y espacial. En la figura 120 se ha mezclado la imagen TM con la Spot obteniendo una imagen con la resolución de 10 m del Spot pero los siete canales espectrales del TM. Una vez mezcladas ambas escenas podrían ser sometidas a todas

mejoras espaciales, espectrales y radiométricas ya que funcionan como una nueva imagen.

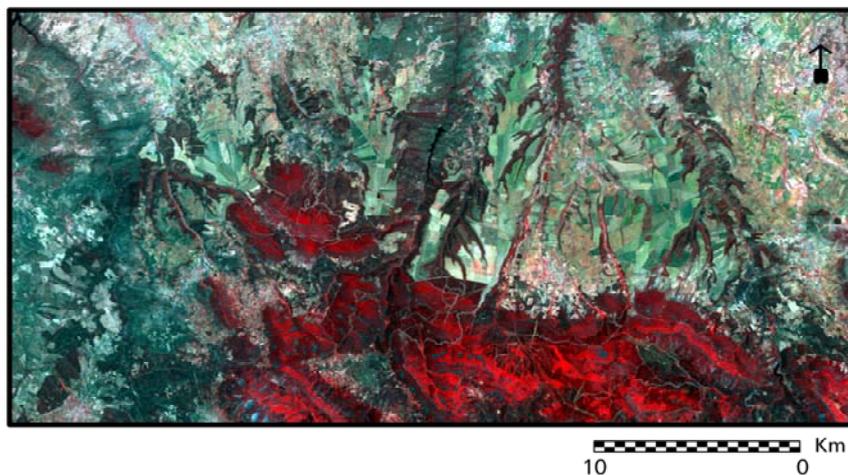


Fig. 120. Mezcla de la imagen Landsat-TM y Spot 5.

Si se utiliza la combinación de bandas 7-5-1 (Fig. 121), queda enmascarada la vegetación y resaltan los suelos desnudos. Esta combinación es aconsejable cuando se desea conocer variaciones litológicas o en el estado de conservación de materiales. La superficie de la raña, que en otras combinaciones ofrece una gran homogeneidad, aquí aparece en diversos tonos que indican la diferente coloración del material superficial y, por tanto, los cambios en la composición, textura, humedad o uso. También son muy heterogéneas las coloraciones de los sedimentos terciarios y cuaternarios situados al norte de la raña hacia el centro de la cuenca.

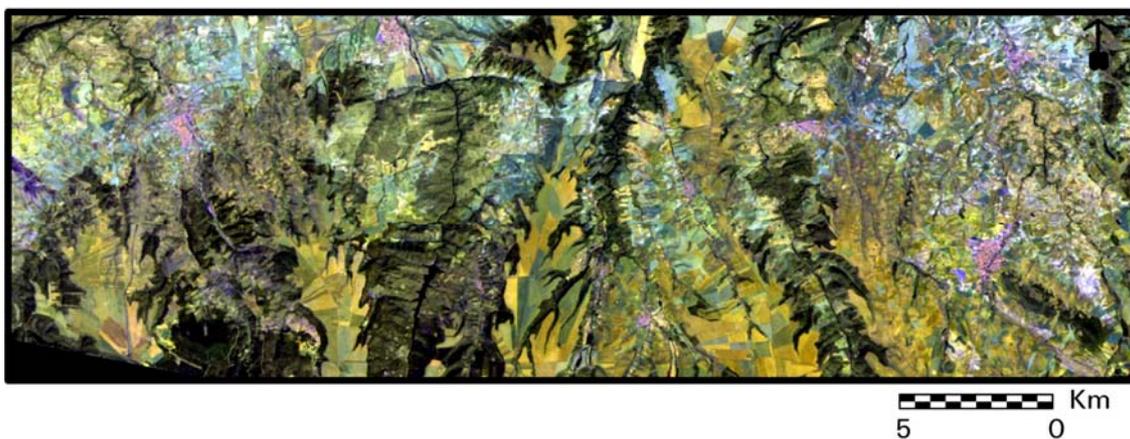


Fig. 121. Imagen Landsat-TM, 7-5-1 (R-V-A), 20-06-2009.

Dado el contraste existente entre la sierra, con densa vegetación de caducifolias y especies perennifolias de ámbito mediterráneo, y la cuenca terciaria dedicada a cultivos, se ha realizado un índice de vegetación de la imagen SPOT. El índice que mejor discrimina la diferencia en el vigor vegetal de las distintas cubiertas es el Índice de la Diferencia Normalizada de la Vegetación (NDVI), obtenido a partir del cociente:

$$NDVI = \frac{IRc - R}{IRc + R}$$

En los datos del satélite SPOT-5 corresponde al cociente entre las bandas:

$$NDVI = \frac{\text{banda 4} - \text{banda 2}}{\text{banda 4} + \text{banda 2}}$$

El resultado es una imagen con valores adimensionales (de +1 a -1), correspondientes a la máxima y mínima cobertura de vegetación y reflectividad clorofílica, respectivamente. Este índice, al constituir sólo una nueva imagen de una banda se obtiene en pancromático: los tonos más blancos corresponden a los valores más altos, aquellas cubiertas con mayor actividad clorofílica (cultivos de regadío y caducifolias), tonos grises en los perennifolios y los muy oscuros corresponden a las áreas que no tienen vegetación, bien porque ya se han recogido los cultivos, por ser parcelas sin cultivar o por estar sellados por algún tipo de infraestructura o agua. En esta imagen los tonos de grises podrían transformarse en una escala de colores.

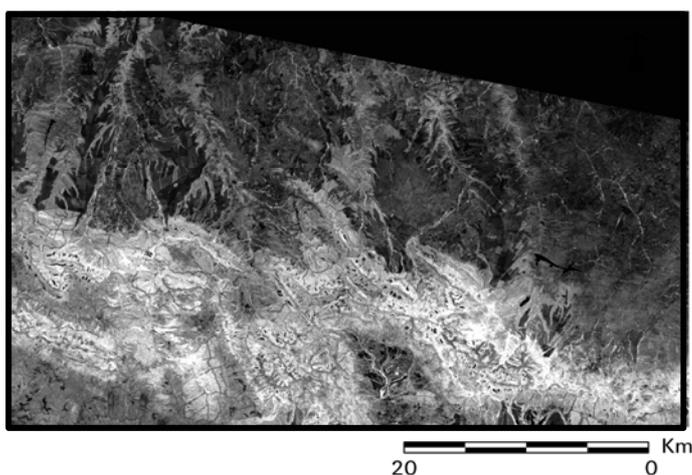


Fig. 122. NDVI de la imagen Spot 5.

No obstante, cuando se prefiere seleccionar algunas clases específicas es necesario realizar clasificaciones supervisadas. Aquí se ha utilizado el algoritmo de máxima probabilidad para cartografiar los cultivos de secano, la vegetación de frondosas y perennifolias, el agua, núcleos urbanos y suelo desnudo. En la imagen clasificada se distinguen claramente las superficies de raña ya que están dedicadas a cultivos de secano. En sus escarpes hay distintas perennifolios: encinas, pinos, etc. Las frondosas ocupan la sierra (mezcladas con algunas perennifolias) y la ribera de los arroyos. El agua apenas se detecta ya que la resolución espacial del sensor TM impide su clasificación: La superficie urbana es muy limitada ya que los pueblos son pequeños.

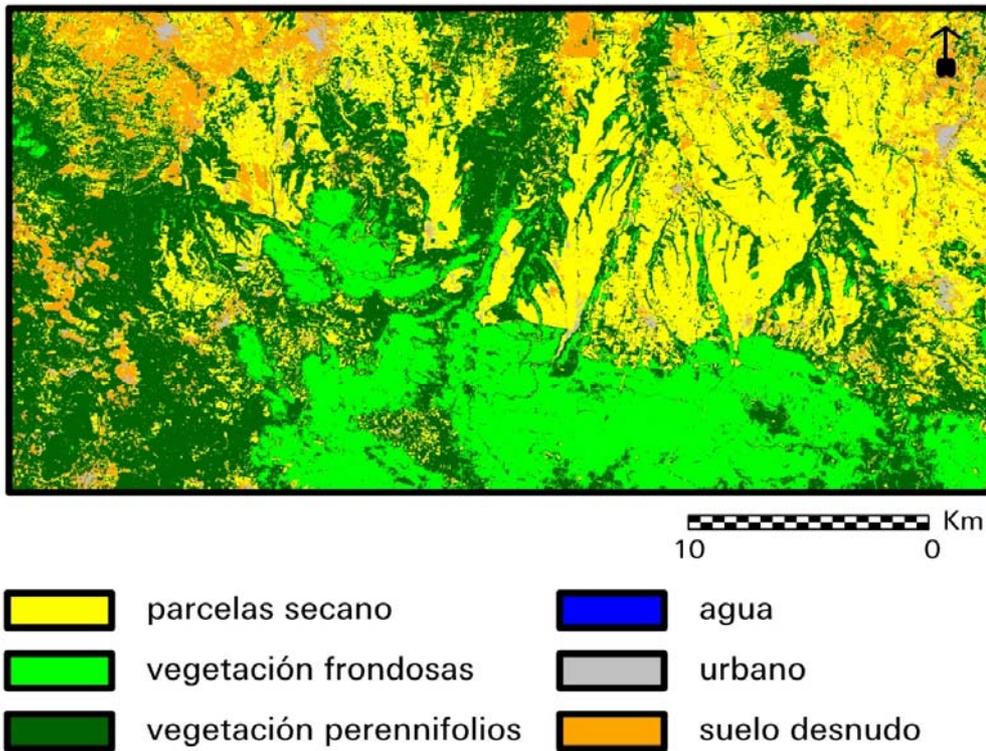


Fig. 123. Clasificación supervisada de la imagen Landsat TM, 26-06-2011.

Además de la información que ofrece el tratamiento visual y digital de imágenes de satélite para estudios geomorfológicos son imprescindibles las fotografías aéreas con visión estereoscópica y la cartografía de apoyo: mapas geológico, geomorfológicos, etc.

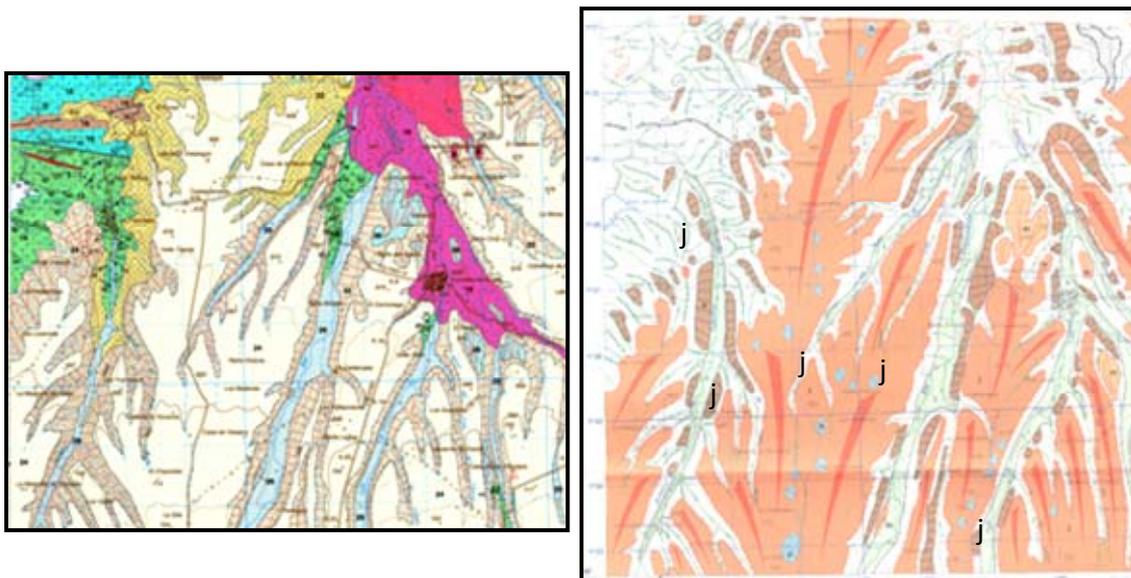


Fig. 124. Mapas geológico y geomorfológico, nº 655. (Ver leyenda en www.igme.es). Las rañas dibujadas en naranja “j” con el símbolo de “abanicos culminantes”. Las numerosas lagunas o navazos ponen de manifiesto los antiguos cauces distributivos.



Fig. 125. Fotografías de los navazos en la superficie de la raña.

En las fotografías aéreas destacan las mesetas casi horizontales y los bordes sin cornisa (debidos a la debilidad erosiva del canturreo, máxime al estar argilizada la base lo que provoca frecuentes deslizamientos). De aspecto digitado por la incisión de los cursos de agua, también distributivos, proceden de una forma palmeada previa. En el extremo superior, “cerro testigo” de la raña. La altura de la raña sobre el río actual varía desde el ápice al extremo distal. Además, hay diferencias en el uso del suelo entre la raña y los taludes. La superficie de la raña está cultivada, mientras que los taludes tienen vegetación natural, que está siendo sustituida por plantaciones de olivos y frutales.

