

La cartografía geológica y geomorfológica de la Hoja 207-III (Carcastillo) y su correspondiente memoria han sido realizadas por la UTE "Informes y Proyectos, S.A. Compañía General de Sondeos S.A." (INYPSA–CGS) durante los años 2000-2001, con normas, dirección y supervisión del Gobierno de Navarra, habiendo intervenido los siguientes técnicos:

Dirección y Supervisión (Gobierno de Navarra)

Faci Paricio, Esteban

Dirección del Proyecto

Autores y Colaboradores

López Olmedo, Fabián (INYPSA)

Cartografía geológica, Geomorfología y Memoria

Solé Pont, Javier (INYPSA)

Sedimentología y Memoria

Díaz de Neira, Alberto (INYPSA)

Geomorfología y Memoria

Martínez Arias, Alfredo (INYPSA)

Hidrogeología

ÍNDICE

0. INTRODUCCIÓN

1. ESTRATIGRAFÍA

1.1. Terciario

- 1.1.1 Lutitas ocre y rojas con algunas intercalaciones de areniscas (4). *Unidad de San Zoilo-Santacara. Orleaniense.*
- 1.1.2 Lutitas ocre y areniscas (6). *Unidad de Olite. -Orleaniense.*
- 1.1.3 Lutitas ocre y rojas con algunas intercalaciones de areniscas (7). *Facies de Las Bardenas. Orleaniense-*
- 1.1.4 Areniscas y arcillas ocre-rojizas (9). *Unidad de Artajona. Orleaniense superior-Astaraciense.*

1.2. Cuaternario

- 1.2.1 Conglomerados con encostramientos carbonatados a techo. Glacis de Techo de piedemonte (11). Pleistoceno
- 1.2.2. Conglomerados, gravas, arenas y lutitas. Terrazas (12, 13 y 14). Pleistoceno-Holoceno
- 1.2.3. Gravas y lutitas ocre. Glacis (16). Pleistoceno-Holoceno
- 1.2.4. Limos y arcillas con cantos. Conos de deyección (18). Holoceno
- 1.2.5. Lutitas y arenas con cantos y bloques. Coluviones (20). Holoceno
- 1.2.6. Gravas, arenas y lutitas. Meandros o cauces abandonados (21). Barras (22). Pleistoceno-Holoceno.
- 1.2.7. Lutitas con cantos y arenas. Fondos de valle (23). Holoceno
- 1.2.8. Lutitas con bloques. Deslizamientos (25). Holoceno
- 1.2.9. Escombros y vertidos. Escombreras (26). Holoceno

2. TECTÓNICA

2.1. CONSIDERACIONES GENERALES

2.2. DESCRIPCIÓN DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS

3. GEOMORFOLOGÍA

3.1. DESCRIPCIÓN FISIOGRÁFICA

3.2. ANTECEDENTES

3.3. ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO

3.3.1. Estudio morfoestructural

3.3.1.1. Formas estructurales

3.3.1.2. Estructura de la red de drenaje

3.3.2. Estudio del modelado

3.3.2.1. Formas de laderas

3.3.2.2. Formas fluviales

3.3.2.3. Formas poligénicas

3.3.2.4. Formas antrópicas

3.4. FORMACIONES SUPERFICIALES

3.4.1. Lutitas y arenas con cantos y bloques. Coluviones (a). Holoceno

3.4.2. Lutitas con bloques. Deslizamientos (b). Holoceno

3.4.3. Conglomerados, gravas, arenas y lutitas. Terrazas y llanura de inundación (c-j). Pleistoceno-Holoceno

3.4.4. Gravas, arenas y lutitas. Meandros y cauces abandonados (k). Barras (m). Pleistoceno-Holoceno

3.4.5. Limos y arcillas con cantos. Conos de deyección (l). Holoceno

3.4.6. Lutitas con cantos, gravas y arenas. Fondos de valle (n). Holoceno

3.4.7. Conglomerados con encostramientos carbonatados a techo. Glacis de techo de piedemonte (ñ). Pleistoceno

3.4.8. Gravas y lutitas ocre con cantos. Glacis (o). Pleistoceno-Holoceno

3.4.9. Vertidos y Escombros. Escombreras (p). Holoceno

3.5. EVOLUCIÓN DINÁMICA

4. HISTORIA GEOLÓGICA

5. GEOLOGÍA ECONÓMICA

5.1. RECURSOS MINERALES

5.1.1. Minerales y Rocas Industriales.

5.1.1.1. Areniscas

5.1.1.2. Arcillas comunes

5.1.1.3. Arcillas especiales

5.1.1.4. Áridos naturales

5.2. HIDROGEOLOGÍA

5.2.1. Descripción de las formaciones

5.2.1.1. Lutitas ocre y rojas con algunas intercalaciones de areniscas. Mioceno inferior

5.2.1.2. Lutitas ocre-rojizas y areniscas Unidad de Olite. Mioceno inferior-medio

5.2.1.3. Lutitas ocre-rojizas con algunas intercalaciones de areniscas. Facies de Las Bardenas. Mioceno inferior-medio

5.2.1.4. Gravas, arenas y lutitas. Formaciones cuaternarias de alta permeabilidad

5.2.1.5. Fangos, arenas y lutitas con cantos. Formaciones cuaternarias de media y baja permeabilidad

5.2.2. Unidades acuíferas.

5.2.2.1. Unidad Hidrogeológica Sur

5.2.2.2. Unidad Hidrogeológica del Aluvial del Ebro y Afluentes

5.3. GEOTECNIA

5.3.1. Introducción

5.3.2. Metodología

5.3.3. Zonificación geotécnica

5.3.3.1. Criterios de división

5.3.3.2. División en Áreas y Zonas Geotécnicas

5.3.4. Características geotécnicas

5.3.4.1. Introducción

5.3.4.2. Área I

5.3.4.3. Área II

6. BIBLIOGRAFÍA

0. INTRODUCCIÓN

La Hoja a escala 1:25.000 de Carcastillo (207-III), incluida en la de Sos del Rey Católico a escala 1:50.000, se localiza en el sector suroriental de la Comunidad Foral.

El valle del Aragón separa la zona noroccidental de la Hoja, perteneciente a la denominada Navarra Media, de la suroriental, que forma parte de Las Bardenas Reales.

La región de Las Bardenas constituye un territorio característico del extremo suroriental de la Comunidad Navarra y sectores contiguos de la provincia de Zaragoza. Ofrece al visitante un espectacular paisaje desértico originado por la intensa erosión (acarcavamientos, cerros testigo, chimeneas de las hadas, etc.) del sustrato arcilloso, rasgos que han facilitado su constitución como parque natural de reciente creación. En la Hoja representa una zona de altitudes medias y bajas cuyas cotas máximas están comprendidas entre los 400 y 500 m.

La Navarra Media representa un territorio algo más accidentado que se caracteriza por el desarrollo de relieves medios estructurados a favor de los niveles competentes de las formaciones terciarias. Comprende la altitud máxima de la Hoja, próxima a los 700 m.

El río Aragón cruza la Hoja en sentido ENE-OSO por su mitad nororiental con un trazado sinuoso. Desciende hacia la Ribera Navarra desde los 345 m a los 325 m registrándose los 335 m a su paso por Carcastillo.

A lo largo del valle Aragón se concentran las dos principales localidades de la Hoja. Carcastillo es la más importante, situándose en la margen izquierda del río, mientras que en la otra margen se encuentra Murillo el Fruto. En el extremo suroriental de la Hoja se localiza Figarol, un moderno núcleo de población, aislado en plena región de Las Bardenas. El resto del territorio está muy despoblado, a excepción de la vega del Aragón, donde se encuentran, de forma diseminada, algunas granjas y caseríos.

La agricultura constituye la principal actividad en la región concentrándose los cultivos más productivos en la vega del Aragón. El desarrollo industrial es escaso, en buena parte subordinado a la producción agraria, y se limita prácticamente a Carcastillo.

Las principales vías de comunicación parten radialmente de Carcastillo, destacando las carreteras NA-124, y NA-5500 que se dirigen hacia el OSO a Santacara y Mérida, discurriendo por ambos márgenes del Aragón. Las carreteras autonómicas NA-5340 y NA-5555 se encaminan desde Carcastillo hacia el NE y SE a Cáseda y Sádaba. Finalmente la NA-5391 pasa por Figuerol y enlaza con las dos anteriores siguiendo un trazado N-S.

En el aspecto geológico, la Hoja a escala 1:25.000 de Carcastillo se enmarca regionalmente en el sector centro-occidental de la Cuenca Terciaria del Ebro, cuyo relleno se realizó a lo largo del Oligoceno y Mioceno por depósitos continentales en condiciones endorreicas. De este modo constituye una zona de tránsito entre la denominada Cuenca Navarro-Riojana, (SALVANY, 1989) y el Sector Central o Aragonés.

En la Hoja de Carcastillo la serie terciaria está representada exclusivamente por facies aluviales distales consistentes en lutitas ocre y rojizas con intercalaciones de areniscas en proporciones variables. El registro terciario existente se inicia cronoestratigráficamente en el Mioceno inferior con la denominada Unidad de Artajona, que es equivalente hacia el SO con la parte superior de la Fm. Lerín, mientras que hacia el N y NE pasa a las facies aluviales medias de la Unidad de Gallipienzo. El resto de la serie forma parte de la denominada Fm. Tudela, cuyo desarrollo se prolonga hasta el Mioceno medio. En la Hoja comprende litoestratigráficamente la Unidad de Olite y las facies de Las Bardenas, más arcillosas, que se extienden hacia el S.

La disposición subhorizontal de los materiales terciarios contrasta con la estructuración observada en sectores próximos (Dominio Plegado del Ebro) donde se generan pliegues NO-SE de gran longitud axial.

Las formaciones cuaternarias alcanzan una destacada representación por toda la Hoja correspondiendo principalmente a distintos niveles de terrazas del Aragón y otros de origen fluvial o poligénico. Destaca también el sistema de abanicos o piedemontes más antiguos desarrollados por la mitad oriental de la Hoja dando lugar a extensas y vastas plataformas que destacan en el paisaje.

Los primeros estudios geológicos relevantes sobre los materiales terciarios de la región datan de las décadas de los 50 y 60, son de carácter estratigráfico regional y están suscritos por ORIOL RIBA y diversos colaboradores (RIBA, 1955, 1964, RIBA y PÉREZ, 1962,

CRUSAFONT et al., 1966, y más recientemente, RIBA et al., 1983, RIBA y JURADO, 1992 y RIBA, 1992). Paralelamente se inicia la prospección petrolera en el país, con la perforación, en las hojas vecinas de Peralta y Calahorra, de los sondeos Marcilla-1, (Valdebro, 1953) y Arnedo-1, (Amospain, 1962), cuyos resultados figuran de forma resumida en la publicación específica del IGME, (1987).

En la década de 1970 se produce un nuevo avance en el conocimiento de la geología del Terciario de Navarra por parte de los geólogos de la Diputación Foral de Navarra: Jaime Solé, Javier Castiella, Cayo Puigdefábregas, Joaquín Del Valle y otros colaboradores. Su trabajo culmina con la publicación del primer Mapa Geológico de Navarra (CASTIELLA et al., 1978) a escala 1:200.000, basado en cartografías previas a escala 1:25.000 de Navarra. De esta misma época son también los primeros mapas geológicos a escala 1:50.000 del Plan MAGNA editados por el IGME (Hojas de Sádaba, Lodosa, Logroño, Alfaro, Calahorra, Tudela y Sos del Rey Católico) y realizados por el mismo grupo de geólogos, con la asistencia del paleontólogo Ramírez del Pozo. Otro trabajo relevante de este período es la tesis de licenciatura de SOLÉ (1972) sobre el Terciario del margen NO de la Ribera de Navarra.

A finales de la siguiente década SALVANY, (1989) presenta su tesis doctoral, centrada en el estudio de los depósitos lacustres evaporíticos del Terciario de Navarra y La Rioja y de la que se deriva un buen número de publicaciones: SALVANY (1989), MUÑOZ y SALVANY (1990), SALVANY et al. (1994), SALVANY y ORTÍ (1994), y INGLÉS et al (1994, 1998). A lo largo de la década de los 80' el IGME publica las Hojas MAGNA a escala 1:50.000 de Allo, Tafalla, Viana, Peralta y Sangüesa. Entre los estudios más recientes cabe destacar la revisión y actualización del Mapa Geológico de Navarra, a escala 1:200.000 (GOBIERNO DE NAVARRA, 1997) y a escala 1:25.000, en cuyo marco se realiza el presente trabajo.

1 ESTRATIGRAFÍA

En la cartografía geológica de la Hoja a escala 1:25.000 de Carcastillo se han aplicado técnicas modernas en el campo de la sedimentología y estratigrafía secuencial consistentes básicamente en el análisis sistemático de facies y cicloestratigráfico. En este sentido hay que hacer notar la dificultad de establecer unidades tectosedimentarias debido a la disposición paraconcordante de la mayor parte de las unidades estratigráficas de la sucesión terciaria y a la generalizada convergencia de facies como consecuencia de la situación central de la zona de estudio en la Cuenca. Por lo tanto la división estratigráfica planteada en el presente informe se basa, para buena parte de la serie terciaria, en criterios esencialmente litoestratigráficos.

La descripción de las distintas unidades diferenciadas en la cartografía geológica se ha realizado de forma coordinada con la elaboración de las distintas bases de datos asociadas. Por otra parte se ha atendido a la litoestratigrafía establecida en la región, lo que ha facilitado la agrupación de las unidades distinguidas en la Hoja, de acuerdo con la escala de trabajo y el objetivo eminentemente cartográfico del estudio.

1.1. Terciario

El Terciario del sector septentrional de la Cuenca del Ebro está compuesto por formaciones aluviales continentales depositadas en régimen endorreico desde finales del Eoceno hasta el Mioceno medio, con una potencia de varios miles de m.

El registro estratigráfico aflorante del Terciario en la Hoja corresponde al Mioceno inferior-medio (Orleaniense-Astaraciense?) de modo que la casi totalidad de la serie pertenece al Orleaniense y solo los términos más superiores podrían corresponder al Astaraciense..

De acuerdo con el marcado predominio de los depósitos arcillosos, la sucesión terciaria de la Hoja está constituida de forma casi exclusiva por facies aluviales que constituyen los representantes de orla media a frente aluvial de los sistemas de procedencia pirenaica. De este modo se registra hacia el S y SO, una disminución progresiva en el contenido de términos clásticos en favor de las facies lutíticas.

La serie terciaria de la Hoja se encuentra poco estructurada, registrando unos valores muy bajos de buzamiento ($<10^\circ$), prácticamente subhorizontales. No obstante y siguiendo el eje del Aragón, se evidencia la prolongación hacia el Este del Anticlinal de Pitillas, si bien adopta una dirección E-O, oblicua a la directriz general (NO-SE) de los grandes pliegues de la región.

Desde el punto de vista cicloestratigráfico, en la Hoja se han distinguido tres grandes conjuntos secuenciales limitados por dos discontinuidades sedimentarias una coincidente, en principio, con la discordancia progresiva de Gallipienzo, citada por numerosos autores en la bibliografía de la zona y la otra correspondiente a la entrada más al Norte de los conglomerados de las Sierras de Peña y San Pedro.

El conjunto inferior, el más antiguo está compuesto por la Unidad cartográfica 4 (Orleaniense). Esta unidad, se correlaciona con series más septentrionales que no aparecen en el presente cuadrante (207-III), y sí en la vecina Hoja de Sos del Rey Católico (207-II).

Sus afloramientos se circunscriben al núcleo del Anticlinal de Pitillas. Su parte más baja, no aflorante se ha correlacionado en la vecina Hoja de Caparrosa (206-IV) tentativamente y con muchos interrogantes con la parte superior de la Fm Lerín, que se desarrolla ampliamente hacia el SO y comprende términos lacustres, esencialmente salinos,. Hacia el N pasa lateralmente a las unidades aflorantes en el flanco sur del anticlinal de Eslava, próximas a Gallipienzo y que representan los términos aluviales medios del sistema deposicional.

El conjunto intermedio se le hace equivalente en general con la Fm Tudela y se le ha denominado Unidad de Olite. Este ciclo estaría integrado en la Hoja por las unidades 6 y 7. La unidad 6 de carácter detrítico (lutitas y areniscas), grada lateralmente a unidades más fangosas (Facies de Las Bardenas, Unidad 7), e incorporan intercalaciones lacustres carbonatadas (Unidad de Miranda de Arga) más al Oeste.

La Fm. Tudela o Facies de Tudela (CASTIELLA et al. 1978) culmina la serie terciaria en la región. Constituye un conjunto de materiales principalmente arcillosos, con niveles de areniscas y eventualmente carbonatos, que se desarrolla ampliamente en la región de Tudela y Las Bardenas, al SE de la cuenca Navarro-Riojana y que se extiende hacia el Oeste por los sinclinales de Sesma y Miranda de Arga. Se dispone de forma discordante sobre la Fm. Lerín (y equivalentes) truncando los términos superiores de ésta. Se

correlaciona hacia el Sur con las Facies de Alfaro, características de la Rioja Baja, y hacia el Norte pasa lateralmente bajo las Facies de Ujué.

La Fm. Tudela presenta una disposición bastante tabular en la Hoja, con buzamientos prácticamente subhorizontales. De este modo se registran valores inferiores a los 10° a ambos flancos del Anticlinal de Pitillas que constituye la única estructura relevante en la Hoja. El suave plegamiento observado en la zona, extensible hacia el SE a toda la región de Las Bardenas, contrasta con la deformación observada más al Oeste, en la zona de Lodosa-Falces donde se distingue un conjunto de pliegues de gran extensión longitudinal en dirección NO-SE.

En las Hojas a escala 1:50.000 (IGME, 1977, 1987) se ha determinado para la Fm. Tudela una larga lista de ostrácodos y caráceas constituyendo asociaciones propias del Mioceno inferior a medio. Se cuenta además con la referencia de los yacimientos de vertebrados de las Fms. Tudela y Alfaro en la región, donde se indica una edad desde el Ageniense superior (MN2) a Orleaniense medio (MN4), si bien los términos más altos alcanzan posiblemente el Astaraciense.

Finalmente el conjunto superior, correspondiente a la entrada de los conglomerados de las Sierras de Peña y San Pedro esta representado por areniscas y lutitas (Unidad 8), que más al Norte pasan a dichos conglomerados. Presenta en su base una clara discontinuidad y afloran los términos algo más distales de los sistemas aluviales que alimentan el conjunto, por lo que los depósitos serían equivalentes a la denominada Unidad de Artajona.

Existe un ciclo terminal, no aflorante en la Hoja, correspondiente a las Areniscas de Ujué, que cerraría la sedimentación neógena en este sector de la cuenca.

La litoestratigrafía adoptada para la sucesión terciaria de la Hoja Sos del Rey Católico está basada esencialmente en la terminología propuesta en las Hojas contiguas de Cáseda (174-III) y Sangüesa (174-IV) y en la de las Hojas 206 (cuadrantes I a IV) en el marco de los trabajos de Actualización de la cartografía Geológica de Navarra a escala 1:25.000 (Gobierno de Navarra, 1998) y se resume en el cuadro que se expone a continuación:

La terminología litoestratigráfica adoptada para la sucesión terciaria de la Hoja Sos del Rey Católico se resume en el siguiente Cuadro.

