

La cartografía geológica y geomorfológica de la **Hoja 245-III (Los Hermanos)** y sus correspondientes memorias han sido realizadas por la UTE "Informes y Proyectos, S.A. y Compañía General de Sondeos S.A." (**INYPSA-CGS**) durante los años 2001-2002, con normas, dirección y supervisión del Gobierno de Navarra, habiendo intervenido en los trabajos los siguientes técnicos:

Dirección y Supervisión (Gobierno de Navarra)

Faci Paricio, Esteban

Dirección del Proyecto

Autores y Colaboradores

Olivé Davó, Alfonso (CGS, S.A.)

Cartografía geológica, Geomorfología,
Sedimentología y Memoria

Martínez Arias, Alfredo (INYPSA)

Hidrogeología

Pedro Pablo Hernaiz Huerta (INYPSA)

Geotécnia

ÍNDICE

0. INTRODUCCIÓN

1. ESTRATIGRAFÍA

1.1 Terciario

- 1.1.1 Lutitas ocre y rojas (1). *Arcillas de Villafranca*. Ageniense.
- 1.1.2 Yesos (2) y Margas grises y yesos (3) *Yesos de Los Arcos*. Ageniense.
- 1.1.3 Lutitas ocre y rojas con intercalaciones de areniscas y delgados niveles de calizas (4). Orleaniense.
- 1.1.4 Arcillas y limos ocre y rojos con esporádicas intercalaciones de areniscas (5) y Areniscas (6). *Facies de Las Bardenas*. Orleaniense
- 1.1.5 Lutitas ocre y rojas con algunas intercalaciones de areniscas (7) y Areniscas (8). *Facies de Las Bardenas*. Orleaniense.
- 1.1.6 Areniscas y lutitas ocre (10). *Unidad de Olite*. Orleaniense.

1.2 Cuaternario

- 1.2.1 Gravas y lutitas ocre. Glacis (12, 13 y 14). Pleistoceno-Holoceno
- 1.2.2 Limos ocre con intercalaciones de niveles de gravas. Mantos de arroyada extensos y abanicos aluviales (15). Pleistoceno-Holoceno.
- 1.2.3. Limos y arcillas con cantos. Glacis actual-subactual (16). Holoceno.
- 1.2.4. Lutitas y arenas con cantos y bloques. Coluviones (19). Holoceno.
- 1.2.5. Lutitas con cantos y arenas. Fondos de valle (20). Holoceno.
- 1.2.6. Lutitas, cantos y arenas. Aluvial-coluvial (21). Holoceno.
- 1.2.7. Arcillas y limos a veces con depósitos salinos superficiales. Fondos endorreicos (22). Holoceno.
- 1.2.8. Depósitos antrópicos. (23). Holoceno.

2. TECTÓNICA

2.1. CONSIDERACIONES GENERALES

2.2. DESCRIPCIÓN DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS

2.2.1 Anticlinal de Falces-Castillo de Peñaflo

2.2.2. Sinclinal de Peralta y anticlinal de Arguedas

3. GEOMORFOLOGÍA

3.1. DESCRIPCIÓN FISOGRÁFICA

3.2. ANTECEDENTES

3.3. ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO

3.3.1. Estudio Morfoestructural

3.3.2. Estudio del modelado

3.4. FORMACIONES SUPERFICIALES

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

3.4.2. Limos ocres con gravas dispersas. Mantos de arroyada extensos y abanicos aluviales (b). Pleistoceno-Holoceno.

3.4.3. Lutitas con cantos, gravas y arenas. Fondos de valle (c). Holoceno.

3.4.4. Limos y arcillas con salinización superficial. Fondos endorreicos (d). Holoceno.

3.4.5. Gravas y lutitas ocres. Glacis (e, f, g). Pleistoceno-Holoceno

3.4.6. Lutitas ocres con cantos dispersos. Aluvial-coluvial (h). Holoceno

3.4.7. Fangos arenosos con cantos. Glacis actual-subactual (i). Holoceno.

3.4.8. Fangos. Depósitos antrópicos (j). Holoceno

3.5. EVOLUCIÓN DINÁMICA

4. HISTORIA GEOLÓGICA

5. GEOLOGÍA ECONÓMICA

5.1. RECURSOS MINERALES

5.1.1. Minerales y Rocas Industriales.

5.1.1.1. Areniscas

5.1.1.2. Arcillas comunes

5.1.1.3. Arcillas especiales

5.1.1.4. Áridos naturales

5.2. HIDROGEOLOGÍA

5.2.1. Descripción de las formaciones

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

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

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

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

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

5.2.2. Unidades acuíferas.

5.2.2.1. Unidad Hidrogeológica Sur

5.2.2.2. Unidad Hidrogeológica del Aluvial del Ebro y Afluentes

5.3. GEOTECNIA

5.3.1. Introducción

5.3.2. Metodología

5.3.3. Zonificación geotécnica

5.3.3.1. Criterios de división

5.3.3.2. División en Áreas y Zonas Geotécnicas

5.3.4. Características geotécnicas

5.3.4.1. Introducción

5.3.4.2. Área I

5.3.4.3. Área II

6. BIBLIOGRAFÍA

0. INTRODUCCIÓN

La Hoja a escala 1:25.000 de Los Hermanos (245-III), corresponde al cuadrante suroccidental de la nº 245 Sádaba del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 y se localiza en el sector suroriental de la Comunidad Foral de Navarra.

La Navarra Media representa un territorio poco accidentado que se caracteriza por el desarrollo de relieves medios estructurados a favor de los niveles competentes de las formaciones terciarias y los generados por los extensos depósitos con morfologías de glacia, disectados a su vez por la red fluvial actual.

Buena parte de la hoja estudiada se incluye dentro de la región de Las Bardenas Reales, que constituye un territorio característico del extremo suroriental de la Comunidad Navarra y sectores contiguos de la Comunidad Autónoma de Aragón, concretamente de la provincia de Zaragoza. Ofrece al visitante un espectacular paisaje desértico originado por la intensa erosión del sustrato arcilloso (acarcavamientos, cerros testigos, chimeneas de hadas, etc.), rasgos que han facilitado su constitución como parque natural de reciente creación. En la Hoja representa una zona de altitudes medias y bajas cuyas cotas máximas están comprendidas entre los 300 y 500 m. Las altitudes máximas se sitúan en la zona centrooriental de la hoja (499 m. En la Plana del Rallón, 488 m. En el vértice Angarillones y 478 en el Pinsoro).

No existe, en el ámbito de la hoja ningún curso fluvial estable estando constituida la red por una serie de cauces poco jerarquizados y de funcionamiento estacional, siendo toda ella vertiente al Ebro

No existe dentro del ámbito de la hoja ningún asentamiento urbano y la actividad antrópica es prácticamente inexistente, limitándose a las instalaciones militares que controlan la actividad del campo de tiro de aviación que ocupa buena parte de la mitad occidental de la hoja. La mayor parte del territorio de la Hoja se encuentra pues muy despoblado, y solo de forma diseminada se localizan algunas granjas y caseríos. Todo ello contribuye a acentuar la dura belleza del paisaje de Bardenas.

Aunque escasamente desarrollada, la agricultura constituye la principal actividad en la región concentrándose los cultivos más productivos en el sector oriental, favorecida por la

existencia del Canal de Las Cinco Villas. Otra actividad a destacar es la ganadera, fundamentalmente ovino, teniendo que destacar la importancia que antaño tuvo la trashumancia por estos parajes y de la que hoy queda como testigo el paso de una importante vía pecuaria: la Cañada Real de los Roncaleses.

El desarrollo industrial resulta inexistente si bien, a nivel comarcal, la región se encuentra en buena parte subordinada a la producción agraria. Como consecuencia de la despoblación señalada, no existe en el ámbito de la hoja ninguna vía de comunicación, excepción hecha de la carretera de acceso a las instalaciones militares citadas.

En el aspecto geológico, la Hoja a escala 1:25.000 nº 245-III Alera, se enmarca regionalmente en el sector centro-occidental de la Cuenca Terciaria del Ebro, cuyo relleno, a lo largo del Oligoceno y Mioceno, fue llevado a cabo por depósitos continentales en condiciones endorreicas. De este modo constituye una zona de tránsito entre la denominada Cuenca Navarro-Riojana, (SALVANY, 1989) y el Sector Central o Aragónés.

La Hoja esta constituida exclusivamente por materiales terciarios continentales. La serie está representada en su mayor parte por facies aluviales distales consistentes en lutitas ocre y rojizas con intercalaciones de areniscas en proporciones variables, relativamente más abundantes en el sector septentrional y por la mitad oriental. En el cuadrante noroccidental aparecen algunos episodios evaporíticos, cuyo registro estratigráfico corresponde a finales del Oligoceno y más probablemente a comienzos del Mioceno Inferior, con la presencia de las denominadas Fms. Villafranca y Yesos de Los Arcos, litofacies equivalentes a la parte superior de la Fm. Lerín. Por encima se sitúan facies aluviales distales y medias equivalentes laterales de la Fm. Tudela (Unidad de Olite y Las Bardenas). El resto de la serie forma parte también de la denominada formación, cuyo desarrollo se prolonga hasta el Mioceno medio. Las facies de Las Bardenas, serian los equivalentes más arcillosos distales de las unidades de San Zoilo-Santacara y de Olite aflorantes en la región.

La disposición prácticamente subhorizontal de los materiales terciarios es la tónica dominante en la Hoja y contrasta con la estructuración observada en los sectores más occidentales y suroccidentales de esta parte de la cuenca (Dominio Plegado del Ebro) donde se generan pliegues NO-SE y E-O de longitud kilométrica de eje axial, uno de los cuales, de geometría anticlinal (anticlinal de Falces) entra por el borde noroccidental de la

Hoja. Más al sur, también en la zona occidental, se detectan las terminaciones periclinales correspondientes al sinclinal de Peralta y anticlinal de Arguedas.

Las formaciones cuaternarias alcanzan una importante representación por toda la cuadrícula destacando el sistema de abanicos o piedemontes más antiguos relacionados con la evolución del río Aragón y Ebro desarrollados, sobre todo en la mitad oriental de la Hoja, dando lugar a extensas y vastas plataformas con morfología tipo glacis, que destacan en el paisaje. También aparecen bien desarrollados otros depósitos de origen fluvial como los fondos de los valles y los mantos de arroyada extensos y abanicos aluviales, que proliferan por casi toda la Hoja, principalmente en la zona central, más deprimida topográficamente.

