

La cartografía geológica y geomorfológica de la Hoja 207-II (Sos del Rey Católico) 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 y Memoria

Solé Pont, Javier (INYPSA)

Sedimentología y Memoria

Olivé Davó, Alfonso (CGS-OGDEN)

Geomorfología y Memoria

Martínez Arias, Alfredo (INYPSA)

Hidrogeología

ÍNDICE

0. INTRODUCCIÓN

1. ESTRATIGRAFÍA

1.1. Terciario

1.1.1 Alternancia de areniscas y lutitas ocre y rojas con algunas intercalaciones de calizas (1). *Unidad de Uzquita*. Ageniense.

1.1.2 Areniscas grises y ocre con intercalaciones de lutitas ocre y rojas (2). *Unidad de Uzquita*. Ageniense superior-Orleaniense.

1.1.3 Alternancia de areniscas y lutitas ocre (3). *Unidad de San Zoilo*. Orleaniense.

1.1.4 Areniscas y lutitas ocre y rojas (5). *Unidad de Gallipienzo*. Orleaniense.

1.1.5 Lutitas ocre y areniscas (6). *Unidad de Olite*. Orleaniense.

1.1.6 Conglomerados y areniscas. (8). *Conglomerados de las Sierras de San Pedro-y Peña*. Orleaniense-Astaraciense superior.

1.1.7 Areniscas y lutitas ocre. (9). *Unidad de Artajona*. Orleaniense-Astaraciense superior.

1.2. Cuaternario

1.2.1. Gravas y lutitas ocre con cantos. Terrazas (14). Pleistoceno-Holoceno

1.2.2. Gravas y lutitas ocre. Glacis (15 y 16). Pleistoceno-Holoceno

1.2.3 Bloques y cantos con lutitas. Coluviones de bloques (19). Holoceno.

1.2.4. Lutitas y arenas con cantos y bloques. Coluviones (20). Holoceno

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

1.2.6. Lutitas, cantos y arenas. Aluvial-coluvial (24). 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

3.3.2. Estudio del modelado

3.3.2.1. Formas de ladera

3.3.2.2. Formas fluviales

3.3.2.3. Formas poligénicas

3.4. FORMACIONES SUPERFICIALES

3.4.1. Arcillas y arenas. Cantos de arenisca. Coluviones (a). Laderas. Holoceno

3.4.2. Gravas, arenas y arcillas. Terrazas (b, c). Fluvial. Pleistoceno-Holoceno

3.4.3. Limos y arenas. Gravas. Fondos de valle (d). Fluvial. Holoceno

3.4.4. Cantos en matriz limo-arcillosa. Glacis (e, f). Poligénico. Pleistoceno

3.4.5. Limos y arenas. Cantos. Depósitos aluvial-coluvial (g). Poligénico. Holoceno

3.5. EVOLUCIÓN DINÁMICA

3.6- MORFOLOGÍA ACTUAL-SUBACTUAL Y TENDENCIAS FUTURAS

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. Áridos naturales

5.2. HIDROGEOLOGÍA

5.2.1. Descripción de las formaciones

5.2.1.1. Areniscas y lutitas. Mioceno inferior-medio

5.2.1.2. Conglomerados y areniscas. Mioceno medio

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

5.2.1.4. 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 Sos del Rey Católico (207-II), incluida en la que a escala 1:50.000 recibe el mismo nombre, se localiza al SE de la Comunidad Foral.

Administrativamente sólo el tercio más occidental de la Hoja se encuentra dentro de Navarra, de modo que la gran parte de ella pertenece a la Comunidad Autónoma de Aragón, concretamente a la provincia de Zaragoza.

Desde el punto de vista fisiográfico comprende el extremo suroriental de la denominada Navarra Media, que se extiende hacia tierras aragonesas, concretamente por la comarca de Las Cinco Villas, configurando una zona de relieves medios muy característicos que se desarrollan entre la Ribera del Ebro y el dominio pirenaico.

La Sierra de Peña constituye la principal alineación orográfica de la Hoja, a la que cruza en dirección ONO-ESE por su extremo septentrional. Su línea de cumbres supera normalmente los 900 m y culmina con el alto de Peña (1069 m).

Se aprecia un descenso mantenido de cotas hacia el vértice SO de la Hoja, donde se establece una zona bastante llana, de unos 450 m de altitud, que forma parte de la región de Las Bardenas Reales.

La red de drenaje se articula en estrechos barrancos que descienden desde la Sierra de Peña hacia el SSO, y alimentan a los tributarios del río Aragón por su margen izquierda. No obstante, las demandas hidráulicas de la zona están cubiertas básicamente por el canal de Las Bardenas, que discurre por la esquina suroccidental de la Hoja.

El territorio de la Comunidad Foral en la Hoja comprende parte de los términos municipales de Javier y Cáseda, al Este y Oeste respectivamente, y no incluye ningún núcleo relevante de población, cuya ocupación estacional se limita a algunas granjas y caseríos, algunos de ellos ya abandonados (Torre de Peña, Caserío de Petricos, Corral de la Manga).

En la parte aragonesa destaca Sos del Rey Católico, que se localiza en el ángulo NE de la Hoja y la da nombre, representando la principal población de la misma. La localidad de Sofuentes se encuentra al SO, en la esquina opuesta, mientras que otros pequeños núcleos

de población tales como; Mamillas, Novellaco, Barués, se emplazan en los valles encajados de la vertiente meridional de la sierra.

La actividad agrícola se concentra en los regadíos del sector de Sofuentes, en torno al Canal de Las Bardenas. La explotación forestal constituye un recurso importante, especialmente en la mitad NO de la Hoja, donde se emplazan los bosques del Pinar de Cáteda. La ganadería al igual que la agricultura, supone la actividad más extendida en la zona dada su orografía, distribuyéndose entre la cabaña ovina, bovina y equina. La producción energética ocupa un lugar destacado merced a la futura implantación de un parque eólico en la Sierra de Peña. Finalmente cabe hacer mención al sector turístico, que cuenta con una importante infraestructura en Sos del Rey Católico.

La red de carreteras se encuentra muy poco desarrollada en la parte navarra de la Hoja debido a la baja densidad demográfica. Únicamente cabe citar la N-534 que pasa por el vértice noroccidental. En territorio aragonés las principales vías de comunicación parten de Sos del Rey Católico, destacando la carretera A-127, que se dirige hacia el S a Castiliscar, la A-CV-841 que discurre en dirección SSE a Uncastillo y la A-CV-868 que parte del Puerto de Sos hacia el SO hacia Castiliscar y Sádaba, ya fuera de la cuadrícula.

En el aspecto geológico, la Hoja a escala 1:25000 de Sos del Rey Católico se enmarca regionalmente en el sector noroccidental de la Cuenca Terciaria del Ebro, cuyo relleno se realizó a lo largo del Oligoceno y Mioceno por depósitos continentales en condiciones endorreicas.

La serie terciaria está representada exclusivamente por facies aluviales, que contienen areniscas y lutitas en proporciones variables. El registro existente se inicia cronoestratigráficamente en el Arverniense superior prolongándose hasta el Mioceno inferior-medio (Orleaniense-Astaraciense). La sucesión terciaria presenta una marcada disposición monoclinial, caracterizando el flanco meridional del Anticlinal de Eslava, y los buzamientos se dirigen de forma solidaria hacia el SSO atenuándose progresivamente hacia techo y hacia el Sur. La serie está dividida en dos conjuntos principales por una importante discordancia intra-Ageniense de ámbito regional. El conjunto inferior muestra una organización estrato y granocreciente y se correlaciona presuntamente con las Fms. Marcilla y Lerín desarrolladas en el sector central de la Cuenca Navarro-Riojana. El conjunto superior

se dispone conjuntamente en franca discordancia progresiva y está constituida por los equivalentes en facies medias aluviales de la Fm. Tudela.

Las formaciones cuaternarias se desarrollan esencialmente en los valles encajados en la vertiente meridional de la Sierra e Peña correspondiendo mayoritariamente a depósitos de fondo de valle y coluviales. En la esquina suroccidental de la Hoja se reconoce un sistema de glaciares que se extiende hacia el SO a la Hoja de Carcastillo (207-III).

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 derivan un buen número de trabajos; ORTÍ y SALVANY, (1986), 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 Sos del Rey Católico 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 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 está comprendido entre el Oligoceno superior (Arverniense superior) y el Mioceno inferior-medio (Orleaniense superior a Astaraciense) de modo que la mayor parte de la serie pertenece al Ageniense-Orleaniense y solo la parte superior al Astaraciense..

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 clásicos en favor de las facies lutíticas.

La serie terciaria de la Hoja presenta una marcada disposición monoclinial, con buzamientos dirigidos de forma generalizada hacia el SSO, que se atenúan progresivamente hacia techo.