LITOESTRATIGRAFÍA		EDAD
Areniscas de Ujúe		ASTARACIENSE
Unidad de Artajona		ORLEANIENSE
U. Sierra de San Pedro-Peña		
Unidad de Gallipienzo	F. Las Bardenas	
Unidad de Olite		
Unidad de San Zoilo		
Unidad de Uzquita		AGENIENSE

Litoestratigráfica del Terciario en la Hoja de Sos del Rey Católico (207).

1.1.1 Lutitas ocre y rojas, con algunas intercalaciones de areniscas (4). Unidad de San Zoilo-Santacara. Orleaniense.

En el núcleo del Anticlinal de Pitillas, cuyo cierre periclinal se localiza en el río Aragón, dentro de la Hoja, se desarrolla un conjunto lutítico de tonos ocre y algo rojizos con delgadas intercalaciones de areniscas de morfología tabular.

Su representación en la Hoja se circunscribe por tanto al valle del Aragón, donde la unidad se encuentra frecuentemente recubierta por formaciones cuaternarias. Los mejores afloramientos se sitúan por tanto en las laderas bajas de los relieves contiguos a la vega del río, destacando por sus buenas condiciones de exposición los cortes existentes en Murillo el Fruto y sus alrededores (El Cascajo) y al SO de Carcastillo (Val del Rey).

Litoestratigráficamente ocupan una posición infrayacente a la Unidad de Olite, de la que se distingue por su reducido contenido en niveles de areniscas y aspecto algo más rojizo y clásicamente se la ha incluido en las F. Tudela. No obstante y aunque es un hecho por comprobar, pudiera ocurrir que parte de estos depósitos, al menos los más bajos no aflorantes, resultasen equivalentes de los términos más altos de la Fm. Lerín aflorantes al otro lado del Aragón. No obstante se les correlaciona con la Unidad de San Zoilo, aflorante, mas al Norte, en el flanco meridional del anticlinal de Eslava.

La potencia visible de esta unidad en la Hoja es de unos 60-70 m e incluso más, no alcanzándose su base. El techo viene definido por la entrada brusca de niveles areniscosos de mayor entidad (Unidad de Olite) que marcan el muro de la Fm. Tudela y está remarcado por la concentración generalizada de horizontes rojizos edáficos.

La principal característica litológica es el predominio de términos lutíticos. Éstos presentan un aspecto bastante masivo, interrumpido únicamente por horizontes rojizos de probable origen edáfico y finas intercalaciones de areniscas. Las capas areniscosos poseen potencias de orden centimétrico, comprendidas normalmente entre 5 y 25 cm, muestran una marcada morfología tabular y exhiben una variada gama de estructuras sedimentarias características de depósitos diluidos de *sheet flood* en medios aluviales distales: Base neta, granclasificación positiva de tamaño fino a muy fino, laminación paralela y convolucionada, escapes de fluidos y *ripples* de corriente a techo, con frecuencia de tipo *climbing*.

Eventualmente y con mayor frecuencia hacia el NE, conforme a la dirección general de aporte, los niveles areniscosos se amalgaman constituyendo bancos tableados de potencia métrica

De forma muy ocasional pueden desarrollarse delgados horizontes carbonatados, a techo de niveles areniscosos, consistentes en calizas micríticas cargadas en terrígenos, con fuerte bioturbación pedogénica y nodulización sub-edáfica.

En IGME (1977) se cita las caráceas: *Gyrogona medicaginula*, *Rabdochara major*, *Chara sp* junto con *Eocyropteron sp.* constituyendo una asociación de escaso valor cronoestratigráfico.

Por consiguiente la atribución de la Unidad al Orleaniense se establece a partir de las hipótesis planteadas con anterioridad dada la ausencia de restos paleontológicos determinantes.

1.1.2. Lutitas ocres y areniscas (6). Unidad de Olite. Orleaniense.

La unidad cartográfica 6 corresponde a la parte inferior de la Unidad de Olite, y representa regionalmente los términos basales de la Fm Tudela.

Se desarrolla principalmente en la esquina noroccidental de la Hoja, al Norte del Anticlinal de Pitillas, pasando lateralmente en el flanco sur de la estructura, a las Facies de Las Bardenas, (unidad 7), unidad más arcillosa y distal bastante característica.

Los mejores afloramientos se localizan en las laderas del valle del Aragón destacando los cortes de Larrate y Val del Rey, al Sur y El Cascajo, al Norte.

El límite inferior de la unidad viene marcado por un incremento notable en el contenido en niveles de areniscas, cuya potencia aumenta también de forma acusada. El techo está definido hacia el N por una nueva entrada de detríticos (Unidad 9) mientras que hacia el S y SE pasa transicionalmente a las Facies de Las Bardenas (Unidad 7), con la que se interdigita.

Hacia el SO, en el flanco meridional del Sinclinal de Miranda de Arga, fuera de la Hoja, se verifica el paso a facies aluviales más distales con intercalaciones lacustres carbonatadas

(Unidades de Miranda y Portillo), registrándose un marcado adelgazamiento deposicional del conjunto de la Fm. Tudela acentuado por su disposición en *on-lap* sobre la Fm Lerín.

La potencia máxima de la Unidad en la Hoja es de unos 60 m en la parte NO, disminuyendo gradualmente hacia el SE (<40 m) por paso lateral a las Facies de Las Bardenas (Unidad 7).

La Unidad de Olite constituye litológicamente un conjunto lutítico con intercalaciones de areniscas que varían porcentualmente en función de su posición geográfica, correspondiendo esta unidad descrita ya a facies de lutitas con frecuentes niveles de areniscas.

Los depósitos más fangosos corresponden básicamente a lutitas rojizas y ocreas en intervalos de espesor métrico a decamétrico de aspecto homogéneo.

Los niveles de areniscas constituyen las principales intercalaciones. Las capas pueden ser de base erosiva o a veces de morfología tabular. Las primeras se presentan como cuerpos de espesor y longitud métrica y las segundas bastante abundantes, registran potencias centimétricas y decimétrica, con tamaños de grano fino a muy fino y exhiben abundantes estructuras características de depósitos originado por flujos laminares diluidos de tipo *sheet-flood*: base neta, laminación paralela, huellas de base tractivas y de colapso, convoluciones, escapes de fluidos, *cosets* de *ripples* de corriente, con frecuencia de tipo *climbing*, grietas de desecación, *burrows* de escape, bioturbación pedogénica, huellas de reptación de pequeños organismos, e icnitas de vertebrados.

Los niveles clásticos de mayor potencia, normalmente de orden métrico, registran un evidente incremento granulométrico alcanzándose tamaños de grano gruesos y medios. Presentan un mayor grado de incisión tendiendo generalmente a formas canalizadas. Las estructuras sedimentarias son de mayor envergadura correspondiendo a *sets* tabulares superpuestos de láminas cruzadas, superficies de acreción lateral, *cosets* de estratificación cruzada de mediana escala, planar y en surco y trenes de *ripples* de corriente a techo, normalmente de tipo *climbing*.

La Unidad de Olite representa los términos aluviales distales, exentos de influencia lacustre relevante, relacionados con sistemas de procedencia pirenaica.

Debido al marcado carácter aluvial de la Unidad, el contenido paleontológico es muy escaso y de escaso valor cronoestratigráfico. En IGME, (1977) se cita la presencia de *Gyrogona medicaginula*, *Rhabdochara major*, *Chara sp. 3*, *Cypridopsis kinkelini*, *Candona praecox*, *Darwinula sp.* y *Planorbis*. La abundancia de *Chara sp. 3*, desaparición de *Chara sp. 7* y la diversidad en las asociaciones de ostrácodos, constituyen criterios posiblemente distintivos de la unidad suprayacente (U. De Artajona). Se atribuye una edad Orleaniense por correlación con otras unidades de la Fm. Tudela.

1.1.3 Lutitas ocre y rojas con algunas intercalaciones de areniscas (7). Facies de Las Bardenas. Orleaniense-Astaraciense.

Las Facies de Las Bardenas configuran un conjunto eminentemente arcilloso que se desarrolla al SE de la Comunidad Navarra y en una parte adyacente de la provincia de Zaragoza.

Debido a la escasa vegetación existente, se facilita el desarrollo de espectaculares formas de erosión tan características de esta región, por lo que son abundantes los afloramientos de la Unidad, destacando los cortes parciales existentes al E de Carcastillo, en la carretera a Sádaba y los de los alrededores de Figarol.

Representa la parte superior de la sucesión terciaria en la mitad oriental de la Hoja, donde alcanza una potencia de unos 70 m. Se encuentra relacionada genéticamente con la Unidad de Olite (unidad cartográfica 6) a la que pasa transicionalmente hacia el N y Noroeste. Se distingue de esa unidad por la disminución en presencia y espesor de los términos areniscosos.

En consecuencia, las Facies de Las Bardenas se caracterizan litológicamente por el predominio de los términos lutíticos, representados por arcillas ocre-rojizas en tramos homogéneos de potencia métrica a decamétrica, o alternando con areniscas. En consecuencia, es evidente su carácter aluvial, enmarcándose en un contexto de frente muy distal.

Las areniscas aparecen predominantemente como capas tabulares de potencia decimétrica y adquieren tonos ocre-rojizos a grises. Su morfología y estructuras sedimentarias (granoclasificación positiva, huellas de base, laminación paralela, estratificación cruzada de mediana escala, escapes de fluidos y *ripples* a techo) indican su depósito bajo mecanismos

de tipo *sheet flood* en avenidas episódicas. Localmente los niveles de areniscas adquieren mayor desarrollo y potencia incorporando cuerpos canalizados de potencia métrica. Estos presentan *sets* tabulares superpuestos de láminas cruzadas y *cosets* de *ripples* de corriente a techo.

El contenido paleontológico es relativamente escaso y semejante a las unidades anteriores. En IGME, (1977) se ha determinado *Gyrogona medicaginula*, *Rhabdochara major*, *Chara sp. 3*, *Chara sp. 7* y *Planorbis*, asociación que no resulta determinativa en el plano cronoestratigráfico. La edad se establece en el Orleaniense por correlación con unidades equivalentes.

1.1.4. Areniscas y arcillas ocre-rojizas (9) Unidad de Artajona. Ageniense-Astaraciense.

Su desarrollo se circunscribe al borde noroccidental de la Hoja, al N de Murillo el Fruto, donde ocupa parte de los relieves más altos de la Hoja.

Litoestratigráficamente forma parte de la denominada Unidad de Olite superponiéndose, aunque discordante a la Unidad cartográfica 6. Se distingue de esta última por un incremento notable en el contenido de areniscas, de modo que el contacto entre ambas viene definido por una reactivación aluvial importante, dando lugar a los relieves más destacables del Norte de la cuadrícula.

La potencia de la presente Unidad en la Hoja es del orden de unos 100 m, desarrollándose por encima de la cota de 510 m.

Litológicamente se caracteriza por la abundancia de areniscas, que aparecen en niveles de potencia generalmente métrica alternando con lutitas ocre y rojizas en proporciones variables.

Los términos lutíficos se desarrollan en intervalos de potencia decimétrica a métrica de carácter masivo o con intercalaciones menores de niveles tabulares de areniscas.

Los términos areniscosos constituyen generalmente cuerpos de espesor métrico registrando un grado de incisión variable. De este modo se distinguen bancos tableados constituidos por amalgamación de niveles tabulares y niveles masivos, generalmente canalizados.

Las capas tabulares corresponden a depósitos de tipo *sheet flood* generados en avenidas torrenciales no confinadas. Presentan potencia de orden decimétrico y exhiben las típicas estructuras sedimentarias: Base neta, huellas de carga y de corriente, granoclasificación positiva, laminación paralela, convoluciones, *sets* de láminas cruzadas de mediana escala y *ripples* a techo, donde también se observa icnofauna.

Los niveles masivos alcanzan espesores mayores, del orden de 1 a varios metros y aumenta el tamaño medio de grano. Las estructuras sedimentarias indican un mayor grado de incisión de los flujos, que alcanzan niveles más elevados de energía. De este modo se observan bases canalizadas, huellas de carga, deformación hidroplástica, *sets* y *cosets* de estratificación cruzada de mediana y gran escala, fluidificación y trenes de *ripples*, a veces de tipo *climbing*.

De acuerdo con el contenido destacado en areniscas, la presente Unidad se enmarca en un medio de frente aluvial medio.

No se dispone de datos referentes a su contenido paleontológico, que en cualquier caso debe ser muy escaso debido al medio de depósito. La edad se establece en el Orleaniense-Astaraciense por su posición estratigráfica.

1.1. CUATERNARIO

1.2.1 Conglomerados con encostramientos carbonatados a techo. Glacis de Techo de piedemonte (11). Pleistoceno

Corresponden al depósito somital de las plataformas más elevadas, que aparecen distribuidas de NE a SO por la zona y por la margen izquierda del río Aragón, estando relacionados y habiéndose depositado estos materiales en un sistema de abanicos aluviales antiguos (piedemonte) procedentes de los relieves septentrionales de la región.

Se reconocen en la margen izquierda del río Aragón (Llano de Larrate y El Saso), muy próximos al cauce lo que conlleva a confundirse con niveles de terrazas de dicho río, si bien su posición y pendiente a sectores centrales de la cuenca los diferencian de aquellas.

Litológicamente están formados por conglomerados constituidos por cantos redondeados de caliza y arenisca de 10-12 cm de diámetro, con valores máximos de 25 cm. Aparecen fuertemente cementados por carbonatos sobre todo a techo, siendo su espesor de 5-8 m.

Se trata del depósito cuaternario más antiguo de la Hoja, encontrándose encajados en él los depósitos del Aragón, razón por la que se ha asignado al Pleistoceno inferior.

1.2.2. Conglomerados, gravas, arenas y lutitas. Terrazas (12, 13 y 14). Pleistoceno-Holoceno

Estos depósitos pertenecen en su totalidad al sistema fluvial del río Aragón, que ha dejado a lo largo de la zona un cortejo escalonado de ocho niveles, agrupados en terrazas “altas” (+100m) “medias” (+22-25 m, +35-40 m y +45 m) y “bajas” (+3-5 m, +6-10 m, +10-12 m y +12-14 m), incluyéndose en algunos casos dentro de éstas los depósitos correspondientes a la llanura de inundación.

Se desarrollan de forma extensa por ambos márgenes del río Aragón, adquiriendo mayor extensión los niveles considerados medios y bajos. Con frecuencia se utilizan para aprovechamiento de las labores agrícolas.

La litología es muy similar en casi todas ellas, si bien la granulometría y el grado de cementación, por carbonatos, muestran ciertas variaciones. En general, están formadas por gravas polimícticas, con arenas en proporción variable, predominando los clastos redondeados de naturaleza areniscosa y carbonatada. En cuanto al tamaño de los cantos, es muy variable, presentando en ocasiones dos modas; se encuentran clastos de hasta 50 cm de diámetro en las terrazas altas, aunque el tamaño medio fluctúa entre 10 y 20 cm; frente a estos valores, en las terrazas bajas predominan los diámetros de 6-8 cm, con máximos de 15 cm. La presencia de niveles arcillosos es a veces frecuente, sobre todo en los niveles bajos y en los más inferiores de los medios.

Los espesores son muy irregulares, siendo habituales las potencias de 3-4 m, reconociéndose valores superiores a 10 m en las terrazas “altas” e incluso medias, si bien se han medido espesores anómalos de hasta 30 m en sectores próximos, explicados en relación con fenómenos de subsidencia diferencial en áreas localizadas.

Por su relación con respecto a la red fluvial actual se han atribuido al Pleistoceno, excepción hecha de los niveles inferiores, que pertenecen ya al Holoceno.

1.2.3. Gravas y lutitas ocreas. Glacis (16). Pleistoceno-Holoceno

Se trata de una unidad litológica muy bien representada en toda la Hoja, preferentemente en su mitad oriental.

Su mejor representación se tiene en el sector oriental de la Hoja sobre depósitos miocenos preferentemente arcillosos, contribuyendo a la morfología actual de las vertientes poco acusadas, actuando además como formas de enlace entre las zonas deprimidas y los relieves miocenos situados mas al Norte, fuera ya de Hoja.

Por lo general, su composición refleja la del sustrato sobre el que se desarrollan, así como la de los relieves al pie de los cuales se generan. Están constituidos por gravas de tonalidades ocreas, algo cementadas constituidas por cantos aplanados y redondeados de areniscas, con diámetros medios de 6 cm y valores máximos de hasta 15 cm. Se observan intercalaciones de lutitas ocreas que engloban cantos dispersos, de carácter anguloso a subangulosos y composición areniscosa y calcárea. El espesor conjunto se aproxima a 2 m.

Su génesis está en relación con el desmantelamiento del relieve establecido en la zona tras el depósito de los abanicos aluviales antiguos, razón por la que se han atribuido al Pleistoceno-Holoceno.

1.2.4. Limos y arcillas con cantos. Conos de deyección (18). Holoceno

Se trata de otros de los depósitos característicos de la zona. Se localizan a la salida de las pequeñas barranqueras y valles orlando buena parte de los relieves que delimitan el valle del Aragón

Litologicamente este tipo de depósitos están formados por limos y arcillas que ocasionalmente engloban cantos dispuestos en delgadas hiladas. Ocasionalmente pueden apreciarse cementaciones, pero siempre muy superficiales y de poca consistencia. Su composición en detalle varía en función del área madre, predominando en cualquier caso los clastos de naturaleza areniscosa y en segundo lugar los carbonatados. Es bastante

frecuente el solapamiento o la coalescencia de varios aparatos, dando lugar a formas de desarrollo lateral de orden kilométrico.

Por su relación con el relieve actual y en particular con la red fluvial, se han enmarcado en el Holoceno.

1.2.5. Lutitas y arenas con cantos y bloques. Coluviones (19). Holoceno

Los depósitos de los coluviones son de reducido espesor, en general inferior a 2 m, y escasa representación superficial. Aparecen distribuidos irregularmente, pero siempre al pie de escarpes de origen diverso.

Litológicamente dependen directamente de la naturaleza de su área madre, predominando los cantos y arenas procedentes de los depósitos de las terrazas, así como las lutitas con cantos y bloques angulosos y subangulosos de areniscas de tamaño muy variable, con frecuencia de orden decimétrico, procedentes de las propias vertientes. Por su posición con respecto a las laderas actuales, así como por su relación con el resto de los depósitos cuaternarios se han asignado al Holoceno.

1.2.6. Gravas, arenas y lutitas. Meandros o cauces abandonados (21). Barras (22). Pleistoceno-Holoceno.

En relación con el sistema fluvial del río Aragón se reconocen depósitos de gravas, arenas y lutitas, bajo dos contextos diferentes: por una parte, como depósitos de reducida extensión adyacentes al cauce activo y ligeramente encajados en la terraza más baja, y que corresponden a barras fluviales y por otro lado, como formas estrechas, en ocasiones fuertemente curvadas, ligeramente encajados en las terrazas "bajas", y que son antiguos meandros o cauces abandonados.