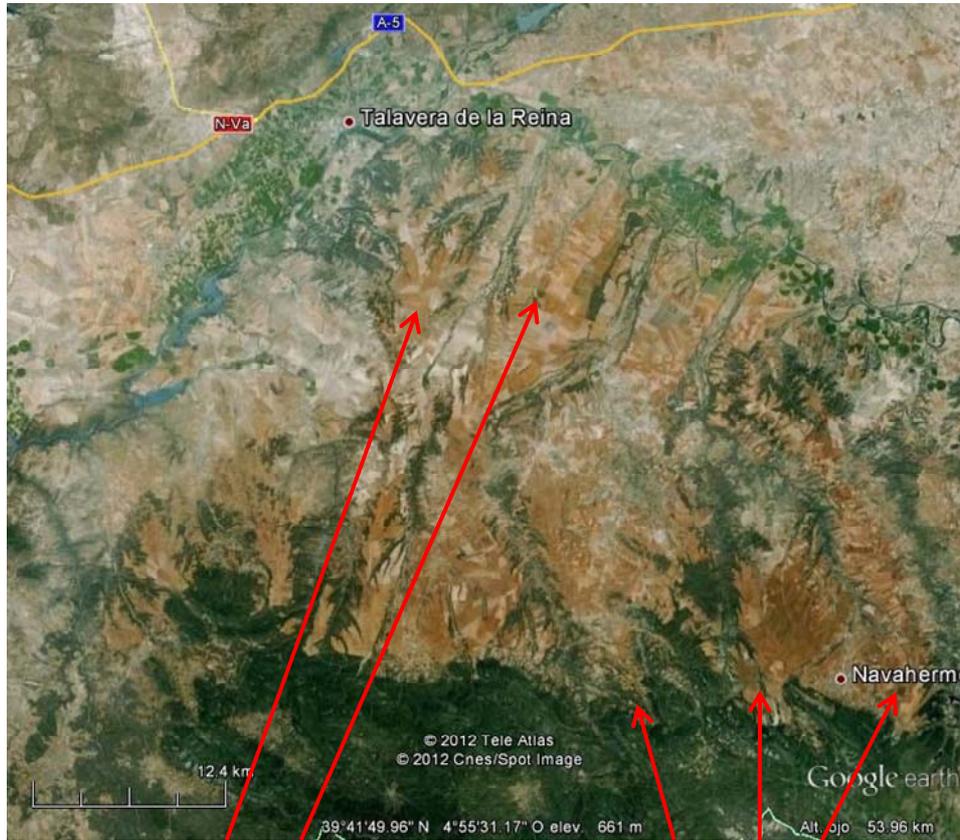


Fig. 126. Par estereoscópico de las rañas alargadas al SE de Belvís de la Jara y al S de La Fresneda.



Fig. 127. Canturreal de la superficie cultivada de la raña y sustitución de la vegetación natural del talud de la raña por cultivos olivareros aún a riesgo de acelerar la erosión.

Como se puede observar en las fotografías aéreas y de campo la raña no presenta bordes en cornisa dada su antigüedad. La sucesión de niveles de raña son visibles tanto en las imágenes de satélite como en las fotografías aéreas.



¿Abanicos recientes en tránsito a las terrazas (empardecimiento)?

Abanicos antiguos de la raña (ferruginización)

Fig. 128. Aspecto general de las rañas y otros depósitos de abanico al N de los Montes de Toledo en la fosa del Tajo: ¿una sucesión de abanicos reaprovechando los materiales anteriores hasta que la incisión del río favoreció el exorreísmo?



Fig. 129. Fotografía de la raña desenganchada de la sierra.

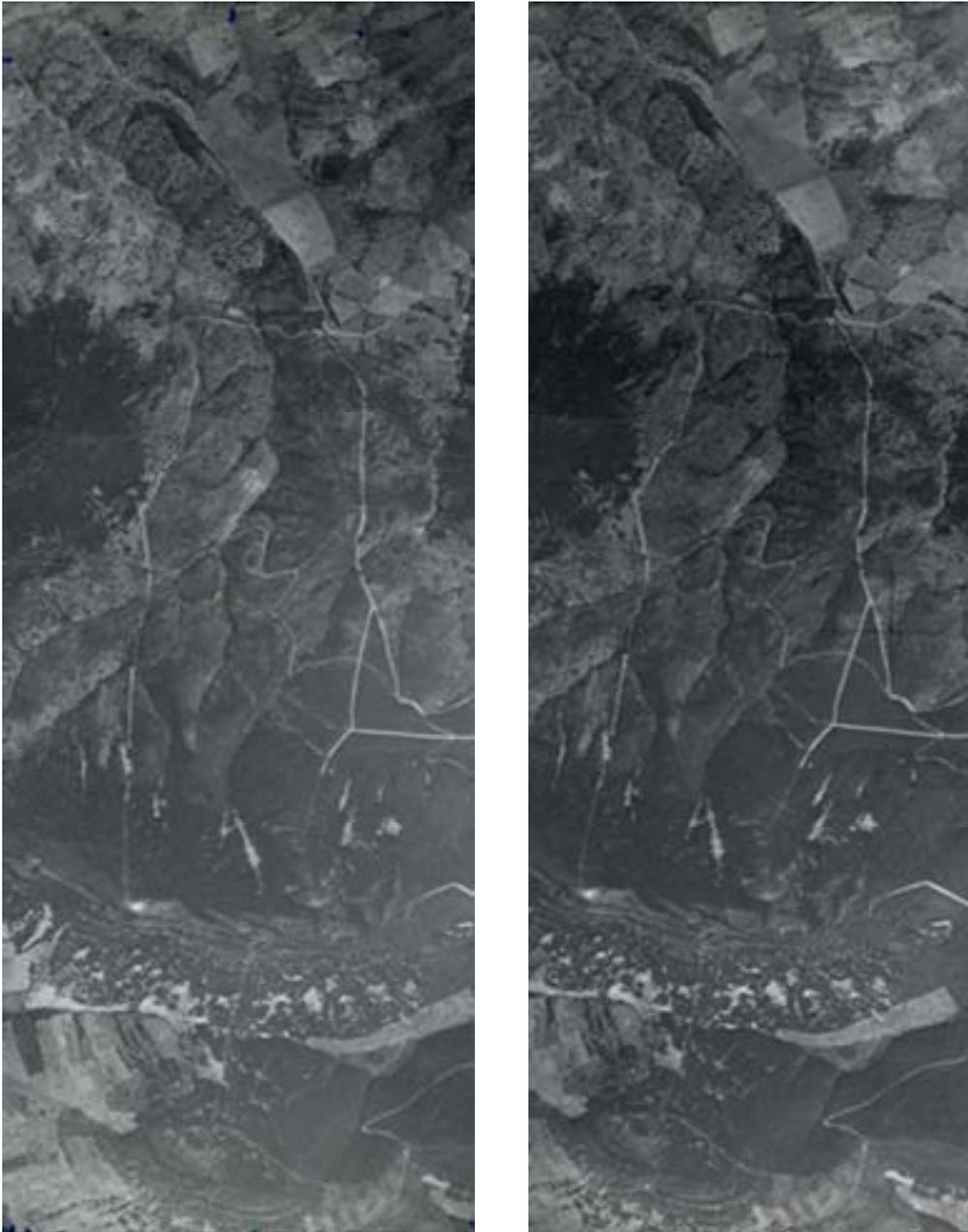
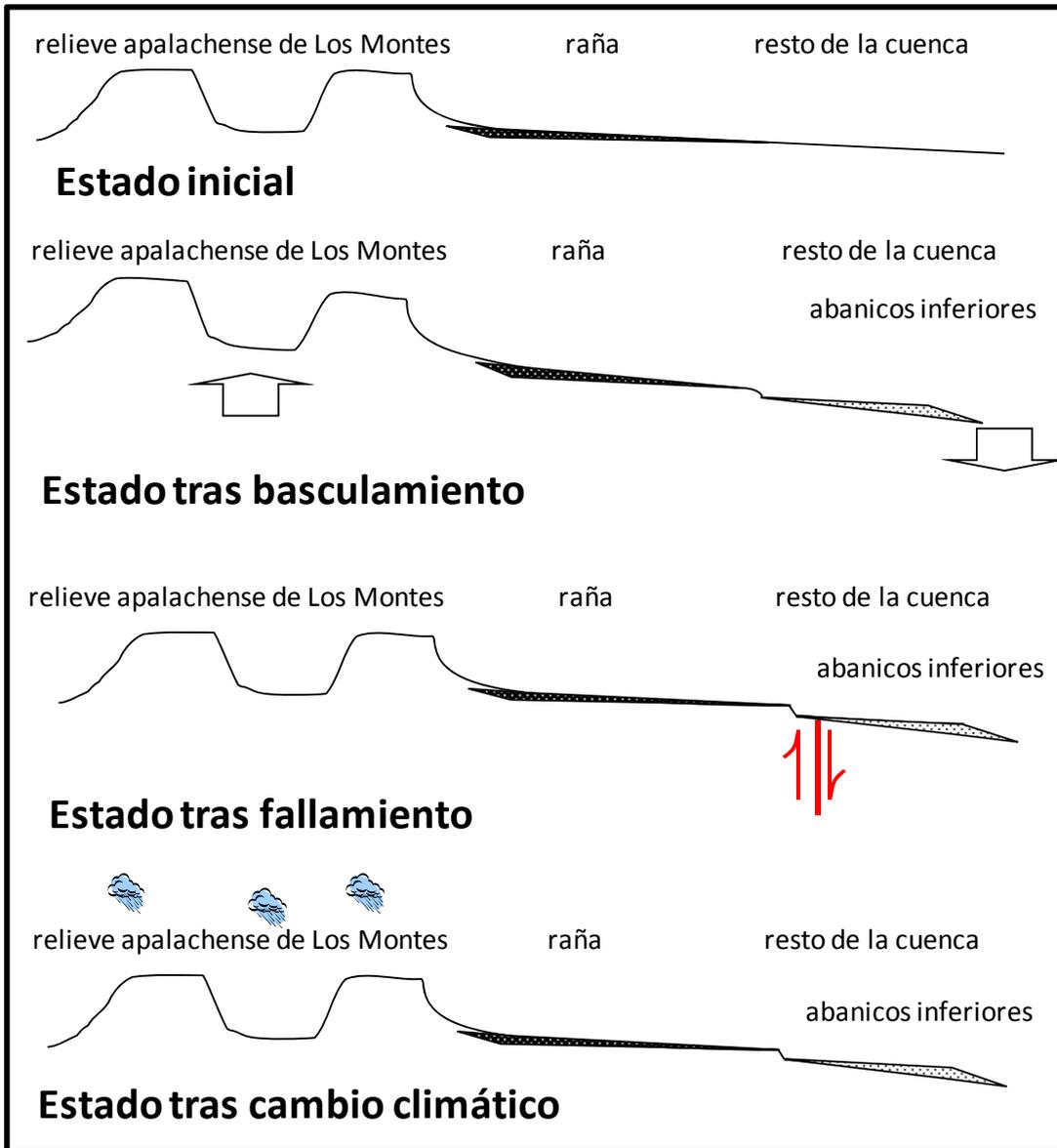


Fig. 130. Par estereoscópico de una raña desconectada del área-fuente (antigüedad). El reconocimiento de la raña se logra por la planitud de la mesa y el uso del suelo (labranza).

Las explicaciones alternativas (aunque no excluyentes) de las generaciones de abanicos en el piedemonte septentrional de Los Montes de Toledo se exponen en el dibujo adjunto.



En el croquis anterior se ha querido exponer gráficamente cuál sería la situación inicial cuando se produjeron las rañas. Éstas son abanicos aluviales antiguos que podrían responder a la acción combinada de una fracturación intensa en las cuarcitas de las barras apalachenses de Los Montes, incluso de una exacerbación de las diferencias altitudinales entre bordes y fondo de cuenca, seguidas de una etapa climática favorable para el arrastre generalizado de los derrubios anteriores con ayuda de torrenteras que se abrían en grandes abanicos al alcanzar el llano.

La segunda generación de abanicos puede deberse en principio a varias causas:

- basculamiento: elevación de la anteclise de Los Montes e hundimiento de la sineclise del Tajo. Para que el resultado sea el apetecido debe encontrarse del modo adecuado el punto de giro. El resultado sería parecido si, en lugar de basculamiento, el proceso actuante fuera un abombamiento de la anteclise y

acubetamiento de la sineclise; en este caso sería necesario buscar el punto de inflexión. ¿Podría establecerse alguna relación entre el vulcanismo del Campo de Calatrava y este posible abombamiento? La hipótesis del basculamiento tiene a su favor que no precisa de reconocimiento de fallas a través de lineamientos en fotografías aéreas o imágenes de satélite. Sería prueba a favor de esta hipótesis la diferencia de pendiente de los primeros y segundos abanicos.