Desde el punto de vista cicloestratigráfico, en la Hoja se han distinguido tres grandes conjuntos secuenciales principales 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 de los conglomerados de las Sierras de Peña y San Pedro.

El conjunto más inferior, el más antiguo está compuesto por las Unidades cartográficas 1 a 4 (Ageniense-Orleaniense) y es divisible en dos unidades secuenciales de menor orden delimitadas por reactivaciones aluviales que se evidencian en la serie por entradas más menos bruscas de materiales clásticos. La correspondencia entre los ciclos distinguidos y las unidades cartográficas se establece de la siguiente forma: *Ciclo 1*→Unidades 1 a 2, *Ciclo 2*→Unidades 3 y 4. No obstante se desconoce la correlación de la Unidad 4, que no aparece en el presente cuadrante (207-II), si bien parece razonable su asimilación al *Ciclo 2*.

Hay que indicar que el conjunto integrado por el ciclo inferior presenta una probable correlación con la Fm Lerín, desarrollada en el sector Central de la Cuenca Navarro-Riojana, y que se caracterizan por la sucesión alternante entre facies aluviales muy distales y niveles lacustres salinos de gran continuidad.

El conjunto intermedio sería equivalente con la denominada Unidad de Olite aflorante más al Sur y en general con la Fm Tudela. Este ciclo estaría integrado por las unidades 5 y 6. Más al Sur, en la vecina Hoja de Carcastillo (207-III), gradan lateralmente a unidades más fangosas (Facies de Las Bardenas, Unidad 7), e incorporan intercalaciones lacustres carbonatadas (Unidad de Miranda de Arga).

Finalmente el conjunto superior, correspondiente a la entrada de los conglomerados de las Sierras de Peña y San Pedro (Unidad 8) y de las areniscas a las que pasan lateralmente (Unidad 8), presenta en su base una clara discontinuidad y afloran los términos más proximales de los sistemas aluviales que alimentan el conjunto pasando, a distancia creciente del margen, a facies progresivamente más distales, 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 Ujúe, 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 Cáteda (174-III) y Sangüesa (174-IV) y en los 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:

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).

A continuación se pasa a una descripción de cada una de las unidades diferenciadas en la cartografía

1.1.1 Alternancia de areniscas y lutitas ocres y rojas con algunas intercalaciones de calizas (1). Unidad de Uzquita. Arverniense superior.

La serie terciaria en la Hoja se inicia con un conjunto en alternancia de areniscas y lutitas ocres y rojas que alcanza una potencia de 300-400 m.

Su representación en la cuadrícula se limita al vértice nororiental de la misma, en la ladera baja de la vertiente septentrional de la Sierra de Peña y en las proximidades de Sos del Rey Católico. Los mejores afloramientos se encuentran en la carretera que une dicha población con Sangüesa y en el ángulo nororiental de la Hoja.

Los buzamientos son altos, con valores en torno a los 60°-70° y dirigidos hacia el SSO.

Litoestratigráficamente se corresponde con la parte basal de la Unidad de Uzquita, descrita en las Hojas vecinas de Cáseda (174-III) y Sangüesa (174-IV) (Gobierno de Navarra, 1998) que es equivalente, a grandes rasgos, a la Unidad de Leoz (IGME, 1987) y forma parte de la Fm. Sos (PUIGDEFÁBREGAS, 1975).

Litológicamente se registra un elevado contenido en términos lutíticos, especialmente en la parte más inferior de la Unidad. Las lutitas se disponen en intervalos, de potencia métrica a decamétrica, masivos o con intercalaciones areniscosas menores de morfología canaliforme y tabular.

Los niveles de areniscas se presentan en cuerpos de base irregular, normalmente de espesor métrico (1-4m) y de color gris, que a veces se concentran en bancos tableados de potencia métrica. Individualmente exhiben estructuras sedimentarias propias de canales (lag, granoclasificación, laminación paralela y cruzada) o de avenidas laminares no confinadas (*sheet flood*): granoclasificación positiva (tamaño de grano medio-fino a muy fino), huellas tractivas de base, laminación paralela, convolución de las láminas, eventuales *sets* de láminas cruzadas, y trenes de *ripples* a techo, con frecuencia de tipo *climbing*.

Los niveles de areniscas de morfología canalizada se observan preferentemente en la parte alta de la unidad, donde alcanzan potencias de orden métrico. El tamaño de grano varía de

medio-grueso a fino-muy fino y se observan abundantes estructuras sedimentarias: base erosiva, huellas de colapso, deformación hidrolástica, *sets* tabulares de laminación cruzada, *cosets* de estratificación cruzada en surco, *ripples* y bioturbación moderada a techo, generalmente de tipo pedogénico.

Locamente se han observado intervalos carbonatados de potencia centimétrica a decimétrica constituidos por margocalizas y calizas grisáceas.

El ambiente sedimentario se sitúa en un contexto de frente aluvial medio, de acuerdo con la destacada proporción en términos lutíticos.

La edad se establece, por la posición estratigráfica de la Unidad, en el Arverniense superior.

1.1.2 Areniscas grises y ocres con intercalaciones de lutitas ocres y rojas (2). *Unidad de Uzquita. Ageniense superior- Orleaniense inferior.*

Presenta unas características semejantes a la Unidad anterior, de la que se diferencia básicamente por un mayor contenido en términos areniscosos.

Cartográficamente ocupa una banda de dirección ONO-ESE que cruza la esquina NE de la Hoja ocupando la parte baja a media de la vertiente norte de la Sierra de Peña. Sobre ella esta ubicada la localidad de Sos del Rey Católico.

Los mejores puntos de observación se encuentran en los taludes de la carretera de acceso y circunvalación a dicha localidad.

La potencia de la Unidad en la Hoja es de unos 400-500 m y los buzamientos se dirigen hacia el SSO, con valores de 70-50°, algo inferiores a techo. El contacto con la unidad precedente es bastante neto y viene marcado por un incremento en el contenido de areniscas.

Los intervalos lutíticos son de color ocre y potencia métrica, raramente decamétrica, presentan intercalaciones areniscosas menores y contienen horizontes rojizos de origen edáfico muy marcados. Ocasionalmente se han observado intervalos carbonatados de potencia decimétrica constituidos por arcillas margosas grisáceas con nódulos calcáreos.

Desde el punto de vista sedimentológico es patente el predominio de cuerpos areniscos canalizados frente a los de morfología tabular. En los primeros el tamaño de grano oscila entre grueso y fino, la potencia de los litosomas oscila entre 1 y 4 m y son de color gris, siendo la gama de estructuras sedimentarias muy variada: Base erosiva, huellas de carga y tractivas, *lag* de cantos blandos, deformación hidrolástica, estratificación cruzada, superficies de acreción lateral y *ripples*. Los niveles tabulares registran menores tamaños de grano (de medio a muy fino), potencias que raramente alcanzan rangos métricos y de colores ocres. Las estructuras sedimentarias son características de flujos laminares no confinados: Granoclasificación positiva, huellas tractivas, laminación paralela, convoluciones, *cosets* de *ripples*, escapes de fluidos e icnofauna a techo.

De acuerdo con las características indicadas, la sedimentación de la Unidad se realiza en un contexto de frente medio aluvial en el que los aportes clásticos se realizan principalmente por flujos más menos confinados.

Se ha atribuido una edad de Arverniense superior-Orleaniense, basada exclusivamente en criterios regionales.

1.1.3 Areniscas con intercalaciones de lutitas ocres y rojas (3). Unidad de San Zoilo, Orleaniense.

Forma un intervalo de unos 200-250 m de potencia, representado por una sucesión alternante entre areniscas y lutitas, que se desarrolla en la parte alta de la vertiente septentrional de la Sierra de Peña.

Cartográficamente constituye una franja que se extiende en dirección ONO-ESE por el extremo nororiental de la Hoja, donde registra buzamientos de unos 40° hacia el SSO.

Los mejores afloramientos se localizan inmediatamente al Sur de Sos del Rey Católico en la carretera a Sádaba, donde el paso a la unidad suprayacente se pone claramente de manifiesto.

Litoestratigráficamente corresponde a la Unidad de San Zoilo (Gobierno de Navarra, 1998) definida en las Hojas vecinas a escala 1:25.000 de Cáseda (174-III) y Sangüesa (174-IV), y forma parte de la Unidad de Allo (IGME, 1987) integrada en el conjunto de la Fm. Sos

(PUIGDEFÁBREGAS, 1975). Equivaldría también probablemente a la serie aflorante entre Santacara y Murillo el Fruto en el valle del Aragón.

Desde el punto de vista litológico cabe hacer notar el marcado predominio de los términos areniscosos frente a las lutitas, especialmente en la parte intermedia de la Unidad.