Los estudios geológicos sobre la región son más bien escasos, por lo que las referencias deben hacerse a nivel más regional. Los primeros estudios 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 técnicos, 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.

Ya en la siguiente década y a finales de esta, SALVANY, (1989) realiza 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 publicaciones: SALVANY (1989), MUÑOZ y SALVANY (1990), SALVANY et al. (1994), SALVANY y ORTÍ (1994), y INGLÉS et al (1994, 1998). A lo largo de la década de los 80 el IGME publica las Hojas MAGNA a escala 1:50.000 de Allo, Tafalla, Viana, Peralta y Sangüesa. Entre los estudios más recientes cabe destacar la revisión y actualización del Mapa Geológico de Navarra, a escala 1:200.000 (GOBIERNO DE NAVARRA, 1997) y a escala 1:25.000 de las Hojas del entorno próximo, en cuyo marco se realiza el presente trabajo.

1 ESTRATIGRAFÍA

En la cartografía geológica de la Hoja a escala 1:25.000 nº 245-III (Los Hermanos), se han aplicado técnicas modernas en el campo de la sedimentología y estratigrafía secuencial, consistentes básicamente en el análisis sistemático de facies y cicloestratigráfico. En este sentido hay que hacer notar la dificultad de establecer unidades tectosedimentarias debido a la disposición paraconcordante de la mayor parte de las unidades estratigráficas de la sucesión terciaria y a la generalizada convergencia de facies como consecuencia de la situación central de la zona de estudio en la cuenca. Por lo tanto la división estratigráfica planteada en el presente informe se basa, para buena parte de la serie terciaria, en criterios esencialmente litoestratigráficos.

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

1.1. Terciario

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

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

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, en la Hoja existe un marcado predominio de depósitos detríticos arcillosos. La sucesión terciaria está constituida en muy buena parte por facies aluviales que son los representantes de orla media a frente aluvial y distal de los sistemas de procedencia pirenaica.. Hacia el S y SO, se registra una disminución progresiva

en el contenido de términos clásticos en favor de las facies lutíticas. Los términos más inferiores corresponden a episodios evaporíticos salinos lacustres y de orla de lago

Al margen de las series evaporíticas, deformadas y estructuradas en grandes pliegues, el resto de la serie terciaria de la Hoja se encuentra poco estructurada, registrando unos valores muy bajos de buzamiento de las capas ($<10^\circ$), es decir los materiales se encuentran prácticamente subhorizontales. No obstante, se evidencian algunas estructuras muy laxas de dirección NO-SE, paralelas a los grandes pliegues de la región.

Desde el punto de vista cicloestratigráfico, en la Hoja se han distinguido dos grandes conjuntos secuenciales limitados por una importante discontinuidad sedimentaria a nivel regional. El conjunto inferior, el más antiguo, está compuesto por las Unidades cartográficas 1 a 4 (correspondientes al Ageniense y parte baja del Orleaniense). Estas unidades, se correlacionan con series más occidentales, extensamente aflorantes en las vecinas hojas a escala 1:50.000 de Alfaro (244) y Peralta (207).

El conjunto inferior terciario, es decir los afloramientos de los materiales salinos y facies equivalentes asociadas, se circunscribe al núcleo del anticlinal localizado al NO de la hoja, que se reconoce en el castillo de Peñaflor en la vecina hoja, al norte, de Alera. Esta estructura es prolongación del anticlinal de Falces, por lo que los depósitos aflorantes se ha correlacionado tentativamente y a falta de más datos, con la parte superior de la Fm Lerín, que se desarrolla ampliamente hacia el NO y que igualmente comprenden términos lacustres, esencialmente salinos,. Hacia el N pasa lateralmente a las unidades del flanco sur del anticlinal de Eslava, próximas a Gallipienzo y representadas allí por términos aluviales medios del sistema deposicional.

El conjunto superior terciario se le hace equivalente en general con la Fm Tudela y comprende desde las denominadas Facies de Las Bardenas hasta la Unidad de Olite. Este ciclo estaría integrado en la Hoja por las unidades 5, 7 y 10. La unidad 10 (Unidad de Olite), la más alta estratigráficamente en la Hoja y de carácter detrítico, gradaría lateralmente en parte a unidades más fangosas integradas en la cartografía en las Facies de Las Bardenas, (Unidades 5 y 7) a su vez equivalentes de la Fm Tudela.

La Fm. Tudela o Facies de Tudela (CASTIELLA et al. 1978) representan una buena parte de la serie terciaria de la región. Constituye un conjunto de materiales principalmente arcillosos,

con niveles de areniscas y eventualmente carbonatos, que se desarrolla ampliamente en la región de Tudela y en Las Bardenas Reales, al SE de la cuenca Navarro-Riojana extendiendo también hacia el Oeste por los sinclinales de Sesma y Miranda de Arga. Se dispone de forma discordante sobre la Fm. Lerín (y equivalentes) truncando los términos superiores de ésta. Se correlaciona hacia el Sur con las Facies de Alfaro, características de la Rioja Baja, y hacia el Norte se situarían por debajo de las Facies de Ujué.

La Fm. Tudela presenta una disposición bastante tabular en la Hoja, con buzamientos prácticamente subhorizontales. El suave plegamiento observado en la mitad occidental de la Hoja, en la región de Las Bardenas, contrasta un poco con la deformación observada más al Sur o al Oeste, en la zona de Lodosa-Falces donde se distingue un conjunto de pliegues de gran extensión longitudinal en dirección NO-SE.

En las Hojas a escala 1:50.000 (IGME, 1977, 1987) se ha determinado para la Fm. Tudela una larga lista de ostrácodos y caráceas constituyendo asociaciones propias del Mioceno inferior a medio. Se cuenta además con la referencia de los yacimientos de vertebrados de las Fms. Tudela y Alfaro en la región, donde se indica una edad que iría desde el Ageniense superior (MN2) al Aragoniense medio (MN4), si bien los términos más altos, no aflorantes en la zona estudiada, alcanzarían posiblemente el Astaraciense. No obstante hay que tener en cuenta que bajo estas facies, se incluyen a veces los equivalentes detríticos laterales de los términos más altos de las series evaporíticas, lo que puede a veces, puede conducir a error el asignar edades a determinados afloramientos.

La litoestratigrafía adoptada para la sucesión terciaria de la Hoja de Los Hermanos (245-III) está basada esencialmente en la terminología propuesta en las Hojas cercanas de Cáseda (174-III) y Sangüesa (174-IV) y en la de las Hojas 206 Peralta (cuadrantes I a IV) y 207 Sos del Rey Católico (cuadrantes I y III) en el marco de los trabajos de Actualización de la cartografía Geológica de Navarra a escala 1:25.000 (Gobierno de Navarra, 1998) La terminología litoestratigráfica adoptada para la sucesión terciaria de la Hoja de Los hermanos(245-III) se resume en el siguiente Cuadro.

LITOESTRATIGRAFÍA		EDAD
FM. TUDELA	Unidad de Olite	ORLEANIENSE
	Facies de Las Bardenas	
	Unidad de San Zoilo -Santacara	
FM. LERÍN	Yesos de Los Arcos	AGENIENSE
	Arcillas de Villafranca	

Litoestratigráfica del Terciario en la Hoja de Los Hermanos (245-III).

De este modo, en la Hoja nº 245-III (Los Hermanos) la serie terciaria se puede dividir a grandes rasgos en dos formaciones litoestratigráficas (RIBA, 1964 y CASTIELLA, 1978): la **Fm Lerín**, constituida por una alternancia lutítico-yesífera, y la **Fm. Tudela**, que se dispone de forma discordante sobre la anterior y está compuesta por lutitas y areniscas con intercalaciones de calizas lacustres. La **Fm. Lerín** se divide claramente en varias unidades estratigráficas de gran continuidad regional y para las que se adopta para los afloramientos de la Hoja la terminología propuesta por SALVANY (1989), es decir: **Arcillas de Villafranca** para los depósitos más bajos y **Yesos de Los Arcos**, para los niveles evaporíticos más altos descritos previamente por RIBA (1964).

1.1.1 Lutitas ocre y rojas (1) Arcillas de Villafranca. Ageniense.

La Unidad "Arcillas de Villafranca" ha sido descrita por SALVANY (1989) como un tramo arcilloso terrígeno de tonos claros y ocre, desarrollado entre los dos paquetes yesíferos principales de la Fm. Lerín (Yesos de Sesma y Los Arcos).

Su base está poco definida debido al cambio de facies que presenta con los Yesos de Sesma y el techo corresponde a un contacto gradual rápido con los Yesos de Los Arcos, bastante neto a escala de afloramiento.

En la presente Hoja la Unidad de Villafranca aparece exclusivamente en el rincón noroccidental, en el valle al sur del castillo de Peñaflo, en la vecina hoja al norte de Alera, formando parte de la conocida serie de la Fm. Lerín y del núcleo del Anticlinal de Falces en este sector. La serie muestra buzamiento del orden de los 15° hacia el Sur y de unos 10° hacia el Norte y presenta una potencia de unos 30-40 m., si bien el infrayacente no se llega a observar.

Litológicamente consiste en un conjunto de arcillas de tonos ocre que puede presentar a veces intercalaciones poco potentes de yesos, areniscas y/o carbonatos.

Los términos lutíticos corresponden predominantemente a arcillas ocre bastante homogéneas que forman intervalos masivos de potencia métrica a decamétrica o bien alternan con otras de las litologías que se mencionan. Eventualmente, y en mayor medida hacia techo, se desarrollan horizontes de arcillas rojizas de origen edáfico a veces y cuando son más potentes, se hacen atribuibles a cuñas terrígenas de procedencia meridional. Intermitentemente se desarrollan tramos de tonalidades grises correspondientes a margas dolomíticas arcillosas que están ligadas a facies yesíferas. A veces pueden reconocerse trazas de yesos dispersas en forma de nódulos alabastrinos, cristales fibrosos y venas, tanto en las arcillas ocre como en los términos margoarcillosos grisáceos.