El tamaño de los cantos es variable, con ocasionales clastos de tamaño bloque, siendo su litología muy variada, si bien predominan los constituyentes carbonatados y areniscosos. Con frecuencia intercalan lutitas y desarrollan suelos ocreos que, por sus características, son generalmente utilizados para el cultivo

Por su posición y relación las terrazas "bajas", ambos tipos de depósito se han atribuido al Holoceno, si bien podrían haber iniciado su génesis durante el Pleistoceno.

1.2.7. Lutitas con cantos y arenas. Fondos de valle (23). Holoceno

Constituyen el depósito de los cursos que discurren a través de los principales valles o barrancos, excepción hecha de la arteria principal de la Hoja (río Aragón), reflejando además la sedimentación de la red fluvial secundaria.

Destacan los fondos de valle de los arroyos o barrancos de Prado y Portillada, de gran longitud y extenso fondo plano que discurren por el sector más oriental, en la zona de Las Bardenas.

Todos estos tipo de depósitos, se adaptan a la estructura de la red de drenaje, predominando los afloramientos de forma alargada. Aunque en algunos casos tienen una longitud superior a 10 km y una anchura moderada, en general carecen de interés; poseen un espesor comprendido entre 3 y 5 m, pero ocasionalmente pueden presentarse valores inferiores o superiores.

Predominan las lutitas de tonalidades ocre y grises, que incluyen cantos de tamaño variable e incluso en ocasiones, bloques; en menor medida, también se reconocen niveles de arenas. La litología de sus componentes es variable, predominando los fragmentos de areniscas. Por su íntima relación con la red fluvial actual se atribuyen al Holoceno.

1.2.8. Lutitas con bloques. Deslizamientos (25). Holoceno

Dentro de este epígrafe se describen una serie de depósitos asociados a una serie de afloramientos correspondientes a pequeñas masas deslizadas de materiales terciarios y reconocibles en el valle del río Aragón, al pie del paraje Larrate.

A pesar de presentar un aspecto caótico tienen una cierta homogeneidad ya que sus integrantes proceden de un mismo área madre constituida por arcillas con intercalaciones arenosas de las facies Olite y de las Bardenas.

Su génesis se relaciona con un mecanismo rotacional que motiva el desprendimiento y lento deslizamiento gravitatorio de las masas lutíticas. El espesor de estos es muy variable como consecuencia de la propia geometría de las masas deslizadas.

Dado que se trata de depósitos asociados proceso actual o subactual, se incluyen en el Holoceno.

1.2.9. Escombros y vertidos. Escombreras (26). Holoceno

Se trata depósitos de origen antrópico, consistentes en acumulaciones de bloques y fragmentos sólidos de origen diverso constituyentes de escombreras y formados por materiales groseros que junto con materiales arenosos compactados configuran superficies y modifican la topografía original. Se han diferenciado este tipo de materiales artificiales en la localidad de Murillo el Fruto.

Integran este apartado los depósitos de origen antrópico de la zona, consistentes en acumulaciones de materiales groseros, generalmente bloques y fragmentos sólidos de origen diverso, constituyentes de escombreras.

En cualquier caso al tratarse de depósitos actuales se les ha incluido en el Holoceno.

2. TECTÓNICA

2.1. CONSIDERACIONES GENERALES

La Hoja de Carcastillo (207-III) se localiza en el sector central de la Depresión del Ebro. Ésta constituye un área de geometría triangular que se comporta a lo largo del Terciario como cuenca de antepaís respecto el orógeno pirenaico.

La estructuración de la Cuenca del Ebro y de las cadenas alpinas que la limitan (Pirineos al N, Cordillera Ibérica al S y Catalánides al E) es el resultado de la convergencia de las placas Ibérica y Europea. Da lugar, en la vertiente surpirenaica, a un conjunto de láminas cabalgantes hacia el S y provoca, en el margen contrapuesto, el cabalgamiento de la Sierra de la Demanda, con una flecha de desplazamiento de 20-30 km hacia N.

La configuración alpina de la cadena pirenaica se inicia a finales del Cretácico y se prolonga durante buena parte del Terciario. La deformación se desplaza de forma heterócrona hacia el Oeste a lo largo del trazado de la cadena, que enlaza en este sentido con la Sierra de Cantabria-Montes Obarenes y Cordillera Cantábrica.

Estructuralmente la Cuenca del Ebro está integrada por un basamento rígido y una cobertera formada por materiales continentales terciarios plegados, con importantes acúmulos de evaporitas que facilitan los despegues y los procesos halocinéticos.

El acercamiento definitivo entre las placas Ibérica y Europea dio lugar, en la cadena pirenaica, a un cinturón de pliegues y cabalgamientos, agrupados en las denominadas láminas cabalgantes (mantos), que se propagó hacia el antepaís en secuencia de bloque inferior.

La colisión de placas culminó en el Eoceno, durante el Luteciense, con la denominada Fase Pirenaica, si bien el régimen compresivo ha perdurado hasta el Mioceno.

A partir del Eoceno superior y durante el Oligoceno inferior emergen los cabalgamientos de basamento de la zona axial pirenaica sobre las rocas de la cobertera deformada, lo que motiva el principal desplazamiento de las láminas cabalgantes surpirenaicas sobre la Cuenca de Ebro.

La traslación del conjunto hacia el Sur facilita la emergencia de la rampa frontal del cabalgamiento surpirenaico y se evidencia por la deformación interna y progresiva de los depósitos clásticos terciarios, con la creación de sistemas de pliegues y cabalgamientos en las series paleógenas.

Durante el Oligoceno superior y Mioceno inferior se verifica el emplazamiento definitivo del Manto de Gavarnie, originando una serie de estructuras plegadas y/o cabalgantes a lo largo del frente surpirenaico. En consecuencia, la propagación de despegues no emergentes hacia la cuenca de antepaís pasiva (Cuenca del Ebro) motiva la migración de los depocentros sedimentarios hacia el Sur.

El plegamiento principal de la Cuenca Navarro-Riojana, en cuya parte nororiental se enmarca la zona de estudio, se produjo en el Mioceno inferior a medio. Como respuesta más evidente se origina al SO del área estudiada, fuera de la misma, un conjunto de pliegues de gran longitud de eje y flancos comparativamente cortos, dispuestos en dirección NO-SE y vergentes al Sur, que definen el denominado Dominio Plegado del Ebro (Sector de Lodosa-Falces). La información de subsuelo consultada, entre la que destacan diversas líneas sísmicas próximas y especialmente el sondeo Marcilla-1, emplazado en la Hoja vecina de Peralta (206), indica que los principales anticlinales corresponden a cabalgamientos ciegos hacia el SSO, relacionados con pliegues de crecimiento. Los niveles de despegue están representados por formaciones evaporíticas terciarias, especialmente Yesos de Falces, bajo los que se encuentra la serie terciaria autóctona en disposición claramente tabular.

Pese a la proximidad de la Hoja respecto al sector plegado de la Cuenca Navarro-Riojana, hay que hacer notar que el plegamiento en ella es muy suave. La única estructura distinguible corresponde al Anticlinal de Pitillas, cuyo núcleo coincide en la Hoja con el eje del valle del Aragón. Se trata de una estructura muy laxa, con buzamientos muy bajos ($<5^\circ$) a ambos flancos, que adopta en la Hoja una dirección E-O, observándose su terminación periclinal muy suave hacia el Este.

El carácter sinsedimentario de la deformación permite diferenciar dos conjuntos estratigráficos principales en la región. El conjunto inferior contiene diversas unidades evaporíticas, está integrado por las Fms. Falces, Marcilla, Lerín y se encuentra claramente involucrado en la deformación. El superior corresponde a la Fm. Tudela, integrada básicamente por facies aluviales distales y, en menor medida, lacustres carbonatadas. Está suavemente plegada y se

desarrolla en los núcleos sinclinales, disponiéndose mediante un contacto truncacional sobre la Fm Lerín (o posibles equivalentes) y en relación de *on lap* hacia las principales estructuras anticlinales de la región, en cuyos flancos puede configurar discordancias progresivas. La distribución de los afloramientos y facies de la Fm. Tudela sugiere una compartimentación incipiente en la Cuenca a favor de los surcos sinclinales, y evidencia el desplazamiento de los cuerpos lacustres evaporíticos, propios de los sectores centrales de la Cuenca, hacia el sector Aragonés. En la Hoja, y debido a la leve deformación apreciable, el conjunto de la Fm. Tudela presenta una disposición bastante tabular, con buzamientos prácticamente sub-horizontales, especialmente hacia el SE, en la zona de Las Bardenas.

La estratigrafía del Terciario y su estructura en la Cuenca Navarro-Riojana ha sido objeto de estudio por numerosos autores. Las primeras referencias de interés se remontan a principios de los 70 con la elaboración de la Cartografía Geológica de Navarra a escala 1:25.000 emprendida por la Diputación Foral, que sirvió de base en la región para las Hojas MAGNA a escala 1:50.000 (IGME, 1977, 1987). Otros trabajos importantes han destacado en el ámbito académico: GONZÁLEZ (1982), PÉREZ (1983), GONZÁLEZ et al. (1988), SALVANY (1989) y MUÑOZ (1992).

2.2. DESCRIPCIÓN DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS

La Hoja de Carcastillo (207-III) forma parte estructuralmente del sector central de la Cuenca del Ebro. En consecuencia se enmarca en una zona prácticamente no plegada con la serie terciaria en disposición subhorizontal.

No obstante y dada su proximidad al Dominio Plegado del Ebro, desarrollado más al Oeste, se reconoce una estructura muy laxa, al NO de la Hoja, que representa la prolongación hacia el Este del Anticlinal de Pitillas.

2.2.1. Anticlinal de Pitillas

El Anticlinal de Pitillas constituye una estructura laxa que se desarrolla en la parte NO de la Hoja, extendiéndose en dirección ONO-ESE a las Hojas vecinas nº 206-IV y 206-II.

Debido a los moderados buzamientos que registra a ambos flancos y a los recubrimientos cuaternarios, su presencia ha pasado inadvertida para los diversos autores que han

trabajado previamente en la zona. A esta escasez de información hay que añadir la ausencia de datos de subsuelo referentes a la estructura por lo que su descripción hace mención únicamente a los rasgos más superficiales.

En la presente Hoja, el eje del Anticlinal de Pitillas se encuentra centrado en el valle del río Aragón y adopta una dirección E-O, claramente oblicua a la directriz general NO-SE que siguen los grandes pliegues de la región. Al NE de Carcastillo se intuye y llega a deducirse su terminación periclinal, que se encuentra casi totalmente cubierta por las terrazas del río.

En el núcleo del pliegue aparece la Unidad de Artajona, representada por facies aluviales distales muy lutíticas posiblemente correlativas con la parte superior de la Fm. Lerín.

De forma neta y francamente paraconcordante se superpone la Unidad de Olite, integrada dentro del conjunto de la Fm. Tudela. Registra buzamientos moderados en ambos flancos, inferiores a los 5°, si bien en la Hoja contigua nº 206-IV se advierte una posible vergencia sur.

En contacto basal de la Fm. Tudela (Unidad de Olite) se evidencia por la entrada neta de materiales detríticos más groseros. La disposición paraconcordante de la Fm. Tudela en el núcleo del Anticlinal de Pitillas se explica por laxitud de la flexión, no obstante pone de manifiesto un impulso diastrófico generalizado que provoca una importante reestructuración de la cuenca Navarro-Riojana, marcada por la propagación de los sistemas aluviales, tanto de procedencia pirenaica como ibérica, con el consecuente desplazamiento de las áreas lacustres evaporíticas centrales hacia el Este (Sector Aragonés).

3. GEOMORFOLOGÍA

3.1. DESCRIPCIÓN FISIAGRÁFICA

La Hoja a escala 1:25.000 de Carcastillo (207-III) está incluida en la Hoja a escala 1:50.000 de Sos del Rey Católico, encontrándose situada en el sector oriental de la Comunidad Autónoma de Navarra, al Norte de la comarca de Las Bardenas Reales, si bien en sus extremos oriental y suroriental aparece mínimamente representada la Comunidad Autónoma de Aragón.

Pertenece a la Depresión del Ebro, cuenca sedimentaria de forma triangular rellena durante el Terciario y limitada por los Pirineos y los Montes Vasco-Cantábricos, al Norte, la Cordillera Ibérica, al Sur, y la Cadena Costero-Catalana, al Este. Más concretamente, se enmarca en su sector occidental, denominado Cuenca de La Rioja-Navarra (RIBA et al., 1983) o Cubeta Navarro-Riojana (ORTÍ, 1990), que morfoestructuralmente está caracterizada en el ámbito navarro por un dominio plegado, modelado sobre los materiales terciarios, y un dominio encajado en el anterior, constituido por depósitos cuaternarios, fundamentalmente de origen fluvial.

El rasgo fisiográfico más destacado de la Hoja es la presencia del río Aragón que, con un trazado sinuoso, delimita groseramente el cuadrante noroccidental; sus vertientes se caracterizan por una serie de plataformas escalonadas, que se encuentran atravesadas por los principales cursos de la red secundaria. El relieve del Noroeste se asemeja a una superficie elaborada sobre los 400 m y fuertemente degradada por acción de la red de drenaje, sobre la que se alzan los relieves de Santa Águeda. La fisonomía del sector oriental es mucho menos definida, caracterizándose por su monotonía y la ausencia de formas abruptas. La máxima elevación se localiza al Noreste del paraje de Chomina (650 m), en tanto que la mínima se localiza en el extremo suroccidental del río Aragón (325 m).

La red fluvial se articula en torno al río Aragón, que fluye de Noreste a Suroeste, vertiendo sus aguas en última instancia al río Ebro. La red secundaria está integrada por diversos arroyos y barrancos de entidad muy variable, de entre los que destacan los barrancos de la Val del Rey y de la Portillada.

Climatológicamente, la región pertenece al tipo Mediterráneo Templado, con precipitaciones medias anuales comprendidas entre 400 y 600 mm y temperaturas medias anuales de 13 a 14°C.

Se trata de una zona escasamente poblada, distribuyéndose una pequeña parte de sus habitantes entre los diversos caseríos y casas de campo diseminados por la zona, y concentrándose su mayor parte en los núcleos de población de Carcastillo y Murillo El Fruto. La agricultura constituye la principal ocupación de sus habitantes, especialmente en el valle del río Aragón y en el sector oriental; al margen de los regadíos, basados en una densa red de canales y acequias, la vegetación muestra un fuerte contraste entre los reducidos bosques existentes en las zonas más abruptas, frente a los pequeños viñedos y los terrenos claros y de monte bajo.

Las vías de comunicación se basan en una serie de carreteras autonómicas de entre las que destaca la NA-124, sin olvidar los numerosos caminos y pistas que permiten el acceso a la práctica totalidad de la Hoja.

3.2. ANTECEDENTES

Son escasos los trabajos de índole geomorfológica llevados a cabo en el sector occidental de la Depresión del Ebro y más aún los que afectan de forma específica al territorio ocupado por la Hoja. Entre los trabajos de carácter general, cabe señalar el de GUTIÉRREZ y PEÑA (1994), que trata la totalidad de la cuenca en el marco del libro "Geomorfología de España", así como el Mapa Geológico de la Comunidad de Navarra a escala 1:200.000 (GOBIERNO DE NAVARRA, 1997).

Por lo que respecta a estudios más concretos efectuados en la región, en su mayor parte se centran en los depósitos de terrazas y glaciares del río Ebro, destacando los de RIBA y BOMER (1957) y LERÁNOZ (1989). Por su proximidad a la zona de estudio, cabe señalar los trabajos de MENSUA y BIELZA (1974) y LERÁNOZ (1990) centrados en el curso bajo del río Ega, así como el de JUARISTI (1979) que aborda las terrazas y glaciares del sector meridional del valle del Arga.

También es preciso destacar las aportaciones de las Hojas geológicas a escala 1:50.000 correspondientes al Plan MAGNA de la región, especialmente las de Tafalla (173), Sangüesa (174) y Peralta (206), que incluyen un capítulo de geomorfología con su correspondiente esquema a escala 1:100.000. Por último, mención aparte merecen las

Hojas geológicas y geomorfológicas a escala 1:25.000 realizadas dentro del presente proyecto de actualización e informatización de la cartografía geológica de Navarra en zonas próximas (Hojas 174-III, Cáseda; 174-IV, Sangüesa; 205-II, Lerín; 205-IV, San Adrián; GOBIERNO DE NAVARRA, 1998 y 2000) por la gran cantidad de datos aportados y la puesta al día llevada a cabo en cuanto al conocimiento geológico de la región.

3.3. ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO

El estudio morfológico se aborda desde dos puntos de vista:

- Considerando el relieve como una consecuencia del sustrato geológico y de la disposición del mismo (estudio morfoestructural).
- Teniendo en cuenta la incidencia de los procesos exógenos sobre dicho sustrato (estudio del modelado).

3.3.1. Estudio morfoestructural

La Hoja de Carcastillo (207-III) se localiza en la Cuenca de La Rioja-Navarra, perteneciente al sector noroccidental de la Depresión del Ebro, caracterizado por una clara influencia de la estructura en el relieve, derivada a su vez de la acción de la tectónica sobre los diferentes conjuntos litológicos.

De acuerdo con los rasgos geológicos regionales básicos, los afloramientos terciarios integran el sustrato, que aparece modelado fundamentalmente por los depósitos procedentes del desmantelamiento de los relieves septentrionales de la región y por la dinámica del río Aragón, que tapizan la mayor parte de la zona.

3.3.1.1. Formas estructurales

El dominio terciario, en el que aflora un conjunto sedimentario atribuido al Mioceno, está caracterizado por una serie fundamentalmente arcillosa que hacia el noroeste intercala areniscas que localmente pueden llegar a ser la litología dominante. Dichas intercalaciones configuran diversos resaltes estructurales como consecuencia de su mayor resistencia a la erosión, siendo estos niveles los que permiten definir la geometría de la región, consistente en una sucesión de pliegues de orden kilométrico a decakilométrico orientados según NO-

SE, cuya continuidad superficial es interrumpida por la red de drenaje y que en la zona aparecen girados hasta adoptar una directriz E-O.

Los resaltes poseen una continuidad muy variable, con frecuencia de varios kilómetros, pudiendo aparecer como simples líneas de capa o acompañados de escarpes más o menos pronunciados, pero en casi todos los casos con desniveles inferiores a 100 m. En el sector noroccidental es frecuente la conservación de superficies estructurales, degradadas o no, que aparecen como cuestas y, ocasionalmente, como mesas; entre estas formas derivadas de la estructura es preciso señalar también los cerros cónicos, como resultado de procesos de erosión selectiva.

3.3.1.2. Estructura de la red de drenaje

El río Aragón penetra en la Hoja con un evidente carácter consecuente, discurriendo de Norte a Sur de acuerdo con la línea de máxima pendiente regional. Aún aguas arriba de Carcastillo sufre una brusca inflexión hasta fluir de Este a Oeste, sentido anómalo que debe encontrar respuesta en causas estructurales del sustrato. El resto de la red sigue un patrón irregular, de tipo dendrítico, aunque se aprecia un cierto predominio de las orientaciones próximas a NO-SE.