En las areniscas destacan de forma característica las facies canalizadas sobre las planoparalelas, presentando un color gris y una fuerte cementación así como estructuras sedimentarias muy características reconociéndose: base planar o erosiva muy tendida, superficies de acreción lateral, *sets* y *cosets* de láminas cruzadas planares, trenes de *ripples*, con frecuencia de tipo *climbing* y bioturbación a techo

Las formas planoparalelas o de base muy tendida alcanzan potencia métrica por acumulación de capas de espesor decimétrico. Las capas tabulares presentan estructuras tractivas propias de depósitos generados bajos mecanismos de *sheet flood*: Granoclasificación positiva (tamaño de grano medio a muy fino), base neta, huellas tractivas, estructuras de colapso de pequeña envergadura, eventual estratificación cruzada de mediana escala, *ripples*, generalmente de tipo *climbing*, pequeños escapes de fluidos y bioturbación a techo, con frecuencia correspondiente a icnofauna (huellas de desplazamiento de invertebrados).

Las determinaciones petrográficas efectuadas sobre las areniscas de la Unidad (IGME, 1977) ofrecen los siguientes resultados: 20-30% de cemento calcáreo, 20-30% de cuarzo, 0-5% de feldespatos, 5-10% de fragmentos de sílex y hasta el 20% en fragmentos de rocas de diversa naturaleza, valores que permiten clasificarlas como litoarenitas.

De la misma fuente documental se han extraído las determinaciones paleontológicas que señalan la presencia de *Tectochara meriani*, *Rhabdochara major*, *Psilochara sp.*, *Candona sp.* y *Eocytheropteron sp.*, asociación coherente con la edad de Arverniense superior-Ageniense atribuida a esta unidad.

Los intervalos lutíticos que alternan con los niveles areniscosos presentan potencias de orden decimétrico-métrico e incluyen intercalaciones menores de areniscas. Son relativamente frecuentes los horizontes edáficos rojizos, en los que se concentran los fenómenos de bioturbación pedogénica.

De acuerdo con el predominio de areniscas sobre lutitas se deduce un medio deposicional de frente aluvial proximal-medio en el que los aportes de materiales clásticos se realizan mediante flujos más o menos confinados facilitando la generación de formas canalizadas de sinuosidad variable.

1.1.4 Areniscas y lutitas ocre y rojas (5). *Unidad de Gallipienzo. Orleaniense.*

Se caracteriza litológicamente por el predominio de areniscas, que se disponen en bancos tableados alternando con lutitas ocre y rojas, confiriendo al conjunto una destacada competencia.

Como respuesta morfológica configura un acusado resalte en la parte más alta de la ladera septentrional de la Sierra de Peña. Cartográficamente dibuja esta unidad una franja dispuesta según la dirección ONO-ESE en el tercio nororiental de la Hoja.

Los afloramientos de mejor acceso se localizan al Sur de Sos del Rey Católico, en la subida al Puerto de Sos de la carretera a Sádaba. Otros puntos destacados de observación se encuentran en diversas pistas y barrancos de la vertiente norte de la Sierra de Peña y en la carretera de Cáseda a San Isidro del Pinar, justo antes de coronar el puerto de Cáseda.

La Unidad se dispone con buzamientos de 30-35° hacia el SSO alcanzando una potencia de unos 400-500 m.

Desde el punto de vista litoestratigráfico estos depósitos se corresponden con la Unidad de Gallipienzo (Gobierno de Navarra, 1998) de acuerdo con la definición propuesta en las Hojas de Cáseda (174-III) y Sangüesa (174-IV) y formaría parte de la Unidad de Leoz (IGME 1987). Equivalen también lateralmente a la Unidad de Olite (Unidad 6), nomenclatura utilizada en los trabajos de la cartografía geológica de las hojas 206 y 207. La discontinuidad basal se la hace correlativa con la de la Fm. Tudela.

La principal característica litológica de la Unidad es el desarrollo mayoritario de términos areniscosos en capas tabulares que se agrupan en bancos tableados de potencia métrica a decamétrica.

En consecuencia las lutitas representan una litología francamente minoritaria disponiéndose en intervalos de espesor decimétrico a métrico con frecuentes intercalaciones menores de areniscas. Ocasionalmente se observan horizontes rojizos de origen edáfico.

Las areniscas se presentan de forma mayoritaria y generalizada como niveles de morfología tabular con potencias de orden decimétrico-métrico, no superiores a 2 m, que tienden a amalgamarse configurando bancos tableados de espesor métrico-decamétrico. El tamaño de grano oscila entre medio y grueso a muro, y fino a muy fino a techo. Las estructuras sedimentarias son características de depósitos de *sheet flood* de densidad variable observándose: Base neta con huellas tractivas, depósitos de *lag*, laminación paralela, convoluciones, *sets* de láminas cruzadas, escapes de fluidos, *ripples*, principalmente de tipo *climbing* e icnofauna a techo.

Los cuerpos canalizados son poco abundantes y presentan de potencias de orden métrico. El tamaño de grano oscila de grueso a fino y se reconocen abundantes estructuras sedimentarias: Base erosiva, huellas de carga, *sets* y *cosets* de láminas cruzadas planares y en surco, trenes de *ripples* y bioturbación pedogénica a techo.

La Unidad sé interdigita hacia el ONO, en la zona de Gallipienzo (Hoja de Cáteda, 174-III), con términos conglomeráticos. La distribución de facies indica la existencia de un eje de aporte coincidente con el actual valle del Aragón en la zona de Gallipienzo, coherente con las lecturas de paleocorrientes, que se dirigen de forma generalizada hacia el Sur.

Dada la ausencia de restos paleontológicos determinantes la atribución de la Unidad al Orleanense se establece a partir de su posición estratigráfica.

1.1.5 Areniscas y arcillas ocre-rojizas (6). Unidad de Olite. Orleanense

La representación de esta Unidad se circunscribe a la la mitad suroccidental de la Hoja apareciendo a cotas inferiores a los 750 m en los afloramientos más septentrionales y más al Sur por debajo de los 600 m

Constituye el equivalente lateral hacia el Sur de la Unidad 5 así como también de la 7 (Facies de Las Bardenas) de la que se distingue por un incremento acusado en la proporción de términos lutíticos. Litoestratigráficamente formaría parte de la denominada

Unidad de Olite que representa los términos inferiores de la Fm. Tudela al N del sector central de la Cuenca Navarro-Riojana.

La potencia de la presente Unidad en la Hoja supera los 100 m, aunque es difícil de estimar debido a los bajos buzamientos registrados, ($<10^\circ$) hacia el SSO.

Se reconoce muy bien en los taludes de la carretera de Sos del Rey Católico a Castiliscar configurando las zonas bajas de las laderas de los valles concretamente se puede observar en la Venta de El Majo y en la carretera de esta localidad a Sofuentes donde esta unidad configura el paisaje del Sur de la Hoja.. En general da lugar a un tramo mas blando lo que motiva siempre zonas mas deprimidas en los valles.

Litológicamente la unidad se caracteriza por la mayor presencia de lutitas ocre y rojizas, que aparecen alternando en proporciones variables con niveles areniscosos de potencia generalmente decimétrica-métrica.

Los términos lutíticos son de color ocre y se desarrollan en intervalos de potencia métrica y o masiva si bien contienen intercalaciones menores de areniscas en niveles tabulares. Hacia el Sur se empiezan a reconocer niveles rojizos relacionados con procesos edáficos.

Los términos areniscosos constituyen generalmente cuerpos de espesor decimétrico a 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 canalizados alcanzan espesores mayores, del orden de 1 metro 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 la proporción de areniscas/lutitas, la presente unidad se enmarca en un ambiente de frente aluvial medio.

Aunque el contenido paleontológico es francamente escaso debido al medio de depósito, en IGME se cita la siguiente asociación de Ostrácodos: *Cypridopsis kinkelini*, *Candona cf. recta*, *Candona cf. praecox* que junto con la determinación de las caráceas *Gyrogona medicaginula* y *Rhabdochara major* ofrecen una edad de Mioceno inferior a medio, coherente con la atribución de la Unidad al Orleaniense por su posición estratigráfica.

1.1.6 Conglomerados y areniscas. (8). Conglomerados de las Sierras de San Pedro- y Peña. Orleaniense-Astaraciense.

Se sitúa en la base del conjunto superior (Mioceno inferior a medio) de la sucesión terciaria de la zona.

La base del conjunto corresponde a una importante discordancia erosiva de incidencia regional, por encima de la existente a muro de la Fm. Tudela en los sectores centrales de la Cuenca Navarro-Riojana. La denominación litoestratigráfica de "Conglomerados y areniscas de las Sierras de San Pedro y Peña" está tomada en parte de las memorias de la Hojas de Cáseda (174-III) y Sangüesa (174-IV) (Gobierno de Navarra, 1998). En la memoria del nuevo Mapa Geológico a escala 1:200.000 de Navarra (Gobierno de Navarra, 1997) se establece una posible correlación de la presente Unidad con los Conglomerados de la Sierra del Perdón (PUIGDEFÁBREGAS y SOLE, 1973).