Las intercalaciones de areniscas son muy escasas y en la Hoja casi inexistentes, no obstante cuando aparecen lo hacen como capas tabulares de tonos grises y ocre de potencia centimétrica, eventualmente decimétrica. Presentan abundantes estructuras sedimentarias: granoclasificación positiva, laminación paralela, escapes de fluidos de

pequeña envergadura, convoluciones de las láminas, *ripples* de corriente y oleaje, con frecuencia colapsados y bioturbación.

Los carbonatos, también muy escasos, se presentan predominantemente como delgados niveles de dolomías laminadas intercalados entre margas arcillosas grises o asociadas a los términos yesíferos y ocasionalmente se desarrollan capas de calizas micríticas arcillosas, de escaso espesor, que contienen restos de ostrácodos y caráceas.

La Unidad Arcillas de Villafranca se enmarca en un contexto de frente aluvial muy distal, ligado a sistemas de procedencia pirenaica que convergen en la zona central de la cuenca Navarra-Riojana, registrándose eventuales desarrollos lacustres salinos de poca persistencia.

Posee un escaso contenido en restos paleontológicos, en cualquier caso sin valor cronoestratigráfico, de modo que se atribuye una edad de Ageniense por su posición en la serie.

1.1.2 Yesos (2) y Margas grises y yesos (3). Yesos de Los Arcos. Ageniense.

Los “Yesos de Los Arcos” (RIBA, 1964 y CRUSAFONT et al., 1966) constituyen, por su potencia y extensión, el principal tramo yesífero de la Fm. Lerín, situándose en la parte superior de ésta en una amplia parte de la Cuenca Navarro-Riojana.

Su base está bien definida por las Arcillas de Villafranca (1). A techo se dispone la Fm. Tudela en franca discordancia erosiva.

En la Hoja, la Unidad de los Yesos de Los Arcos se desarrolla en el ángulo noroccidental, constituyendo parte de periclinal del Anticlinal de Falces, Su parte más alta (unidad 3) también se observa en una pequeña zona al SO, en el entorno de la Plana de Mesalobar. Se han diferenciado dos unidades: la unidad 2 y la 3. La primera es yesífera mientras que la segunda que se sitúa por encima es más lutítica, con margas grises aunque contiene también yesos. El conjunto presenta buzamientos que raramente superan los 10° en la zona noroccidental y menores al so de la hoja. Entre ambas unidades se estima una potencia de unos 25-30 m.

A nivel regional, los Yesos de Los Arcos conforman un potente paquete yesífero, bastante masivo, con intercalaciones poco relevantes de materiales lutíticos y dolomías laminadas. Sin embargo en el corte del sector del Castillo de Peñaflores, al norte, que es el afloramiento más suroriental de la Fm Lerín en la Cuenca Navarro-Riojana, la Unidad de los Arcos está integrada por una alternancia entre yesos y margas, a veces algo dolomíticas grises. Como ya se ha expuesto, los paquetes de yesos más potentes ocupan la parte inferior de la serie (unidad 2) y las margas con yesos (unidad 3), constituyen la parte más superior como se pone en evidencia además en la cartografía.

En afloramiento, los niveles de yesos de la unidad 2 presentan espesores métricos, con un aparente aspecto masivo, dando lugar a un importante resalte morfológico. Sobre esta unidad se ubican los restos del castillo de Peñaflores. En detalle se reconocen intercalaciones margosas centimétricas o a veces decimétricas grises. Los yesos presentan un marcado predominio de litofacies nodulares, limitándose los desarrollos laminados a la parte media de los niveles yesíferos más potentes..

Los intervalos margosos alcanzan potencias de orden decamétrico y contienen intercalaciones menores de areniscas, yesoarenitas y a veces algún delgado nivel de dolomías. A techo se reconoce algún nivel yesífero de espesor decimétrico y de cierta continuidad lateral.

En el subsuelo y en otros sectores más noroccidentales la unidad incluye materiales solubles, halita y glauberita, alternando con anhidritas.

Los Yesos de los Arcos representan el episodio evaporítico más importante en la Fm. Lerín evidenciando una gran expansión del sistema lacustre salino en la Cuenca Navarro-Riojana.

Su contenido paleontológico es prácticamente nulo, de modo que la atribución al Ageniense se realiza por su posición estratigráfica.

1.1.3 Lutitas ocre y rojas con intercalaciones de areniscas y delgados niveles de calizas (4). Orleaniense.

Esta unidad se sitúa inmediatamente encima de la descrita en el epígrafe anterior y en principio aparentemente de forma gradual sobre ella. Estos depósitos se disponen pues

sobre las margas con yesos de la unidad 3 y se pueden observar claramente a lo largo y por debajo de los farallones que constituyen los cantiles de La Estroza que delimitan el Vedado de Eguarás, inmediatamente al norte de la hoja de Los Hermanos, en la vecina hoja de Alera (245-I). Asimismo, se ha podido caracterizar en el corte de El Bercho, en la parte suroccidental de la hoja.

Litológicamente se trata de una unidad muy heterogénea, de tonalidades claras, en la que predominan las lutitas ocre o rojas según sectores y que intercalan y en proporción variable, niveles de areniscas o de calizas y yesos. Se la considera como cambio lateral de facies de las unidades 2 y 3, por lo que estos depósitos serían el equivalente detrítico de los yesos de Los Arcos en las zonas surorientales de la cuenca

La lutitas presentan un aspecto masivo con tonalidades de color ocre y a veces rojizas, estas últimas relacionadas con procesos edáficos postsedimentarios. Los tramos basales de la serie suelen ser algo margosos. En general presentan tonalidades rosáceas, si bien a veces se localizan intercalados horizontes centimétricos oscuros.

Las areniscas suelen ser de color gris, tamaño decimétrico a métrico y relativa continuidad lateral y están cementadas por carbonatos. Suelen presentar una base planar o muy tendida y presentan abundantes ripples de corriente (climbing-ripples). Cuando los niveles de areniscas son de espesor métrico, llegando incluso hasta casi dos metros, destacan y/o resaltan en el paisaje y en este caso la base suele ser más erosiva que las anteriores, presentando laminación cruzada y megaripples.

Los niveles de calizas son de color gris y tamaño centimétrico a decimétrico, máximo del orden de 20 cm. Aunque presentan cierta continuidad lateral, destacan y resultan más llamativos debido a su composición y color que por su escaso espesor. Se tratan de micritas arcillosas que suelen contener abundantes restos de oogonios de characeas.

Las muestras estudiadas en el corte de El Bercho, ponen de manifiesto una edad Mioceno inferior (Aquitaniense-Burdigaliense) es decir Orleaniense para estos depósitos debido a la presencia de *Cypridopsis kinkelini*, *Chara microcera*, *Chara cylindrica*, *Sphaerochara aff. Minutissima* y *Sphaerochara aff. Ulmensis*. Al margen aparecen characeas y gasteropodos poco determinativos así como organismos probablemente resedimentados.

Desde el punto de vista sedimentario estos depósitos corresponden a facies de orla distal de abanicos, con desarrollo de amplias llanuras de fangos y donde de forma esporádica se localizarían episodios fluviales efímeros así como pequeñas arreas de encharcamientos donde precipitarían los carbonatos y yesos, siempre por lo general más frecuentes hacia el Este y Sur.

1.1.4 Arcillas y limos ocres y rojos con esporádicas intercalaciones de areniscas (5) y Areniscas (6). *Facies Las Bardenas. Orleaniense*

Las Facies Las Bardenas configuran un conjunto eminentemente arcilloso que se desarrolla al SE de la Comunidad Navarra y en una parte adyacente de la provincia de Zaragoza. Debido a la aridez así como a la escasa vegetación existente, se facilita el desarrollo de espectaculares y caprichosas formas de erosión tan características de esta región. Todo ello hace que los afloramientos en esta unidad sean muy frecuentes y de excelente calidad presentando muchos de ellos gran continuidad.

Se trata sin duda alguna de una de las unidades cartográficas más características de la Hoja, ya que estos materiales forman una buena parte del paisaje y arquitectura que se observa en Las Bardenas Reales, al menos en su sector central y en particular dentro de la mitad occidental de la hoja. Litológicamente la unidad se presenta con un carácter bastante homogéneo, estando constituido en conjunto de una forma bastante monótona por arcillas y limos de tonalidades ocres y rojas y de aspecto masivo, que de forma esporádica intercalan niveles de areniscas grises de espesor decimétrico y métrico, a veces de gran continuidad lateral. Cuando esto sucede, han sido individualizadas y diferenciadas en la cartografía como la Unidad 6. Estos niveles son los responsables en parte de las formas tan particulares del relieve que la región ofrece. Localmente, en la zona de La Junta y Corral de La Junta, al norte de la hoja, aparecen una serie de niveles de calizas grises, de espesor centi-decimétrico y extensión muy localizada.

Aunque predominan las tonalidades ocres en las lutitas, se diferencian de forma rítmica horizontes rojizos decimétricos, incluso métricos, relacionados con procesos edáficos, así como algún que otro horizonte grisáceo de espesor centimétrico a decimétrico. Ocasionalmente y entre estas lutitas se reconoce algún nivel de yeso disperso

Las areniscas que se intercalan en las lutitas presentan diferentes facies y espesores. Suelen ser de grano medio a fino, los granos están cementados por carbonatos y son de tonalidades grises y de espesor decimétrico o e incluso a veces centimétrico, con base

planar y abundantes ripples de corriente (*climbing-ripples*), llegando en ocasiones estos a constituir un único paquete arenoso. No obstante también se reconocen cuerpos de espesor métrico (1 a 1,5 m) con base irregular y erosiva. Finalmente se observan también canales con desarrollo de acreción lateral, correspondientes a *point-barr*.

Desde el punto de vista sedimentario estos depósitos hay que relacionarlos con facies distales de abanicos aluviales de procedencia pirenaica. Se corresponderían con extensas llanuras de fangos cortadas de forma esporádica por algunos canales efímeros, y con posibilidad de encharcamientos locales representados por los tramos carbonatados.