- b) fallamiento: hundimiento de la fosa por generación de fallas, o bien por reactivación de algunas preexistentes. En el gráfico se ha dibujado una falla vertical, por ser la más simple, aunque si fuera falla inversa el mecanismo abogaría por un acortamiento de la corteza – y compresión-, o si fuera falla normal el mecanismo sería de tensión, por estiramiento de la corteza. Para corroborar esta hipótesis debería aportarse algún ejemplo inequívoco de ruptura que afectase a las rañas, lo que demostraría ser posterior a ellas.
- c) cambio climático: el suficiente para que, una vez cesada la actividad de los abanicos antiguos, una más intensa precipitación sea capaz –merced al aumento en la competencia de los ríos- de removilizar el material de las rañas y generar nuevos abanicos a su pie. En este caso debe mantenerse la circunstancia de una salida más bien impedida de las aguas de la cuenca, pues no se generan terrazas. El mismo resultado se daría si el área fuente tuviera mucho material para ser transportado. Los depósitos de las dos generaciones de abanicos pueden tener la misma inclinación longitudinal. Sin embargo el aspecto de las pátinas de los cantos de cuarcita es ferruginizado en la raña y pardo en las altas terrazas (Fig. 108 y 132).



Fig. 131. Paisaje de las terrazas altas del Tajo y sus afluentes. Al fondo las serratas cuarcíticas de los Montes de Toledo.



Fig. 132. Pátina parda de los cantos cuarcíticos de las altas terrazas cuaternarias, muy diferente de la ferruginización de los de la raña (comparar con la Fig. 108).

Como colofón de esta región se ofrece el análisis completo de la fotografía de un paisaje donde se entremezclan Los Montes de Toledo con sus llanos al pie.

Análisis y comentario de una imagen geográfica: Montes de Toledo

ANÁLISIS

I. Localización.

- Montes de Toledo, Navahermosa (Toledo). Castilla-La Mancha.

II. Tipo de paisaje.

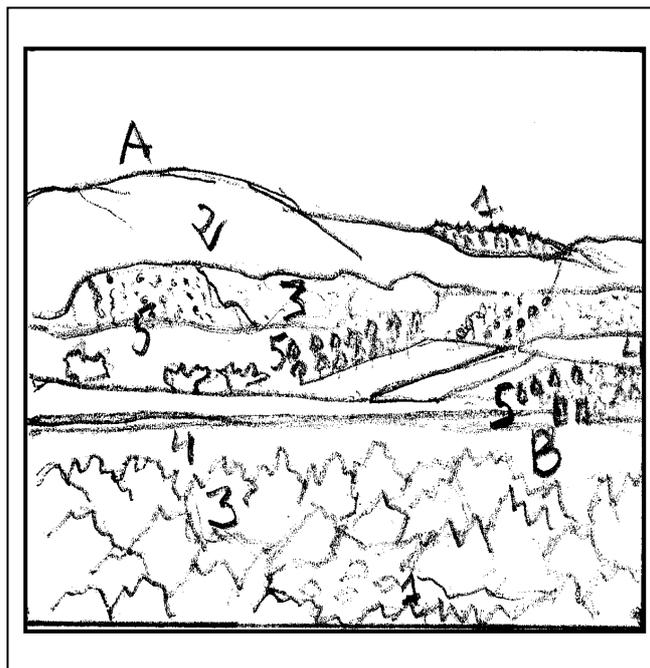
- Natural y agrario.

III. Unidades y elementos paisajísticos.

- Sierra.
 - Cumbres serranas cuarcíticas.
 - Bosque de pinar de repoblación.
 - Bosque mediterráneo de encinar.
- Campiña.
 - Olivares.
 - Campos de cereal.

IV. Factores.

- Naturales.
 - Topografía y litología (espigón de cuarcitas en las cumbres y rañas al pie de la sierra)
 - Clima mediterráneo continentalizado o de interior y vegetación mediterránea.
- Antrópicos.
 - Repoblación forestal.
 - Uso agrario.



COMENTARIO

La imagen corresponde a un paisaje fundamentalmente natural, especialmente presente en las áreas más elevadas (A), transformado por el hombre en la parte baja (B), más susceptible de soportar una actividad agrícola, que es la que define y caracteriza esta unidad.

Se trata de una pequeña estribación de los Montes de Toledo, con escasa elevación y cumbres redondeadas, salvo en los lugares (1) donde las rocas duras (probablemente cuarcitas) forman un pequeño espigón rocoso. También están presentes, aunque escasamente visibles en la parte inferior de la imagen, entre las encinas y matorral acompañante, y probablemente tapizando las zonas bajas (rañas). Las laderas de la sierra están cubiertas de bosque, probablemente pinar de repoblación (2), así como encinar, arbustos y matorral acompañante (3).

Las laderas bajas y el fondo de esta vallonada forman la segunda unidad, de carácter exclusivamente agrario. Lo magro de los suelos, pobres y pedregosos, con el roquedo original sin duda próximo a la superficie (como indica su ya citada aparición en la parte baja de la imagen), apenas permita su aprovechamiento para campos de cereal (4) y para olivar (5). Éste último no parece de gran porte, ni ocupa una gran extensión y densidad de árboles, pero se aprecian nuevas plantaciones que probablemente se refieran a este mismo cultivo o de árboles frutales (tal vez ciruelos o almendros, por la climatología y tipo de suelos del lugar). Aunque puede haber alguna actividad ganadera no se aprecian demasiados espacios favorables para la misma.

En conclusión, es un paisaje básicamente natural, con intervención antrópica de repoblación forestal y cultivos, situado en las proximidades de Navahermosa (Toledo), en la comarca de los Montes de Toledo.



Fig. 133. Fotografía de los Montes de Toledo en el municipio de Navahermosa, abril de 2012.

V. *Dinámica fluvial: vertiente meridional de Gredos*

La razón por la que se ha elegido esta área es la espléndida reunión en un territorio relativamente pequeño, a la par que cercano a Madrid, sede de nuestra Universidad, de un ejemplo de dinámica fluvial presente y pasada que caracteriza gran parte de la cara meridional de Gredos, a la que se asocian los restantes aspectos geográficos, desde la vegetación y los usos del suelo, hasta el poblamiento y su interconexión.

En este territorio se combinan varios elementos que hacen a esta área especialmente atractiva. El primero uno de los desniveles mayores existentes en la Península, e, incluyendo las islas, de todo el territorio nacional: las cumbres del Alto Gredos culminan en el Pico Almanzor a 2.591 m, siendo la altitud de Candeleda de 410 m, si bien la cota del embalse de Rosarito sobre el Tiétar se sitúa a 310 m. La distancia a vuelo de pájaro que separa a las dos primeras es de 10 km y de 13 km a la primera y tercera (Fig. 134). Ello supone una pendiente en el primer caso del 21,81% y del 17,57% en el segundo. Compárese con el gradiente topográfico entre el Teide y La Guancha, que alcanza el 27,74%.

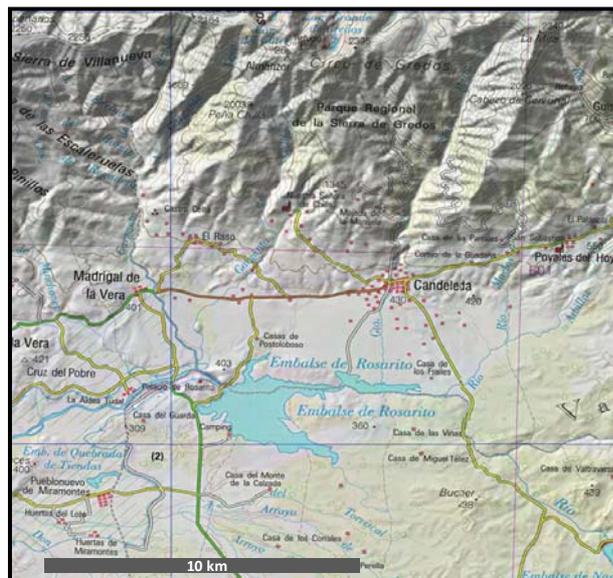


Fig. 134. Imagen tomada del Mapa provincial, 1:200.000 (I.G.N.).

Estas diferencias de altitud vienen impuestas por una tectónica de bloques que afectó durante la orogenia alpina al Centro peninsular. Son especialmente visibles estos bloques y las fallas que los delimitan merced a la explotación que de las mismas han hecho los singulares torrentes, que localmente reciben la denominación de gargantas. La que desciende a Candeleda se apellida “de Santa María”, si bien está acompañada por las de Chilla (en las inmediaciones de la Ermita de la Virgen del mismo nombre), de Alardos (en Madrigal de la Vera), de Minchones y Gualtamino (al desplazarse hacia el W); hacia Oriente la denominación genérica de los ríos es sustituida por “vertiente” (de los Galayos, del Pinarejo) o simplemente por “río” o “arroyo”. La red de fallas es visible en cualquier representación cartográfica que disponga de sombreado plástico: así destacan toda una serie de lineamientos NNE-SSW (los que explotan mayoritariamente las gargantas) que se ven acompañados por la dirección conjugada de WNW-ESE. Ésta última delimita los bloques que se hunden progresivamente hacia el SE, siendo el inferior de los mismos el que podemos calificar “de la Vera”. Así queda atestiguado en la abundante toponimia de esta cara meridional de Gredos.

Uno de los bloques más profundos es aquél en el que localiza la población de Candeleda, y así lo denominaremos en esta exposición. Dado su desnivel relativo a los bloques inmediatos serranos al NNE e intermedio al SSW (bloque de las Tejoneras en el que se instala el embalse de Rosarito) se encuentra relleno por sedimentos torrenciales de la misma antigüedad que la tectónica de bloques.

En la margen meridional de la imagen Landsat se observa finalmente el bloque de “Rosarito” en el que predominan las alineaciones NE-SW que imponen la dirección del Tiétar y su cortejo de afluentes aguas abajo del mencionado embalse (Fig. 135).

El graderío de bloques está bastante desdibujado en esta falda de la Sierra, pero cuanto más se desciende en altitud tanto más evidente se muestra, alcanzando en los relieves de la Vera y los bloques basales el exponente más claro de los restos de una superficie previa a la fracturación.

Al Norte queda otra serie de bloques más o menos dibujados por las mismas direcciones de falla, aunque con un desnivel marcadamente menor, en donde anidan otras gargantas que corren hacia el Duero y en cuyos tramos iniciales se reconocen todavía hoy las huellas del glaciario cuaternario. La amplia localización de glaciares en esta cara N se explica entre otros motivos por la continuidad de la altitud, la persistencia de la superficie de cumbres sólo ligeramente basculada hacia el N, y por la aportación hídrica en forma nivosa.

Configurado el paredón de Gredos con una disposición general ENE-WSW, desempeña en la actualidad un papel importantísimo en el componente orográfico de las lluvias que aquí se recogen. Es pues otro elemento primordial la abundancia de precipitación y continua humedad sólo amortiguada durante los estíos. Esta característica parece haberse mantenido a lo largo de toda la historia geológica en la medida en que las masas de aire suroccidentales, de procedencia marítima, se hayan visto obligadas a salvar el obstáculo montañoso.

Estos hechos propician la existencia de unas claras cliseries de vegetación que van desde los pisos basales típicamente mediterráneos con alcornoque y encina, sin olvidar la presencia de fresnedas en los lugares en los que la humedad edáfica lo permita, a las transiciones a través de los pisos meso- y supramediterráneos de rebollar para dar paso en altura a los pinares oromediterráneos, naturales y hoy profusamente cuidados, inmediatamente inferiores a las manchas cacuminales del cervunal crioromediterráneo.

Paralelamente a estos rasgos de la vegetación, el uso del suelo también está influido por el alto desnivel, dando origen, de arriba a abajo a una secuencia de utilizaciones: pastos de alta montaña en los cervunales y jabinares, en parte usados en el Parque Regional de Gredos de creación reciente, aunque el Parador fuera inaugurado ya en 1928; uso forestal del bosque de pinos rojos o silvestres, hasta los que se accede con relativa facilidad mediante las correspondientes pistas de saca; el aprovechamiento forestal también es extensible al rebollar, aunque con unos beneficios muy inferiores; en las dovelas de la Vera, aprovechamiento de los cultivos frutícolas, como el guindo, cerezo e higuera, lo que da paso a su pie al olivar, y al cereal en la base. En los lugares de regadío por derivación de los abanicos aluviales, cultivos hortofrutícolas, en menor medida de forrajeras y prados de diente y para henificar. En otro tiempo se hizo tabaco en estas tierras. La dovela meridional de Tejoneras y Rosarito posee extraordinarios ejemplos de explotación de dehesa.

Las más importantes comunicaciones son fácilmente reconocibles en las imágenes de diferente soporte, pero en todos los casos denotan una escasez de vías en la dirección de la pendiente, ni siquiera valiéndose de un recorrido zigzagueante. Los pasos de la Sierra sólo se realizan a través del Puerto del Pico, más al E de la imagen escogida y a lo largo del Jerte por el Puerto de Tornavacas, pues esta área es demasiado elevada para asegurar un tránsito libre de nieve en invierno. Así predominan las comunicaciones en dirección E-W que unen las poblaciones más importantes entre sí, y en el extremo meridional, las carreteras y vías abocadas al fondo del valle del Tajo (Talavera de la Reina, Oropesa, Naval Moral de la Mata, etc.).