Esta unidad configura los relieves mas destacados y los cantiles septentrionales de la Sierra de Peña. Las mejores observaciones se pueden llevar a cabo accediendo al cordal desde una pista que parte de la carretera a Sofuentes y en las inmediaciones del pueblo abandonado de Torre de Peña.

Se caracteriza por constituir un tramo de acusada competencia debido a su litología conglomerático-areniscosa. Adquiere en consecuencia una destacada expresión morfológica conformando los principales resaltes en torno a la línea de cumbres de la Sierra de Peña. La

potencia máxima de estos conglomerados es del orden de los 150-200 m y lateralmente tienden a desaparecer, siendo sustituidos por areniscas.

Hacia el ESE se interdigita con la Unidad 9 (Unidad de Artajona), fenómeno caracterizado por el acuñamiento lateral de los términos conglomeráticos, tanto lateralmente como en profundidad hacia el Sur.

Los buzamientos se dirigen de forma generalizada hacia el SSO registrándose valores de 20-25° a muro y 15-20° a techo.

Litológicamente es característico el desarrollo de niveles conglomeráticos, de tonalidad grisácea a rojiza, que alternan, aunque en proporción baja con areniscas, constituyendo bancos más o menos masivos de considerable potencia (hasta varias decenas de m). Los conglomerados configuran intervalos de potencia métrica que gradan en vertical o lateralmente a areniscas, formando capas de morfología sub-tabular cuyas bases registran diferentes grados de incisión. Los cantos, de diámetros comprendidos entre 0,5 y 15 cm, y medios en torno a los 10 cm, presentan formas sub-redondeadas a sub-angulosas, correspondiendo a areniscas, calizas, eventualmente, cuarzo y rocas metamórficas. La matriz es de arenisca gruesa a media y se registra una fuerte cementación por carbonato. Las estructuras sedimentarias son relativamente escasas distinguiéndose localmente cicatrices internas, gradación clástica positiva, imbricación de cantos y *sets* tabulares de estratificación cruzada, con frecuentes superficies de reactivación.

Las areniscas se desarrollan por lo general a techo de los niveles conglomeráticos o bien forman capas tabulares individualizadas, alternando con los anteriores o configurando bancos más o menos tableados. Ocasionalmente pueden presentar incisiones laxas en la base. Las estructuras sedimentarias son abundantes e indican la generación de flujos granulares relativamente densos con bajo índice de confinamiento: Huellas tractivas y de carga en la base, convoluciones, laminación paralela, *sets* tabulares de láminas cruzadas planares, fluidificación y *ripples* a techo, generalmente de tipo *climbing*.

Las lutitas son muy escasas en el conjunto de la Unidad. Forman intervalos de potencia decimétrica con eventuales intercalaciones menores de areniscas.

De acuerdo con el elevado contenido en términos clásticos y escasez de facies lutíticas, la Unidad se enmarca en un ambiente de orla aluvial media. Se relaciona con un sistema de abanicos aluviales con eje de drenaje centrado en el Alto de Peña.

La edad se establece en el Orleaniense superior-Astaraciense por relación estratigráfica con las unidades adyacentes.

1.1.7 Areniscas y lutitas ocreas. (9). Unidad de Artajona. Orleaniense superior.-Astaraciense

Se extiende ampliamente en la vertiente meridional de la Sierra de Peña de forma que ocupa buena parte de los afloramientos de la Hoja, a excepción de las esquinas NE, donde se llegan a observar las unidades infrayacentes, y al SO, donde se desarrolla la Unidad 6.

Los afloramientos más destacados, especialmente por sus facilidades de acceso, se localizan a lo largo de las principales carreteras de la Hoja, en los tramos de Sos del Rey Católico a Sádaba, en la del Puerto de Sos a Sofuentes y en la carretera de Cáseda a San Isidro del Pinar.

Los buzamientos, dirigidos al igual que el resto de la serie terciaria hacia el SSO, registran valores de 20-30° a muro y de 10-15° a techo, disminuyendo a menos de 10° hacia el Sur, lo que evidencia la disposición en discordancia progresiva del conjunto.

Constituye un potente conjunto de alternancias entre areniscas y lutitas de más de 300 m de espesor registrados en la Hoja.

Los términos areniscosos representan la litología mayoritaria en la parte inferior de la unidad, mientras que el predominio de areniscas o lutitas es alternante en el resto, predominando las segundas hacia los sectores meridionales. Suelen presentar un grado fuerte de cementación, un tamaño de grano de medio a grueso y tonalidades ocreas.

Las lutitas se disponen en intervalos de potencia métrica a decamétrica masivos o con intercalaciones menores de areniscas. A veces se reconocen intervalos de tonos rojizos asimilables a horizontes edáficos.

En las areniscas los cuerpos canalizados aparecen a distintas alturas de la serie, mientras que la presencia de capas tabulares es más constante. Los primeros se presentan en niveles de potencia métrica, el tamaño de grano oscila de medio-groeso a fino y exhiben las siguientes estructuras sedimentarias: Base erosiva, huellas de carga, *sets* tabulares de láminas planares, *cosets* de estratificación cruzada en surco, deformación hidroplástica, superficies de acreción lateral, *ripples*, a veces de tipo *climbing*, y huellas de raíces a techo. Las capas tabulares registran potencias de orden decimétrico eventualmente métrico, con intercalaciones arcillosas cm separandolas, aunque a veces se amalgaman, configurando bancos tableados, y presentan una variada gama de estructuras sedimentarias características de depósitos generados bajo mecanismos de *sheet flood*: Base neta, con huellas tractivas, granoclasificación positiva (con tamaño de grano medio a fino-muy fino), laminación paralela, *convolute lamination*, *sets* de láminas cruzadas de mediana escala, escape de fluidos, trenes de *ripples*, mayoritariamente de tipo *climbing*, e icnofauna a techo.

El ambiente sedimentario se sitúa en un contexto de frente aluvial proximal a medio.

La aparición de *Gyrogona medicaginula*, distingue en la Hoja, desde el punto de vista bioestratigráfico, a la presente unidad de las infrayacentes, habiéndose determinado también (IGME, 1977) la presencia de otras especies menos representativas: *Tectochara cf. meriani* y *Sphaerochara sp.* La asociación de caráceas indicada aunque no resulta totalmente determinativa está de acuerdo con la atribución de la Unidad al Orleaniense superior-Astaraciense por criterios regionales.

1.2. CUATERNARIO

1.2.1. Gravas y lutitas ocreas con cantos. Terrazas (14). Pleistoceno-Holoceno

Se localizan exclusivamente en los márgenes del Barranco de las Fuentes, en el ángulo nororiental de la Hoja, en las proximidades de Sos del Rey Católico.

Se han diferenciado dos niveles situados a +2-4 m. y +8-10 m. sobre el cauce actual de dicho curso. Se trata de depósitos de gravas con matriz lutítica y a veces algo arenos-arcillosa de escasa extensión y potencia, no superando los 2 m.

Por consideraciones altimétricas y regionales, se incluyen ambos depósitos en el grupo de las terrazas bajas, si bien el nivel más alto parece corresponder al Pleistoceno superior, mientras que el inferior debe pertenecer a épocas holocenas.

1.2.2. Gravas y lutitas ocreas. Glacis (15 y 16). Pleistoceno-Holoceno

Se trata de unidades litológicas escasamente representadas en la Hoja. Su desarrollo y representación se localiza en el ángulo suroccidental de la Hoja sobre depósitos miocenos preferentemente arcillosos y areniscosos, contribuyendo a la morfología actual de las vertientes poco acusadas, actuando además de formas de enlace entre las zonas deprimidas y los relieves miocenos situados mas al Norte. Han sido diferenciadas dos generaciones. La más antigua corresponde a la unidad 15. La segunda generación, más moderna y encajada en la primera, la unidad 16 se localiza muy próxima.

Ambos sistemas se observan muy bien a lo largo del canal de Lodosa, en la pista de servicio del mismo.

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 han generado. Están constituidos por gravas de tonalidades ocreas, algo cementadas de 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 y a veces bloques dispersos, de carácter anguloso a subanguloso y composición areniscosa y calcárea. El espesor conjunto se aproxima a 2 m e incluso a veces más.

Su génesis está en relación con el desmantelamiento del relieve establecido en la zona razón por la que se han atribuido al Pleistoceno-Holoceno.

1.2.3 Bloques y cantos con lutitas. Coluviones de bloques (16). Holoceno.

Se describen en este apartado un conjunto caótico y heterogéneo de depósitos que se localiza al pie de los relieves mas destacados de la Sierra de Peña. Se trata de unos depósitos que están formados por cantos y bloques de conglomerados calcáreos y areniscas con lutitas de tonalidades grises o rojizas, que a veces, pueden llegar a estar ligeramente cementados por carbonatos.