En el ámbito de la hoja se ha reconocido en los cortes de Las Cortinas y La Gorra. En cuanto a edad se refiere se atribuye a estos depósitos al Mioceno inferior-medio, correspondiéndoles probablemente una edad Orleaniense sin llegar al Astaraciense, en función de la caracterización de *Chara cylindrica*, *Ch. microcera*, *Ch. Tornata* y *Sphaerochara aff. minutissima*

1.1.5 Lutitas con algunas intercalaciones de areniscas (7) y Areniscas (8). Facies Las Bardenas. Orleaniense.

Los materiales descritos en este epígrafe se extienden por el límite oriental de la misma y resultan equivalentes laterales de los afloramientos de las series arcillosas de la Unidad 5 que conforman el paisaje bardenero propiamente dicho.

Representa esta unidad la parte superior de la sucesión terciaria en la mitad oriental de la Hoja, donde alcanza una potencia estimada de unos 70 m. Se encuentra relacionada genéticamente con la Unidad de Olite (unidad cartográfica 10) a la que pasa transicionalmente hacia el N y Noroeste en la vecina hoja de Alera, aunque en esta de Los Hermanos el contacto, aunque aparentemente conforma, es muy neto. Se distingue de esa unidad por la disminución en presencia y espesor de los términos areniscosos.

En consecuencia, la Unidad 7 se caracterizan litológicamente por el predominio de los términos lutíficos, representados por arcillas ocre-rojizas en tramos homogéneos de potencia métrica a decamétrica que alternan con niveles de areniscas de poco espesor. En consecuencia, es evidente su carácter aluvial, enmarcándose en un contexto de frente muy distal.

Las areniscas aparecen de forma dispersa entre las lutitas predominantemente como capas tabulares y a veces con base erosiva con morfología típica de canal. Presentan potencia decimétrica y a veces métrica, adquiriendo tonos ocre-rojizos a grises. Localmente los niveles de areniscas adquieren mayor desarrollo y potencia y en ese caso presentan *sets* tabulares superpuestos de láminas cruzadas y *cosets* de *ripples* de corriente a techo.

Cuando dan resalte las areniscas y tienen cierta extensión superficial han sido diferenciadas o individualizadas (Unidad 8). Su morfología y estructuras sedimentarias (granoclasificación positiva, huellas de base, laminación paralela, estratificación cruzada de mediana escala, escapes de fluidos y *ripples* a techo) indican su depósito bajo mecanismos de tipo *sheet flood* en avenidas episódicas.

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

1.1.6. Areniscas y lutitas (10). Unidad de Olite. Orleaniense.

La unidad cartográfica 10 corresponde a la denominada Unidad de Olite, aflorante en las Hojas 206 Peralta y 207 Sos del Rey Católico y regionalmente representa los términos más detríticos de la Fm Tudela.

Se desarrolla principalmente por la mitad nororiental de la Hoja, delimitando en buena parte los relieves de Las Bardenas Reales en este sector. Lateralmente los niveles más bajos van pasando a la unidad 5 (Facies de Las Bardenas), conjunto más arcilloso y distal, bastante característico de la Hoja y en general de la región.

Los afloramientos suelen ser bastante frecuentes en las laderas meridionales y se localizan en los escarpes y relieves que configuran los márgenes paisajísticos de Las Bardenas en la Hoja. Así son de destacar los afloramientos que proporciona el canal de Navarra a lo largo de los numerosos cortes existentes a lo largo de su traza así como en otros puntos tales como en la parte más alta de las vertientes de Gorragascón y Angarillones.

El límite inferior de la unidad viene marcado por un incremento notable en el contenido en niveles de areniscas, cuya potencia aumenta también de forma acusada. El techo está

definido hacia el N y fuera ya de Hoja por una nueva entrada de detríticos (Unidad de Artajona) mientras que hacia el S y SE pasa transicionalmente a las Facies de Las Bardenas (Unidad 5 y 7), con las que se interdigita.

La potencia máxima estimada de la Unidad en la Hoja no supera los 100 m.

La Unidad de Olite constituye litológicamente un conjunto detrítico (areniscas y lutitas) donde las intercalaciones de areniscas varían porcentualmente en función de su posición geográfica dentro de la Hoja.

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

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

Las lutitas son bastante más abundantes que las areniscas. Los depósitos más fangosos corresponden básicamente a lutitas rojizas y ocreas en intervalos de espesor métrico a decamétrico y presentan un aspecto homogéneo. Ocasionalmente pueden intercalar algún nivel carbonatado de color gris azulado y de espesor centimétrico.

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

Debido al marcado carácter aluvial de esta unidad, el contenido paleontológico es muy escaso y de escaso valor cronoestratigráfico. En la sección de Pinsoro, se han determinado *Chara cylindrica*, *Sphaerochara aff. Ulmensis* y *Tectochara cf. Meriani*, Ostrácodos y Gasterópodos . Se atribuye una edad Orleaniense por correlación con otras unidades de la Fm. Tudela.

1.2 CUATERNARIO

1.2.1 Gravas y lutitas ocreas. Glacis (12, 13 y 14). Pleistoceno-Holoceno

Se trata de una unidad morfológica y litológica abundantemente representada en el ámbito de la Hoja, sobre todo en el cuadrante suroriental.

En esta zona se reconoce un sistema de morfologías de tipo glacis, habiéndose cartografiado hasta tres niveles escalonados de forma descendente hacia el sur y sureste. El nivel más alto corresponde a los que se localizan en la Plana de la Ralla y el vértice Pinsoro, con cotas culminantes de 497 y 478 m. respectivamente.

En la zona occidental de la hoja, también se han cartografiado morfologías atribuibles a esta unidad aunque, en esta área, solo se han reconocido formas y depósitos correspondientes a los dos niveles más bajos.

Por lo general, su composición refleja la del sustrato que se ha desmantelado, así como la de los relieves al pie de los cuales se generan. Están constituidos por gravas a veces cementadas, de tonalidades ocreas, algo cementadas constituidas por cantos aplanados y redondeados de areniscas, cuarcitas y calizas con diámetros medios de 6-8 cm y máximos de hasta 15 cm. Se observan intercalaciones de lutitas ocreas que engloban cantos dispersos, de carácter anguloso a subangulosos y composición areniscosa y calcárea. El espesor conjunto se aproxima en algunos puntos a los 5 m, llegándose incluso a desarrollar suelos ocreos de hasta casi 1 m de espesor.

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

1.2.2 Limos ocreos con intercalaciones de niveles de gravas. Mantos de arroyada extensos y abanicos aluviales (15). Pleistoceno-Holoceno.

Esta unidad se encuentra bien caracterizada en el entorno de Las Bardenas Reales, concretamente en el sector central de la Hoja, dando lugar a formas de enlace entre los

relieves arcillosos deprimidos del sector central y por los escarpes y farallones que delimitan y rodean la depresión.

Los depósitos se sitúan de forma a veces continua sobre el sustrato arcilloso, aislando a veces pequeños cerros testigos o afloramientos de cierta continuidad, por lo que su disposición en planta resulta bastante irregular. Las cabeceras se sitúan adosadas a los relieves y con frecuencia se trata de formas coalescentes. Sobre estos depósitos y con frecuencia se encaja en ellos la red fluvial actual, dando lugar a barrancos y ramblas con incisiones y escarpes muy marcados.

Litologicamente predominan los depósitos finos, generalmente limos de tonalidades ocre de varios metros de espesor, de características muy similares a la naturaleza del sustrato infrayacente, por lo que a veces llega a confundirse con él. En muchas ocasiones se observan episodios, aunque de poco espesor, de gravas intercaladas entre estos limos. Presentan varios metros de espesor, llegando a veces a medirse más de 5 m.

La génesis y origen de estos depósitos hay que buscarla en procesos relativamente recientes algunos de ellos, relacionados bajo un régimen de lluvias, con una dinámica fluvial del tipo mantos de arroyada difusos y de abanicos aluviales, con sus ápices orlando los relieves terciarios. Estos aparatos fluviales tenderían a dismantelar de forma bastante rápida e irregular el sustrato arcillosos terciario sobre el que se desarrollan.

Aunque se trata de un depósito relativamente reciente, sobre el que se encaja la red actual, por su relación con los glaciares, sobre los cuales se encuentran encajados, hace que se les asigne una edad comprendida entre el Pleistoceno superior-Holoceno.

1.2.3. Limos y arcillas con cantos. Glaciares actual-subactual (16). Holoceno.

Como forma de enlace entre las zonas más elevadas y las más bajas topográficamente, es frecuente la presencia en las vertientes de morfologías de glaciares actuales-subactuales.

Están constituidos por un tapiz, generalmente poco potente (1-2 m. en sus partes más distales), de fangos limosos y arcillosos con cantos dispersos, más o menos abundantes en función de la litología de las partes más altas del relieve.

Su génesis se relaciona con procesos recientes, producidos en un régimen de lluvias que provoca la existencia de arroyadas en manto, mas o menos difusas, que provocan la movilización en pendiente de los sedimentos mas superficiales.

Se les atribuye una edad holocena,

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

Los depósitos de los coluviones son de reducido espesor, en general inferior a 2 m, y suelen tener escasa representación superficial. Aparecen distribuidos irregularmente, pero siempre al pie de escarpes de origen diverso y como formas de enlace entre el fondo de valle y la parte alta de las vertientes.

Litológicamente dependen directamente de la naturaleza de su área madre, predominando las lutitas y arenas con cantos y a veces bloques angulosos y subangulosos de areniscas de tamaño muy variable procedente de las series terciarias. Con frecuencia presentan espesores de orden decimétrico, y escasamente métricos, procedentes del desmantelamiento 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. Arcillas y limos con cantos, gravas y arenas. Fondos de valle (20). Holoceno

Constituyen el depósito de los cursos que discurren a través de los principales valles o barrancos reflejando así la actividad de la red fluvial secundaria en la Hoja, en todo caso de pequeña entidad.

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

Predominan las lutitas de tonalidades ocre y grises, que incluyen cantos de tamaño variable e incluso en ocasiones bloques y a veces gravas; aunque en menor medida, también se reconocen niveles de arenas. La litología de sus componentes es variable,

predominando los fragmentos de areniscas. Por su íntima relación con la red fluvial actual se atribuyen al Holoceno.

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

Se incluyen dentro de este apartado unos depósitos diferenciados sobre todo en la mitad septentrional de la Hoja, que ocupan zonas generalmente deprimidas topográficamente, con una geometría irregular, algo difusa y característica, y que pueden alcanzar extensiones importantes. Se trata de depósitos de escasa relevancia en la vertical desarrollados a favor de depresiones o de cursos efímeros que drenan o desaguan en valles amplios y poco encajados y que además no presentan una dirección preferencial de la red fluvial que en parte ha dado lugar a ellos.