El material seleccionado es:

- Imagen Landsat-TM de la escena 202/32 del 26 de junio de 2011
- Modelo digital del Terreno (MDT) de la escena 202/32
- Ortofotografías aéreas obtenidas del servidor “Iberpix 2” del I.G.N.
- Mapa topográfico a escala 1:50.000 (núm. 600) y mapa provincial 1:200.000 (Toledo) del I.G.N.
- Mapas Geológicos del Magna 1:50.000: Bohoyo (577), Candeleda (600) y Navalcán (601).
- Fotografías aéreas a escala 1:25.000, Hoja 600 (Fotogramas 5750 y 5751)
- Fotografías convencionales “in situ”

La imagen Landsat en su combinación 4-3-2 (R-V-A) del 26-junio-2011 facilita información georreferida sobre:

- Nieve: azul claro brillante y forma irregular
- Nubes: blanco y forma irregular, redondeada
- Roquedo sin apenas cobertura vegetal: azulado irregular
- Bosque caducifolio: rojo brillante y forma irregular
- Bosque perennifolio: granate y forma irregular
- Cultivos de regadío: rojo brillante y forma regular
- Superficies sin cultivar (pastos secos): verdosos
- Parcelas en barbecho o cultivos recolectados: casi blanco y formas regulares
- Superficies de agua: de azul muy oscuro a negro
- Núcleos rurales: verde y estructura compacta
- Infraestructuras viarias: formas rectilíneas de azul a blanco

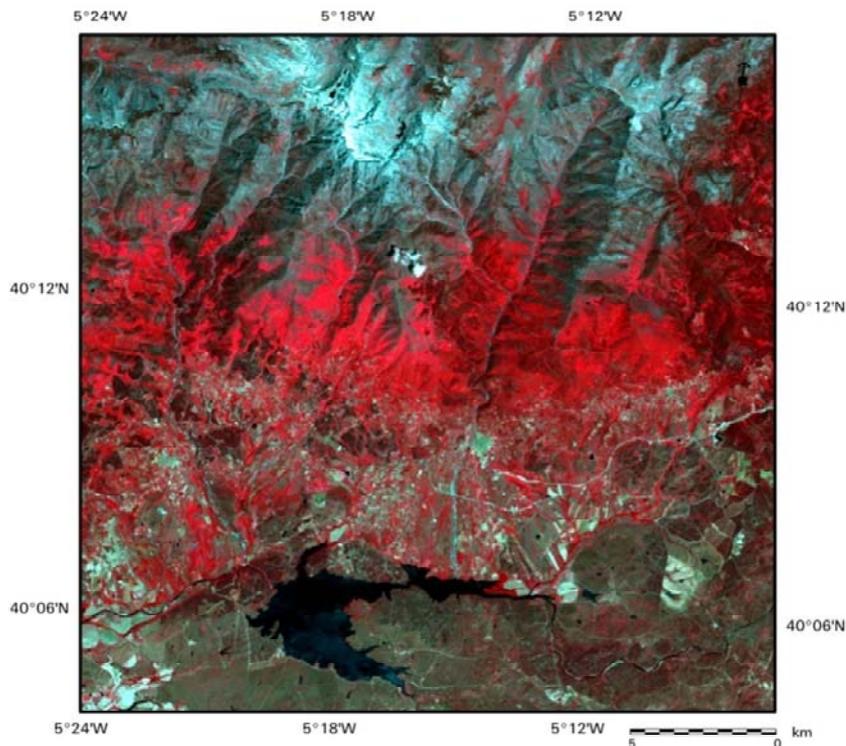


Fig. 135. Imagen Landsat 202/32, 4-3-2 (R-V-A) del 26-junio-2011.

El uso de otras combinaciones (7-4-2) permite diferenciar mejor:

- a) algunos sectores de montaña sin arbolado
- b) algunas carreteras al pie de la montaña en un área con mucha vegetación que quedan enmascaradas en la combinación 4-3-2

- c) límites y extensión de los cuerpos de agua, la superficie forestal, incluso las pequeñas albercas para ganado. Los límites de grandes cuerpos de agua o embalses pueden identificarse con más claridad en la combinación 7-4-1, por lo que su uso es preferible a la hora de medir las superficies del embalse en un fecha concreta.
- d) Barrancos (llamados localmente gargantas) con numeroso material grueso de transporte y sedimentación

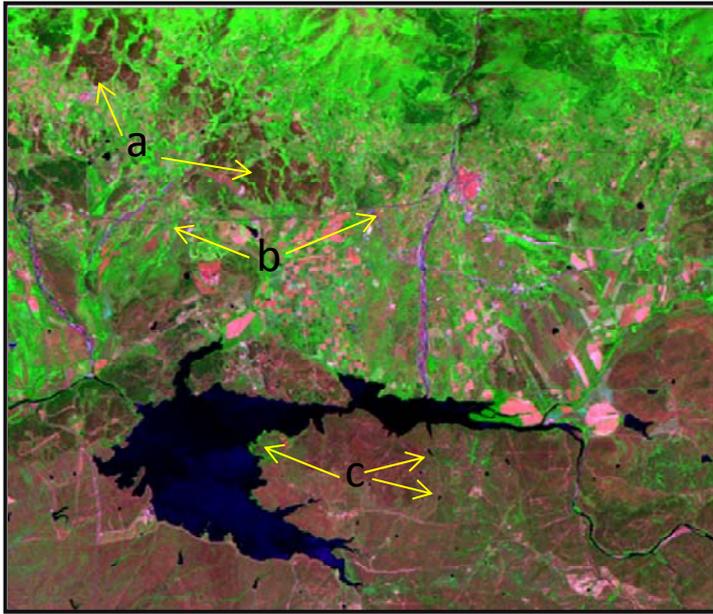


Fig. 136. Imagen Landsat 202/32, 7-4-2 (R-V-A) del 26-junio-2011.

Sin embargo, las combinaciones anteriores no resultan adecuadas para diferenciar las parcelas sin cultivar, pues su coloración rosácea no se distingue bien de los cultivos en sus primeras fases de crecimiento.

Para la mejor interpretación visual de las imágenes es preciso realizar algunas operaciones con los valores espectrales, de forma que destaquen mejor las diferentes cubiertas del suelo. Uno de los más expresivos es el índice de color natural que simplifica la imagen original a 3 bandas espectrales y adjudica el color verde al IR cercano, de mayor reflectividad clorofílica y captación de la superficie foliar. Como resultado este falso color es bastante similar al natural sobre todo para las siguientes cubiertas (Fig. 137):

- Las nubes o la nieve (a)
- Parcelas cultivadas (b)
- Parcelas en barbecho (c)
- Bosques caducifolios y perennifolios (d)
- Roquedo (e)

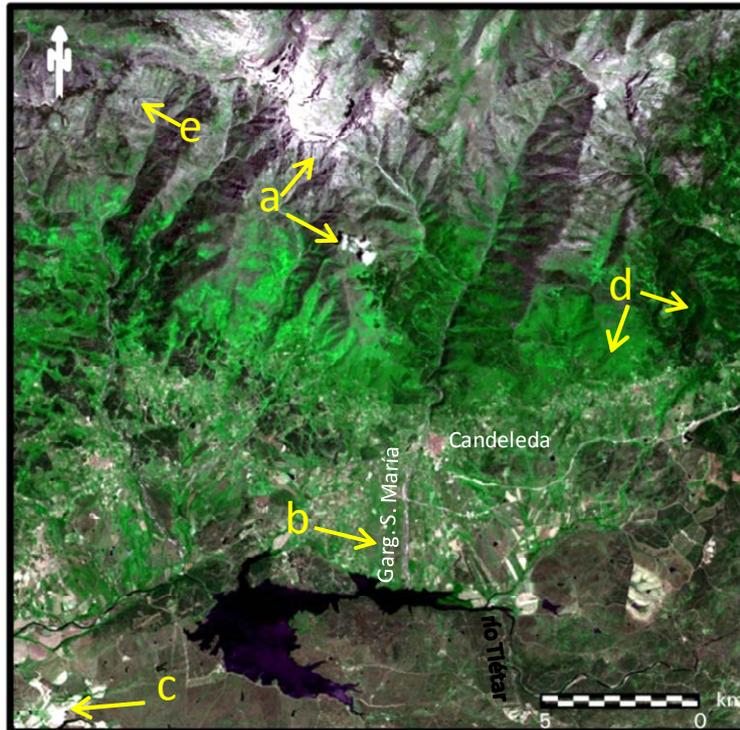


Fig. 137, Índice del color natural de la imagen Landsat TM.



Fig. 138. Fotografías de algunos cursos de agua visibles en la imagen Landsat TM.

Para resaltar algunos elementos lineales se ha obtenido una imagen mediante la ecuilización del histograma. Esta imagen permite reconocer muchas infraestructuras viarias, gargantas, márgenes de las láminas de agua, etc. Además, se identifica la distinta profundidad del embalse del Rosarito, con diferentes tonos de azul. Contrasta la vegetación natural y los cultivos en verde intenso frente a los suelos sin apenas vegetación que aparecen en tonos rosas.

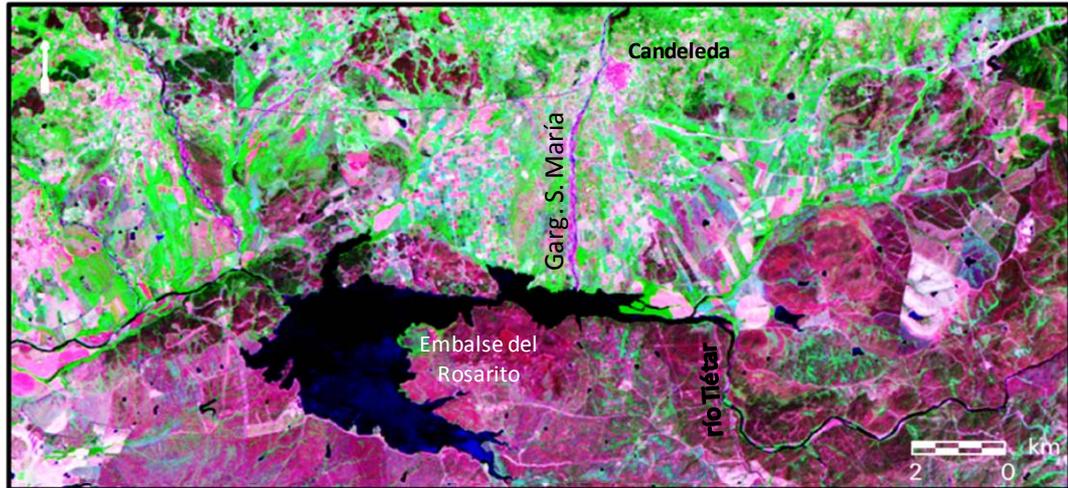


Fig. 139. Imagen Landsat TM ecualizada, bandas 7-4-2 (R-V-A).

En esta comarca de alta densidad y variedad de vegetación resulta de gran utilidad realizar el Índice de la Diferencia Normalizada de la Vegetación (NDVI), que para las imágenes Landsat TM se obtiene a partir del cociente:

$$NDVI = \frac{\text{banda 4} - \text{banda 3}}{\text{banda 4} + \text{banda 3}}$$

La imagen pancromática con valores adimensionales (de +1 a -1), se ha transformado a una paleta de colores adecuada a la reflectividad de la vegetación. Los valores del NDVI permiten discriminar (Fig. 140):

- Blanco (< -0,14): nieve y borde arenoso del embalse
- Azul (de -0,15 a 0): lámina de agua
- Amarillo (de 0,001 a 0,19): superficies sin vegetación (roquedo, suelos arados, gargantas, carreteras, caminos, cursos de agua secos, etc.)
- Verde claro (de 0,2 a 0,39): vegetación muy dispersa o de pequeño porte
- Verde oscuro (de 0,40 a 0,59): bosque mixto o perennifolio, vegetación de ribera dispersa
- Rojo: bosque caducifolio y de ribera

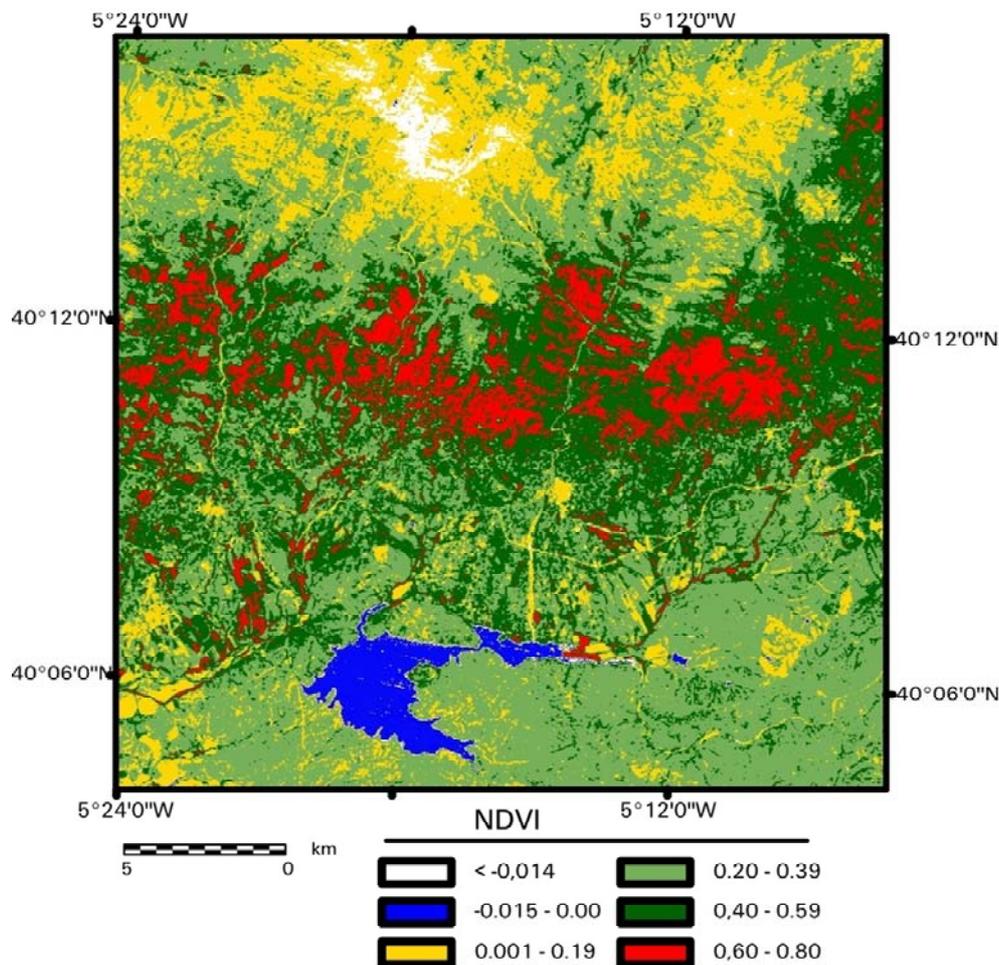


Fig. 140. Imagen del NDVI de la imagen Landsat del 26-junio-2011.