Todo este conjunto enmascara notablemente los afloramientos del sustrato que conforman dichas laderas. Por su posición se les atribuye al Holoceno.

1.2.4. Lutitas y arenas con cantos y bloques. Coluviones (17). 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.

Litológicamente dependen de la naturaleza de su área madre, por lo que suelen ser 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.

1.2.5. Lutitas con cantos y arenas. Fondos de valle (20). Holoceno

Constituyen el depósito de los cursos que discurren a través de los principales valles o barrancos, reflejando además la sedimentación de la red fluvial secundaria.

Destacan los fondos de valle de los arroyos o barrancos de Castiliscar, Gallbarra, Garganta y Val, de gran longitud y ancho fondo plano que discurren por el sector más meridional de las Hojas.

Estos tipos de depósitos, se adaptan a la estructura de la red de drenaje, predominando los afloramientos de forma alargada o longitudinal. 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 arcillas y limos de tonalidades ocre, que incluyen cantos de tamaño variable e incluso en ocasiones bloques; en menor medida, a veces se reconocen algunos 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.

1.2.6. Lutitas, cantos y arenas. Aluvial-coluvial (21). Holoceno

Se incluyen dentro de este apartado unos depósitos diferenciados en la mitad oriental de la Hoja de forma dispersa e irregular. Se trata de depósitos de escasa relevancia desarrollados a favor de depresiones o de cursos efímeros que drenan o desaguan en valles amplios y poco encajados.

Litológicamente se trata de lutitas de color ocre a veces con cantos y algún nivel algo arenosos muy disperso con cantos de areniscas. La composición refleja el sustrato sobre el que se desarrollan y en cualquier caso no se sobrepasa el metro de espesor.

La edad difícil de precisar se sitúa el Holoceno.

2. TECTÓNICA

2.1 CONSIDERACIONES GENERALES

La Hoja de Sos del Rey Católico (207-II) se localiza en el sector septentrional de la Depresión del Ebro. Ésta constituye un área de geometría triangular que, a lo largo del Terciario, se comporta 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 un 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.

La etapa de plegamiento principal en el sector estudiado de la Cuenca del Ebro se produce en el Mioceno inferior. Como respuesta más evidente se origina al SO del área estudiada, fuera de la misma, un conjunto de pliegues de gran longitud dispuestos en dirección NO-SE y vergentes al Sur, que definen el denominado Dominio Plegado del Ebro en el sector de Lodosa-Falces. Constituyen pliegues de crecimiento relacionados con cabalgamientos ciegos hacia el SSO, cuyos niveles de despegue corresponden a formaciones evaporíticas terciarias. Igualmente hacia el Norte se manifiesta por el desarrollo de discordancias progresivas en las unidades neógenas.

De acuerdo con lo expuesto se distinguen regionalmente tres sectores estructurales dentro de la parte central a nororiental de la Cuenca Navarro-Riojana: 1) *Sector septentrional plegado*, relacionado con el frente surpirenaico y cuyas estructuras principales son los anticlinales de Aibar y Eslava, 2) *Sector intermedio*, que registra una deformación muy suave y se caracteriza por el desarrollo de estructuras sinclinales muy amplias y laxas (Sinclinorio de Miranda de Arga), y 3) *Sector suroccidental plegado*, que se enmarca en la zona de Lodosa-Falces, y presenta pliegues de núcleo salino de gran longitud axial (Anticlinales de Falces y Árguedas).

Respecto a esta zonación, la presente Hoja se sitúa al Sur del Sector septentrional plegado configurando una serie monoclinial con buzamientos mantenidos hacia el SSE que disminuyen progresivamente en el mismo sentido. Por consiguiente no se alcanza el eje de ninguna estructura de envergadura regional en la Hoja situándose el núcleo del Anticlinal de Eslava al N y el laxo sinclinorio de Miranda de Arga al SE.

El carácter sinsedimentario de la deformación permite diferenciar dos conjuntos estratigráficos principales en la región. El conjunto inferior se encuentra claramente involucrado en la deformación y comprende la mayor parte de los depósitos paleógenos continentales, prolongándose su registro estratigráfico hasta el Mioceno inferior (Ageniense) la serie correlativa hacia el Sur contiene diversas unidades evaporíticas (Fms. Falces y Lerín). En la Hoja está representado por las unidades cartográficas 1 a 5.

El conjunto superior abarca el resto de la serie miocena y corresponde en los sectores centrales de la Cuenca a la Fm. Tudela, cuyos equivalentes hacia el N forman parte de la Fm. Ujúe. Está suavemente plegado y se desarrolla principalmente en los núcleos sinclinales, disponiéndose mediante un contacto truncacional sobre el conjunto infrayacente 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 en la región 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 contextos centrales, hacia el sector aragonés.

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 Sos del Rey Católico (207-II) se sitúa estructuralmente en el borde septentrional de la Cuenca del Ebro. La serie terciaria, integrada exclusivamente por materiales aluviales del Oligoceno superior y Mioceno inferior, presenta una marcada disposición monoclinial, con buzamientos mantenidos hacia el SSO formando parte del flanco meridional del Anticlinal de Eslava. Los valores de buzamientos se atenúan progresivamente hacia el Sur, relevando la proximidad de las series sub-horizontales características del Sector Central o Aragón de la Cuenca del Ebro.

2.2.1. Anticlinal de Eslava

El Anticlinal de Eslava representa la estructura más meridional del sector septentrional plegado de la Cuenca Navarro-Riojana.

Su eje se encuentra al Norte de la Hoja, fuera de la misma, extendiéndose a lo largo de los cuadrantes vecinos 174-III y IV. Sigue una dirección general ONO-ESE, registrando ligeras inflexiones a lo largo de su traza.

Presenta una marcada vergencia al Sur evidenciada por su acusada asimetría, con buzamientos de 50-70° en el flanco meridional y de 15-35° en el septentrional.

El núcleo de la estructura, aunque no aflora en la Hoja, está ocupado por materiales esencialmente lutíticos (Facies de Eslava) y registra una marcada complejidad puesto que se encuentra fallado a lo largo de su eje y locamente replegado.

Por falta de datos de subsuelo se desconoce su estructura profunda. No obstante debe enraizar con un importante cabalgamiento cuyo nivel de despegue puede situarse en horizonte próximo al muro de una formación plástica terciaria (probablemente Fm. Yesos de Falces o equivalentes en Facies Eslava) dato que estaría de acuerdo con su aparente conexión al Oeste con el Anticlinal de Tafalla.

Su comportamiento como pliegue de crecimiento en el Mioceno inferior se evidencia por el desarrollo de la discordancia progresiva de Gallipienzo, en el flanco meridional de la estructura. La discordancia truncacional de base de la Fm. Tudela se ha correlacionado, por criterios cartográficos, con el contacto basal de los Conglomerados de la Sierra de San Pedro y equivalentes (Unidades 6 y 7).

2.2.2 Borde septentrional de la Cuenca del Ebro

Representa la estructura de la mayor parte de los afloramientos de la Hoja. El límite septentrional de esta lo constituyen de forma aproximada, las máximas elevaciones de la cuadrícula, es decir viene a coincidir casi con el cordal que discurre desde el puerto de Sos por la Sierra de Peña hasta el de Cáseda, y que constituyen la divisoria o individualización del valle de Sangüesa con el del Ebro

La geometría de los depósitos aflorantes es la de una monótona serie monoclinal con buzamientos hacia el S. y SO del orden 20°-23° en las zona más septentrionales y de 7° y en la misma dirección en los sectores más meridionales, hasta casi adoptar una disposición subhorizontal. Los materiales que conforman este sector de la cuenca son areniscas y lutitas y se disponen en clara discordancia progresiva con el resto de los materiales infrayacentes de iguales características litológicas.

Todo ello conlleva a una monotonía paisajística por casi la totalidad de la Hoja y en la que solo se ha destacado como geometría, las distintas trazas de las capas de los materiales aflorantes.

3. GEOMORFOLOGÍA

3.1. DESCRIPCIÓN FISIAGRÁFICA

La Hoja de Sos del Rey Católico se localiza en el sector suroriental de la Comunidad Foral de Navarra. Pertenece al margen septentrional de la Depresión del Ebro, en su enlace con las estribaciones de las Sierras del frente pirenaico, lo que se traduce en un relieve de pendiente generalizada hacia el Sur, atenuado en el mismo sentido.

La zona Norte de la Hoja se encuentra ocupada por relieves importantes, correspondientes a la Sierra de Peña, mientras que hacia el Este y el Sur enlaza con las comarcas de las Cinco Villas y Bardenas. En la parte septentrional, las cotas se sitúan en el entorno de los 700 a 1000 m., con el vértice Peña (1.069 m.) y Monsanjuan (919 m.) como alturas culminantes en el área.