Litológicamente se trata de lutitas de color ocre a veces con cantos y algún nivel algo arenosos muy disperso que también pueden incluir cantos de areniscas. La composición refleja el sustrato sobre el que se desarrollan y en cualquier caso no suelen sobrepasar los 2-3 m. de espesor como máximo. Con frecuencia, y en época de lluvias, se observan numerosos encharcamientos.

La edad, difícil de precisar, se sitúa junto con la actividad fluvial y los procesos de laderas desarrollados durante el Holoceno.

1.2.7. Arcillas y limos a veces con depósitos salinos superficiales Fondos endorreicos (22). Holoceno.

Los materiales que se describen en este epígrafe aparecen asociados a zonas deprimidas, de difícil drenaje y que, estacionalmente, con ocasión de lluvias más importantes, dan lugar a áreas de encharcamiento efímero.

Presenta asociados depósitos finos. Se trata de arcillas y limos con un moderado contenido en materia orgánica, y en general poseen un espesor no superior al metro. Ocasionalmente pueden intercalar depósitos más groseros, procedentes de aportes laterales. Las condiciones de aridez de la región hacen que la evaporación de lugar a eflorescencias salinas superficiales de tonalidades blancas.

Por su disposición dentro del relieve actual se han atribuido al Holoceno, sin que se descarte que su génesis inicialmente aconteciese ya a finales del Pleistoceno superior.

1.2.8. Depósitos antrópicos (23). Holoceno

La práctica total ausencia en el área de la hoja de actividad humana, justifica la ausencia de depósitos importantes relacionados con la misma.

Sin embargo, y en relación con el embalse de Zapata, en la zona centro meridional de la hoja, se han cartografiado unos depósitos de naturaleza arcillosa, localizados al pie del embalse, sin duda procedentes de los vaciados estacionales del mismo.

2. TECTÓNICA

2.1. CONSIDERACIONES GENERALES

La Hoja a escala 1.25.000 de Los Hermanos (245-III) se localiza en el sector central de la Depresión del Ebro. Ésta constituye un área de geometría triangular que se comporta a lo largo del Terciario como cuenca de antepaís respecto al 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. Esto hace dar lugar, en la vertiente surpirenaica, a un conjunto de láminas cabalgantes hacia el S y provoca, en el margen contrapuesto, el cabalgamiento de la Sierra de la Demanda, con una flecha de desplazamiento de 20-30 km hacia Norte.

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

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

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

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

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

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

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

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

Pese a la proximidad de la Hoja respecto al sector plegado de la Cuenca Navarro-Riojana, hay que hacer notar que el plegamiento en ella es muy suave. Las únicas estructuras distinguibles corresponden a las terminaciones periclinales orientales de las estructuras de Falces, Peralta y Arguedas, Se trata de estructuras muy laxas, de dirección general NNO-SSE, con buzamientos muy bajos a ambos flancos, no superando los 10º, observándose su terminación periclinal de forma muy suave hacia el Este.

El carácter sinsedimentario de la deformación permite diferenciar dos grandes conjuntos estratigráficos principales en la región, aunque en la Hoja solo aparezca representado prácticamente el superior y escasamente el techo de la inferior. A nivel regional el conjunto inferior contiene diversas unidades evaporíticas y está integrado por las Fms. Falces, Marcilla, Lerín y se encuentra claramente involucrado en la deformación. El superior corresponde a la

Fm. Tudela, integrada básicamente por facies aluviales distales y, en menor medida, lacustres carbonatadas y los equivalentes fluviales de ambas. Esta Fm. Se encuentra suavemente plegada y se desarrolla en los núcleos sinclinales, disponiéndose mediante un contacto truncacional sobre la Fm Lerín (o posibles equivalentes) y en relación de *on lap* hacia las principales estructuras anticlinales de la región, en cuyos flancos puede configurar discordancias progresivas.

La distribución de los afloramientos y facies de la Fm. Tudela sugiere una compartimentación incipiente en la cuenca a favor de los surcos sinclinales, y evidencia el desplazamiento de los cuerpos lacustres evaporíticos, propios de los sectores centrales de la cuenca, hacia el sector Aragón. En la Hoja, y debido a la leve deformación apreciable, el conjunto de la Fm. Tudela presenta una disposición bastante tabular, con buzamientos prácticamente sub-horizontales o plegada de forma muy laxa y suave a favor de estructuras sinclinales especialmente en la zona de Las Bardenas Reales-Carcastillo o de Peralta-.

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 Los Hermanos (245-III) forma parte estructuralmente del sector central de la Cuenca del Ebro. En consecuencia se enmarca casi en su totalidad en una zona no plegada con la serie terciaria en disposición subhorizontal o ligeramente deformada a favor de pliegues muy laxos y suaves con valores muy bajos en los buzamientos de los que serian sus flancos.

No obstante y dada su proximidad al Dominio Plegado del Ebro, desarrollado más al Oeste, se reconocen en la parte más occidental de la Hoja, las terminaciones periclinales de unas estructuras muy laxas que se soterran bajo sedimentos más modernos terciarios y cuaternarios en pleno corazón de Las Bardenas y que representa la prolongación hacia el Este del Anticlinal de Falces, Sinclinal de Peralta y Anticlinal de Arguedas.

2.2.1. Anticlinal de Falces-Castillo de Peñaflo

El Anticlinal del Falces, o también aquí denominado del Castillo de Peñaflo, por ser en el paraje del Vedado de Eguarás, inmediatamente al norte de esta hoja, donde se observa esta geometría, constituye una estructura laxa que se desarrolla en la parte NO de la cuadrícula, extendiéndose regionalmente con dirección NO-SE por las Hojas vecinas nº 244 y 206 por lo que corresponde en realidad a la terminación y periclinal del denominado anticlinal de Falces, estructura longitudinal, que se extiende desde el sector septentrional de la Hoja 205 (Lodosa) hasta este sector con una longitud de eje de más de 50 km.

Debido a los moderados buzamientos que registra a ambos flancos, por debajo de los 15° y a los recubrimientos cuaternarios, su presencia pasa casi inadvertida. La ausencia de datos de subsuelo en este sector referente a esta estructura hace que su descripción se refiera únicamente a los rasgos más superficiales.

A nivel regional, el anticlinal de Falces presenta una marcada vergencia hacia el SO. El núcleo del pliegue está formado por los Yesos de Falces, constituyendo un conjunto intensamente replegado. Fotogeológicamente se distinguen, en el interior de la estructura, varios pliegues menores de dirección subparalela que registran distintas vergencias, evidenciando la actividad halocinética y la posible generación de retrocabalgamientos.

La información de subsuelo confirma la vergencia sur de la estructura a favor de un despegue principal enraizado en un horizonte próximo al muro de la Fm. Falces. Por debajo la serie terciaria presenta una marcada disposición tabular. Las líneas sísmicas ponen de manifiesto también la presencia de despegues internos desarrollados generalmente a partir del contacto entre intervalos anhidríticos, asimilables a grupos de reflectores de gran continuidad, y tramos de deficiente definición, probablemente más halíticos.

La migración de material salino hacia el eje del anticlinal es patente en las líneas sísmicas y está respaldada por la gran potencia de la Fm. evaporítica de Falces (más de 3000 m) registrada en el sondeo Marcilla-1. Bajo la Fm. Falces se corta una serie detrítica rojiza que responde a la denominación litoestratigráfica de Fm. Detrítica basal Oligocena.

Regionalmente sobre la Fm. Falces se disponen las Fms. Marcilla y Lerín constituyendo serie monoclinales a ambos flancos del pliegue. Se registran buzamientos comprendidos entre 25° y 60° en el flanco sur y de 10-30° en el flanco norte.

La serie terciaria culmina con la Fm. Tudela, que se dispone en franca discordancia erosiva sobre la Fm. Lerín y presenta una marcada relación de *on lap* hacia el S en el flanco septentrional de la estructura. Este dato, unido al probable carácter progresivo de la discordancia basal de la Fm. Tudela, evidencia la formación sinsedimentaria del Anticlinal de Falces durante el Mioceno inferior a medio. Además hay que hacer notar que sí bien la Fm. Tudela presenta un plegamiento más suave que la serie terciaria infrayacente, se han observado, en zonas próximas a la Hoja, pliegues menores bastante apretados, de vergencia meridional, desarrollados al Sur del Anticlinal de Falces lo que implica movimientos compresivos posteriores, con una edad mínima de Mioceno medio.

En definitiva el Anticlinal de Falces constituye un pliegue de crecimiento originado a partir del Mioceno inferior que se relaciona con un cabalgamiento ciego enraizado a muro de la Fm. Yesos de Falces, por lo que no involucra el basamento, ni la cobertera mesozoica, ni la parte inferior de la serie terciaria.

En la presente Hoja, el eje del Anticlinal de Castillo de Peñaflo, prolongación de la estructura anticlinal de Falces, solamente se intuye, deduciéndose su terminación periclinal al norte del paraje de La Junta.

El núcleo del pliegue esta constituido por las denominadas "Arcillas de Villafranca" y orlando la estructura aparecen unos niveles de yesos y margas, de poco espesor y equiparables a los "Yesos de Los Arcos".

Discordantemente se superponen depósitos correspondientes a facies distales equivalentes en parte a la Unidad de Olite, integradas dentro del conjunto de la Fm. Tudela. Registran buzamientos moderados en ambos flancos, inferiores a los 5° en el más septentrional y del orden de 12° en el meridional, advirtiéndose una posible vergencia sur en la estructura.

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

2.2.2. Sinclinal de Peralta y anticlinal de Arguedas.

Al sur de la estructura descrita en el apartado anterior, se han cartografiado las terminaciones periclinales de otras dos grandes estructuras regionales: el sinclinal de Peralta y el anticlinal de Arguedas.

A pesar de su escasa representación areal dentro del ámbito de la hoja, y a que, realmente son formas prácticamente intuitas dada la escasez y calidad de los afloramientos, así como a la leve inclinación de las capas, se ha optado por su representación cartográfica en aras a conseguir una homogeneidad con hojas vecinas en las que estas estructuras se encuentran bien caracterizadas (hoja 204 –Alfaro, 205- Lodosa y 206- Peralta).