Mediante imágenes multitemporales del NDVI se podría evaluar la superficie afectada por un incendio, su recuperación o no con el tiempo, la evolución de repoblaciones forestales, las talas realizadas, el seguimiento de los cultivos, estrés hídrico de la vegetación, etc.

Otra herramienta de gran utilidad la constituye los modelos digitales del terreno, que permiten numerosas aplicaciones por sí mismos o en combinación con las imágenes de satélite. Aquí se exponen sólo algunos usos posibles, especialmente en un área de gran contraste altitudinal.

El simple coloreado del relieve, que traslada los valores de altitud a una gama cromática estándar, facilita la expresión de las grandes unidades del relieve: sierra, principales divisorias de aguas, cuencas hidrográficas, escalones altitudinales, grandes alineaciones del terreno. El inconveniente es que sólo ofrece una gama cromática adimensional. Por ello, será preferible el mantener en la imagen los valores de altitud original y darle color con los intervalos que interesen al uso (Fig 141).

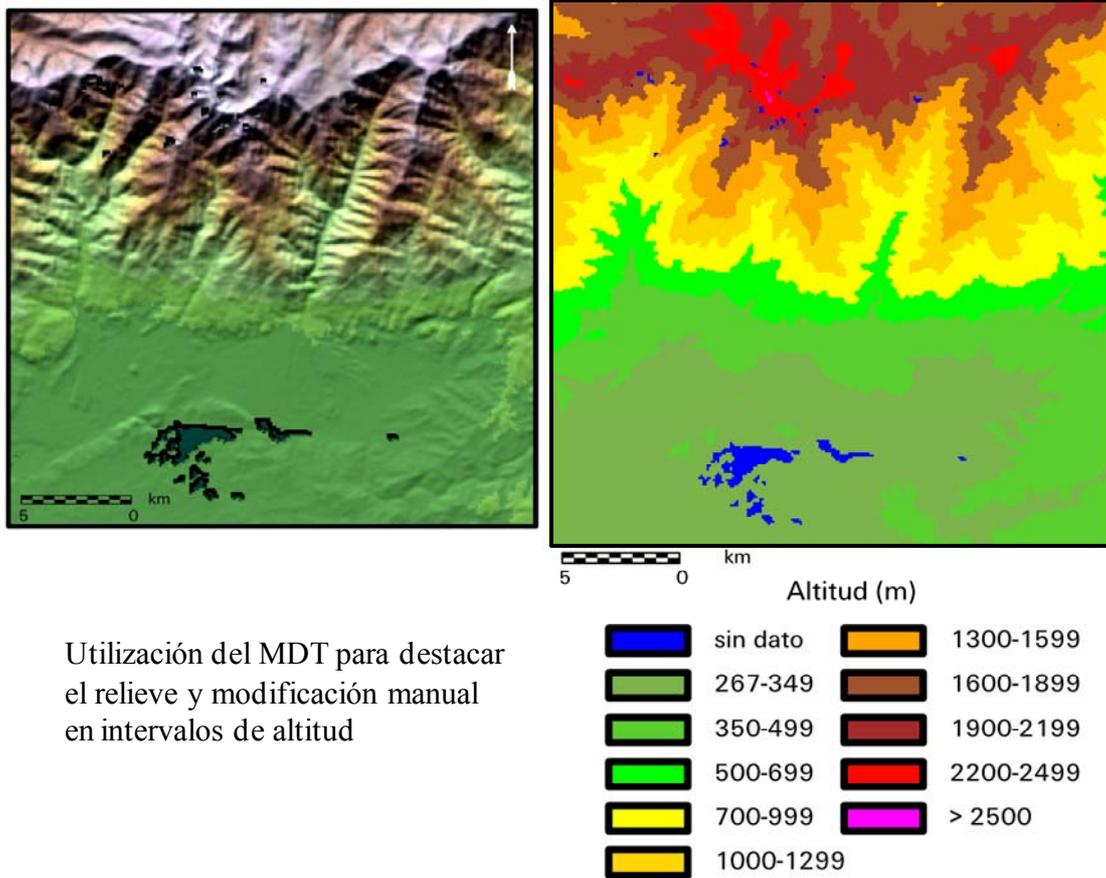


Fig. 141. Coloreado del relieve en el MDT y mapa de altitud.

Los *mapas de sombreado del relieve* pueden obtenerse con la orientación solar que se prefiera. Tradicionalmente suele escogerse una altura solar de 45° con iluminación desde el NW, ofreciendo una imagen que simula el relieve a través del sombreado (Fig. 142).

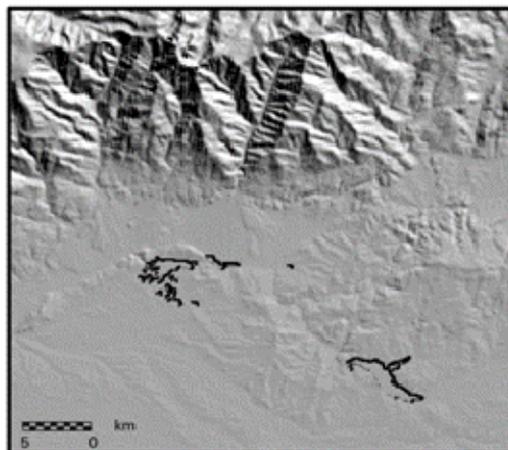


Fig. 142 Sombrado del relieve con iluminación desde el NW y altura solar de 45°.

Aquí, para el estudio de los abanicos aluviales y de las formas de redes hidrográficas se ha modificado la iluminación desde el E. Así la imagen del sombreado del relieve con iluminación desde el NE y un ángulo de 45° (Fig. 143), aunque origina cierta pseudoscopia, permite diferenciar las siguientes unidades:

- en tonos oscuros las vertientes W,N y NW o de mayor pendiente
- en tonos muy claros: vertientes al E, S y SE con pendientes moderadas
- el contraste de tonos en los valles permite identificar formas de la red fluvial:
 - Rectilínea: en montaña
 - Dendrítica: en el llano
 - Radial: en el piedemonte

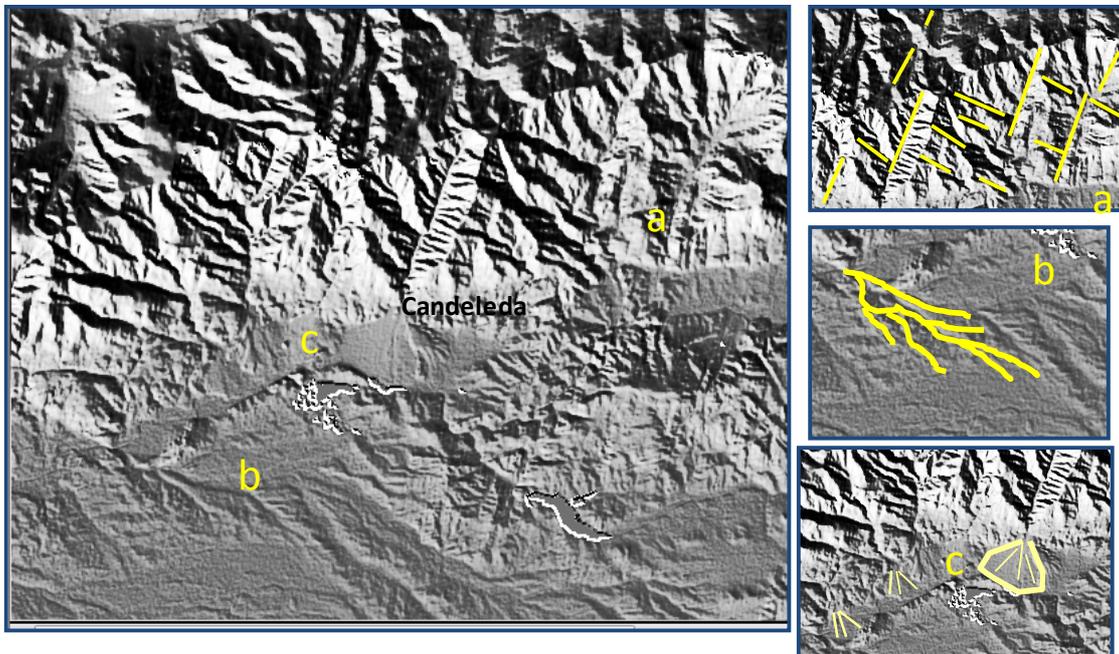


Fig. 143. Sombreado del relieve, con iluminación desde el NE (pseudoscopia) para resaltar las redes de drenaje del piedemonte.

El Mapa de pendientes en porcentajes también permite identificar:

- Grandes líneas de fractura, seguida por la red fluvial y que marcan los escalones del relieve
- Numerosos cauces de primer orden y buena representación de la red fluvial
- Principales divisorias de aguas
- Escasa pendiente de los abanicos aluviales (tonos muy claros y forma triangular)

- Incisión fluvial en los abanicos aluviales indicando los cursos actuales y los sectores con mayor capacidad de erosión
- Abanicos antiguos que quedan por encima de los más modernos
- Bordes de embalses y navajos

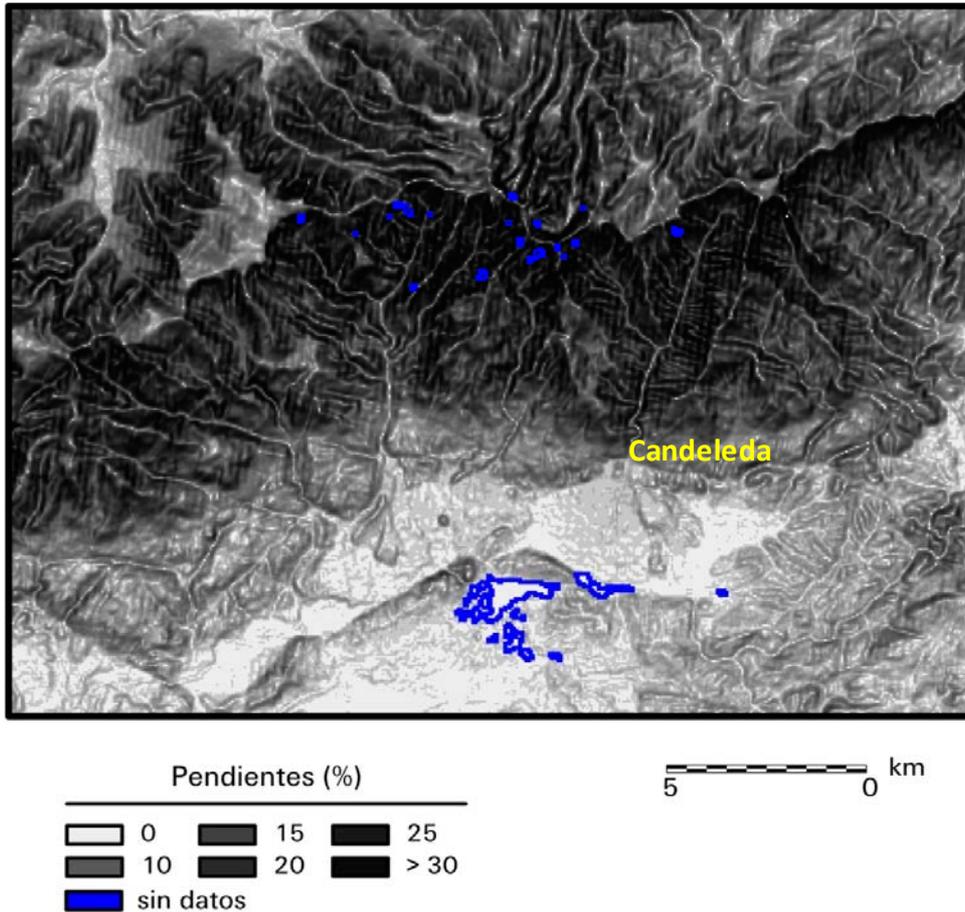


Fig. 144. Mapa de pendientes en porcentajes.