3.3.2. **Estudio del modelado**

El relieve de la zona es el resultado de la acción de los procesos externos, tanto erosivos como sedimentarios, sobre la estructura existente al finalizar el Terciario. Dichos procesos tienen un origen gravitacional (de laderas), fluvial, poligénico y antrópico.

3.3.2.1. Formas de laderas

Como consecuencia de los desniveles existentes, derivados de la profusión de escarpes, mesas, cuestas, cerros cónicos y terrazas colgadas, entre otros elementos de relieve positivo, son frecuentes los procesos relacionados con la dinámica de las vertientes. No obstante, la representación cartográfica de las formas de ladera es moderada, estando restringida a un pequeño número de coluviones, deslizamientos y cambios bruscos de pendiente.

Los deslizamientos están representados exclusivamente por dos afloramientos de reducidas dimensiones, localizados en la vertiente de la margen izquierda del río Aragón frente al

paraje de Los Plantados, donde las elevadas pendientes, unidas a la naturaleza arcillosa del sustrato, han favorecido la génesis de estas masas deslizadas. Por lo que respecta a los coluviones, poseen una representación algo mayor, aunque de escasa relevancia en cualquier caso, apareciendo como bandas que orlan parcialmente diversas laderas.

Las formas de laderas se completan con los numerosos cambios bruscos de pendiente existentes al pie de la plataforma noroccidental o de los relieves de la margen izquierda del río Aragón.

3.3.2.2. Formas fluviales

Constituyen el grupo de mayor relevancia, merced principalmente al cortejo de terrazas que escalonan el valle del río Aragón, junto con las que también están representados la llanura de inundación, así como numerosas barras, meandros y cauces abandonados. Las formas sedimentarias se completan con los numerosos fondos de valle y conos de deyección repartidos por todo el territorio. Como formas erosivas se han reconocido aristas, huellas de incisión lineal, escarpes de terrazas y, de forma ocasional, erosiones laterales del cauce.

Los fondos de valle tienen una notable representación, apareciendo con formas alargadas y estrechas, excepto en el caso del barranco de la Portillada, cuya longitud varía sensiblemente. En general, su geometría no aparece adaptada a la estructura ni evidencia un patrón predominante.

Las barras están asociadas exclusivamente al cauce del río Aragón, preferentemente en posición lateral, con una continuidad que puede alcanzar dos kilómetros, pero también se disponen a modo de isleos de menores dimensiones.

Ante su difícil delimitación, la llanura de inundación del Aragón se ha representado juntamente con la terraza más baja, apareciendo en cualquier caso mínimamente representada, a modo de retazos adyacentes al cauce activo o a las barras laterales, con su típica morfología plana y ligeramente encajada.

El sistema de terrazas del río Aragón es el conjunto de formas más característico, habiéndose diferenciado ocho niveles a +3-5 m, +6-10 m, +10-12 m, +12-14 m, +22-25 m, +35-40 m, +45 m y +100 m. Los cuatro niveles inferiores se han considerado como terrazas “bajas” y poseen un dispositivo de terrazas solapadas, en tanto que los tres siguientes han sido considerados como terrazas “medias”, pudiendo aparecer como terrazas colgadas o

solapadas, y el nivel superior se ha considerado como “terraza alta”, presentándose como una terraza colgada.

En conjunto, confieren a los valles un aspecto groseramente escalonado, con escarpes entre los distintos niveles; de entre éstos, son los inferiores los que poseen una mayor continuidad superficial y una menor definición, en tanto que los superiores aparecen nítidamente delimitados y a modo de retazos aislados.

Aunque uno de los rasgos más llamativos de las terrazas de la región es la espectacular deformación que pueden presentar, relacionada con los procesos de deformación del sustrato yesífero, en el ámbito de la Hoja no se han reconocido.

Asociados a las terrazas “bajas” aparecen meandros y cauces abandonados, a modo de suaves encajamientos lineales. Los primeros muestran su típica forma arqueada, en tanto que los segundos aparecen con geometría más rectilínea.

También los conos de deyección son frecuentes. Se generan cuando la carga concentrada en barrancos estrechos alcanza áreas más amplias, en las cuales se expande, dando lugar a sus típicas morfologías en abanico. Aunque existen formas aisladas, la proximidad entre los barrancos hace que predominen los dispositivos coalescentes, de forma que aparecen como bandas que orlan diversos relieves de la zona, marcando con frecuencia los cambios bruscos de pendiente. Su principal expresión se encuentra al pie de las vertientes de los parajes de Peña del Águila, El Plano, El Saso y Larrate.

En cuanto a las formas erosivas de origen fluvial, también poseen una amplia distribución, destacando entre ellas la incisión lineal, generalmente con desarrollo transversal a los principales cursos de cada zona. En algunas áreas, su acción da lugar a un retroceso de las cabeceras, favoreciendo el desarrollo de aristas a modo de interfluvios de morfología afilada, que aparecen diseminados por el sector occidental; por el contrario, en el sector oriental, la profusión de términos arcillosos ha favorecido el desarrollo de morfologías suaves de tipo alomado. Por último, en los tramos donde el río Aragón muestra un trazado sinuoso, se registran fenómenos de erosión lateral del cauce.

3.3.2.3. Formas poligénicas

Poseen una notable representación, especialmente en la mitad suroriental, estando representadas por glacis y glacis de techo de piedemonte, así como por escarpes.

Los glacis de techo de piedemonte configuran diversas plataformas elevadas, distribuidas entre los parajes de Larrate y El Plano, y reflejan una pendiente deposicional hacia el SO que provoca una disminución de la cota desde los 478 m del primero de los parajes, hasta los 440 m del segundo.

Los glacis poseen una representación más amplia, si bien se trata de depósitos de menor entidad disectados por la red de drenaje actual, que tapizan las vertientes de pendientes bajas; se caracterizan por sus perfiles longitudinales plano-cóncavos, con aumento de la concavidad hacia la cabecera.

Por lo que respecta a los escarpes, los más destacados se localizan en relación con los relieves de Santa Águeda, donde existen desniveles superiores a 100 m, siendo dignos de mención, igualmente, los que bordean los depósitos de techo de piedemonte o la plataforma del sector noroccidental, en este caso mayores de 50 m. Pese a la evidente influencia fluvial, se han interpretado como formas poligénicas porque se supone que los procesos de ladera también han tenido incidencia en su génesis.

3.3.2.4. Formas antrópicas

La actividad antrópica constituye una importante característica en diversas zonas, especialmente en torno a los núcleos urbanos de Carcastillo y Murillo El Fruto. Está relacionada principalmente con la modificación del paisaje debida a los usos del suelo para actividades agropecuarias, extractivas, de redes de transporte y de nuevos asentamientos urbanos o industriales; la remoción de materiales y la modificación de la topografía original, bien allanando, rellenando o ahuecando, es intensa.

Entre las formas antrópicas susceptibles de ser representadas cartográficamente cabe destacar los frentes de las canteras, así como las escombreras, las depressiones artificiales y las superficies fuertemente remodeladas por el hombre. Otras formas de menor entidad corresponden a establecimientos puntuales ligados al aprovechamiento agropecuario e industrial, que se hallan diseminados por todo el territorio. Por último, la apertura de nuevas vías de comunicación (carreteras, caminos...) y las labores de cultivo son factores que completan el registro de intervención antrópica.

3.4. FORMACIONES SUPERFICIALES

Se consideran como tales todas aquellas formas con depósito, consolidado o no, relacionadas con el modelado del relieve actual. Su principal característica es su cartografiabilidad, definiéndose por una serie de atributos como geometría, textura, potencia, tamaño, génesis y cronología, abordándose a continuación los aspectos relacionados con litología, textura y potencia.

3.4.1. Lutitas y arenas con cantos y bloques. Coluviones (a). Holoceno

Son depósitos de reducido espesor, en general inferior a 2 m, y escasa representación superficial, distribuidos irregularmente, pero siempre al pie de escarpes de origen diverso. Su constitución litológica depende directamente de la naturaleza de su área madre, predominando los cantos y arenas procedentes de los depósitos de las terrazas, así como las lutitas con cantos y bloques angulosos y subangulosos de areniscas de tamaño muy variable, con frecuencia de orden decimétrico, procedentes de las propias vertientes. Por su posición con respecto a las laderas actuales, así como por su relación con el resto de los depósitos cuaternarios se han asignado al Holoceno.

3.4.2. Lutitas con bloques. Deslizamientos (b). Holoceno

Se trata de un conjunto litológico de aspecto caótico, aflorante exclusivamente en el valle del río Aragón, al pie del paraje Larrate; posee cierta homogeneidad ya que sus integrantes proceden de un mismo área madre constituido por arcillas con intercalaciones arenosas de las facies Olite y de las Bardenas. Su génesis se relaciona con un mecanismo rotacional que motiva el desprendimiento y lento deslizamiento gravitatorio de las masas lutíticas. Obviamente, el espesor de este depósito es muy variable como consecuencia de la propia geometría de las masas deslizadas. Ya que su génesis se asocia a un proceso actual o subactual, se incluyen en el Holoceno.

3.4.3. Conglomerados, gravas, arenas y lutitas. Terrazas y llanura de inundación (c-j). Pleistoceno-Holoceno

Pertencen en su totalidad al sistema fluvial del río Aragón, que ha dejado a lo largo de la zona un cortejo escalonado de ocho niveles, agrupados en terrazas “altas” (+100 m), “medias” (+22-25 m, +35-40 m y +45 m) y “bajas” (+3-5 m, +6-10 m, +10-12 m y +12-14 m), incluyéndose en algunos casos dentro de éstas los depósitos correspondientes a la llanura de inundación.

La litología es muy similar en casi todas ellas, si bien la granulometría y el grado de cementación, por carbonatos, muestran ciertas variaciones. En general, están formadas por gravas polimícticas, con arenas en proporción variable, predominando los clastos redondeados de naturaleza areniscosa y carbonatada; los niveles más cementados constituyen auténticos conglomerados. En cuanto al tamaño de los cantos, es muy variable, presentando en ocasiones dos modas; se encuentran clastos de hasta 50 cm de diámetro en las terrazas altas, aunque el tamaño medio fluctúa entre 10 y 20 cm; frente a estos valores, en las terrazas bajas predominan los diámetros de 6-8 cm, con máximos de 15 cm. Los espesores son muy irregulares, siendo habituales las potencias de 3-4 m, reconociéndose valores superiores a 10 m en las terrazas "altas", si bien se han medido espesores anómalos de hasta 30 m en sectores próximos, explicados en relación con fenómenos de subsidencia diferencial en áreas localizadas.

Por su relación con respecto a la red fluvial actual se han atribuido al Pleistoceno, excepción hecha de los niveles inferiores, pertenecientes al Holoceno.

3.4.4. Gravas, arenas y lutitas. Meandros y cauces abandonados (k). Barras (m). Pleistoceno-Holoceno

En relación con el sistema fluvial del río Aragón se reconocen depósitos de gravas, arenas y lutitas, bajo dos contextos diferentes: por una parte, como depósitos de reducida extensión adyacentes al cauce activo y ligeramente encajados en la terraza más baja, correspondientes a barras; por otra, con formas estrechas, en ocasiones fuertemente curvadas, ligeramente encajados en las terrazas "bajas", correspondiendo a meandros o cauces abandonados.

El tamaño de los cantos es variable, con ocasionales clastos de tamaño bloque, siendo su litología muy variada, si bien predominan los constituyentes carbonatados y areniscosos. Con frecuencia desarrollan suelos que, por sus características, son generalmente utilizados para el cultivo.

Por su posición con respecto a las terrazas "bajas", ambos tipos de depósito se han atribuido al Holoceno, si bien podrían haber iniciado su génesis durante el Pleistoceno.

3.4.5. Limos y arcillas con cantos. Conos de deyección (l). Holoceno

Los conos de deyección de la zona están formados por limos y arcillas que ocasionalmente engloban cantos dispuestos en delgadas hiladas; también pueden apreciarse

cementaciones, pero siempre muy superficiales y de poca consistencia. Se disponen a la salida de los barrancos estrechos hacia valles más amplios y lógicamente su composición de detalle varía en función del área madre, predominando en cualquier caso los constituyentes de naturaleza areniscosa. Es bastante frecuente el solapamiento o la coalescencia de varios aparatos, dando lugar a formas de desarrollo lateral de orden kilométrico.

Por su relación con el relieve actual y en particular con la red fluvial, se han enmarcado en el Holoceno.

3.4.6. Lutitas con cantos, gravas y arenas. Fondos de valle (n). Holoceno

Constituyen el depósito de los cursos que discurren a través de los principales valles, excepción hecha del río principal, reflejando por tanto la sedimentación de la red fluvial secundaria. Son depósitos adaptados a la estructura de la red de drenaje, predominando los afloramientos de forma alargada. Aunque en algunos casos tienen una longitud superior a 10 km y una anchura moderada, en general carecen de interés; poseen un espesor comprendido entre 3 y 5 m, pero ocasionalmente puede ser superior.

Predominan las lutitas de tonalidades rojas, grises u ocre, que incluyen cantos de tamaño variable y, en ocasiones, bloques y gravas; en menor medida, también se reconocen niveles de arenas. La litología de sus componentes es variable, predominando los fragmentos de areniscas. Por su íntima relación con la red fluvial actual se atribuyen al Holoceno.

3.4.7. Conglomerados con encostramientos carbonatados a techo. Glacis de techo de piedemonte (ñ). Pleistoceno

Corresponden al depósito somital de las plataformas más elevadas, que aparecen distribuidas de NE a SO por la zona, habiéndose depositado en relación con sistemas de abanicos aluviales antiguos procedentes de los relieves septentrionales de la región. Están integrados por conglomerados constituidos por cantos redondeados de caliza y arenisca de 10-12 cm de diámetro, con valores máximos de 25 cm. Aparecen fuertemente cementados por carbonatos, siendo su espesor de 5-8 m.

Se trata del depósito cuaternario más antiguo de la Hoja, encontrándose encajados en él todos los depósitos del Aragón, razón por la que se ha asignado al Pleistoceno inferior.

3.4.8. Gravas y lutitas ocreas con cantos. Glacis (o). Pleistoceno-Holoceno

Su desarrollo se produce sobre depósitos miocenos preferentemente arcillosos, contribuyendo a la morfología actual de las vertientes poco acusadas. Por lo general, su composición refleja la del sustrato sobre el que se desarrollan, así como la de los relieves al pie de los cuales se generan. Están constituidos por gravas algo cementadas constituidas por cantos aplanados y redondeados de areniscas, con diámetros medios de 6 cm y valores máximos de hasta 15 cm; intercalan lutitas ocreas que engloban cantos dispersos, de carácter anguloso a subanguloso y composición areniscosa y calcárea. El espesor conjunto se aproxima a 2 m.

Su génesis está en relación con el desmantelamiento del relieve establecido en la zona tras el depósito de los abanicos aluviales antiguos, razón por la que se han atribuido al Pleistoceno-Holoceno.

3.4.9. Vertidos y Escombros. Escombreras (p). Holoceno

Integran los depósitos de origen antrópico de la zona, consistentes en acumulaciones de materiales groseros, generalmente bloques y fragmentos sólidos de origen diverso, constituyentes de escombreras. Evidentemente, su génesis se ha producido durante el Holoceno.

3.5. EVOLUCIÓN DINÁMICA

Lógicamente, es difícil establecer la evolución geomorfológica de una zona de reducidas dimensiones sin integrarla dentro de un ámbito regional más amplio, por lo que es preciso el tratamiento de la Hoja de Carcastillo dentro del contexto de la Depresión del Ebro.

Regionalmente, las superficies de erosión aparecen claramente encajadas en las principales superficies de los sistemas montañosos que bordean la cuenca y, aunque poco puede precisarse sobre el modelado finineógeno en la zona debido a la ausencia de depósitos del intervalo Mioceno superior-Plioceno, parece probable la pertenencia de aquéllas al Cuaternario. Constituyen el nivel de arranque del encajamiento de la red fluvial y por tanto, del desmantelamiento del relieve finiterciario, considerándose que este proceso de desmantelamiento se inició a comienzos del Cuaternario y fue conducido por los agentes externos, sin que deba olvidarse que la evolución del modelado ha estado condicionada en todo este periodo por la estructura del sustrato.

El episodio sedimentario más antiguo está representado por los depósitos de abanicos aluviales procedentes de los relieves del sector septentrional, probablemente aún en el Pleistoceno inferior, siendo su resultado la creación de una superficie ligeramente inclinada de Norte a Sur; ésta constituyó el punto de partida del encajamiento de la red fluvial, principal agente modelador de la zona, que ha llevado aparejados una serie de procesos denudativos y sedimentarios entre los cuales destacan la erosión de los relieves por parte de los cauces principales y la acumulación de depósitos fluviales, que en sucesivos encajamientos se han configurado como terrazas. La erosión vertical de la red fue acompañada por un retroceso de las laderas, favorecido por los procesos gravitacionales.

Una vez esbozada la red principal, representada aquí por el río Aragón, con un valle aún poco pronunciado, posiblemente a finales del Pleistoceno dio comienzo el encajamiento generalizado de la red secundaria, que propiciaría, no sólo un incremento de la superficie susceptible de ser atacada por los procesos denudativos, sino también el desarrollo de sistemas de conos de deyección y de glaciares, aunque posiblemente, la génesis de éstos se inició durante el Pleistoceno medio, generalmente orlando los principales relieves.

En el Holoceno, la dinámica fluvial ha seguido gozando de una gran preponderancia en el modelado de la región, tanto por la acción llevada a cabo en los fondos de los valles, como por la ejercida mediante los conos de deyección. Los depósitos de las laderas ahora sí permanecen “momentáneamente” conservados en forma de coluviones y deslizamientos.

La influencia del sustrato también ha sido puesta de manifiesto por la profusión de superficies estructurales, escarpes, mesas, cuevas y cerros cónicos que la erosión ha modelado y que constituyen elementos inseparables del paisaje actual en la región.

3.6. MORFOLOGÍA ACTUAL-SUBACTUAL Y TENDENCIAS FUTURAS

La fisonomía actual de la Hoja de Carcastillo es debida fundamentalmente a dos factores, la estructura del sustrato y el encajamiento de la red fluvial, cuya preponderancia se plasma en la existencia de tres dominios morfológicos principales.

La estructura del sector oriental está condicionada por la existencia de un sustrato arcilloso con escasas intercalaciones de niveles competentes, en tanto que en el noroccidental predominan las intercalaciones de areniscas, que confieren una mayor resistencia a la erosión; en ambos casos, la deformación se resuelve según grandes y muy laxos pliegues

de orientación E-O. El tercer dominio, correspondiente al valle del río Aragón, se caracteriza por un modelado típicamente fluvial.

En general, la red de drenaje se encaja mediante procesos de incisión vertical, más acusados en la red secundaria de las zonas abruptas; estos procesos van acompañados por retrocesos de las laderas y, en algunas zonas, erosión lateral de los cauces.