La red fluvial está constituida por una serie de barrancos y valles, con drenaje claramente definido hacia el Sur, y que son tributarios hacia el valle del Ebro como colector principal.

Dentro del contexto de la hoja de estudio pueden definirse dos dominios o unidades geomorfológicas: Relieves asociados a las litologías resistentes y Relieves Tabulares y Valles Fluviales.

Los primeros se inscriben principalmente al Norte de la hoja, relacionados con las unidades terciarias cuya litología dominante son niveles de areniscas correspondientes a paleocanales fluviales. Los segundos, localizados en la parte meridional de la hoja, corresponden a los relieves asociados a las unidades terciarias que, con tendencia de disposición tabular constituyen el relleno distal de los abanicos de procedencia septentrional y los valles que se instalan sobre estos materiales. Estos valles tienen una clara disposición submeridiana.

Los rasgos geomorfológicos más significativos se encuentran en clara relación con los dominios o unidades descritos: gran implantación de las formas estructurales (cuestas, plataformas, y líneas de capa dura, principalmente) resultantes de un notable vaciado erosivo de carácter fluvial (incisión lineal y acarreamiento), así como procesos de vertiente (deslizamientos rocosos), a los que se superponen los fenómenos de acumulación (rellenos de valles fluviales y depósitos de ladera o poligénicos).

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 glacis 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 glacis 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

3.3.1. Estudio morfoestructural

La litología del sustrato geológico presente en el ámbito de la hoja (areniscas, limolitas y arcillas), incide en que la acción de la erosión diferencial desarrolle sobre los cuerpos rocosos más competentes (areniscas), un modelado estructural en Cuestas y relieves estructurales de salto variable, pero en general reducido, a las que se suman algunos cresteríos.

3.3.2. Estudio del modelado

A continuación se describen las formas del modelado, de origen exógeno, presentes en la hoja, agrupadas en función de su génesis.

3.3.2.1. Formas de ladera

Sobre algunas laderas de perfil cóncavo, se acumulan depósitos procedentes de los niveles superiores o coluviones, que alcanzan dimensiones relevantes en la parte meridional de la hoja:

3.3.2.2. Formas fluviales

La red fluvial de menor orden presenta en sus cabeceras las características de cauces de incisión lineal, que aguas abajo se transforman en valles de fondo plano o morfologías de suave cuna o artesa. Otras características del modelado fluvial es la presencia de gargantas o cañones y collados de divergencia fluvial que marcan los principales interfluvios.

En el barranco de las Fuentes, en la esquina nororiental de la hoja, se han cartografiado unos depósitos de terraza de reducida extensión.

Por último, son los proceso de incisión lineal los que inciden claramente en la génesis de la actual arquitectura del paisaje. Este proceso, generalizado en todo el ámbito de la hoja, es más evidente en la zona septentrional de la misma.

3.3.2.3. Formas poligénicas

Se han incluido un conjunto de glacis pleistocenos, relativamente bien conservados, organizados en dos niveles, y que se localizan en la zona más meridional de la hoja.

Existen, por otra parte, una serie de zonas deprimidas rellenas por materiales mixtos fluvial-vertiente o aluvial-coluvial. Asimismo, la presencia de niveles más resistentes a la erosión intercalados en la serie, propicia la aparición de morfologías de relieves residuales y pináculos rocosos que destacan claramente en el paisaje.

3.4. FORMACIONES SUPERFICIALES

En el capítulo de Estratigrafía de este informe, se realiza una sucinta descripción de los depósitos cuaternarios cartografiados en la hoja de Sos del Rey Católico A continuación se describen detalladamente en orden a su génesis y edad, expresándose entre paréntesis la letra asignada en el Mapa Geomorfológico.

Los depósitos cuaternarios cartografiados, se refieren a formaciones de ladera (coluviones), fluviales (fondos de valle y terrazas) y poligénicos (glacis pleistocenos y aluviales-coluviales).

3.4.1. Arcillas y arenas. Cantos de arenisca. Coluviones (a). Laderas. Holoceno

Como se ha mencionado anteriormente, alcanzan su mayor desarrollo, en la mitad meridional de la hoja, asociados a las laderas de los valles y no superando, en ningún caso, el metro y medio o dos metros de espesor.

No existen por lo buenos cortes de estos materiales, por lo que su caracterización se hace en base a observaciones parciales o de superficie. Están formados por cantos, más o menos angulosos en una matriz areno-limosa y arcillosa. Ocasionalmente, se ha reconocido algún coluvión formado por bloques dominantes con escasa matriz.

Se consideran, en todos los casos, materiales subactuales.

3.4.2. Gravas, arenas y arcillas. Terrazas (b, c). Fluvial. Pleistoceno-Holoceno

Se localizan exclusivamente en los márgenes del Barranco de las Fuentes, en el ángulo nororiental de la hoja.

Se han cartografiado dos niveles situados a +2-4 m. y +8-10 m. sobre el cauce actual. Se trata de depósitos de gravas con matriz areno-arcillosa de escasa extensión y potencia (no superando los 2 m.)

Por consideraciones altimétricas y regionales, se incluye el depósito superior en el Pleistoceno superior, mientras que el inferior debe pertenecer a épocas holocenas.

3.4.3. Limos y arenas. Gravas. Fondos de valle (d). Fluvial.Holoceno

Compuestos por gravas, arenas y limos y arcillas, en proporción variable y con un espesor que no supera los 2-3 m.

Aparecen asociados a la parte baja de los barrancos, donde estos alcanzan zonas de relieve más suave. Su extensión, sobre todo en la zona más meridional de la hoja, puede alcanzar varios cientos de metros.

Su edad es Holoceno antiguo y subactual.

3.4.4. Cantos en matriz limo-arcillosa. Glacis (e, f). Poligénico. Pleistoceno

Se trata de depósitos con morfología de glacis, formados por cantos englobados en matriz limoarcillosa. Su espesor se puede estimar en 2-3 m. como máximo.

Se han cartografiado dos niveles que, con procedencia de las áreas serranas septentrionales se escalonan hacia el Sur.

Por posición y consideraciones regionales, se les atribuye edad Pleistoceno.

3.4.5. Limos y arenas. Cantos. Depósitos aluvial-coluvial (g). Poligénico-Holoceno

Se trata de recubrimientos de génesis mixta fluvial-vertiente de edad reciente (Holoceno)

Están formados por cantos, angulosos y subredondeados, arenas, arcillas y limos. Su espesor puede estimarse en el entorno de los 2-3 m.

3.5. EVOLUCIÓN DINÁMICA

El primer evento de la construcción del relieve hoy observable en la Hoja de Sos del Rey Católico, se refiere a la construcción de las morfologías estructurales que conforman la arquitectura principal del paisaje.

Durante el cuaternario “antiguo” se genera una superficie nivelada sobre los materiales poco resistentes, con pendiente constante general hacia el Ebro (MENSUA y BIELZA, 1974), donde se instalan glaciares pleistocenos, que en la actualidad se encuentran muy degradados.

Posteriormente comienza el encajamiento de la red fluvial (Pleistoceno), con depósito de terrazas, y ya en épocas plenamente holocenas los valles van configurando una morfología similar a las observables hoy en día, al tiempo que se producen e instalan, en las zonas más deprimidas, los depósitos aluvial-coluvial y formas de vertiente (coluviones).

Finalmente, bajo las condiciones climáticas actuales, que señalan un medio morfoclimático de tipo semiárido, los procesos dominantes son los de erosión hídrica, a los que acompañan en menor medida los de meteorización mecánica y química, movimientos en masa y erosión eólica.

3.6- MORFOLOGÍA ACTUAL-SUBACTUAL Y TENDENCIAS FUTURAS

Los principales cursos fluviales regionales poseen una notable capacidad de transporte por arrastre de la carga de fondo, en las épocas de crecida.

Sin embargo, en la actualidad, existe un neto predominio de los procesos de erosión sobre los de acumulación, pérdidas de cobertera de suelo, acción de la arroyada, incisión y ahondamientos de los cauces, etc.

De otro lado, las actividades antrópicas (deforestación, sobrepastoreo, labores agrícolas, vertederos, canteras, etc.) pueden incidir negativamente en el equilibrio dinámico, con imprevisibles consecuencias futuras, lo que se minimizaría con una adecuada política de conservación del entorno territorial.

4. HISTORIA GEOLÓGICA

La Hoja a escala 1:50.000 Sos del Rey Católico, de la que forma parte el cuadrante 207-II, del mismo nombre, 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 general, 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 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, Cáseda 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 acontecieron episodios algo similares a finales del paleógeno en la Unidad de Peralta y en la Unidad de Villafranca con sus equivalentes proximales en el anticlinal de Sangüesa.

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 Peña y San Pedro.