En el mapa de ocho orientaciones se destaca en colores fríos, azulados, las vertientes N, NE y NW; en colores cálidos, rojos y anaranjados la exposición al W y SW; el sentido hacia el E en amarillo y en verde oscuro al SE. Puede verse el núcleo de Candeleda con una favorable exposición Sur, además de situarse en la vertiente Sur de la Sierra de Gredos. A su vez, la rápida localización de las orientaciones norteñas, junto al mapa de altitud, facilita información sobre los lugares donde más tiempo permanecerá la nieve en fechas concretas, etc.

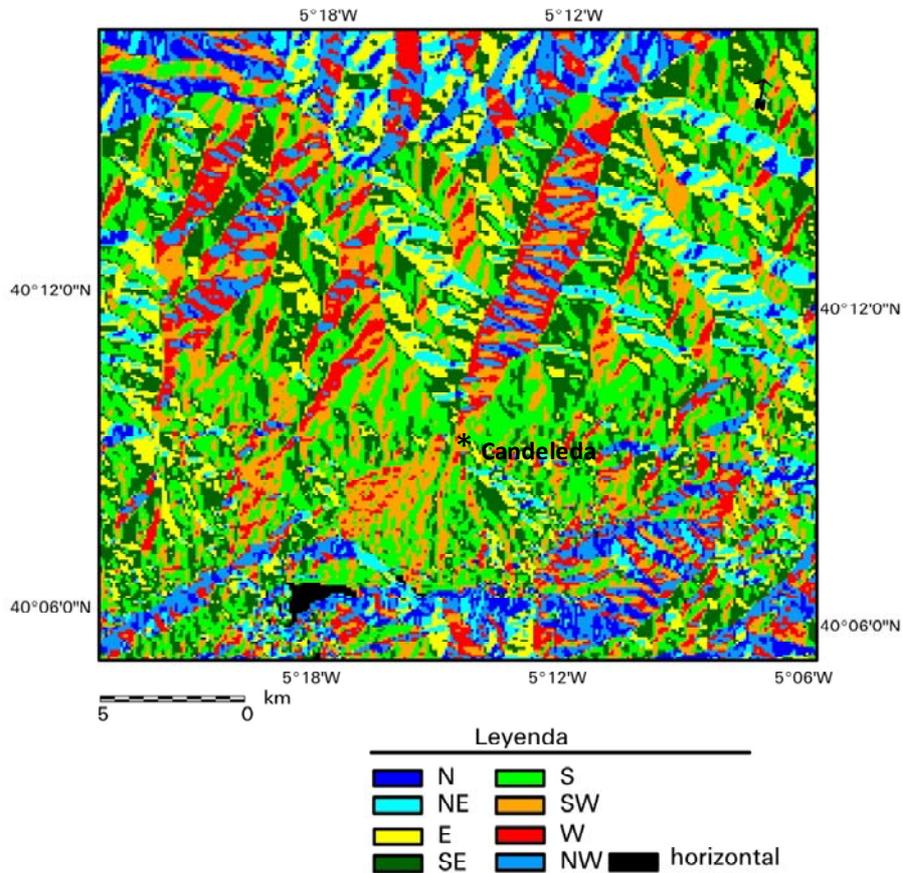


Fig. 145. Mapa de orientaciones de laderas.

Superponiendo curvas de nivel, isohipsa de 2.000 m en amarillo, podemos conocer la altitud a la que se encuentra:

- la nieve en una fecha determinada
- hasta qué altitud alcanza una determinada especie forestal
- diferencias altitudinales entre caras N y S o bien debidas a otras exposiciones

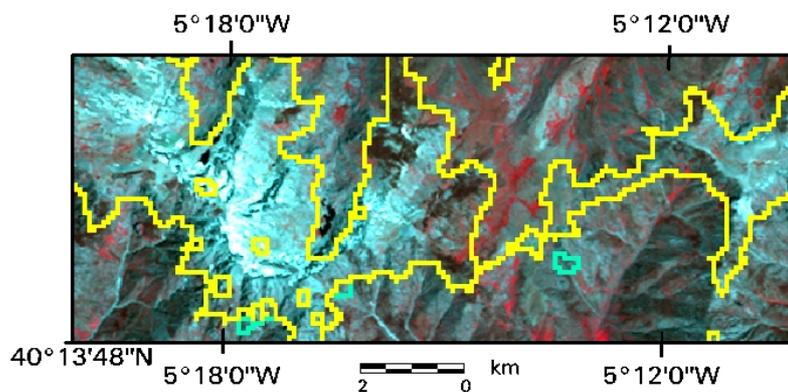


Fig. 146. Isohpsa de 2.000 m e imagen Landsat 4-3-3 (R-V-A).

Superponiendo el sombreado del relieve a la imagen Landsat se simula el relieve y se acentúan las vertientes. Aunque se pierda nitidez en la imagen, pueden identificarse mejor las numerosas fallas y fracturas que son aprovechadas por la red de drenaje.

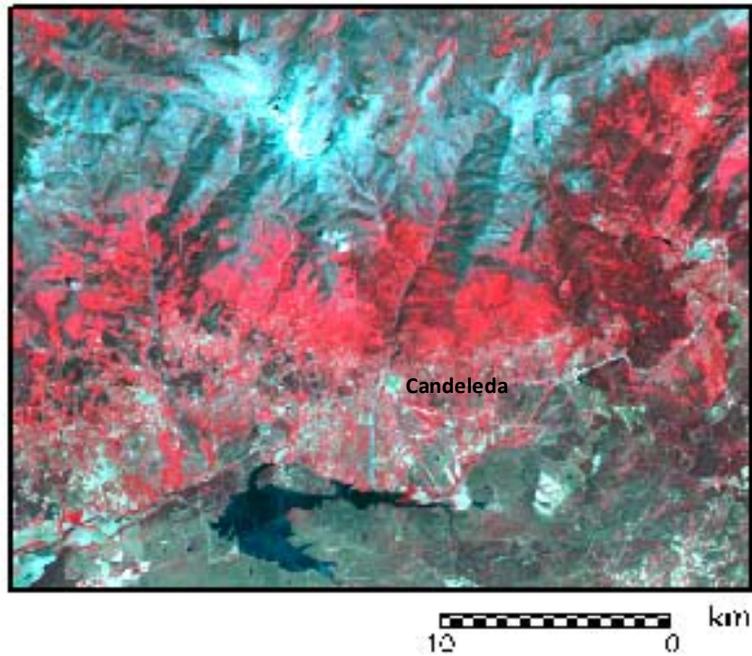


Fig. 147. Fusión de imagen Landsat TM y sombreado del relieve.

Una vez realizado el estudio general a partir de imágenes de satélite se analizan en detalle algunos depósitos fluviales y de la dinámica fluvial en la vertiente meridional de Gredos. Esto se realiza con el apoyo de fotografía aérea y trabajo de campo.



Fig. 148. Fotografías de la vertiente meridional de Gredos.

En las fotografías anteriores se destacan las siguientes unidades litológicas y estructurales:

- “Sierra” con granitoides visibles por la coloración
 - fracturación en diferentes ángulos, con predominio de ciertas
 - orientaciones y poca cubierta vegetal (dados los desniveles)
- Fosa con rocas sedimentarias que ocupan lugares hundidos y tienen coloración clara propia de arenas (jabre y arcosas). Constituye una dovela hundida de Candeleda con relieves en lomas y vaguadas, donde se construye el embalse de Rosarito.
- Bloque meridional constituido también por granitoides, con menor relevancia de la fracturación lo que origina menores relieves topográficos. Este bloque levantado de Las Tejoneras constituye la cerrada del embalse.

A través de las fotografías aéreas se observa la impronta de las fallas en los contactos rectilíneos que ocasiona con frecuencia relieves en escalera y fosas geológicas, independientemente de la topografía. En la fotografía aérea se localiza y traza de la falla con escarpe morfológico del bloque de Las Tejoneras (Fig. 149).

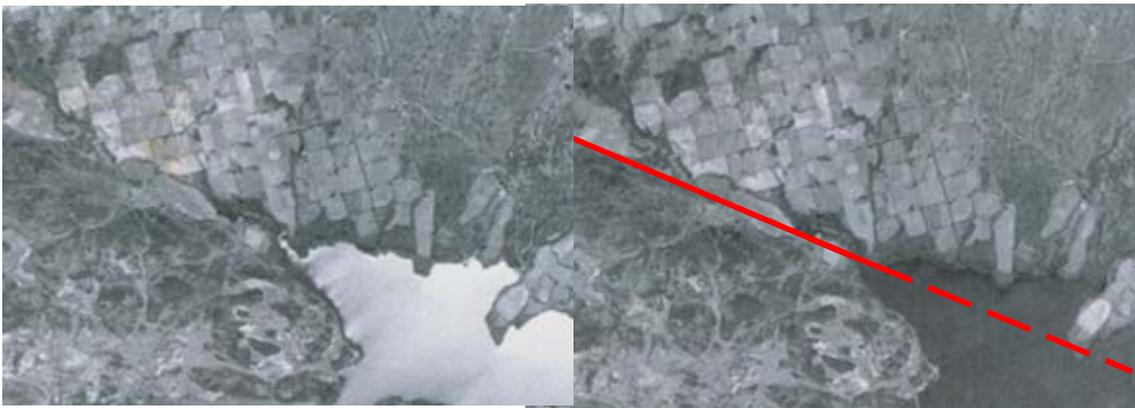


Fig. 149. Par del contacto por falla en el borde S de la fosa de Candeleda.

Mediante la visión estereoscópica de las fotografías aéreas también se pueden reconocer los escarpes de diferentes orígenes:

- Entre terrazas
- Entre abanicos sucesivos
- Entre litologías diferentes: binomio roca dura / roca blanda

Asimismo se pueden distinguir el modelado de lomas y vaguadas en los depósitos de relleno de la dovela hundida de Candeleda y los relieves en los escalones (graderío tectónico) entre Sierra y dovela de fondo.

Geomorfología de detalle de Candeleda

- el cauce trenzado actual
- el abanico actual
- el abanico antiguo

Dado que los abanicos se encajan unos en otros, la probabilidad de encontrar restos de abanicos antiguos es mayor cerca del ápice y en posición lateral. Frecuentemente los remanentes de abanicos antiguos están desenganchados del cañón que los produjo porque las máximas pendientes en un abanico se encuentran en los laterales.



Fig. 150. Imagen del Google Earth © y foto aérea del abanico aluvial de Candeleda.

Las necesidades de un abanico para su instalación son:

- Encajamiento de un río de montaña
- Brusca pérdida de pendiente; salida al llano, cuando se procede desde el monte
- Importante caudal sólido
- Funcionamiento episódico: material de aluvión por crecidas (\neq estiajes)

Visión estereoscópica en fotografía aérea del abanico de la Garganta de Santa María en Candeleda

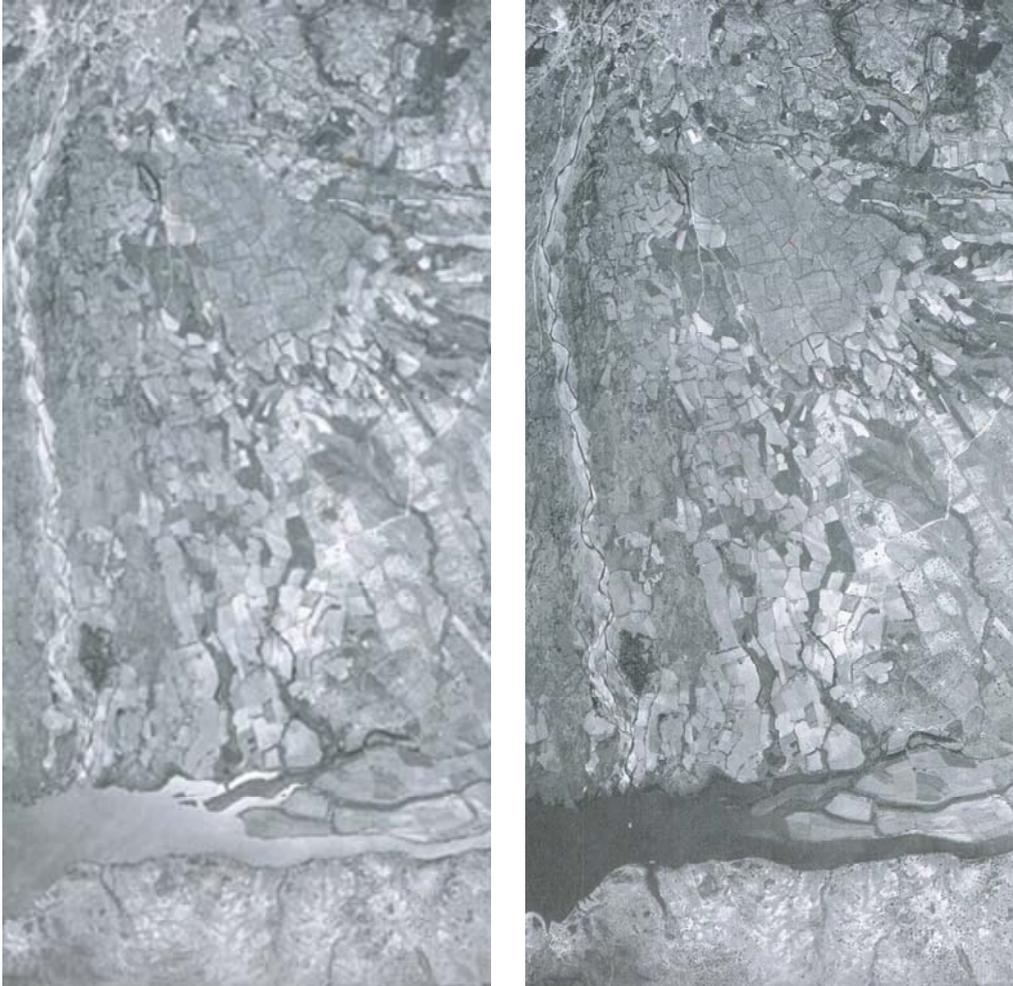


Fig. 151. Par estereoscópico de la Hoja 600 (Candeleda).