La previsible evolución del relieve a corto plazo no sugiere modificaciones importantes en relación con los procesos actuales, siendo de esperar una tendencia general de aproximación del relieve al nivel de base local, marcado por el río Aragón, tendente a su vez a alcanzar el del río Ebro. Si bien en las áreas de afloramiento de materiales blandos se suavizarán las formas, incluso con desarrollo del carácter endorreico, la superior resistencia a la erosión de algunos niveles podría exagerar los desniveles asociados con algunas formas estructurales. Otro probable efecto futuro es el desarrollo de capturas, especialmente en el sector noroccidental, que pueden dar lugar a modificaciones en la geometría de la red, de envergadura difícil de prever.

4. HISTORIA GEOLÓGICA

La Hoja a escala 1:50.000 Sos del Rey Católico, de la que forma parte el cuadrante 207-III, Carcastillo, se sitúa en el borde de la Depresión del Ebro, muy próximo a la cadena pirenaica. Así mismo, se ubica también cerca de la denominada Cuenca Navarro-Riojana (SALVANY, 1989) que constituye una subcuenca de la del Ebro.

La evolución geológica de la Depresión del Ebro en términos generales ha estado directamente controlada por el levantamiento de las cordilleras limítrofes, que cabalgan a los depósitos terciarios. La mayor influencia ha sido ejercida por la cadena pirenaica, respecto a la cual la Depresión del Ebro se comporta como cuenca de antepaís meridional a lo largo del Terciario.

A finales del Eoceno se produce, en la cuenca de antepaís surpirenaica, la retirada definitiva del mar hacia el Oeste debido al levantamiento de la cadena. La depresión del Ebro se convierte en una cuenca endorreica que registra un importante acumulo de materiales continentales aluviales y lacustres, situación que se mantiene hasta bien entrado el Mioceno.

La sedimentación continental terciaria en la cuenca del Ebro se realiza en condiciones endorreicas a lo largo del Oligoceno hasta el Mioceno inferior-medio. La situación de la zona de estudio, próxima al borde septentrional de la cuenca, hace que los depósitos estén ligados a sistemas aluviales de procedencia pirenaica que pasan hacia el S y SO a ambientes lacustres salinos característicos de los sectores centrales de la cuenca.

El análisis secuencial de la sucesión terciaria continental ha dado como resultado el establecimiento de una serie de ciclos sedimentarios, delimitados por propagaciones aluviales bruscas hacia el Sur relacionadas con impulsos tectónicos en los márgenes. Cada ciclo tiende a organizarse, en términos generales, de acuerdo con un episodio de actividad diastrófica menguante dando lugar a una secuencia estrato y granodecreciente. No obstante algunos ciclos tienden a organizarse de forma contrapuesta o compleja.

En conjunto se evidencia una migración mantenida hacia zonas más meridionales del surco de sedimentación aluvial, a consecuencia del empuje de la cadena en el mismo sentido. Esta circunstancia, unida a una probable progresión de la actividad diastrófica da como resultado una secuencia negativa general, de tendencia estrato y clastocreciente, con desarrollo de facies aluviales cada vez más proximales hacia techo y a la aparición de series más modernas hacia el Sur.

Inicialmente durante el Oligoceno superior, en la Cuenca Navarro-Riojana, la sedimentación se articula a partir de sistemas aluviales procedentes de los relieves pirenaico e ibérico, que pasan, a distancia creciente de los márgenes, a contextos lacustres salinos. El predominio de ambos ambientes es alternante a lo largo del Terciario, aunque cada vez con mayor influencia de los primeros en el Mioceno, de modo que se suceden los episodios generalizados de propagación aluvial, relacionados con impulsos diastróficos, y las etapas de expansión lacustre, caracterizadas por extensos cuerpos evaporíticos en el registro sedimentario.

Las áreas lacustres evaporíticas, desarrolladas de forma amplia en los sectores centrales de la cuenca, han experimentado una migración mantenida hacia el Sur, como consecuencia del levantamiento del Pirineo y de la progradación de los sistemas aluviales procedentes de este, parte de los cuales se reconocen en la zona de estudio o bien en áreas próximas.

La historia geológica evolutiva se establece de acuerdo con los depósitos aflorantes en la Hoja y con los del entorno próximo

En el Oligoceno inferior la sedimentación lacustre salina ocupó una posición muy septentrional respecto al actual eje de la Depresión del Ebro. El cuerpo evaporítico principal recibe la denominación de Fm. Yesos de Puente la Reina. Los equivalentes aluviales de procedencia pirenaica se desarrollan hacia el NE (Facies de Zabalza y Javier).

El episodio sucesivo de progradación aluvial lo constituyen por el lado pirenaico, las Facies de Sangüesa y Mues, mientras que más hacia el Sur, el representante de procedencia ibérica corresponde a la denominada Fm. Basal Oligocena, reconocida exclusivamente en subsuelo.

Durante el Oligoceno superior se instala en el sector central de la Cuenca Navarro-Riojana un cuerpo evaporítico de gran extensión correspondiente a la Fm Yesos de Falces. Los

depósitos aluviales correlativos o equivalentes están integrados en la vertiente pirenaica por las facies de Sangüesa, Cáteda y Mués y por la Fm. Arnedo en el margen meridional.

La etapa subsiguiente de propagación aluvial se evidencia en la zona por el desarrollo de la Fm. Marcilla, que enlaza hacia el N con los términos superiores de las Facies de Sangüesa y hacia el Sur con los de la Fm. Arnedo.

A finales del Oligoceno y principios del Mioceno se registran variaciones sucesivas en la configuración de la paleogeografía de la Cuenca Navarro-Riojana que se traducen estratigráficamente en una alternancia entre unidades detríticas y evaporíticas de gran continuidad, (SALVANY, 1989), configurando en conjunto la Fm. Lerín. .

Los episodios de propagación aluvial están representados durante el Mioceno por las unidades de Olite, Artajona y Ujúe también conocidas como Facies de Allo, Sos y San Martín de Unx. Hacia el Sur y Suroeste acontecen episodios algo similares a finales del paleógeno en la Unidad de Peralta, que incluye desarrollos evaporíticos importantes y en la Unidad de Villafranca.

En el Mioceno, los sistemas aluviales presentan una disposición axial submeridiana y se generan facies aluviales proximales indicativas claramente ya del desplazamiento hacia el Sur del margen de la cuenca (Unidad de Olite) cuya evidencia se pone más adelante, claramente de manifiesto, aun durante el Mioceno, en las Sierras de San Pedro-Peña.

La sedimentación de la Unidad de Olite y sus equivalentes de la Fm Tudela, se localiza por toda la Hoja (Facies de Las Bardenas) y fuera ya de ella en el Sinclinal de Miranda de Arga y en el de Peralta. Hacia el Oeste, se expande la Unidad de Olite, estando representada por facies aluviales distales. Esta, se acuña hacia el Sur por su disposición en *on lap* y por tránsito en vertical a las Unidades de Miranda de Arga, que incluyen niveles lacustres carbonatados.

Se producen en consecuencia, durante los tiempos miocenos una marcada reestructuración paleogeográfica en la cuenca que queda cubierta por facies aluviales con el desplazamiento de la sedimentación evaporítica lacustre (Yesos de Zaragoza) hacia el Este. Las facies aluviales más progradantes y proximales de procedencia pirenaica se encuentran aflorantes en las Sierras de San Pedro y Peña y tienen sus equivalentes laterales en la Unidad de Artajona y se sitúan por el S y SE. sobre la Unidad de Olite y sobre las Facies de Las

Bardenas, unidades como se ha expuesto, equivalentes a la Fm. Tudela. Por el Sur y Suroeste, los depósitos de atribución correlativa están integrados por las Fms. Fitero y Alfaro.

La estructuración de este borde de la Cuenca del Ebro, en el que se sitúa próxima la zona de estudio, acontece durante el Mioceno inferior-medio y se articula en una serie monoclinial, en clara discordancia progresiva de dirección NNO-SSE y vergencia al Suroeste y Sur como resultado de la última etapa importante de compresión pirenaica.

El plegamiento sinsedimentario es el responsable de la discordancia progresiva del borde de cuenca y por consiguiente de las discordancias internas reconocibles como p.e. la discordancia basal de la Unidad de Olite (Fm. Tudela) con su marcado carácter erosivo y la disposición en *on lap* hacia las principales estructuras anticlinales. También se encuentran relacionados con este plegamiento las notables diferencias de espesor observables de un flanco a otro de algunas estructuras como la del sinclinal de Miranda de Arga y en definitiva de la compartimentación incipiente en la zona a favor de los surcos sinclinales. También este plegamiento es da lugar a la discontinuidad de la base de la Unidad de Artajona, que se corresponde con la discordancia basal de los conglomerados de las sierras de San Pedro y Peña.

Por último cabe destacar que según estudios recientes, el principio del exorreísmo en la cuenca debió producirse en un momento próximo al Mioceno superior y como muy tarde en el Plioceno. En esos tiempos tiene lugar la apertura de la Depresión del Ebro al Mediterráneo, por lo que esta pasa a comportarse como una cuenca exorreica. Empieza la etapa de vaciado erosional con la instalación de sistemas aluviales y el progresivo encajamiento de la red hidrográfica. Estos procesos, unidos al desarrollo de las diversas formas de erosión, dan lugar a la actual configuración del relieve de la Cuenca del Ebro.

5. GEOLOGÍA ECONÓMICA

5.1. RECURSOS MINERALES

En la Hoja a escala 1:25.000 de Carcastillo (207-III) se cuenta únicamente con 3 indicios mineros registrados.

Los tres indicios se encuentran en la mitad norte de la Hoja, en las proximidades de Murillo el Fruto y Carcastillo.

Se emplazan sobre las formaciones terciarias, correspondiendo en dos casos a yacimientos de arcillas, mientras que en el tercero se trata de una pequeña cantera de areniscas.

Se describen además otras sustancias que si bien no cuentan con indicios inventariados en la Hoja, presentan posibilidades de aprovechamiento minero.

5.1.1. Minerales y Rocas Industriales.

Las arcillas constituyen la sustancia con mayores posibilidades mineras en la Hoja dado el predominio de formaciones arcillosas en la serie terciaria cuyas intercalaciones de areniscas presentan interés en la producción de bloques de mampostería. Se describen también otras sustancias, arcillas especiales y áridos naturales por sus posibilidades de aprovechamiento en el futuro.

5.1.1.1. Areniscas

Los niveles de areniscas de la Fm. Tudela y de la Unidad de Artajona se explotan en numerosos puntos de la región para la obtención de bloques de mampostería, recibiendo la denominación popular de *Piedra de Pitillas*. La disposición en bancos tabulares tableados de potencia idónea facilita las posibilidades de extracción de la areniscas en bloques y losas, lo que ha condicionado su explotación intensiva en el pasado.

Actualmente la producción regional cubre demandas locales eventuales con destino a la construcción de tipo rústico.

Aunque se tiene constancia de numerosas labores circunstanciales no controladas de la *Piedra de Pitillas* en la zona, se ha inventariado un único indicio en la Hoja correspondiente a una pequeña cantera que registra actividad intermitente.

5.1.1.2. Arcillas comunes

Los indicios de arcillas comunes de la Hoja de Carcastillo (207-III) se encuentran sobre intervalos lutíticos rojizos de la serie terciaria, concretamente en la Unidades de Artajona y Olite.

Se han inventariado 2 indicios, que se localizan en las proximidades de Murillo el Fruto. Una de ellas corresponde a una cantera abandonada de pequeñas dimensiones. El otro indicio es un yacimiento sin labores visibles.

Las arcillas de la Fm. Tudela se explotan en numerosos punto de la región dadas sus favorables propiedades (50-60% en illita y 5-10% en clorita) para la fabricación de ladrillos (*Ladrillos de Tudela*).

5.1.1.3. Arcillas especiales

Los intervalos lutíticos de la Fm. Tudela contienen arcillas de neoformación que se citan en el presente epígrafe por su potencial minero.

Los tramos productivos corresponden a horizontes arcillosos grisáceos entre el conjunto fangoso mayoritariamente rojizo de la Fm. Tudela.

Diversos análisis realizados en la región sobre este tipo de materiales ponen de manifiesto contenidos elevados en esmectita (24-64%) y sepiolita (20-44%).

5.1.1.4. Áridos naturales

Las gravas y arenas de los niveles de terrazas son objeto de explotación en la región para la obtención de áridos.

Litológicamente predominan las gravas heterométricas de cantos bien rodados con contenidos variables en matriz arenosa y arenoso-limosa. El tamaño de los cantos varía

entre 2 y 15 cm y éstos corresponden mayoritariamente a calizas del Terciario y Mesozoico, y en menor medida a areniscas y ofitas.

En la Hoja de Carcastillo (207-III) no se ha inventariado ningún indicio de esta sustancia, cuya cita en el presente epígrafe se debe únicamente a su potencial minero.

5.2. HIDROGEOLOGÍA

5.2.1. Descripción de las formaciones

En el presente apartado se trata de forma agrupada y resumida el comportamiento hidrogeológico de las unidades cartográficas del Mapa Geológico diferenciadas en la Hoja, atendiendo especialmente a la litología, geometría y permeabilidad.

5.2.1.1. Lutitas ocre y rojas con algunas intercalaciones de areniscas. Mioceno inferior

En el eje núcleo del Anticlinal de Pitillas, al NE de la Hoja, se distingue una Unidad esencialmente arcillosa de tonos ocre y rojizos (4) que puede corresponder en parte a un equivalente hacia el N, en facies aluviales distales, de los términos superiores de la Fm. Lerín.

Con una potencia observable de unos 60 m, constituye una formación francamente impermeable dado su carácter eminentemente lutítico.

5.2.1.2. Lutitas ocre-rojizas y areniscas Unidad de Olite. Mioceno inferior-medio

La Unidad de Olite (6) se desarrolla al N del Sinclinal de Miranda de Arga donde constituye una serie de varios cientos de m que se dispone de forma neta sobre la Unidad 4. Al SE pasa lateralmente y hacia techo a las Facies de Las Bardenas (Unidad 7) mientras que hacia el OSO lo hace a las Unidades de Miranda y Portillo, que no aparecen en la Hoja, y de las que se diferencia básicamente por su mayor contenido en areniscas, integrando de forma conjunta la Fm. Tudela,.

Constituye un conjunto sedimentario de marcado carácter aluvial, representado litológicamente por arcillas ocre y rojizas con abundantes intercalaciones de areniscas. En éstas se pueden desarrollar acuíferos locales de poca entidad.

5.2.1.3. Lutitas ocre-rojizas con algunas intercalaciones de areniscas. Facies de Las Bardenas. Mioceno inferior-medio

En la parte suroriental de la Hoja la parte superior de la serie terciaria está representada por arcillas ocre-rojizas que intercalan niveles tabulares de areniscas en bajas proporciones que se han asimilado a la Unidad cartográfica 7 cuando alcanzan suficiente expresión morfológica y pueden diferenciarse cartográficamente.

El conjunto recibe la denominación litoestratigráfica de Facies de Las Bardenas (7) y se relacionan lateralmente con la Unidad de Olite con la que interdigita hacia el N.

Registra buzamientos muy bajos, prácticamente subhorizontales y su potencia en la Hoja alcanza los 70 m.

La permeabilidad es muy baja dado el marcado predominio de los términos arcillosos y la escasa potencia de las intercalaciones. Únicamente se pueden desarrollar acuíferos locales a favor de los niveles de areniscas más potentes.

5.2.1.7. Gravas, arenas y lutitas. Formaciones cuaternarias de alta permeabilidad

Se tratan de forma agrupada en este punto las formaciones permeables del Cuaternario.

Litológicamente corresponden a depósitos de gravas y arenas que pueden contener términos lutíticos en proporciones menores. Engloban las unidades 11 a 14 y 16

Su origen está ligado principalmente a la dinámica fluvial del río Aragón. Las terrazas medias y bajas se desarrollan de forma escalonada ocupando extensas superficies junto con otros materiales clásticos de génesis fluvial, y las terrazas altas algo más aisladas, se encuentran desconectadas parcialmente del cauce actual.

La potencia de estos depósitos es por lo general de orden métrico (1-20 m) aunque pueden registrarse localmente valores mayores sobre substratos yesíferos colapsados.

La permeabilidad es alta por porosidad intergranular dada su granulometría grosera, escasez de matriz lutítica y poca o nula cementación.

5.2.1.8. Fangos, arenas y lutitas con cantos. Formaciones cuaternarias de media y baja permeabilidad

Se agrupan en el presente epígrafe las formaciones del Cuaternario que están constituidas litológicamente por lutitas con un contenido variable en elementos clásticos.

Corresponden principalmente a depósitos de ladera, fondos de valle y conos aluviales. Engloban este epígrafe el resto de las unidades cuaternarias diferenciadas

Su composición litológica depende del área de procedencia consistiendo generalmente en fangos con cantos de areniscas en proporciones variables.

La permeabilidad es, en términos generales, bastante baja para este conjunto de depósitos, si bien puede aumentar localmente por lavado de los finos, permitiendo el paso de agua por porosidad intergranular.

5.2.2. Unidades acuíferas.

Se describen a continuación las Unidades Hidrogeológicas que albergan formaciones geológicas susceptibles de almacenar y transmitir el agua, y por lo tanto capaces de constituir acuíferos.

En el Proyecto Hidrogeológico desarrollado entre 1975 y 1977 por la Diputación Foral de Navarra (D.F.N.), los materiales de la zona se agrupan en 2 Unidades Hidrogeológicas con funcionamiento independiente, si bien pueden presentar localmente algunas conexiones.

Por orden cronoestratigráfico son:

- Unidad Hidrogeológica Sur
- Unidad Hidrogeológica del Aluvial del Ebro y Afluentes

5.2.2.1. Unidad Hidrogeológica Sur

Geometría.

La Unidad Hidrogeológica Sur está representada por los materiales terciarios de relleno de la Cuenca del Ebro en condiciones endorreicas.

La Hoja se emplaza en el sector central de la Cuenca por lo que predominan las facies lutíticas de origen aluvial y, a muro de la serie, las formaciones evaporíticas lacustres, constituyendo un conjunto bastante impermeable.

A pesar de la proximidad del Dominio Plegado del Ebro (Sector de Lodosa-Falces), la serie terciaria se encuentra muy poco deformada en la Hoja. Con eje centrado en el valle del Aragón, en la parte NO de la Hoja se distingue una estructura muy laxa correspondiente a la terminación periclinal hacia el Este del Anticlinal de Pitillas. La serie terciaria se dispone a ambos flancos con buzamientos muy bajos ($<5^\circ$).

Las formaciones lutíticas intercalan niveles de areniscas de escasa potencia (decimétrica). En ocasiones estos niveles alcanzan espesores de orden métrico constituyendo acuíferos locales de escasa entidad.

Funcionamiento hidrogeológico

Los niveles más potentes de areniscas pueden formar pequeños acuíferos confinados que permiten cierta circulación de agua en zonas con desarrollo de fracturación y/o diaclasado, y especialmente en situación próxima a la superficie, donde presentan procesos de descalcificación. A mayor profundidad disminuye la porosidad por una mayor cementación, aumentando la mineralización de las aguas.