La sedimentación de la Unidad de Olite, se localiza al Sur de la Hoja y fuera ya de ella en el valle del Aragón y entorno de la Sierra de Ujúe así como en el Sinclinal de Miranda de Arga y en el de Peralta. Hacia el Suroeste, se expanden los depósitos, estando representadas distintas facies aluviales distales. acunándose hacia el Sur por su disposición en *on lap* y por tránsito en vertical a la Unidad 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 mas 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 lógicamente lo harían sobre las

Facies de Las Bardenas, unidades como ya 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 la zona de estudio, acontece durante el Mioceno inferior-medio y se articula en una serie monoclinial, en clara discordancia progresiva y de dirección NO-SE y vergencia al Suroeste y Sur como resultado de la última etapa importante de compresión pirenaica. Esta disposición geométrica es observable por toda la vertiente septentrional de la Sierra de Peña, y más concretamente en las proximidades de Sos del Rey Católico.

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 la estructuración pirenaica 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-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 Sos del Rey Católico (207-II) no existe ningún indicio minero registrado dentro del territorio perteneciente a la Comunidad Foral.

La descripción que se realiza a continuación atañe exclusivamente a aquellas sustancias que, por las características favorables de algunas formaciones geológicas de la Hoja, presentan un potencial minero destacable.

5.1.1. Minerales y Rocas Industriales.

Las arcillas comunes y las areniscas constituyen las sustancias con mayores posibilidades mineras en la Hoja puesto que la serie terciaria está constituida básicamente por una alternancia entre términos lutíticos y areniscosos en proporciones variables. Las posibilidades de aprovechamiento de áridos naturales se limitan al vértice SO de la Hoja único punto en el que aparecen formaciones cuaternarias con gravas y arenas.

5.1.1.1. Areniscas

Los niveles de areniscas del Mioceno (Fm. Tudela y 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.

Las Unidades cartográficas 7 y 8 contienen bancos de areniscas tableadas, de los pueden extraerse materiales para mampostería.

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

Se tiene constancia de numerosas labores circunstanciales no controladas de la *Piedra de Pitillas* en la región, si bien no se registra ningún caso en la Hoja.

5.1.1.2. Arcillas comunes

Las posibilidades de explotación de arcillas comunes en la Hoja de Sos del Rey Católico (207-II) se circunscriben a los intervalos lutíticos rojizos de la serie terciaria.

El mayor potencial minero corresponde a la U. Cartográfica 8, que presenta tramos lutíticos bastante homogéneos de potencia métrica y gran continuidad.

Las arcillas de la Fm. Tudela se explotan en numerosos puntos 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. 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 y areniscas del Terciario y Mesozoico.

En la Hoja de Sos del rey Católico (207-III) no se ha inventariado ningún indicio de esta sustancia. No obstante cabe señalar el potencial minero de las formaciones cuaternarias (glacis) presentes en la esquina suroccidental de la Hoja puesto que contienen gravas y arenas en proporciones destacadas.

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. Areniscas y lutitas. Mioceno inferior-medio

Se tratan de forma agrupada las formaciones de la serie terciaria compuestas por alternancias entre términos lutíticos y areniscas, constituyendo un conjunto integrado por las unidades Cartográficas: 1 a 7, 9 y 10.

La potencia del conjunto es de unos de 2000 m en la Hoja distribuyéndose en dos intervalos separados por un tramo más competente (Unidades 8, Conglomerados y areniscas de la Sierra de San Pedro-Peña). Constituye una serie monoclinas con buzamientos mantenidos hacia el SSO que se atenúan hacia techo (50° a 10°).

La proporción de areniscas/lutitas varía de unas unidades a otras, del mismo modo que la geometría de los niveles de areniscas. Las morfologías lenticulares (formas canalizadas) predominan en las unidades 1, 2, mientras que en el resto abundan en mayor medida las capas tabulares. En términos generales los niveles canalizados presentan potencias mayores (orden métrico a decamétrico) que las capas tabulares (espesor decimétrico-métrico), si bien estas últimas suelen amalgamarse en bancos tableados.

Los intervalos lutíticos conforman intervalos de potencia variable (decimétrica a decamétrica) con intercalaciones menores de areniscas en diversas proporciones.

Se estima una permeabilidad media-baja para el conjunto dada la fuerte cementación de las areniscas y la presencia destacada de niveles lutíticos. Los paquetes areniscosos más competentes pueden permitir cierta circulación de agua en posiciones próximas a la superficie por descompactación y pérdida parcial de la cementación, y a través del diaclasado en zonas con fracturación.

5.2.1.2. Conglomerados y areniscas. Mioceno medio

En la parte intermedia de la sucesión terciaria de la Hoja se desarrolla un intervalo de mayor competencia que destaca morfológicamente y ocupa las cotas más elevadas de la Sierra de Peña.

Está representado por la unidad cartográfica 8.

Litológicamente corresponde a un conjunto de conglomerados y areniscas tableadas con intercalaciones poco importantes de lutitas.

La potencia del conjunto es del orden de varios cientos de m y la serie presenta buzamientos medios hacia el SSO, con valores en torno a los 20-30°.

La parte superior del conjunto pasa transicionalmente hacia techo y lateralmente a la Unidad cartográfica 9, mientras que la base corresponde a un contacto neto.

Se estima una permeabilidad media atribuible a porosidad intergranular por descompactación del sedimento en posición próxima a la superficie y a facturación en zonas con diaclasado destacable. No se observan fenómenos de karstificación que faciliten la circulación de agua.

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

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

En la Hoja se distinguen las Unidades 14 a 16 y 20, correspondientes respectivamente a terrazas, glaciares y coluviones rocosos. Los primeros (14 a 16) se desarrollan en la esquina SO, ocupando una zona llana de cotas bajas y están formados por gravas y arenas constituyendo un depósito poco consolidado así como al Noreste de la Hoja, mientras que los segundos (20) se encuentran al Norte en la ladera septentrional de la Sierra de Peña y están representados por gravas de cantos angulosos de areniscas fuertemente cementadas.

La potencia de estos depósitos es por lo general de orden métrico (1-10 m).

La permeabilidad es alta por porosidad intergranular dada su granulometría grosera y escasez de matriz lutítica. En los coluviones rocoso la permeabilidad aumenta por lavado de los finos.

5.2.1.4. 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 (coluviones, unidad 19) y fondos de valle y aluvial-coluvial (unidades 23 y 24).

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 septentrional de la Cuenca por lo que la sucesión terciaria está integrada exclusivamente por facies lutíticas de origen aluvial.

La serie terciaria presenta una disposición monoclinal en la Hoja con buzamientos mantenidos hacia el SSO con fuerte inclinación a muro ($>45^\circ$) y moderada a techo ($<15^\circ$).

Litológicamente constituye un potente conjunto de más de 2000 m de espesor registrados en la Hoja, en el que alternan areniscas y lutitas en proporciones variables, predominando en general las primeras.

La principal concentración de niveles de areniscas, que a veces incluyen también conglomerados, se registra en la parte media de la serie terciaria de la Hoja, ocupando la zona más alta de la Sierra de Peña.

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, (Sos del rey Católico, 207-III), se adscriben a esta unidad los depósitos de glaciares que se desarrollan en la esquina suroccidental y que presentan una disposición a modo de terrazas colgadas respecto al río Aragón.

Los niveles acuíferos corresponden a arenas y gravas de cantos heterométricos, y registran una escasa cementación. Pueden presentar un contenido destacable en finos, integrados normalmente en la matriz del depósito.

Presentan una evidente desconexión con el aluvial del río Aragón por lo que constituyen acuíferos locales aislados.

Funcionamiento hidrogeológico.

El sistema del aluvial del Ebro y afluentes se ha considerado clásicamente como un acuífero único de carácter libre alimentado esencialmente por la infiltración del agua de lluvia (unos 45 hm³/año) y excedentes de los riego (unos 90 hm³/año) y cuyos ríos son efluentes por lo que condicionan directamente la piezometría.

Los materiales de la Hoja asimilables a esta Unidad se comportan claramente como acuíferos colgados. Su 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 %.

No se dispone de datos específicos de parámetros hidráulicos de los materiales que integran los sistemas de glaciares y abanicos relacionados con la Unidad, si bien deben presentar registros de transmisividad sensiblemente inferiores a las obtenidas en el aluvial del Aragón.

Respecto a la calidad química de las aguas del acuífero del Aragón cabe indicar que 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 Sos del Rey Católico (207-II) correspondiente al Mapa a escala 1:50.000 del mismo nombre, 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 N 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 I₂

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 Sos del Rey Católico (207-II).