El reconocimiento del abanico sigue los siguientes patrones:

- Forma de abanico, si es actual o reciente
- Aspecto distributivo: de un único cauce nacen varios brazos de agua
- Forma digitada, tras la incisión de los cauces distributivos
- Acompaña o está próximo a un cauce fluvial
- Como acompaña al río, tiene pendiente longitudinal
- Abombamiento central: lugar de máxima acumulación de materiales de acarreo

Visión estereoscópica en fotografía aérea del abanico abandonado o antiguo:



Fig. 152. Interpretación del abanico aluvial de Candeleda.

Características del abanico abandonado o antiguo:

- Planta triangular, con ápice más elevado
- Digitación en el área distal por profundización de los cauces distributivos
- Plataforma (forma plana, aplanada, pero elevada del resto de la topografía)
- Necesidad de escarpes laterales, más o menos pronunciados
- Escarpes pronunciados por la incisión del río actual o antiguos brazos marginales
- Escarpes menos nítidos en el resto de los márgenes y especialmente hacia abajo
- La antigüedad atestiguada por la separación del ápice del área-fuente denota inactividad
- Evolución como plano ligeramente inclinado: ¿suelos de tipo planosol?
- Uso agrícola específico: olivar, pues sólo recibe agua de lluvia, no encauzada



Fig. 153. Fotografías del abanico de Candeleda.



Fig. 154. Diversidad de facies (muy gruesas a finas) en depósitos de relleno de la Cuenca de Candeleda, sobremontados por facies arenosas del abanico antiguo.

Sustrato del abanico: depósitos torrenciales de relleno de la cuenca de Candeleda.

Un ejemplo de resolución in situ de un problema:

El sustrato del abanico en las inmediaciones de Candeleda

El sustrato sólo es reconocible mediante trabajo de campo, pues evidentemente queda enmascarado por los depósitos suprayacentes.



Fig. 155. Fotografía del sustrato.

En este sustrato se producen procesos de oxidación – reducción, debido a los movimientos de las capas de agua, que dan lugar a materiales pseudogleizados, reconocibles por los colores abigarrados: gris verdoso (reducción) y rojizos (oxidación).



Fig. 156. Procesos de pseudogleización en los materiales de relleno de la fosa de Candeleda.

El cauce actual: barranco de Santa María

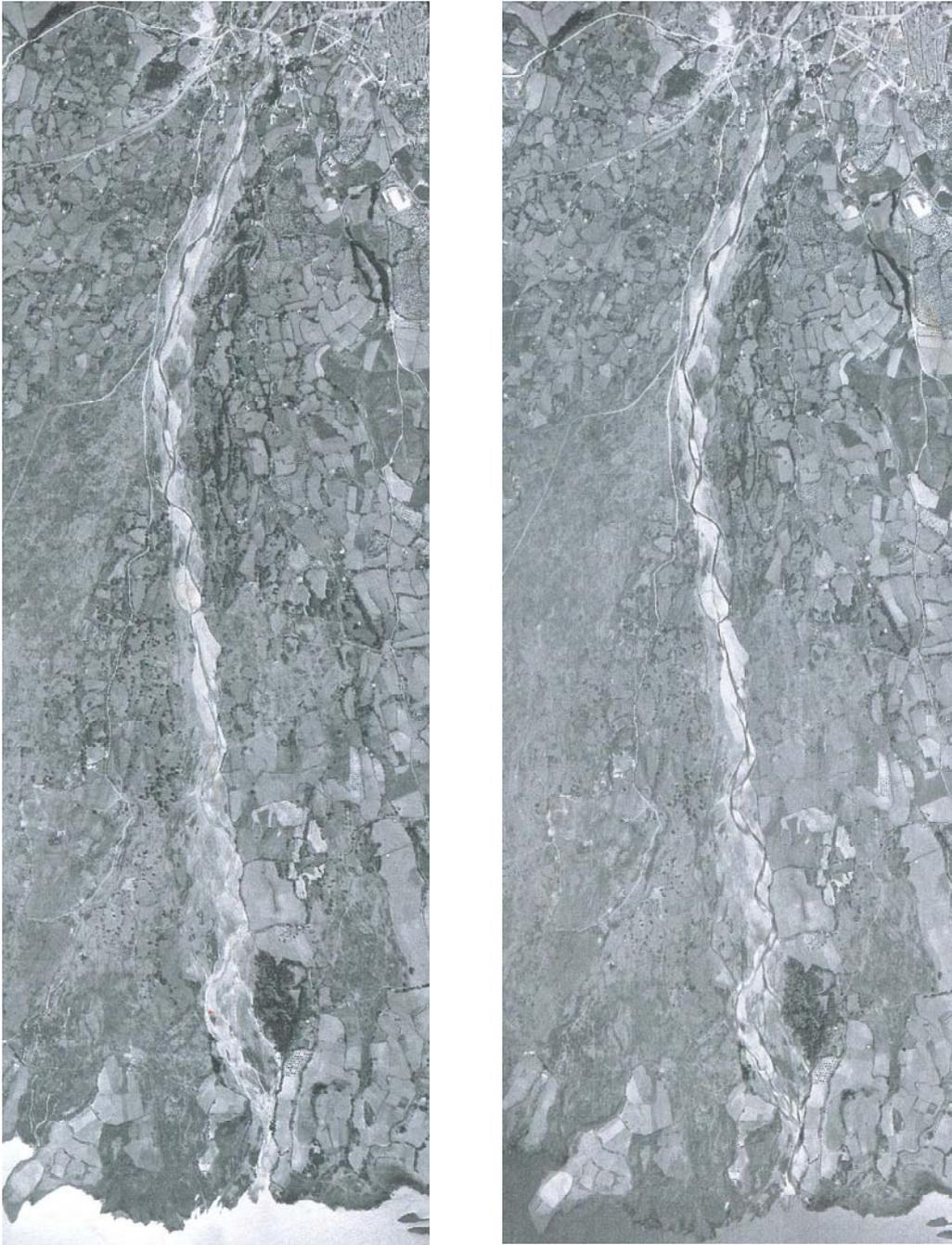


Fig. 157. Par para visión estereoscópica del cauce trenzado.

Reconocimiento:

- Máxima profundidad → conduce el agua
- Varios brazos entrelazados
- Ausencia de vegetación por las continuas inundaciones
- Coloración clara
- Gran cantidad de carga, debido al brusco cambio de pendiente y a la tectónica de bloques



El cauce actual es la sucesión de tramos rectilíneos debido al control estructural

También las orillas tienen control estructural, con igual orientación que el cauce

→ la cuenca de Candeleda es somera;

→ control del sustrato

Fig. 158. Detalle del sector central del cauce actual de la Garganta de Santa María.



Fig. 159. Fotografías del cauce trezado en la Garganta de Santa María.

El abanico actual



Fig.160. Par estereoscópico del abanico actual de Candeleda.

El abanico subactual presenta 3 áreas bien definidas por el aprovechamiento:

- Margen izquierdo (orilla oriental): huertas regadas por agua de derivación del río
- Margen derecho inmediato al cauce: rebollar
- Margen derecho distal: parcelario en lotes, huertos familiares con poca agua y parcelación de la Dehesa del Llano

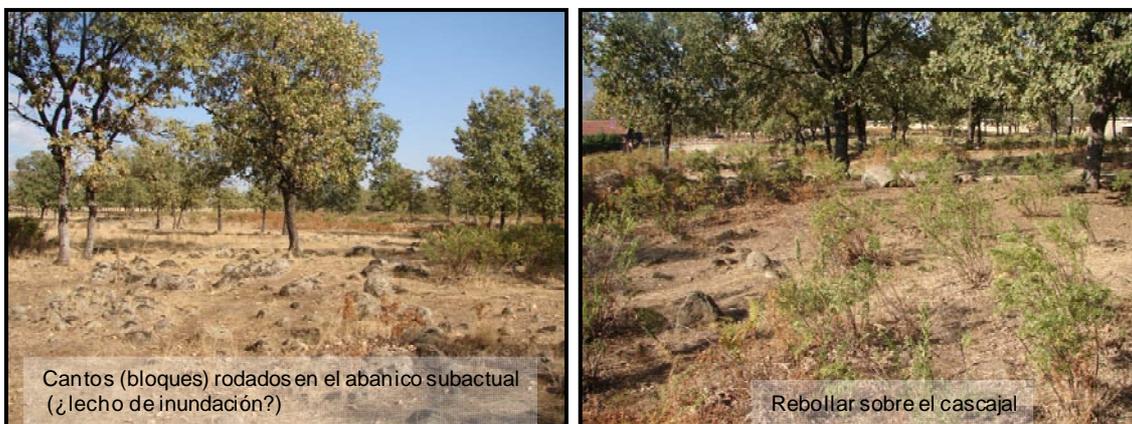


Fig. 161. Fotografías del estado del abanico actual.

La torrencialidad que denotan los depósitos de relleno de la cuenca de Candeleda (dovela hundida) se ha mantenido hasta la actualidad.

- Continuidad en los depósitos.
- Dificultad de separar geológicamente (estratigráficamente) los depósitos antiguos de los recientes. Principio del actualismo.
- ¿Significa ello también que no ha habido cambios climáticos? ¿Son los cambios menores respecto de las condiciones morfológicas o tectónicas?
- La torrencialidad viene impuesta por el gran desnivel entre las cumbres de Gredos y la dovela de Candeleda.
- Se ha debido mantener un régimen de precipitaciones alto durante todo el tiempo de registro sedimentario debido a la persistencia del paredón de Gredos, siempre con exposición al SW, de donde provenían las masas de aire con lluvia (¿?)
- La alteración (arenización) de los bloques y cantos graníticos se produce con facilidad en condiciones húmedas (tal vez más edáficas que climáticas), toda vez que las arenas que acompañan a los tamaños gruesos permiten buenos acuíferos
- La masa arenosa sin diferenciar (arena de depósito y jabre de alteración de los gruesos) es impregnada [saturada] por el agua: procesos de oxidación – reducción, visibles por las coloraciones en manchas azulado-grisáceas y rojizas (moteado)



Fig. 162. Izqda.: Contraste geológico, geomorfológico y de uso del suelo.

Dcha.: Procesos de rubefacción (en *lehm* granítico o jabre) en la dovela de La Vera.