En estos casos la recarga se produce esencialmente por infiltración del agua de lluvia. La descarga se realiza por manantiales dispersos y por transferencia hacia los ríos a través de depósitos cuaternarios permeables. Los caudales registrados en los manantiales y pozos son bajos, con valores inferiores a 1 l/s.

Parámetros hidráulicos:

No existen datos concretos de permeabilidad, transmisividad, coeficiente de almacenamiento, etc., basados en ensayos de bombeo o test hidráulicos realizados en la zona.

El elevado grado de consolidación de muchos de los niveles areniscos limita la porosidad eficaz y por tanto su permeabilidad. Esto, unido a su carácter anisotrópico o individualizado, reduce las posibilidades de explotación.

5.2.2.2. Unidad Hidrogeológica del Aluvial del Ebro y Afluentes

Geometría

De acuerdo con la descripción propuesta en D.F.N., (1975-77), la presente Unidad Hidrogeológica comprende las llanuras aluviales o fondos de valle y las terrazas encajadas del río Ebro y sus principales afluentes. Se extiende desde Logroño hasta Cortes y ocupa una superficie de unos 900 km², de los que 735 km² pertenecen a Navarra.

En la presente Hoja, (Carcastillo, 206-III), comprende los acuíferos cuaternarios ligados al curso medio del río Aragón. Los niveles de mayor interés se encuentran en las terrazas bajas y medias, si bien se integran también en la Unidad Hidrogeológica las terrazas altas y parte de los sistemas de abanicos aluviales.

Los niveles acuíferos corresponden a arenas y gravas de cantos heterométricos, y registran una escasa o nula cementación. Suelen estar incluidos en materiales fangosos de inundación, consistentes en limos y arcillas.

De acuerdo con los perfiles geofísicos referidos en D.F.N (1975-77), los principales niveles de interés en el aluvial del Aragón, para el que se considera una anchura media de unos 5-6 km, raramente superan los 20 m de espesor sí bien registran una notable continuidad y valores altos de resistividad, lo que indica el predominio de arenas limpias.

Otros depósitos cuaternarios permeables, entre los que destacan las terrazas altas, se encuentran en buena parte desconectados de los valles principales, constituyendo acuíferos locales aislados.

Funcionamiento hidrogeológico.

El sistema del aluvial del Ebro y afluentes se comporta como un acuífero único de carácter libre en el que los diversos niveles de terrazas están conectados hidráulicamente.

La recarga se realiza esencialmente por infiltración del agua de lluvia (estimada para la Unidad en unos 45 hm³/año) y de los excedentes de los riegos (unos 90 hm³/año) y, en menor medida, por escorrentía de las aguas procedentes de los relieves circundantes o transmitidas por otros acuíferos e inundaciones estacionales por desbordamientos de los ríos.

La explotación del agua subterránea supone alrededor del 30% de la recarga por lo que los ríos son efluentes y constituyen las principales vías de descarga de la Unidad. No obstante pueden registrar esporádicamente un comportamiento como influentes por inundaciones en épocas de crecidas.

La piezometría del sistema está predominantemente influida por los ríos, presentando oscilaciones de nivel del orden de unos 4 m. En general se establece una buena conexión río-acuífero, con niveles altos en primavera-invierno y bajos en verano. Localmente se distinguen zonas de conexión hidráulica deficiente, con oscilaciones de nivel de unos 2 m. La piezometría está directamente condicionada en estos casos por los retornos de los riegos, observándose un comportamiento inverso al general, con niveles altos en verano y bajos en primavera-invierno. El gradiente hidráulico oscila entre 2 y 0,05 %.

En los acuíferos colgados la recarga se establece por infiltración del agua aportada por la lluvia y por los riegos. La descarga se realiza a favor de pequeños manantiales y por transferencia a otras formaciones más o menos permeables.

Parámetros hidráulicos.

Se han recopilado los datos existentes en el libro de "Las aguas subterráneas en Navarra" (D.F.N., 1975-77). En el marco de este proyecto se realizaron ensayos que proporcionaron para el aluvial del Aragón unos valores de transmisividad comprendidos entre 3.000 y 100 m²/día, siendo muy frecuentes los registros de 300-500 m²/día. La porosidad eficaz es de un 10-30 %.

Las reservas evaluadas para los acuíferos aluviales del Aragón se reflejan en el siguiente Cuadro, habiéndose estimado un espesor saturado medio y una porosidad eficaz del 10%.

RESERVAS ESTIMADAS DEL ACUÍFERO ALUVIAL DEL RÍO ARAGÓN

<i>Acuífero</i>	<i>Superficie (km²)</i>	<i>Espesor saturado medio (m)</i>	<i>Porosidad %</i>	<i>Reservas (hm³)</i>
Aragón	135	13	10	175

Las aguas del acuífero del Aragón muestran una composición muy poco variable, son netamente bicarbonatadas cálcicas y registran una dureza media y mineralización alta.

5.3. GEOTECNIA

5.3.1. Introducción

En este apartado se describe la cartografía geotécnica de la Hoja a escala 1:25.000 de Carcastillo (207-III) correspondiente al Mapa a escala 1:50.000 de Sos del Rey Católico y se establecen las características geomecánicas de los materiales que la componen.

La escasa disponibilidad de datos procedentes de obras y proyectos ha condicionado que la valoración geotécnica de esta Hoja se realice fundamentalmente a partir de las características litológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas de los materiales, por lo que se trata de una evaluación esencialmente cualitativa.

El objetivo de este trabajo es proporcionar al usuario una información complementaria de carácter general, pero lo suficientemente objetiva, que sirva de punto de partida para orientar hacia futuros trabajos de planificación territorial y campañas geotécnicas puntuales.

5.3.2. Metodología

Para la realización de este capítulo se han seguido las siguientes etapas:

- **Recopilación de los datos existentes.** En todo el ámbito de esta Hoja no hay datos geotécnicos disponibles procedentes de obras u otro tipo de trabajos. Para solventar esta deficiencia, la información se completa con la procedente de unidades equivalentes en sectores próximos de la Comunidad Navarra.

- **Realización de la base de datos.** Ante la ausencia de datos no se ha elaborado ficha geotécnica de recopilación de ensayos de laboratorio. Estos ensayos tratan de establecer, de la manera más adecuada, la posible la naturaleza actual de la roca, su comportamiento mecánico y/o hidráulico y la evolución y propiedades de la misma bajo los procesos de meteorización. Los ensayos de laboratorio se puede clasificar en los siguientes grupos:

. IDENTIFICACIÓN; establecen la naturaleza de la roca y su estado natural aparente (granulometría, límites de Atterberg, densidad y humedad, absorción, grado de meteorización).

. CLASIFICACIÓN; intentan establecer una idea general del comportamiento de la roca con relación a criterios previamente establecidos. (Índice de Calidad, resistencia a compresión simple, *point load test*).

. RESISTENCIA, compactación y deformación; determinan parámetros resistivos y relaciones tensión-deformación. Algunos de estos ensayos se utilizan como base para múltiples clasificaciones (CBR, Proctor Normal, Corte Directo).

. ALTERABILIDAD; evalúa el comportamiento del macizo rocoso frente a los procesos de meteorización, una vez modificados sus condiciones originales de estabilidad (análisis químicos, hinchamiento, durabilidad).

Igualmente, se suelen consultar datos referentes a sondeos y penetrómetros, en este caso también inexistentes, reseñando, cuando es posible, el índice de calidad de la roca (R.Q.D.)

- **Zonificación en áreas de iguales características.** A partir de los datos anteriormente comentados e interpretando las unidades geológicas cartografiadas, se procede a la zonificación de la superficie de la Hoja en áreas de iguales características (geotécnicas y litológicas). En este caso, ante la ausencia de ensayos, los criterios seguidos para establecer esta zonificación han sido las características litológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas de los materiales, observadas durante los reconocimientos de campo.

5.3.3. Zonificación geotécnica

5.3.3.1. Criterios de división

La superficie de la Hoja 1:50.000 de Sos del Rey Católico (207) se ha dividido, en función de las características de los materiales, en dos Áreas que presentan una entidad propia y cierta homogeneidad. Posteriormente, estas Áreas han sido divididas a su vez en un total de 5 Zonas, siguiendo criterios básicamente litológicos y morfológicos.

5.3.3.2 División en Áreas y Zonas Geotécnicas

Las Áreas geotécnicas consideradas en el conjunto de los 4 cuadrantes de la Hoja 207 a escala 1:50.000 (Sos del Rey Católico) son las siguientes:

ÁREA I: Engloba los materiales de la serie terciaria (Oligoceno y Mioceno)

ÁREA II: Agrupa todos los depósitos cuaternarios

Estas Áreas se han dividido en las siguientes Zonas:

ÁREA I: ZONAS I₁ y I₃

ÁREA II: ZONAS II₁, II₂, II₃ y II₄

En el Cuadro 1 se presenta la correlación entre las Unidades Geológicas cartografiadas y las Zonas Geotécnicas para el caso particular de la Hoja 1:25.000 de Carcastillo (207-III).

UNIDAD CARTOGRÁFICA	ZONACIÓN GEOTÉCNICA	DESCRIPCIÓN
26	II ₅	Escombros y vertidos antrópicos
23	II ₄	Lutitas con cantos, gravas y arenas
20 y 25	II ₃	Lutitas con cantos y bloques
18	II ₂	Limos y arcillas con cantos
11, 12, 13, 14 ,16, 21 y 22	II ₁	Conglomerados, gravas, arenas y lutitas
4 y 7	I ₃	Lutitas y areniscas
6 y 9	I ₁	Alternancia de areniscas y lutitas

CUADRO 1.- CORRELACIÓN ENTRE LAS UNIDADES GEOLÓGICAS Y ZONAS GEOTÉCNICAS

5.3.4. Características geotécnicas

5.3.4.1. Introducción

La falta de datos geotécnicos puntuales ha condicionado la caracterización geotécnica de cada una de las Zonas. En algunos casos se ha realizado una caracterización por correlación con formaciones litológicamente similares de áreas próximas o del ámbito de la Comunidad Navarra. Por esta razón se trata de una caracterización aproximada.

Por otra parte, la generalización de valores de ensayos puntuales al conjunto de una Zona es complicada, sobre todo cuando en ella coexisten varios conjuntos litológicos con un comportamiento geomecánico diferente, y que no admiten ser diferenciados por razones de escala de trabajo. Cuanto mayor sea la heterogeneidad litológica de cada Zona, mayor será la dispersión de los valores; por tanto, la mayor o menor fiabilidad de los datos aportados vendrá condicionada por el grado de homogeneidad litológica de las Zonas Geotécnicas.

De cada Zona Geotécnica se aportan datos sobre características constructivas, tales como condiciones de cimentación, excavabilidad, estabilidad de taludes, empuje sobre contenciones, aptitud para préstamos, aptitud para explanada de carreteras y comportamiento para obras subterráneas. Así mismo, se señalan los principales problemas geotécnicos que pueden presentarse y que en general, van a estar relacionados con la presencia de turbas o arcillas compresivas, nivel freático superficial, zonas de alteración superficial del sustrato rocoso, erosiones y arrastres de materiales en laderas, desprendimientos de rocas y, finalmente, suelos solubles y agresivos (yesíferos y salinos).

A continuación se describe el tipo de información que se obtiene a partir de los ensayos de laboratorio. Hay que señalar que estos valores deben considerarse como orientativos y en ningún caso pueden sustituir a los ensayos geotécnicos de detalle.

Granulometría. Del análisis granulométrico se obtiene el contenido de finos que presenta el suelo, es decir, el porcentaje que pasa por el tamiz N° 200 (0.08 mm) de la serie ASTM. Estos datos son utilizados posteriormente en diversas clasificaciones.

Plasticidad. Sirve para clasificar los suelos cohesivos mediante los parámetros del límite líquido (WL) y el índice de plasticidad (IP), utilizando la carta de plasticidad de Casagrande.

Resistencia a compresión simple (Q_u , kp/cm^2). Determina las características de resistencia y deformación de una muestra seca. Respecto a la resistencia de suelos y rocas, existen numerosas clasificaciones; una de la más utilizada, es la descrita por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas:

ROCA		ENSAYO DE CAMPO	
Descripción	Co (MPa)	Navaja	Martillo geológico
Extr. resistente	>250	No corta	El golpe arranca pequeños trozos
Muy resistente	100-250	No corta	Se rompe con muchos golpes
Resistente	50-100	No corta	Se rompe con varios golpes
Medio resistente	25-50	No corta	Se rompe con un solo golpe
Blanda	5-25	Corta con dificultad	Puede indentarse con el pico
Muy blanda	1-5	Corta fácilmente	Se puede machacar

Ensayo Proctor Normal. Permite calcular la densidad máxima y humedad óptima de compactación del suelo o material utilizado en explanada, con el fin de que adquiera las condiciones de estabilidad volumétrica, resistencia, indeformabilidad e inalterabilidad necesarias.

Ensayo C.B.R. (California Bearing Ratio). Evalúa la capacidad de soporte de los materiales para constituir una explanada, es decir, la resistencia que ofrecen a la deformación bajo cargas.

Ensayo de corte directo. Permite determinar la cohesión (c') y el ángulo de rozamiento interno (ϕ) de una muestra de roca o discontinuidad. Es de gran aplicación práctica en el cálculo de estabilidad de taludes.

Análisis químicos. Sirven para obtener el contenido en Materia Orgánica, Carbonatos y Sulfatos. En estos últimos se determina la agresividad del terreno mediante el contenido en sulfatos, valorado según la normativa que se expone a continuación:

En las aguas	En el terreno	Agresividad
< 0,03	< 0,2	Débil
0,03 a 0,1	0,2 a 0,5	Fuerte
> 0,1	> 0,5	Muy fuerte

Las características constructivas de los diferentes materiales se estudian para condiciones de cimentación y para obras de tierra.

- CIMENTACIÓN. Se evalúa la capacidad portante del terreno. Normalmente se ha utilizado el criterio expuesto en el Código Británico nº 4 y Norma DIN-1054, que establece cargas admisibles de 15 kp/cm² y de 30 kp/cm² para roca poco diaclasada y no meteorizada con estratificación favorable en estado masivo o columnar. (En caso de rocas diaclasadas o con disposición desfavorable de los planos de estratificación, estos valores deberán reducirse a la mitad.

Descripción de la roca	kp/cm ²
Roca ígnea o gnéisica sana	109
Calizas masivas y areniscas duras	44
Esquistos y pizarras	33
Lutitas duras, limolitas y areniscas blandas	22
Lutitas arcillosas	11

Cargas admisibles según el código de práctica británico nº 4, para diferentes tipos de roca.

En suelos y debido a que no se dispone de datos sobre asentamientos, éstos se estiman en función de la consistencia media del terreno. Asimismo, se señalan los problemas concretos de cimentación que pueden darse en cada Zona Geotécnica; los más generalizados están relacionados con asentamientos diferenciales, presencia de agua subterránea, presencia de sulfatos en el sustrato, debido a la alta reactividad de los mismos con el hormigón, y riesgos de colapsos en aquellas unidades con presencia potencial de cavidades subterráneas.

- EXCAVABILIDAD. Los terrenos se han clasificado de acuerdo con la Norma Tecnológica de Edificación (Acondicionamiento del Terreno. Desmontes. Vaciados; NTE-ADV, 1976) en los siguientes grupos: 1) Duro. Atacable con máquina o escarificador, pero no con pico, como terrenos de tránsito, rocas descompuestas, tierras muy compactas; 2) Medio. Atacable con el pico, pero no con la pala, como arcillas semicompactas, con o sin gravas o gravillas; 3) Blando. Atacable con la pala, como tierras sueltas, tierra vegetal, arenas. Cuando en la excavación se encuentran mezclados los terrenos se establece el porcentaje de cada uno de los tres tipos.

- ESTABILIDAD. Dos son los parámetros que condicionan estos procesos: Litología (y estructura) y pendiente del talud. En consecuencia, en cuanto a la naturaleza de los materiales se evalúa su estabilidad en tres grupos (alta, media y baja), desechándose aquellas unidades geológicas que por su litología no son favorables a la aparición de situaciones de inestabilidad. Por lo que se refiere a la pendiente, se estima una inclinación del 10% como límite inferior a la aparición de estos fenómenos.

- EMPUJES SOBRE CONTENCIÓNES. Hacen referencia a contenciones del terreno natural, no de rellenos realizados con los materiales de cada zona.

- APTITUD PARA PRÉSTAMOS. Se ha utilizado básicamente el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales de la Dirección General de Carreteras (P.P.T.G.). El término No Apto designa suelos inadecuados; Marginal, designa suelos que unas veces son inadecuados y otras tolerables e incluso adecuados; el término Apto, designa suelos tolerables, adecuados e incluso seleccionados.

- APTITUD PARA EXPLANADA EN CARRETERAS. Se evalúa la capacidad de soporte de los materiales para constituir una explanada, es decir, la resistencia que ofrecen a la deformación bajo cargas. Se ha tomado como referencia la Instrucción de Carreteras, Normas de Firmes Flexibles y Firmes Rígidos. Se entiende por suelo No Apto, aquel que no puede constituir un desmonte ni un terraplén explanada tipo E-1 (Suelos tolerables al menos estabilizado en sus 15 cm superiores, con CBR de 5 a 10). Marginales son aquellos que cumplen a veces dicha condición; en especial suele referirse a terrenos tolerables, que no conviene que sean explanada directamente (CBR de 10 a 20). Aptos, son terrenos frecuentemente adecuados y seleccionados; constituyen explanadas tipo E-3 (CBR > 20). En terraplenes y pedraplenes, la categoría de la explanada dependerá del material utilizado en su coronación.

En obras subterráneas. Se utiliza el término "Muy Difícil" para suelos muy blandos por debajo del nivel freático o suelos potencialmente expansivos; "Difícil" designa terrenos blandos o arenosos limpios bajo el nivel freático; y "Medio", suelos firmes, casi rocas blandas, que sólo a veces presentan problemas de nivel freático, con cierta capacidad de autoaporte y sin empujes fuertes.

Para las formaciones rocosas se da una idea de su categoría en las clasificaciones de BIENIAWSKI (1979), que obtiene un índice de calidad (RMR, *Rock Mass Rating*), mediante la valoración de una serie de parámetros (RQD, Resistencia, Presencia de agua, Separación entre diaclasas y Disposición de juntas respecto a la excavación). El objetivo de esta clasificación es definir el tipo de sostenimiento a efectuar en obras subterráneas concretas. Bieniawski establece cinco categorías en función del valor RMR:

Clase I Roca muy buena: RMR = 81-100

Clase II Roca buena: RMR = 61-80

Clase III Roca media: RMR = 41-60

Clase IV Roca mala: RMR = 21-40

Clase V Roca muy mala: RMR < 20

5.3.4.2. Área I

ZONA I₁

Características Geológico-Geotécnicas

La presente zona se distingue de la anterior por su mayor contenido en intercalaciones de areniscas, que pueden hacerse predominantes en algunos tramos de la serie terciaria. Comprende las Unidades cartográficas 6 y 9, que caracterizan a las Unidades de Olite y Artajona y que se desarrollan esencialmente en el extremo N. y NO de la Hoja.