El sinclinal de Peralta se extiende a lo largo de 60 Km. Entre Sesma y Las Bardenas. Presenta dos tramos: al Oeste del Ega de dirección N 65°, y entre el Ega y la zona de Los Hermanos, donde discurre según una dirección N 125ª E.

El eje de la estructura, al igual que sucede en gran parte de las estructuras de La Ribera, es bastante horizontal. La vergencia del pliegue es sur en líneas generales, aunque en la zona que nos ocupa la vergencia no es clara y donde el pliegue se difumina hasta desaparecer.

El anticlinal de Arguedas (también llamado de Loodosa o de Cárcar), se extiende desde las proximidades de Lodosa hasta la zona objeto de estudio, en la hoja de Los Hermanos.

En esta zona presenta una dirección N 120º E, con vergencia aparentemente hacia el sur.

En el ámbito de la hoja de Los Hermanos, afectan a materiales de las unidades 3, 4 y 5. Como ya se ha señalado, los buzamientos de la serie, que se sitúan en valores de 3-5 grados, así como la escasez de afloramientos o la mala calidad de los mismos en buena parte del área afectada, provocan que la cartografía de las estructuras sea solamente aproximada.

3. GEOMORFOLOGÍA

3.1. DESCRIPCIÓN FISIOGRÁFICA

La Hoja a escala 1:25.000 de Los Hermanos (245-III) está incluida en la Hoja nº 245 a escala 1:50.000 de Sádaba, localizándose en el ámbito de la comarca de Las Bardenas Reales y, más concretamente, en el sector suroriental de la Comunidad Autónoma de Navarra, en su límite con la Comunidad Autónoma de Aragón, que ocupa su extremo oriental.

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

La fisiografía de la Hoja se caracteriza por la existencia de dos dominios principales. La mitad occidental de la hoja presenta la arquitectura de paisaje característica de Las Bardenas Reales, comarca natural constituida por un territorio árido, escasamente vegetado, en el que el impacto visual que ofrece la observación de la naturaleza geológica del terreno, sus colores y las caprichosas formas labradas por la erosión, componen un conjunto de gran belleza.

En el sector oriental, la fisiografía del territorio viene caracterizada por la presencia de morfologías de glacis que conforman una serie de replanos elevados (Plana de la Ralla, Los Planos de Pinsoro), en cuyas vertientes la acción de la erosión genera un sinnúmero de pequeños cauces de incisión y zonas de acarcavamiento.

La red fluvial presenta escasa relevancia. Se trata de cauces efímeros, funcionales estacionalmente y de cauce, en muchos casos, poco definido. Está integrada por un gran número de barrancos entre los que solamente el barranco Grande, que atraviesa el ángulo noroccidental de la zona tiene un carácter permanente o, al menos, semipermanente. Es, por otra parte, relativamente frecuente, sobre todo en la zona de Bardenas, la existencia de zonas de drenaje deficiente que provocan la presencia de áreas con tendencia endorreica o semiendorreica.

Climatológicamente, la región pertenece al tipo Mediterráneo Templado, con precipitaciones medias anuales cercanas a 500 mm y temperaturas medias anuales en torno a 14°C. Estos

rasgos climáticos, junto con las características litológicas de la zona, justifican la proliferación de formas características de regiones áridas tales como cárcavas, chimeneas de las hadas y cerros testigo, entre otras.

Se trata de una zona muy poco poblada, sin ningún núcleo de población estable en su ámbito. La agricultura constituye la principal ocupación de sus habitantes, concentrándose sus cultivos más productivos en el sector oriental, a favor de la existencia del Canal de Las Cinco Villas. También existe algo de actividad ganadera de ovino aunque en franco retroceso con respecto a épocas pasadas.

La escasez de habitantes y la inexistencia de actividad industrial explican la precariedad de la red de comunicaciones, reducida a una serie de pistas y caminos, excepción hecha de la carretera que da acceso a las instalaciones militares del campo de tiro de Bardenas.

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).

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 Sos del Rey Católico (207), Alfaro (244), Sádaba (245) y Peralta (206), esta última con un capítulo de geomorfología y su correspondiente esquema a escala 1:100.000. Por último, mención aparte merecen las Hojas geológicas y geomorfológicas a escala 1:25.000 realizadas dentro del presente proyecto de actualización e informatización de la cartografía geológica de Navarra en zonas próximas (Hojas 174-III, Cáseda; 174-IV, Sangüesa; 205-II, Lerín; 205-IV, San Adrián; GOBIERNO DE NAVARRA, 1998 y 2000) por la gran cantidad de datos aportados y la puesta al día llevada a cabo en cuanto al conocimiento geológico de la región.

3.3. ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO

El estudio morfológico se aborda desde dos puntos de vista:

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

3.3.1. Estudio Morfoestructural

La Hoja de Los Hermanos (245-III) se localiza en la Cuenca de La Rioja-Navarra, perteneciente al sector noroccidental de la Depresión del Ebro, caracterizado por una clara influencia de la estructura en el relieve, derivada a su vez de la acción de la tectónica sobre los diferentes conjuntos litológicos.

De acuerdo con los principales rasgos geológicos regionales, las rocas sedimentarias terciarias integran el sustrato, que aparece modelado fundamentalmente por los depósitos cuaternarios procedentes del desmantelamiento de los relieves de la región, que tapizan una buena parte de la zona, dentro del ámbito evolutivo de influencia del río Ebro y su afluente, el Aragón.

El dominio terciario, en el que aflora un conjunto sedimentario atribuido al Mioceno inferior-medio, está caracterizado por una serie fundamentalmente arcillosa con intercalaciones de areniscas que localmente pueden llegar a ser la litología dominante. Dichas intercalaciones configuran numerosos resaltes estructurales como consecuencia de su mayor resistencia a la erosión, siendo estos niveles los que permiten definir la geometría de la región, consistente en una sucesión tabular, reconociéndose una serie de pliegues laxos tan sólo en la zona más occidental, correspondientes a las terminaciones de las estructuras de Falces, Peralta y Arguedas.

Los resaltes poseen una continuidad muy variable, pudiendo aparecer como simples líneas de capa o acompañados de escarpes más o menos pronunciados, pero en todos los casos con desniveles inferiores a 100 m. Ocasionalmente, se conservan superficies estructurales, degradadas o no, así como morfologías en cresta.

En esta zona, como en otras próximas en la Cuenca del Ebro, es frecuente la existencia de morfologías generadas por la existencia de intercalaciones de paleocanales areniscosos en la serie terciaria, que provocan la presencia de relieves residuales sobre areniscas.

Estructura de la red de drenaje

La red hidrográfica del sector occidental muestra una geometría de tipo dendrítico, articulándose en torno al barranco Grande y los barrancos de Los Hermanos y Los Cambrones, de evidente carácter consecuente, discurriendo de Noreste a Suroeste de acuerdo con la línea de máxima pendiente en esa zona. Por el contrario, la red del sector oriental, de geometría dendrítica menos acusada, presenta carácter obsecuente, fluyendo a favor de la pendiente local de noroeste a sureste. Tanto en el sector oriental como en el occidental, la red se encuentra muy poco encajada, careciendo de un patrón geométrico definido.

3.3.2. Estudio del modelado

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

Formas de ladera.

A favor de algunas de las vertientes generadas a favor de los relieves principales, se produce una movilización de materiales de desmantelamiento de las zonas elevadas, que dan lugar a morfologías de coluvión. Aunque se trata de un proceso bastante generalizado, no presentan gran extensión superficial, por lo que, en la mayoría de las ocasiones, no se han representado en la cartografía.

Formas fluviales

Los fondos de valle tienen una amplia distribución, apareciendo con formas alargadas y estrechas. En general, su geometría no parece adaptada a la estructura ni evidencia un patrón predominante. Por su longitud, destacan el barranco Grande y el de Los Hermanos en la zona occidental, y el barranco del Lagunazo en la oriental..

Los depósitos de arroyada extensos tapizan una buena parte del área situada en la mitad occidental de la hoja, en el entorno de Bardenas, generados sobre todo a favor de los relieves de glaciares orientales.

En cuanto a las formas erosivas de origen fluvial, también poseen una amplia distribución, destacando entre ellas la incisión lineal; en algunas áreas, sobre todo en la zona suroccidental, en el entorno de la Plana de Mesalobar, se han reconocido pérdidas de drenaje en algunos barrancos.

El predominio de los términos arcillosos en la serie ha favorecido un gran desarrollo de las cárcavas, hasta el punto de que en algunas zonas ha sido imposible su diferenciación cartográfica, representándose como áreas acarcavadas.

Formas poligénicas

Se trata de las formas con mayor representación superficial, merced a la gran extensión de los glaciares, y los depósitos de carácter aluvial-coluvial. Entre las formas erosivas, destacan los escarpes y las morfologías de rocas aisladas y pináculos rocosos.

Los glaciares aparecen como depósitos de gran extensión superficial, sobre todo en la zona oriental de la hoja. Se caracterizan por sus perfiles longitudinales plano-cóncavos, con aumento de la concavidad hacia la cabecera. Los más destacados son el de la Plana de la Ralla y el de Pinsoro, así como los del ángulo sureste de la hoja.

En algunas zonas, existen valles amplios, muy poco encajados, en los que resulta difícil delimitar los depósitos de origen fluvial con relación a los procedentes de las vertientes, habiendo sido preciso diferenciarlos cartográficamente como depósitos de origen aluvial-coluvial. Pese a su extensión, son formas de escasa relevancia que se adaptan groseramente a la forma de los valles.

Formas lacustres

En determinadas zonas de la parte occidental de la hoja, en el entorno de Bardenas, se han cartografiado una serie de áreas con drenaje deficiente, que dan lugar a la existencia de áreas endorreicas o semi-endorreicas.

Formas antrópicas

La actividad antrópica constituye una faceta de escaso interés en la zona, habiéndose registrado sólo una acumulación cartografiable localizada al pie de la pequeña presa de Zapata, en la zona centromeridional de la hoja.

3.4. FORMACIONES SUPERFICIALES

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

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

Son depósitos de reducido espesor, en general inferior a 2 m, y escasa representación superficial, distribuidos irregularmente, pero siempre al pie de escarpes de naturaleza y origen diversos. Su constitución litológica depende directamente de la naturaleza de su área madre, predominando las lutitas y arenas con cantos y bloques angulosos a 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 y por su relación con el resto de los depósitos cuaternarios se han asignado al Holoceno.