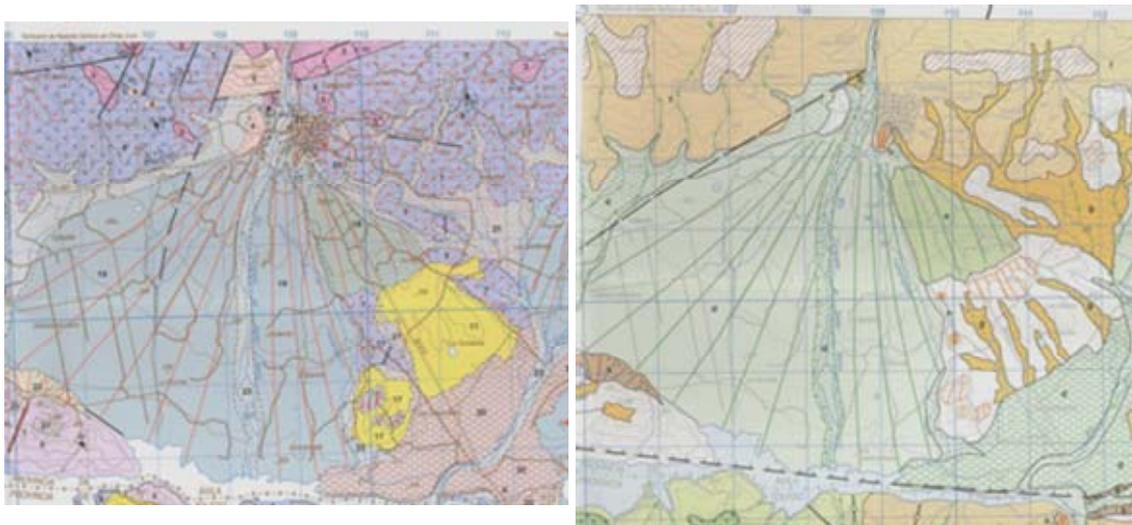
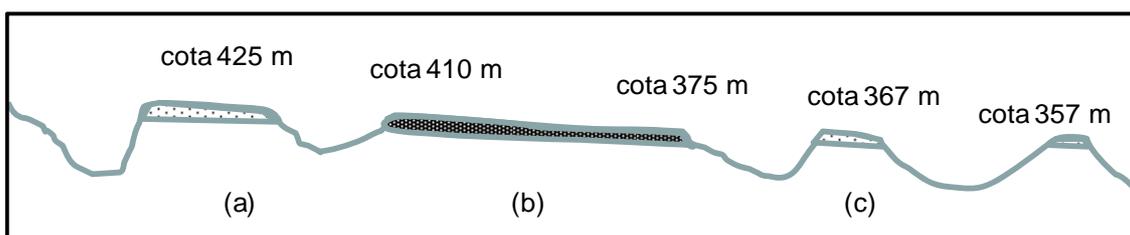


Fig. 163. Mapas geológico y geomorfológico, Hoja 600, Candeleda. Leyenda en: <http://www.igme.es>

La interpretación del mapa geomorfológico, adjunto al mapa geológico serie MAGNA, muestra que la superficie del abanico está compuesto por tres ámbitos:

- Al N: material alterado de relleno de la cuenca de Candeleda sobremontado por un fino depósito de glacis, asentamiento urbano y salida por la carretera CL-501 hacia Madrigal de la Vera (a)
- En el área central: abanico con canturreal propio de los aluviones fluviales, paraje llamado “Mesa del Pueblo” (b)
- Al S: tras una incisión erosiva, vuelve a estar dominado por depósitos de glacis (elevaciones de Cardenilla) (c)



Interpretación alternativa:

¿Podría tratarse de una única superficie, por lo tanto monogénica?

La disposición cumbreña de diversos materiales puede ser sólo indicativa de cambiantes condiciones fluviales (depósitos de cauce cuando predominan los cantos; depósitos de inundación, cuando lo hacen las arenas y limos).

Usos del Suelos sobre el abanico aluvial

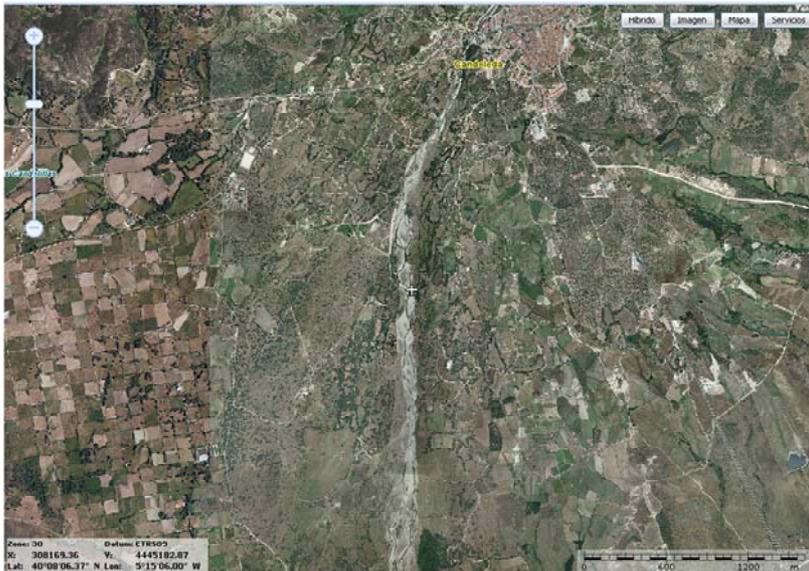


Fig. 164. Imagen del Google Earth ©, 2012.

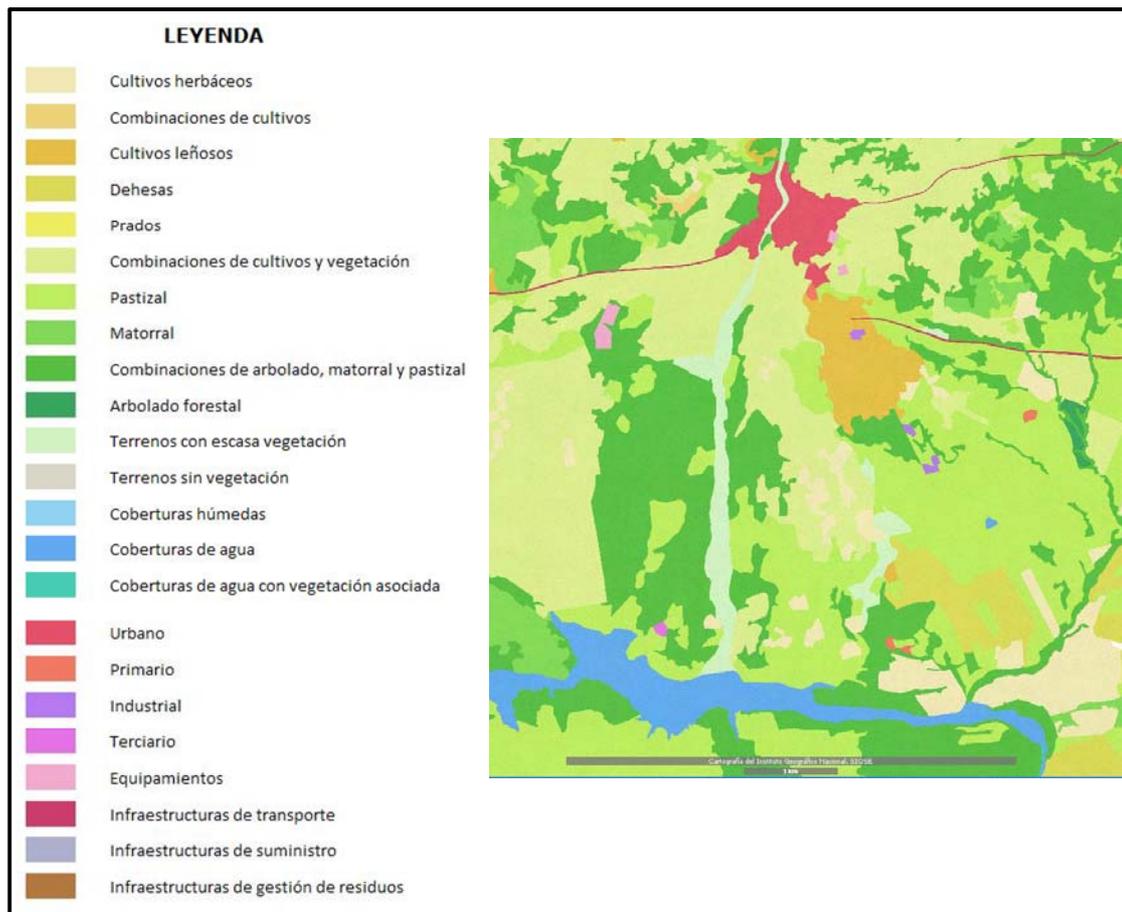


Fig. 165. Sistema de Información de Ocupación del Suelo de España (SIOSE), I.G.N.
<http://www2.ign.es/iberpix/visoriberpix/visorign.html>

Este capítulo ha mostrado una de las áreas peninsulares con más desnivel, lo que lleva aparejado un proverbial escalonamiento de la vegetación y de los usos del suelo. Sólo esta circunstancia ya sería suficiente como para haber elegido esta vertiente meridional de Gredos para su estudio. Pero, como consecuencia de la citada altura entre las cimas de Gredos y la fosa por la que discurre el Tiétar, se ha producido en tiempos geológicos recientes –con prolongación hasta la actualidad- una intensa acción fluvial que originó el relleno de la fosa al pie de la elevación, así como una dinámica de abanicos aluviales encajados unos en otros, marcando la personalidad geográfica de Candeleda y su entorno. La exposición hacia el S del inmenso murallón de Gredos ha propiciado unos cultivos impropios de estas latitudes, de entre los que destacó el tabaco y son buen ejemplo las actuales palmeras que ornán todo el casco urbano. Puede, pues, reconocerse el efecto de la solana sobre el conjunto. Esta realidad incita a posteriores análisis de comparación entre esta vertiente meridional y la norteña, absolutamente diferente, dado que en ésta son bien visibles no ya unos diferentes comportamientos altitudinales –de entre los que destacan la geomorfología glaciárica cuaternaria o la altitud de los diversos pisos forestales–, sino un marcado efecto Föhn, de sombra pluviométrica. Queda así patente que el estudio de un área, más que acabarse en sí mismo, es incitación o sugerencia a otros venideros.

Como en capítulos anteriores a continuación se analiza geográficamente una fotografía representativa del paisaje de la vertiente meridional de Gredos: la Garganta de Santa María a su paso por el núcleo de Candeleda.



Fig. 166. Fotografía de la Garganta de Santa María, noviembre de 2011.

Análisis y comentario de una imagen geográfica: Candeleda

ANÁLISIS

I. Localización.

- Garganta de Santa María. Candeleda. (Ávila) Castilla y León.

II. Tipo de paisaje.

- Natural y residencial.

III. Unidades y elementos paisajísticos.

- Laderas de la montaña.
 - Laderas cubiertas de vegetación.
 - Garganta.
- Abanico y lecho fluviales.
 - Abanico (casas, árboles de ribera).
 - Lecho fluvial (con vegetación en las zonas más elevadas y masas de cantos rodados en las inundables).

IV. Factores.

- Naturales.
 - Clima (mediterráneo de interior, en la base, de montaña, en las cumbres)
 - Topografía (fuertes pendientes)
 - Río (garganta, abanicos, masas de cantos rodados).
- Antrópicos.
 - Nuevos usos del suelo (viviendas en la terraza fluvial superior)



COMENTARIO

Aunque es fundamentalmente un paisaje natural, formado por la acción de erosión, transporte y sedimentación de un curso fluvial, parte de ese espacio ha sido convertido por el hombre en una zona residencial, de casas y chalets unifamiliares, en la zona de contacto entre la montaña (A) y el fondo del valle (B). Se trata de una de las gargantas de la vertiente sur de Gredos, concretamente la de Santa María, próxima a la localidad de Candelada (Ávila) y la ermita de la Virgen de Chilla. La parte superior de la imagen está ocupada por las estribaciones montañosas (1), entre las que el río ha labrado una garganta (2). Es una zona cubierta de vegetación arbórea mixta y adaptada a la altitud (cliserie). Dominan los árboles de hoja caduca (3) y arbustos, aunque en altura serán sustituidos por los pinos.

La mitad inferior está constituida por el abanico superior (4), ocupado por las viviendas, con instalaciones de tendidos eléctricos y grandes rebollos, árboles de ribera, etc. Es una zona de gran densidad forestal, en la que también aparecen plantas ornamentales, junto a las viviendas, y áreas de prados y matorral.

El cauce del río (muy amplio, pero de escasos caudales en el momento de la imagen) se corresponde con grandes cambios estacionales y un enorme poder erosivo y de transporte, dejando masas de aluviones. Las zonas más altas del lecho mayor (5) está ocupadas por hierbas, arbustos y matorral, mientras las masas de cantos rodados, desnudos y formando un cauce trenzado (6), aparecen en el fondo, mostrando su vitalidad y poder de construcción del paisaje.

En definitiva, es un paisaje básicamente natural, especialmente de acción fluvial, con una ocupación reciente para usos residenciales, por la belleza del entorno, perteneciente a las gargantas de Gredos y colindante con la comarca de La Vera.

VI. BIBLIOGRAFÍA CITADA

- CHUVIECO, E. 2000. *Fundamentos de Teledetección espacial*. Ed. Rialp. Madrid.
- CHUVIECO, E. 2010. *Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio*. Ed. Ariel Ciencia.
- LABRADOR, M., EVORA, J.A. y ARBELO, M. 2012. *Satélites de teledetección para la gestión del territorio*. Edit. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Agua del Gobierno de Canarias.
- MARTINEZ-VEGA, J. y MARTÍN P. (edit) 2011. *Guía didáctica de Teledetección y Medioambiente*. C.S.I.C. - A:E.T. -R.N.T.A.
- OTERO, I. (coord.) 1995. *Diccionario de Cartografía Topografía, Fotogrametría, Teledetección, GPS, GIS, MDT*. Ediciones de las Ciencias Sociales. Madrid.
- PINILLA, C. 1995. *Elementos de Teledetección*. Ra-Ma, D.L. Madrid.
- POBLETE PIEDRABUENA, M.A. 1995. *El relieve volcánico del Campo de Calatrava (Ciudad Real)*. Ed. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha y Univ. de Oviedo. Gijón.

Direcciones web

[http:// www.ign.es](http://www.ign.es)

[http:// www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

[http:// www.cnes.fr](http://www.cnes.fr)

[http:// www.igme.es](http://www.igme.es)

<http://glcf.umiacs.umd.edu>