Las lutitas se presentan en estratos de espesor variable normalmente de espesor decimétrico a métrico. Las areniscas son de grano fino a medio, y se encuentran cementadas por CaCO₃. Constituyen niveles lenticulares de potencia métrica, o bien forman capas tabulares de espesor decimétrico a métrico.

La meteorización produce una pérdida de cementación de las areniscas a las areniscas en sus niveles superficiales. En las lutitas origina cambios de coloración y tiende a disminuir su compacidad natural, aumentando por tanto su erosionabilidad. El tránsito entre roca sana y alterada es transicional.

En general, la permeabilidad es baja, debido a la propia naturaleza de las lutitas y a la escasa porosidad eficaz de las areniscas a causa de su cementación. No obstante, estas últimas presentan una permeabilidad mayor a nivel superficial, y hasta una profundidad de 10 m, debido a la fracturación y presencia de juntas abiertas.

Se dispone de los siguientes ensayos de Laboratorio:

Cuadro Resumen de Características Geotécnicas (Roca inalterada)		
Clasificación de Casagrande	CL	
% pasa tamiz nº 200	58,2-99,8	
Límite líquido	37,25	
Índice plasticidad	20,33	
Humedad	14,5 %	
PROCTOR Normal	Densidad máxima	2,05 gr/cm ³
	Humedad óptima	11,6 %
Índice C.B.R.	4,4	
Resistencia a compresión simple (lutitas sanas)	> 25 kp/cm ²	
Resistencia a compresión simple (areniscas)	300-700 kp/cm ²	
R.Q.D. medio	80-100 %	
Ángulo rozamiento interno (ϕ)	30°	
Cohesión (c')	0,15	

La característica fundamental del macizo rocoso que constituye esta zona, es la alternancia de materiales de diferente litología (y por tanto, diferente comportamiento mecánico) en estratos y capas de espesor variable, factores estos que condicionan decisivamente el comportamiento geomecánico del conjunto.

Características constructivas:

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN

La Norma DIN 1054 y el Código Británico establecen presiones admisibles del orden 20 kp/cm², valores que deben reducirse a la mitad cuando el espesor de los tramos lutíticos aumenta o la disposición de la estratificación y grado de diaclasado son desfavorables. Se estima que la capacidad portante de estos materiales se sitúa entonces entre 6 y 10 kp/cm², valores suficientes para el caso de edificios habituales en los que las cargas proyectadas son inferiores a 3-4 kp/cm².

El tipo de cimentación será en general superficial, previa eliminación del horizonte de alteración. Es de esperar la presencia de asientos diferenciales y fenómenos de punzonamiento debido a la intercalación de niveles lutíticos blandos entre los paquetes de areniscas

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

Excavabilidad. En general, son materiales Duros, por lo que su excavación precisa el empleo de explosivos. Las lutitas alteradas son fácilmente excavables.

Estabilidad de taludes. La naturaleza de estos materiales en cuanto a sus parámetros resistivos y disposición alternante no favorece la aparición de deslizamientos. Por otra parte, los bajos buzamientos registrados dificultan la aparición de inestabilidades. Únicamente existe riesgo de caída de bloques en los resaltes areniscosos en aquellas zonas donde existan escarpes pseudoverticales o en voladizo por descalce de los niveles lutíticos inferiores.

Empuje sobre contenciones. Bajos para las lutitas, y No serán necesarios para las areniscas.

Aptitud para préstamos. Las niveles arcillosos se consideran No Aptos para su uso en terraplenes y pedraplenes. Los niveles de areniscas constituyen, por el contrario, Terrenos Adecuados.

Aptitud para explanada en carreteras. En el caso de desmontes en roca, la categoría de la explanada areniscas es la E-3, mientras que sobre las lutitas se requerirá la extensión de un firme seleccionado.

Obras subterráneas. Se encuadran entre la Clase III (Calidad Media) y Clase IV (Calidad Mala) de la Clasificación de BENIAWSKI (1979), jugando un papel importante la orientación de la estratificación y el grado de diaclasado

ZONA I₃

Características Geológico-Geotécnicas

Esta zona agrupa varias formaciones eminentemente arcillosas y sus intercalaciones de escaso espesor de areniscas. Se trata por tanto de una zona geotécnica poco competente dentro de la cual destacan morfológicamente algunos niveles duros correspondientes a las intercalaciones mencionadas.

Dentro de la Hoja de Carcastillo (207-III) los afloramientos de la Zona I₁ ocupan dos zonas diferenciadas: Núcleo del Anticlinal de Pitillas, centrado en el valle del Aragón, y mitad suroriental de la Hoja, que forma parte de la denominada región de Las Bardenas.

En el valle del Aragón corresponde a la Unidad cartográfica 4, que se encuentra muy cubierta por los depósitos cuaternarios. Hacia el SE la Zona está constituida por la Unidad 7, Facies de Las Bardenas, que se extiende ampliamente por esta región.

La meteorización produce una alteración y cambio de coloración en la zona superficial de las arcillas, fomentando la erosionabilidad ya originalmente elevada de estos materiales. En los niveles de areniscas se produce, a nivel superficial, una pérdida de cementación, aunque se mantiene cierta competencia.

La permeabilidad es muy baja para el conjunto, únicamente puede registrarse cierta circulación de agua subterránea en los niveles areniscosos más potentes, a través de diaclasas y fracturas.

Como en casos anteriores, no se dispone de ensayos de laboratorio. Sin embargo, en este caso la similitud de facies permite extrapolar las características constructivas consideradas para otras unidades semejantes investigadas anteriormente en la Comunidad Foral.

Características constructivas:

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN

Se consideran cargas admisibles de 1,3 a 3 kp/cm² para los términos lutíticos. La profundidad mínima de cimentación se estima en 1,5 a 2 m

Entre los problemas de cimentación pueden preverse los siguientes: a) variación del horizonte alterado, que puede provocar asientos diferenciales y b) intercalaciones de materiales detríticos

que producen variaciones en las condiciones geotécnicas, entre ellas la facilidad de excavación.

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

Excavabilidad. Los términos arcillosos son fácilmente excavables, especialmente los niveles someros de alteración. A mayor profundidad pueden variar de excavables a ripables en función de su grado de cementación. Las intercalaciones de areniscas se consideran no ripables para espesores superiores a los 15 cm, casos en lo que se requiere el uso de martillo.

Estabilidad de taludes. Se pueden dar problemas de deslizamientos en tramos potentes con predominio de arcillas, sin que prevean inestabilidades por buzamientos desfavorables debido a la disposición subhorizontal de la serie terciaria. Por otra parte puede haber un deterioro progresivo del talud por la alteración y pérdida de cementación de los términos lutíticos. En taludes con buzamientos favorables la presencia de intercalaciones puede facilitar el diseño en bancos de los desmontes.

Empuje sobre contenciones. Bajos en margas, moderados en arcillas

Aptitud para préstamos. No son materiales aptos para su uso en terraplenes y pedraplenes.

Aptitud para explanada en carreteras. En general deben constituir suelos E2 no aptos o marginales, que precisarán la extensión sobre ellos de una explanada mejorada.

Obras subterráneas. Se encuadran entre la Clase III (calidad media) y la Clase IV (calidad Mala) de la Clasificación de BIENIAWSKI (1979).

5.3.4.3. Área II

ZONA II₁

Características Geológicas

Comprende esta zona el conjunto de formaciones cuaternarias de génesis aluvial-fluvial. Ésta se caracterizan por presentar una proporción elevada de términos clásticos en el depósito (conglomerados, gravas y arenas) y por ocupar áreas llanas (zonas deprimidas de

los valles y superficies medias y altas). Se han incluido en este apartado pues las unidades cartográficas 11 a 14, 16, 21 y 22.

Predominan los materiales aportados por río Aragón, correspondiendo mayoritariamente a terrazas que cubren buena parte de la mitad meridional de la Hoja. Cabe mencionar también los materiales pertenecientes al sistema de abanicos que penetra por el NE, preservándose en los rellanos morfológicos más elevados.

Litológicamente es patente el predominio de gravas y conglomerados con algo de arenas, constituyendo depósitos generalmente no consolidados, y en algunos casos es apreciable el contenido en finos (meandros abandonados, terrazas, etc.)

Características geotécnicas

Se trata de materiales poco consolidados, donde los problemas geotécnicos están condicionados por su disposición. En la presente Hoja no se dispone de ensayos geotécnicos. No obstante se presentan a continuación algunos resultados de ensayos efectuados sobre depósitos semejantes en otros puntos de la Comunidad Navarra.

Cuadro Resumen de Características Geotécnicas	
Contenido en Grava (>5mm)	65 %
Contenido en Arena (5-0.08mm)	20 %
Contenido en Finos (<0.08mm)	15 %
Límite Líquido (WL)	-
Límite Plástico (WP)	No plástico
Índice de Plasticidad (IP)	-
Clasificación de Casagrande	GW-GM
Densidad Máxima Proctor Normal	2,13 gr/cm ³
Humedad Óptima Proctor Normal	7 %
Ángulo de Rozamiento Interno (ϕ)	40 °
Cohesión (C')	2,20

En las áreas bajas hay que evaluar el riesgo potencial de inundaciones y avenidas ligadas a precipitaciones importantes concentradas, dada la proximidad del cauce del río Aragón.

Los materiales poseen, en general, una permeabilidad alta por permeabilidad intergranular. Las terrazas bajas y otros depósitos fluviales relacionados presentan un nivel freático continuo y somero. Las terrazas medias, altas y abanicos constituyen acuíferos locales colgados.

Características constructivas

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN.

Para el conjunto de los materiales que definen la Zona, se estima una capacidad portante variable entre 1 y 3,5 kp/cm², dependiendo de que se trate de un limo de consistencia más o menos rígida o una grava de compacidad alta, y de la presencia o ausencia de nivel freático.

El tipo de cimentación será superficial, salvo cuando no se reúnan las condiciones anteriores, las cargas proyectadas sean superiores a las dadas, en el caso de depósitos aluviales (con alto riesgo de avenidas), que será necesario encontrar niveles profundos más resistentes (incluso el sustrato). En estos casos, el tipo de cimentación será semiprofunda.

Los condicionantes geotécnicos más importantes estarán relacionados con la posición del nivel freático, que puede dar lugar a subpresiones y fenómenos de inestabilidad en excavaciones y obras, así como agotamientos importantes. Por otro lado, la presencia eventual de intercalaciones de arcillas blandas puede provocar asentamientos diferenciales no admisibles y sobre sustrato yesífero es elevado el riesgo de hundimientos del terreno por colapso.

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

Excavabilidad. Constituyen Terrenos Medios, su excavación puede efectuarse por medios mecánicos sin dificultad.

Estabilidad de taludes. La estabilidad del talud dependerá de la profundidad del nivel freático y del tipo de unidad morfológica. En general, para alturas superiores a 3 m pueden proyectarse taludes 3H:4V. De manera ocasional, pueden producirse pequeños desprendimientos de escasa relevancia en los bordes de taludes subverticales.

Empujes sobre contenciones. Serán de tipo Medio. En zonas de gravas varían de Altos a Bajos en función de la profundidad del nivel freático.

Aptitud para préstamos. En general constituyen Terrenos Aptos, ocasionalmente marginales. Los tramos de gravas se consideran Aptos, si bien precisan una clasificación que elimine los tamaños gruesos (8-10 cm).

Aptitud para explanada en carreteras. Se trata esencialmente de suelos Aptos constituyendo explanadas de tipo E2 y E3, exceptuando los niveles de gravas formadas por cantos de gran

tamaño que precisen una regularización de la superficie o aquellos fondos de desmonte que queden en términos lutíticos.

Obras subterráneas. La mayoría de las obras subterráneas de envergadura afectan al sustrato. Sin embargo en obras de menor diámetro (conducciones subterráneas) encontrarán Terrenos Difíciles, según lo establecido en la metodología, que precisarán entibación total.

ZONA II₂

Características Geológicas

Se integran en esta Zona las formaciones cuaternarias desarrolladas en la salida de barrancos o arroyos (conos de deyección, unidad 18) y están formados por depósitos lutíticos con cantos más o menos dispersos en función de su posición y área madre.

Presentan por tanto una cierta pendiente deposicional y gradación clástica grosera a distancia creciente del relieve.

Litológicamente constituyen un depósito bastante heterogéneo formado por una matriz fangosa que engloba cantos poco rodados en proporciones muy variables y cuya naturaleza depende de la litología del área de procedencia.

Características Geotécnicas

Constituyen materiales sueltos de muy baja a nula consolidación cuyos problemas geotécnicos derivan directamente de su posición geomorfológica. No se cuenta con información procedente de ensayos realizados en el ámbito de la Hoja de modo que los parámetros geotécnicos se han obtenido por correlación con unidades de comportamiento similar presentes en otros sectores de la Comunidad Navarra.

Cuadro Resumen de Características Geotécnicas	
Humedad	20,5 %
Contenido en Finos (<0.08mm)	75-80,4 %
Límite Líquido (WL)	28-40,4
Índice de Plasticidad (IP)	12-19,2
Clasificación de Casagrande	GC-CL
Densidad Máxima Proctor Normal	1,8 gr/cm ³
Humedad Óptima Proctor Normal	15-12,7 %
Ángulo de Rozamiento Interno (ϕ)	30,5-38 ^{oo}
Cohesión (c')	1,0
Contenido en sulfatos	0,01%

Los datos expuestos corresponden a suelos limo-arcillosos de escasa plasticidad y baja capacidad portante, consistencia media y valor alto del índice CBR, no obstante y principalmente en función de los contenidos en fracción clástica, puede variar ostensiblemente el grado de plasticidad, cohesión y comportamiento en explanadas

Desde el punto de vista hidrogeológico corresponden a materiales de baja permeabilidad, eventualmente media, caso en el que permiten cierta circulación de agua subterránea y, en principio, no deben presentar problemas de drenaje dada la pendiente deposicional natural.

Características constructivas

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN.

Se consideran cargas admisibles entre 1,5-2,5 kp/cm². En general, se debe cimentar sobre el sustrato rocoso, mediante cimentación superficial o semiprofunda por pozos, en función de la potencia de los materiales, con el fin de evitar posibles fenómenos de inestabilidad, especialmente en áreas con pendientes apreciables. Hay que prestar atención al contenido en humedad ante la posibilidad de cambios volumétricos.

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

Excavabilidad. Se consideran Terrenos Medios; su excavación puede realizarse normalmente sin dificultad por medios mecánicos.

Estabilidad de taludes. Constituyen depósitos no consolidados estables en condiciones naturales si no se alteran sus condiciones de equilibrio.

Empuje sobre contenciones. En general, serán de tipo Medio.

Aptitud para préstamos. Previa eliminación de la cubierta vegetal, constituyen suelos Marginales, eventualmente Adecuados en función de la proporción en fangos.

Aptitud para explanada en carreteras. Los fondos de desmontes quedarán en suelos inadecuados a tolerables, constituyendo explanadas de categoría E1 o inferior.

Obras subterráneas. Normalmente este tipo de obras afectará a materiales del sustrato, dado el reducido espesor de los depósitos. No obstante, para obras de pequeña envergadura, deberán calificarse como Terrenos Difíciles, que pueden precisar entibación total.

ZONA II₃

Características Geológicas

Se integran en esta Zona las formaciones cuaternarias desarrolladas de forma característica en laderas (coluviones, y zonas con pequeños deslizamientos en zonas lutíticas, unidades 20 y 25) y que están formados por depósitos fangosos con cantos y a veces bloques más o menos dispersos.

Presentan por tanto una cierta pendiente deposicional y gradación clástica grosera a distancia creciente del relieve.

Litológicamente constituyen un depósito bastante heterogéneo formado por una matriz fangosa que engloba cantos poco rodados y bloques en proporciones muy variables y cuya naturaleza depende de la litología del área de procedencia.

Características Geotécnicas

Constituyen materiales sueltos de muy baja a nula consolidación cuyos problemas geotécnicos derivan directamente de su posición geomorfológica. No se cuenta con información procedente de ensayos realizados en el ámbito de la Hoja de modo que los parámetros geotécnicos se han obtenido por correlación con unidades de comportamiento similar presentes en otros sectores de la Comunidad Navarra.

Cuadro Resumen de Características Geotécnicas	
Humedad	20,5 %
Contenido en Finos (<0.08mm)	75-80,4 %
Límite Líquido (WL)	28-40,4
Índice de Plasticidad (IP)	12-19,2
Clasificación de Casagrande	GC-CL
Densidad Máxima Proctor Normal	1,8 gr/cm ³
Humedad Óptima Proctor Normal	15-12,7 %
Ángulo de Rozamiento Interno (ϕ)	30,5-38°
Cohesión (c')	1,0
Contenido en sulfatos	0,01%

Los datos expuestos corresponden a suelos limo-arcillosos de escasa plasticidad y baja capacidad portante, consistencia media y valor alto del índice CBR, no obstante y principalmente en función de los contenidos en fracción clástica, puede variar ostensiblemente el grado de plasticidad, cohesión y comportamiento en explanadas

Desde el punto de vista hidrogeológico corresponden a materiales de baja permeabilidad, eventualmente media, caso en el que permiten cierta circulación de agua subterránea y, en principio, no deben presentar problemas de drenaje dada la pendiente deposicional natural.

Características constructivas

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN.

Se consideran cargas admisibles entre 1,5-2,5 kp/cm². En general, se debe cimentar sobre el sustrato rocoso, mediante cimentación superficial o semiprofunda por pozos, en función de la potencia de los materiales, con el fin de evitar posibles fenómenos de inestabilidad, especialmente en áreas con pendientes apreciables. Hay que prestar atención al contenido en humedad ante la posibilidad de cambios volumétricos.

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

Excavabilidad. Se consideran Terrenos Medios; su excavación puede realizarse normalmente sin dificultad por medios mecánicos.

Estabilidad de taludes. Constituyen depósitos no consolidados estables en condiciones naturales si no se alteran sus condiciones de equilibrio.

Empuje sobre contenciones. En general, serán de tipo Medio.

Aptitud para préstamos. Previa eliminación de la cubierta vegetal, constituyen suelos Marginales, eventualmente Adecuados en función de la proporción en fangos.

Aptitud para explanada en carreteras. Los fondos de desmontes quedarán en suelos inadecuados a tolerables, constituyendo explanadas de categoría E1 o inferior.

Obras subterráneas. Normalmente este tipo de obras afectará a materiales del sustrato, dado el reducido espesor de los depósitos. No obstante, para obras de pequeña envergadura, deberán calificarse como Terrenos Difíciles, que pueden precisar entibación total.

ZONA II₄

Características Geológico-Geotécnicas

En esta Zona se incluyen una serie de depósitos poco consolidados asociados a la red fluvial actual (fondos de valle, unidad 23). Presentan un cierto grado de inundabilidad, en función de las fluctuaciones del nivel de agua.