UNIDAD CARTOGRÁFICA	ZONACIÓN GEOTÉCNICA	DESCRIPCIÓN
23 y 24	II ₄	Lutitas con cantos, gravas y arenas
19 y 20	II ₃	Cantos y bloques a veces cementados
18	II ₂	Lutitas con cantos y bloques
14, 15 y 16	II ₁	Gravas, arenas y lutitas con cantos
5 y 8	I ₂	Conglomerados y areniscas
1, 2, 3, 6 y 9	I ₁	Alternancia de areniscas y lutitas

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 asientos, 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 asientos 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 Dificil" para suelos muy blandos por debajo del nivel freático o suelos potencialmente expansivos; "Dificil" 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

Esta zona comprende la mayoría de unidades de la serie terciaria, cubriendo la mayor parte de la Hoja (unidades 1, 2, 3, 4, 6 y 7).

Litológicamente se caracteriza por presentarse como una alternancia de frecuencia métrica-decamétrica entre areniscas y lutitas.

Las areniscas son de grano medio a fino y se encuentran cementadas por CaCO₃, lo que les confiere una gran resistencia. Presentan espesor métrico (1-4 m) y base planar o irregular.

La meteorización produce en los materiales una pérdida de cementación, lo que disminuye su compacidad natural, especialmente en los términos lutíticos, fácilmente erosionables en superficie. 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, en posición próxima a la superficie presentan una permeabilidad mayor, debido principalmente a la fracturación y presencia de juntas abiertas.

Se dispone de los siguientes resultados de ensayos de Laboratorio obtenidos sobre materiales análogos en otros puntos de Navarra:

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 %	
Angulo 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 asentamientos diferenciales y fenómenos de punzonamiento debido a la intercalación de niveles lutíticos blandos entre los paquetes de areniscas.

Entre los problemas de cimentación pueden preverse los siguientes: a) variación del horizonte alterado, que puede provocar asentamientos 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. En general, son materiales Duros, por lo que su excavación precisa el empleo de explosivos. Las lutitas alteradas son fácilmente excavables

Estabilidad de taludes. Cuando la disposición de los materiales es transversal a la orientación de las laderas, y su buzamiento es superior a la pendiente, no se observa ningún fenómeno de inestabilidad. Por otra parte la naturaleza de estos materiales, en cuanto a sus parámetros resistivos y disposición alternante, no favorece la aparición de deslizamientos. Únicamente existe riesgo de caída de bloques de los resaltes areniscos 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. Los 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 I₂

Características Geológico-Geotécnicas

La Zona I₂ está definida por un intervalo de conglomerados y a veces areniscas que destacan morfológicamente entre el resto de las unidades terciarias por su mayor competencia, ocupando la parte más elevada de la Sierra de Peña.

Se encuentra en la parte media de la sucesión terciaria de la Hoja correspondiendo a las unidades cartográficas 5 y 8.

La escasez de intercalaciones lutíticas y la elevada cementación en las areniscas y conglomerados confiere una gran resistencia al conjunto.

No se dispone de ensayos que permitan caracterizar este tipo de materiales, hay que indicar no obstante que cualquier estudio de detalle que precise la definición geomecánica del macizo rocoso en esta zona deberá atender especialmente a la caracterización completa de las discontinuidades.

Características constructivas:

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN

De acuerdo con los valores orientativos que de la norma DIN 1054 y el Código inglés, se pueden alcanzar presiones admisibles superiores a 30 Kp/cm².

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

Excavabilidad. Son materiales no ripables, debiéndose emplear explosivos para su excavación.

Estabilidad. Los taludes naturales son estables, la estabilidad de los desmontes vendrá condicionada por sus discontinuidades. Es notoria la posibilidad de caída de bloques.

Aptitud para préstamos. Inadecuada por su dificultad de extracción.

Aptitud para explanada de carreteras. No aptos. Se podría conseguir una explanada E-3.

5.3.4.3. Área II

ZONA II₁

Características Geológicas

Comprende los materiales pertenecientes a los diferentes sistemas de glaciares (unidades 15 y 16) desarrollados en la esquina SO de la Hoja, caracterizándose por ocupar áreas llanas (zonas deprimidas de los valles y superficies medias, respectivamente. También comprende

esta zona unos pequeños afloramientos correspondientes a un sistema de terrazas bajas (unidad 14), asociadas a un arroyo en las proximidades de Sos del Rey Católico

El contenido en finos es relativamente bajo. Los depósitos de los glaciares presentan una proporción elevada en términos clásticos, consistiendo básicamente en gravas y arenas.

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 intercalaciones de arcillas blandas puede provocar asentamientos diferenciales no admisibles.

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. Muy variable en función del contenido en finos variando entre Terrenos Aptos y 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. Igualmente registran variaciones importantes en relación con el contenido en finos. La categoría variará entre los tipos E1 a E3 sí bien sobre niveles de gravas formadas por cantos de gran tamaño se precisará una regularización de la superficie.

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 las salidas de los barrancos (conos de deyección, unidad 18) y litológicamente esta formada por depósitos fangosos con cantos 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 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.

<u>Cuadro Resumen de Características Geotécnicas</u>	
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 baja plasticidad de 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 característicamente en laderas correspondiendo básicamente a depósitos coluviales (unidades 19 y 20).

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

Generalmente 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. Hay que hacer notar también el desarrollo de coluviones rocosos (gravas heterométricas lavadas y cementadas) en la ladera septentrional de la Sierra de Peña (borde norte de la Hoja).

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, salvo en de los coluviones de rocas caso en el que permiten una rápida circulación de agua subterránea dada su elevada transmisividad. No deben presentarse 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), habiéndose agrupado también con aquellos que presentan un origen poligénico (aluvial-coluvial unidad 24). Todos ellos 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, 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. 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 de drenaje. 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".

6. BIBLIOGRAFÍA

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

ALVAREZ, M.A.; DAAMS, R.; LACOMBA, J.I.; LOPEZ, N. y SACRISTAN, N.A. (1987). Succession of micromammal faunas in the Oligocene of Spain. Munchen Geowiss, Abh (A), 10, pp 43-48.

ARENAS, C.; PARDO, G.; VILLENA, V. (1990). Las unidades tectosedimentarias del margen septentrional de la Depresión del Ebro en el sector Luesia-Riglos. Geogaceta nº 8, pp. 92-94

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

AZANZA, B.; CANUDO, J.L.; CUENCA, G. (1988). Nuevos datos bioestratigráficos del Terciario continental de la Cuenca del Ebro. II Congreso Geológico de España, Granada, Vol. 1. pp. 261-264.

CAMARA, P.; KLIMOWITZ, J. (1985). Interpretación geodinámica de la vertiente centro-occidental surpirenaica. Estudios geológicos nº 41, pp 391-404.

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

CASTIELLA, J.; SOLE, J.; NINEROLA, S.; OTAMENDI, A. (1982). Las aguas subterráneas en Navarra. Proyecto hidrogeológico. Diputación Foral de Navarra, 230 pp

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.

FACI, E.; CASTIELLA, J.; DEL VALLE, J.; GARCIA, A.; DIAZ, A.; SALVANY, J.M.; CABRA, P.; RAMIREZ, J. y MELENDEZ, A. (1997). Memoria y Mapa Geológico de Navarra, 1:200.000, Publ. Gobierno de Navarra. 142 pp.

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

GONZALEZ, 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.

GONZALEZ, 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.

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

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

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

IGME (SOLÉ, J.)(1977): Mapa Geológico de España a E. 1:50.000, 2ª serie, Sos del Rey Católico (207).

IGME (HERNÁNDEZ, A.; RAMÍREZ DEL POZO, J.; OLIVÉ, A. y ÁLVARO, M.) (1987): Mapa Geológico de España a E. 1:50.000, 2ª serie, Peralta (206).

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

INGLES, M; MUÑOZ, A.; PEREZ, 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.

INGLES, M; SALVANY, J.M; MUÑOZ, A. y PEREZ, 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.

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

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.

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. 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.

ORTI, 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. (1990): Introducción a las evaporitas de la Cuenca Terciaria del Ebro. En: 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.

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.

PEREZ, 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.

PUIGDEFÁBREGAS, C. (1975). La sedimentación molásica en la cuenca de Jaca. Tesis Doctoral. Revista Pirineos, nº 104

PUIGDEFÁBREGAS, C. y SOLER, M. (1973). Estructura de las Sierras Exteriores Pirenaicas en el corte del río Gallego (prov. de Huesca). Pirineos 99, pp 5-15

RIBA, O. (1955). 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. (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 glaciés 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.; 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.

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 PEREZ 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. En Geología de España, Publ. IGME, Libro Jubilar J.M. RIOS, T. II, pp 131-159.

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. (1989). 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 (1990). Las formaciones Falces y Lerín (Oligoceno-Mioceno continental de Navarra). In Ortí, F. y Salvany, J.M eds., Formaciones evaporíticas de la cuenca del Ebro y cadenas periféricas, 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 Busson and Schreiber eds. Sedimentary deposition in rift and foreland basins in France and Spain. Chapter 13, Columbia University Press, pp 397-411.

SALVANY, J.M; MUÑOZ, A. y PEREZ, 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.

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