3.4.2. Limos ocreos con gravas dispersas. Mantos de arroyada extensos y abanicos aluviales (b). Pleistoceno-Holoceno

Constituyen una serie de recubrimientos, localizados preferentemente en la zona central de la hojal, predominando los limos procedentes de las vertientes de los relieves que constituyen su área madre, si bien engloban cantos esporádicos de areniscas. Su espesor varía entre 1 y 4 m.

Pese a tratarse de un depósito moderno, encajado en los glaciares, el hecho de que se encuentre fuertemente incidido por la red fluvial, ha hecho que se incluya en un Pleistoceno terminal-Holoceno basal.

3.4.3. Lutitas con cantos, gravas y arenas. Fondos de valle (c). Holoceno

Constituyen el depósito de los cursos que discurren a través de los principales valles, que, en cualquier caso, poseen escasa entidad, pudiendo exceptuarse únicamente el barranco Grande. Son depósitos adaptados a la estructura de la red de drenaje, predominando los

afloramientos de forma alargada, pudiendo alcanzar longitud kilométrica y una anchura moderada; poseen un espesor comprendido entre 3 y 5 m, que ocasionalmente puede ser superior.

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

3.4.4. Limos y arcillas con salinización superficial (d). Formas endorreicas

Son depósitos finos asociados a áreas de drenaje deficiente, cuyo carácter endorreico produce un efecto de encharcamiento. Se trata de arcillas y limos con un moderado contenido en materia orgánica, que en general poseen un espesor superior a 1 m. Ocasionalmente pueden intercalar depósitos más groseros, procedentes de aportes laterales. Las condiciones de aridez de la región hacen que la evaporación dé lugar a eflorescencias salinas superficiales.

Por su disposición dentro del relieve actual se han atribuido al Holoceno, sin que se descarte que su génesis se iniciase en el Pleistoceno.

3.4.5. Gravas y lutitas ocre. Glacis (e, f, g). Pleistoceno-Holoceno

Alcanzan gran desarrollo en la mitad oriental de la hoja, donde se han llegado a diferenciar hasta tres niveles encajados. Por lo general, su composición refleja la del sustrato sobre el que se desarrollan, así como la de los relieves al pie de los cuales se generan, en el caso de los localizados en posición topográfica más baja. Están constituidos por gravas algo cementadas integradas por cantos aplanados y redondeados de areniscas, con diámetros medios de 6 cm y valores máximos de hasta 15 cm; intercalan lutitas ocre que engloban cantos dispersos, de carácter anguloso a subanguloso y composición areniscosa. El espesor conjunto se aproxima a 2 m., aunque el nivel mas superior puede superar los 3-4 m. en algunos puntos presentando, asimismo, un grado de cementación mayor.

Su génesis está en relación con el desmantelamiento del relieve establecido en la zona tras el depósito de los glacis de techo de piedemonte, lo que, unido al encajamiento de los mantos de arroyada sobre ellos, hace que su génesis quede acotada en el Pleistoceno.

3.4.6. Lutitas ocre con cantos dispersos. Aluvial-coluvial (h). Holoceno

En general, se trata de un depósito de granulometría fina, con predominio de limos, en el que se intercalan esporádicos cantos de naturaleza areniscosa, en su mayor parte procedentes de las vertientes. Probablemente, su espesor no alcance los 5 m.

Se atribuyen al Holoceno, al igual que las formas elementales que lo integran, es decir, los coluviones y los fondos de valle.

3.4. 7. Fangos arenosos con cantos. Glacis actual-subactual (i). Holoceno.

Se reconoce en numerosas zonas dentro de la hoja con disposición espacial irregular. Constituyen las morfologías de enlace entre las partes más altas de las vertientes y las más deprimidas topográficamente.

Pueden alcanzar extensión superficial notable, incluso kilométrica, aunque el espesor de los depósitos no suele superar los 2-3 m. en sus partes más distales. Están constituidos por fangos de naturaleza limolítica y arcillosa, en ocasiones arenosa y cantos dispersos en proporción variable.

Se les atribuye edad holocena.

3.4.8. Fangos. Depósitos antrópicos (j). Holoceno

Integran los depósitos de origen antrópico de la zona, consistentes por acumulaciones de fangos relacionados con el pie de pres del embalse de Zapata. Evidentemente, su génesis se ha producido durante el Holoceno.

3.5. EVOLUCIÓN DINÁMICA

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

Regionalmente, las superficies de erosión aparecen claramente encajadas en las principales superficies de los sistemas montañosos que bordean la cuenca y, aunque poco puede

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

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

En el ámbito de la Hoja, una vez generado el glacis de techo de piedemonte, dio comienzo el encajamiento de la red fluvial, que en una acción remontante progresaría desde el ámbito del río Ebro hacia el Norte y desde el del río Aragón hacia el Sur, convergiendo en la zona. A mediados del Pleistoceno, el modelado se caracterizaría por el desarrollo adquirido por los glacis, estableciéndose un sistema en el ámbito de cada una de las cuencas; el sistema meridional sufriría el encajamiento de extensos mantos de arroyada a finales de dicho periodo y, finalmente, ambos sistemas, el de la red fluvial, con una estructura básicamente igual a la observable hoy día. Este encajamiento de la red secundaria regional produjo un incremento de la superficie susceptible de ser atacada por los procesos denudativos.

En el Holoceno, la dinámica fluvial ha seguido gozando de una gran preponderancia en el modelado de la región, tanto por la acción llevada a cabo en los fondos de los valles, como por la ejercida mediante los conos de deyección. En cuanto a los depósitos de las laderas ahora sí permanecen “momentáneamente” conservados en forma de coluviones y vertientes de bloques. Localmente, las deficiencias en el drenaje han permitido la instalación de áreas

endorreicas y la acción humana, la acumulación de materiales antrópicos, si bien en ambos casos se trata de procesos de poca envergadura

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

3.6. MORFOLOGÍA ACTUAL-SUBACTUAL Y TENDENCIAS FUTURAS

La fisonomía actual de la Hoja de Los Hermanos es debida fundamentalmente a dos factores, la estructura del sustrato y la acción erosiva y sedimentaria producida durante el Cuaternario, encabezada por la dinámica fluvial.

A grandes rasgos, se observan en ella dos grandes dominios: el oriental, donde el manto de gravas correspondiente a los depósitos de glaciares tan sólo ha sido retocado localmente por la acción erosiva, apareciendo como un conjunto de plataformas elevadas que evolucionan en graderío hacia el sureste, y el resto de su superficie, donde la incisión de la red secundaria ha desmantelado totalmente dicho manto, dando lugar a un relieve deprimido (Bardenas) en su conjunto, con una serie de relieves residuales y zonas con tendencia endorreica.

En general, la red de drenaje se encaja mediante procesos de incisión vertical, más evidentes en las zonas abruptas; estos procesos van acompañados por retrocesos de las laderas y desarrollo de cárcavas.

La previsible evolución del relieve a corto plazo no sugiere modificaciones importantes en relación con los procesos actuales, siendo de esperar una tendencia general de aproximación del relieve al nivel de base local, marcado por el río Ebro. Si bien en las áreas de afloramiento de materiales blandos se acentuarán las tendencias endorreicas, la superior resistencia a la erosión de algunos niveles podría exagerar los desniveles asociados con algunas formas estructurales.

4. HISTORIA GEOLÓGICA

La Hoja a escala 1:50.000 Sádaba, de la que forma parte el cuadrante 245-III, Los Hermanos, se sitúa en el borde de la Depresión del Ebro, relativamente próxima a la cadena pirenaica. Asimismo, se ubica también cerca de la denominada Cuenca Navarro-Riojana (SALVANY, 1989) que constituye una subcuenca de la del Ebro.

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

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

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

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

En conjunto se evidencia una migración mantenida hacia zonas más meridionales del surco de sedimentación aluvial, a consecuencia del empuje de la cadena en el mismo sentido. Esta circunstancia, unida a una probable progresión de la actividad diastrófica da como

resultado una secuencia negativa general, de tendencia estrato y clastocreciente, con desarrollo de facies aluviales cada vez más proximales hacia techo y a la aparición de series más modernas hacia el Sur.

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

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

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

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

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

Durante el Oligoceno superior se instala en el sector central de la Cuenca Navarro-Riojana un cuerpo evaporítico de gran extensión correspondiente a la Fm Yesos de Falces. Los depósitos aluviales correlativos o equivalentes están integrados en la vertiente pirenaica por las facies de Sangüesa, 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 acontecen episodios algo similares a finales del Paleógeno y comienzos del Mioceno en la Fm. Lerín, que incluye a veces desarrollos evaporíticos importantes.

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 y Facies Las Bardenas) y más claramente de manifiesto durante el Mioceno, en las Sierras de San Pedro-Peña situadas más al Norte de la Hoja.

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

Se producen en consecuencia, durante los tiempos miocenos una marcada reestructuración paleogeográfica en la cuenca que queda cubierta por facies aluviales con el desplazamiento de la sedimentación evaporítica lacustre (Yesos de Zaragoza) hacia el Este. Las facies aluviales 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 sobre las Facies de Las

Bardenas. Por el Sur y Suroeste, los depósitos de atribución correlativa están integrados por las Fms. Fitero y Alfaro.

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

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

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

5. GEOLOGÍA ECONÓMICA

5.1. RECURSOS MINERALES

La Hoja a escala 1:25.000 de Los Hermanos (245-III) no cuenta con ningún indicio minero registrado.

Los posibles aprovechamientos de los materiales aflorantes a destacar en un futuro lo son como rocas y minerales industriales, que se emplazan como es lógico sobre las formaciones terciarias, destacándose tanto la posible explotación de arcillas como la de los niveles de areniscas que se intercalan entre ellas. Interés y posibilidades de explotación lo tienen también las gravas de los depósitos cuaternarios que se localizan distribuidos por una buena parte de la Hoja.

No obstante la reciente delimitación y calificación como parque natural de la zona de Las Bardenas Reales constituye un serio imperativo legal a la hora de afrontar cualquier tipo de explotación en ese paraje. No obstante y fuera de esos límites el aprovechamiento de algunas sustancias puede resultar interesante.