Litológicamente se trata de depósitos lutíticos, a veces con cantos y a veces gravas, que se localizan a favor de los cursos, barrancos y valles actuales, por lo que su distribución por la Hoja se hace de forma irregular de acuerdo con la red de drenaje. Ocasionalmente pueden llegar a registrar cierto contenido en materia orgánica, como puede ocurrir en los tramos más superiores. Su representación en la Hoja esta muy localizada a favor de la red fluvial de orden menor. La potencia es variable y difícil de establecer aunque se estima que no sobrepasa como termino medio los 5 m.

Desde el punto de vista hidrogeológico presentan una permeabilidad baja, debido a su carácter predominantemente lutítico. Se trata de depósitos poco consolidados que se comportan como un suelo de consistencia media-blanda.

Características constructivas

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN

A falta de ensayos más precisos pueden considerarse valores contenidos en las diferentes Normas y Códigos. Así, el Código de Práctica Británico establece para este tipo de materiales presiones admisibles entre 0,75 y 3 kp/cm², esperándose asientos de consolidación a largo plazo. Para la Norma DIN 1054 a una profundidad de cimentación de 2 m, las cargas admisibles son del orden de 2,5-3 kp/cm², esperándose asientos en torno a 4 cm.

No obstante aunque presenten una capacidad portante suficiente en algunos casos para determinados tipos de edificios, se localizan en emplazamientos muy desfavorables (áreas endorreicas, etc.) para proyectar sobre ellos cargas concentradas. Por este motivo, y a falta de estudios detallados, se aconseja no utilizar estos materiales como terrenos de cimentación.

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA

Excavabilidad. Estos materiales se consideran terrenos Medio-Blandos, su excavación podrá realizarse por medios mecánicos sin ningún tipo de problemas.

Estabilidad de taludes. En general van a depender de la extensión del afloramiento y del espesor de los materiales. Pueden producirse pequeños deslizamientos de carácter superficial.

Empuje sobre contenciones. Serán variables en función del grado de saturación de los materiales. Pueden considerarse de bajos a medios.

Aptitud para préstamos. Se consideran materiales no aptos para préstamos. En algunas situaciones pueden constituir terrenos marginales en cimientos y núcleos de terraplenes pero nunca en la coronación de los mismos.

Aptitud para explanada en carreteras. Se trata de Materiales No Aptos.

Obras subterráneas. En general, las obras subterráneas importantes afectarán al sustrato. Las obras de menor entidad, encontrarían un terreno tipificado como "Difícil".

ZONA II₅

Características Geológico-Geotécnicas

Se trata de depósitos de origen antrópico, correspondientes a escombros y vertidos (unidad 26). Los materiales corresponden a residuos sólidos y tierras de distinta procedencia que se acumulan y compactan a veces (escombreras), modificando la topografía original.

Son materiales poco o nada consolidados con gran número de problemas geotécnicos, derivados, en buena parte, de su gran heterogeneidad.

Características constructivas

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN.

Son desaconsejables para la construcción por la gran cantidad de problemas que pueden plantear: Asientos diferenciables, escasa capacidad portante etc. En cualquier obra se recomienda su desmonte y limpieza hasta llegar al sustrato.

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

Excavabilidad. Constituyen terrenos fácilmente ripables, de tipo Medios y Blandos. Su excavación puede efectuarse normalmente por medios mecánicos sin dificultad.

Estabilidad de taludes. La estabilidad del talud dependerá de la altura a la que se proyecte, pudiendo producirse en ocasiones desprendimientos de cantos y bloques.

Aptitud para préstamos. En general, constituyen terrenos inadecuados o eventualmente aptos para préstamos, previo tratamiento

Aptitud para explanada en carreteras. Para constituir explanadas no son aptos, necesitando Suelo Adecuado (ej.: grava clasificada) previa compactación y desarrollo

Obras subterráneas. Terrenos Muy difíciles para las obras subterráneas de envergadura por lo que precisarán entibación total.

6. BIBLIOGRAFÍA

ÁLVAREZ, M.A. (1987). Estudio sistemático y bioestratigráfico de los Eomyidae (Rodentia) del Oligoceno superior y Mioceno inferior español. *Scripta Geologica*, 86, 207 pp.

ÁLVAREZ, M.A.; DAAMS, R.; LACOMBA, J.I.; LÓPEZ, N. y SACRISTÁN, N.A. (1987). Succession of micromammal faunas in the Oligocene of Spain. *Muncher Geowiss, Abh (A)*, 10, pp 43-48.

ASTIBIA, H.; MORALES, J. y SESÉ, C. (1981). Tarazona de Aragón, nueva fauna miocena de vertebrados. *Turiaso*, 11, pp 197-203.

BOMER, B. y RIBA, O. (1965). Deformaciones tectónicas recientes por movimientos de yesos en Villafranca de Navarra. Com. C. 6-3 del Tomo V de las publicaciones del I Col. Inter. sobre las obras públicas en terrenos yesíferos.

CASTIELLA, J.; SOLÉ, J. y DEL VALLE, J. (1978). Mapa Geológico de Navarra, 1:200.000, Publ. Diputación Foral de Navarra.

CASAS, A. M., BENITO, G. (1988). Deformaciones cuaternarias debidas a procesos diapíricos en la depresión del Ebro. (Provincias de Zaragoza, Navarra y La Rioja). II Congreso Geológico de España. Comunicaciones 1. pp 375-378.

CRUSAFONT, M.; TRUYOLS, J. y RIBA, O. (1966). Contribución al conocimiento de la estratigrafía del Terciario continental de Navarra y La Rioja. *Not. y Com. del IGME*, 90, pp 53-76.

CUENCA, G. (1983). Nuevo yacimiento de vertebrados del Mioceno inferior del borde meridional de la cuenca del Ebro. *Estudios Geológicos*, 39, pp 217-224.

CUENCA, G. (1985). Los roedores (Mammalia) del Mioceno inferior de Autol (La Rioja). Publ. Instituto de Estudios Riojanos, Ciencias de la Tierra, 2, 96 pp.

GOBIERNO DE NAVARRA (1997). Mapa Geológico de Navarra a E. 1:200.000. Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.

GOBIERNO DE NAVARRA (1998): Mapa Geológico de Navarra a E. 1:25.000, Cáseda (174-III). Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.

GOBIERNO DE NAVARRA (1998): Mapa Geológico de Navarra a E. 1:25.000, Sangüesa (174-IV). Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.

GOBIERNO DE NAVARRA (1998): Mapa Geomorfológico de Navarra a E. 1:25.000, Cáseda (174-III). Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.

GOBIERNO DE NAVARRA (1998): Mapa Geomorfológico de Navarra a E. 1:25.000, Sangüesa (174-IV). Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.

GOBIERNO DE NAVARRA (2000). Mapa Geológico de Navarra a E. 1:25.000, Lerín (205-II). Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.

GOBIERNO DE NAVARRA (2000). Mapa Geológico de Navarra a E. 1:25.000, San Adrián (205-IV). Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.

GOBIERNO DE NAVARRA (2000). Mapa Geomorfológico de Navarra a E. 1:25.000, Lerín (205-II). Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.

GOBIERNO DE NAVARRA (2000). Mapa Geomorfológico de Navarra a E. 1:25.000, San Adrián (205-IV). Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.

GONZÁLEZ, A. (1989). Análisis tectosedimentario del Terciario del borde SE de la Depresión del Ebro (sector bajoaragones) y cubetas marginales ibéricas. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza. 507 pp.

GONZÁLEZ, A.; PARDO, G. y VILLENA, J. (1988). El análisis tectosedimentario como instrumento de correlación entre cuencas. II Congreso Geológico de España, Granada, pp 175-184.

GONZALO, A. (1968). Contribución al estudio del piedemonte ibérico riojano. Geomorfología del valle medio del Cidacos. Ed. Biblioteca de Estudios Riojanos, I.E.R. 508 pp, II.Vol.

GONZALO, A. (1977). Los niveles de las terrazas del Ebro en La Rioja. *Geographica*, XIX-XX, 131-138. Madrid.

GONZALO, A. (1979). Los glaciares de La Rioja. *Actas III reunión G.E.T. Cuaternario*, 139-147. Zaragoza.

GUTIÉRREZ, M. y PEÑA, J.L. (1994): Depresión del Ebro. In GUTIÉRREZ, M. (Ed.). *Geomorfología de España*. Ed. Rueda, 305-349. Madrid.

IGME (BEROIZ, C y SOLÉ, J.)(1972). Mapa Geológico de España a E. 1:50.000, 2ª serie, 1ª edición, Alfaro (244).

IGME (SOLÉ, J.)(1974). Mapa Geológico de España a E. 1:50.000, 2ª serie, 1ª edición, Sos del Rey Católico (207).

IGME (CASTIELLA, J. y BEROIZ, C.) (1977). Mapa Geológico de España a E. 1:50.000, 2ª serie, 1ª edición, Lodosa (205).

IGME (HERNÁNDEZ, A. y SIMÓ, A.)(1985): Mapa Geológico de España a E. 1:50.000, 2ª serie, 1ª edición, Sangüesa (174).

IGME (HERNÁNDEZ, A.; RAMÍREZ, J.I. y RAMÍREZ DEL POZO, J.) (1987). Mapa Geológico de España a E. 1:50.000, 2ª serie, 1ª edición, Tafalla (173).

IGME (1987). Contribución de la exploración petrolífera al conocimiento de la geología de España. Publ. IGME, 465 pp.

INGLÉS, M; MUÑOZ, A.; PÉREZ, A. y SALVANY, J.M (1994). Relación entre la mineralogía y los ambientes sedimentarios en el Terciario continental del sector sur-occidental de la cuenca del Ebro. Resumen, II Congreso del Grupo Español del Terciario, Jaca, pp 247-250.

INGLÉS, M; SALVANY, J.M; MUÑOZ, A. y PÉREZ, A. (1998). Relationship of mineralogy to depositional environments in the non-marine Tertiary mudstones of the southwestern Ebro Basin (Spain). *Sedimentary Geology* 116, pp 159-176.

JUARISTI, J.M. (1979). Terrazas y glacis en el bajo valle del Arga. Actas III Reunión Nac. G.E.T.C., 161-169. Zaragoza.

LERÁNOZ, B. (1989). Terrazas y glacis del río Ebro en Navarra. II Reunión del Cuaternario Ibérico. Madrid.

LERÁNOZ, B. (1990). Geomorfología del curso bajo del río Ega. I Reunión Nac. Geomorfología, 447-455. Teruel.

MARTÍNEZ, J. (1987). Estudio paleontológico de los micromamíferos del Mioceno inferior de Fuenmayor (La Rioja). Publ. Instituto de Estudios Riojanos, Ciencias de la Tierra, 10, 99 pp.

MENSUA, S. y BIELZA, V. (1974). Contribución al estudio geomorfológico del valle inferior del Ega (Navarra). Estudios Geográficos XXXV. pp 157-183.

MUÑOZ, A. (1985). Estratigrafía y sedimentación de la Depresión de Arnedo (prov. de La Rioja). Tesis de Licenciatura, Universidad de Zaragoza, 150 pp

MUÑOZ, A. (1991). Análisis tectosedimentario del Terciario del sector occidental de la Cuenca del Ebro (Comunidad de La Rioja). Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 496 pp.

MUÑOZ, A. (1992). Análisis tectosedimentario del Terciario del sector occidental de la Cuenca del Ebro (Comunidad de La Rioja). Tesis Doctoral, Publ. Instituto de Estudios Riojanos, 347 pp.

MUÑOZ, A. y CASAS, M. (1997). The Rioja trough (N Spain): tectosedimentary evolution of a symmetric foreland basin. Basin Research, 9, pp 65-85.

MUÑOZ, A.; PARDO, G. y VILLENA, J. (1986-87). Análisis tectosedimentario del Terciario de la Depresión de Arnedo (Cuenca del Ebro, prov. de La Rioja). Acta Geol. Hisp., t. 21-22, pp 427-435.

MUÑOZ, A.; PARDO, G. y VILLENA, J. (1992). Evolución paleogeográfica de los conglomerados miocenos adosados al borde norte de la Sierra de Cameros (La Rioja), Acta Geol. Hisp., v.27, num 1-2, pp. 3-14.

MUÑOZ, A. y SALVANY, J.M. (1990). El sistema lacustre evaporítico del margen ibérico de la cuenca del Ebro (Mioceno inferior). In ORTÍ, F. y SALVANY, J.M. (Eds.). Formaciones evaporíticas de la cuenca del Ebro y cadenas periféricas, y de la Zona de Levante. GPPG-ENRESA, pp 123-126.

ORTÍ, F. (1990). Introducción a las evaporitas de la Cuenca Terciaria del Ebro. In: Formaciones evaporíticas de la Cuenca del Ebro y cadenas periféricas, y de la zona de Levante (ORTÍ, F. y SALVANY, J.M. (Eds.). ENRESA-GPPG, 62-66. Barcelona.

ORTÍ, F. y SALVANY, J.M. (1986). Programa de investigación de las formaciones evaporíticas en Navarra. Vol.1, Estudio Geológico, 121 pp.; Vol.2, Estudio Geoeconómico, 126 pp.; 2 anejos, informe inédito para el Gobierno de Navarra.

ORTÍ, F. y SALVANY, J.M. (1991). Depósitos de glauberita en España: aspectos sedimentológicos y petrológicos generales. In: Génesis de formaciones evaporíticas, modelos andinos e ibéricos (Pueyo, J. J., Eds.). Publ. Universitat de Barcelona. pp 191-230.

PARDO, G.; VILLENA, J. y GONZÁLEZ, A. (1989). Contribución a los conceptos y a la aplicación del análisis tectosedimentario. Rupturas y unidades tectosedimentarias como fundamento de correlaciones estratigráficas. Rev. Soc. Geol. España, 2, pp 199-221.

PÉREZ, A. (1989). Estratigrafía y sedimentología del Terciario del borde meridional de la Depresión del Ebro (sector riojano-aragonés) y cubetas de Muniesa y Montalbán. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 474 pp.

PUIGDEFABREGAS, C. (1975). La sedimentación molásica en la cuenca de Jaca. Monogr. Inst. Est. Pirenaicos, 104, CSIC, 188 pp.

RIBA, O. (1955a). Sur le type de sedimentation du Tertiaire continental de la partie Ouest du Bassin de l'Ebre. Geol. Rundschau, t 43, 2, pp 363-371. Stuttgart.

RIBA, O. (1955b). Sobre la edad de los conglomerados terciarios del borde Norte de las sierras de la Demanda y Cameros. Not. y Com. IGME, 39, pp 39-50.

RIBA, O. (1964). Estructura sedimentaria del Terciario continental de la Depresión del Ebro en su parte riojana y navarra. Aport. al XX Congreso Geográfico Internacional, Londres, pp 127-138. Madrid.

RIBA, O. (1976). Tectogenèse et sédimentation: deux modèles de discordance syntectonique pyrénéennes. Bull. du BRGM, 2ème S., 4, pp 383-40.

RIBA, O. (1992). Las secuencias oblicuas en el borde Norte de la Depresión del Ebro en Navarra y la discordancia de Barbarín. Acta Geol. Hisp., v.27, 1-2, pp 55-68.

RIBA, O. y BOMER, B. (1957). Les terrasses et glacis du Bassin de l'Ebre dans la Ribera de Navarre et la Baja Rioja. Livret-guide de l'excursion nº 3: Villafranchien de Villarroja. V Congr. Int. INQUA, 7-10. Madrid-Barcelona.

RIBA, O. y JURADO, M. J. (1992). Reflexiones sobre la geología de la parte occidental de la Depresión del Ebro. Acta Geol. Hisp., v.27, 1-2, pp 177-193.

RIBA, O. y PÉREZ MATEOS, J. (1962). Sobre una inversión de aportes sedimentarios en el borde Norte de la Cuenca del Ebro (Navarra). Inst. Edaf. Sec. Petrol. Sedim. II Reunión del GES, Sevilla 1961, pp 201-221. Madrid.

RIBA, O.; REGUANT, S. y VILLENA, J. (1983): Ensayo de síntesis estratigráfica y evolutiva de la cuenca terciaria del Ebro. Libro Jubilar J.M. Ríos, 2, 131-159. IGME. Madrid.

RUIZ DE GAONA, M.; VILLALTA, J.F. y CRUSAFONT, M. (1946). El yacimiento de mamíferos fósiles de Monteagudo (Navarra). Not. y Com. IGME, pp 159-179.

SALVANY, J.M. (1989a). Las formaciones evaporíticas del Terciario continental de la cuenca del Ebro en Navarra y La Rioja. Litoestratigrafía, petrología y sedimentología. Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona, 397 pp.

SALVANY, J.M (1989b). Los sistemas lacustres evaporíticos del sector Navarro-Riojano de la Cuenca del Ebro durante el Oligoceno y Mioceno inferior. Acta Geol. Hisp., 24, pp 231-241.

SALVANY, J.M. (1989c). Ciclos y megaciclos evaporíticos en las formaciones Falces y Lerín. Oligoceno-Mioceno inferior de la cuenca del Ebro (Navarra-La Rioja). XII Congreso Español de Sedimentología. Comunicaciones. pp 83-86.

SALVANY, J.M (1990). Las formaciones Falces y Lerín (Oligoceno-Mioceno continental de Navarra). In: Formaciones evaporíticas de la cuenca del Ebro y cadenas periféricas (ORTÍ, F. y SALVANY, J.M., Eds.). ENRESA-GPPG, Univ. Barcelona, pp 106-116.

SALVANY, J.M. (1997). Continental evaporitic sedimentation in Navarra during the Oligocene to Lower Miocene: Falces and Lerín formations. In: Sedimentary deposition in rift and foreland basins in France and Spain (BUSSON y SCHREIBER, Eds.). 13, Columbia University Press, pp 397-411.

SALVANY, J.M y ORTÍ, F. (1987). La paragénesis de sulfatos de Ca y Na en el Mioceno continental de Alcanadre-Arrúbal (La Rioja) y San Adrián (Navarra). Bol. Soc. Esp. de Mineralogía, 10-1, pp 47-48.

SALVANY, J.M. y ORTÍ, F. (1992). El yacimiento glauberítico de Alcanadre: procesos sedimentarios y diagenéticos (Mioceno inferior, Cuenca del Ebro). In: Recursos Minerales de España (GARCÍA GUINEA, J. y MARTÍNEZ FRÍAS, J., Eds.). CSIC-Madrid, pp 1251-1274.

SALVANY, J.M y ORTÍ, F. (1994). Miocene glauberite deposits of Alcanadre, Ebro basin, Spain: sedimentary and diagenetic processes. In Sedimentology and geochemistry of modern and ancient saline lakes, SEPM Special Publications, 50, pp 203-215.

SALVANY, J.M. y MUÑOZ, A. (1989). Aspectos petrológicos y sedimentológicos de los Yesos de Ribafrecha (La Rioja). XII Congreso Español de Sedimentología, Leioa-Bilbao, pp 87-90.

SALVANY, J.M; MUÑOZ, A. y PÉREZ, A. (1994). Nonmarine evaporitic sedimentation and associated diagenetic processes of the southwestern margin of the Ebro Basin (lower Miocene), Spain. Journal of Sedimentary Research, vol A64, 2, pp 190-203.

SOLÉ, J. (1972). Formación de Mués, litofacies y procesos de sedimentación, Tesis de Licenciatura, Universidad de Barcelona, 46 pp.