5.1.1. Minerales y Rocas Industriales.

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

5.1.1.1. Areniscas

Los niveles de areniscas intercalados en la Fm. Tudela (Facies Las Bardenas y Unidad de Olite) se explotan en numerosos puntos de la región para la obtención de bloques de mampostería, recibiendo denominaciones populares en el entorno relativamente cercano (p.e. *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 y favorecido en áreas próximas su explotación intensiva en el pasado.

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

No se tiene constancia de labores y si las hay son circunstanciales no controladas.

5.1.1.2. Arcillas comunes

Como ya se ha expuesto no existe ningún indicio de arcillas comunes en la Hoja de Los Hermanos (245-III), si bien estas son muy abundantes y una buena parte de ellas se encuentran aflorantes en la zona del parque natural de Las Bardenas Reales.

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. Arcillas especiales

Los intervalos lutíticos de la Fm. Tudela contienen arcillas de neoformación, por lo que hay que destacarlos en el presente epígrafe por su potencial minero.

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

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

5.1.1.4. Áridos naturales

Las gravas y arenas de los niveles del piedemonte que constituyen los sasos 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 como media y éstos corresponden mayoritariamente a calizas del Terciario y Mesozoico, así como areniscas y en menor medida ofitas.

En la Hoja de Los Hermanos (245-III) no se ha inventariado tampoco ningún indicio de esta sustancia, por lo que su cita en el presente epígrafe, se debe únicamente a su potencial minero.

5.2. HIDROGEOLOGÍA

5.2.1. Descripción de las formaciones

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

5.2.1.1. Lutitas ocre. Arcillas de Villafranca. Mioceno inferior

Forma un intervalo arcilloso que aflora por debajo de los Yesos de Los Arcos y a su vez los separa de los de Sesma no aflorantes en la Hoja..

Litoestratigráficamente responde al término de Unidad Arcillas de Villafranca (1) y su potencia vista es de unos 40 m, aunque puede superar dicho espesor ya que su muro no aflora.

Litológicamente predominan ampliamente las arcillas de tonos ocre que contienen intercalaciones de areniscas de escasa potencia y horizontes yesíferos eventuales, algo más destacables hacia techo.

La permeabilidad es muy baja debido a su carácter arcilloso y a la escasa relevancia de las intercalaciones.

5.2.1.2. Yesos y margas. Yesos de Los Arcos. Mioceno inferior

Los Yesos de Los Arcos representan el nivel evaporítico más importante de la Fm. Lerín, al menos en este sector por su potencia y continuidad.

En la presente Hoja forma un nivel continuo con margas a techo (unidades 2 y 3) con una potencia próxima a los 45-50 m.

En profundidad, en muchos puntos contienen niveles de halita en proporciones destacadas, que alternan de forma más menos rítmica con anhidritas, dolomías y lutitas. Lateralmente y hacia el Este tienden a desaparecer y pasar a facies arcillosas, también de carácter impermeable

Constituye una formación salina de muy baja permeabilidad, ($<10^{-8}$ m/s). Localmente registra cierta circulación de agua por karstificación de los yesos lo que puede dar lugar a manantiales salinos.

5.2.1.2. Lutitas ocre y rojas con algunas intercalaciones de areniscas y delgados niveles de calizas. Mioceno inferior

Afloran en el sector nor y suroccidental de la Hoja. Se caracteriza esta por ser una unidad esencialmente arcillosa de tonos ocre y rojizos (unidad 4) que puede corresponder en parte y en facies aluviales distales, a los términos superiores de la Fm. Lerín.

Con una potencia observable de unos 40 m, pero que puede llegar a alcanzar el centenar, constituye una formación francamente impermeable dado su carácter eminentemente lutítico.

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

Afloran tanto en el sector central y oriental de la Hoja constituyendo la unidad que alcanza mayor extensión superficial en el ámbito de la zona de estudio. Se engloban en este epígrafe a las unidades cartográficas 5, 7 y 9 y se caracterizan por tratarse de un conjunto monótono de arcillas ocre y rojizas que intercalan niveles tabulares de areniscas de espesor decimétrico a métrico en bajas proporciones y que se han asimilado a las unidades cartográficas 6 y 8 cuando alcanzan suficiente expresión morfológica y pueden diferenciarse cartográficamente.

El conjunto recibe la denominación litoestratigráfica informal de Facies Las Bardenas y resulta equivalente en parte de la denominada Fm. Tudela. En la Hoja se disponen por debajo y en cambio lateral con la Unidad de Olite. Registra buzamientos muy bajos,

prácticamente subhorizontales dibujando estructuras muy laxas y su potencia en la Hoja puede alcanzar los 200 m.

La permeabilidad es muy baja dado el marcado predominio de los términos arcillosos y la escasa potencia de las intercalaciones.

5.2.1.4. Areniscas y lutitas Unidad de Olite. Mioceno inferior-medio

La Unidad de Olite (unidad 10) se desarrolla en el sector central y septentrional de la Hoja, donde constituye una serie del orden de cien metros que se dispone sobre las unidades 5 y 7. Al Sur pasan lateralmente y en su parte más baja hacia las Facies de Las Bardenas, descritas en el anterior epígrafe. Se diferencia de la unidad infrayacente por su mayor contenido en areniscas.

Constituye un conjunto sedimentario de marcado carácter aluvial, representado litológicamente por arcillas ocre y rojizas con frecuentes intercalaciones de areniscas. En conjunto se puede considerar como impermeable si bien y dada la presencia de areniscas éstas pueden desarrollar acuíferos locales de poca entidad.

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

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

Litológicamente corresponden a depósitos de gravas y arenas que pueden contener términos lutíticos en proporciones menores. Se engloban en este apartado las unidades 12, 13 y 14 de la cartografía geológica.

Su origen está ligado principalmente a la dinámica fluvial de la primitiva red cuaternaria así como a la posterior evolución de la misma. Estos materiales por lo general dan lugar a extensas y vastas superficies y en ocasiones aparecen asociados a materiales clásticos de génesis fluvial o de origen poligénico.

La potencia de estos depósitos es por lo general de orden métrico (1-3 m) aunque pueden registrarse localmente valores algo superiores.

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

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

Se agrupan en el presente epígrafe formaciones cuaternarias que están constituidas litológicamente por lutitas con un contenido variable en elementos clásticos. Es decir se agrupan aquí las unidades 15 a 23 de la cartografía geológica.

Corresponden principalmente a depósitos de ladera, fondos de valle, mantos de arroyada y glaciares actuales-subactuales. También quedan incluidas el resto de las unidades cuaternarias diferenciadas

Su composición litológica depende del área de procedencia, consistiendo generalmente en fangos y/o lutitas con cantos de areniscas en proporciones variables.

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

5.2.2. Unidades acuíferas.

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

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

Por orden cronoestratigráfico son:

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

5.2.2.1. Unidad Hidrogeológica Sur

Geometría.

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

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

A pesar de la proximidad del Dominio Plegado del Ebro (Sector de Caparroso-Falces), la serie terciaria se encuentra muy poco deformada en la Hoja. Solo se reconoce una estructura correspondiente a dicho dominio en el borde suroccidental de la misma y que como ya se ha expuesto, corresponde a la prolongación del anticlinal de Falces, estructura de gran longitud de eje y que atraviesa varias hojas a escala 1:25.000. El resto de los materiales miocenos se encuentran en disposición subhorizontal o plegados muy suavemente

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

Funcionamiento hidrogeológico

Los niveles más potentes de areniscas pueden formar pequeños acuíferos confinados que permiten cierta circulación de agua en zonas con desarrollo de fracturación y/o diaclasado, y especialmente en situación próxima a la superficie, donde presentan a veces 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 cauces de los arroyos a través de depósitos cuaternarios permeables. Los caudales previsibles en los manantiales y pozos son bajos, con valores inferiores a 1 l/s.

Las arcillas son impermeables y constituyen buenos vasos cuando se decide la construcción de balsas de agua para el ganado. La recarga generalmente se realiza por agua de lluvia

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 tanto para las arcillas como para las areniscas.

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 diversas terrazas 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, (Los Hermanos, 245-III), comprende los acuíferos cuaternarios ligados a la red fluvial actual y los distintos niveles de glaciares. Los niveles de mayor interés se encuentran en estos depósitos si bien se integran también en esta Unidad Hidrogeológica otros materiales cuaternarios de similar litología.

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

No obstante se encuentran desconectados de los valles principales, dando lugar a extensas superficies cuya recarga se hace a través del agua de lluvia y sin aporte lateral alguno, constituyendo pues acuíferos locales aislados.

Funcionamiento hidrogeológico.

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

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

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

En los acuíferos colgados, que ocupan casi la totalidad de los existentes, la recarga como ya se ha dicho 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 datos solo para el aluvial del Aragón con 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 %. Teniendo en cuenta las litologías de los piedemontes que son bastante similares, estos datos resultan en parte bastante orientativos a cerca de los parámetros hidráulicos de esta unidad.

5.3. GEOTECNIA

5.3.1. Introducción

En este apartado se describe la cartografía geotécnica de la Hoja a escala 1:25.000 de la Hoja de Los Hermanos (245-III) correspondiente al cuadrante suroccidental del Mapa topográfico a escala 1:50.000 de Sádaba y se establecen las características geomecánicas de los materiales que la componen.

La no disponibilidad de datos procedentes de obras y proyectos, ya que buena parte de la Hoja esta incluida en un parque natural, 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.

No obstante el objetivo de este trabajo es proporcionar al usuario una información complementaria de carácter general, pero lo suficientemente objetiva, para que sirva de punto de partida para orientar 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. Los 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.

En general 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 Sádaba (nº 245) que afecta a la Comunidad Autónoma de Navarra se ha dividido, en función de las características de los materiales, en dos Áreas que presentan una entidad propia y cierta homogeneidad. Posteriormente, estas han sido divididas a su vez en un total de 9 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 2 cuadrantes estudiados son las siguientes:

ÁREA I: Engloba los materiales de la serie terciaria (Mioceno inferior-medio)

ÁREA II: Agrupa todos los depósitos cuaternarios

Estas Áreas se han dividido en las siguientes Zonas:

ÁREA I: ZONAS I₁, I₂ y I₃

ÁREA II: ZONAS II₁, II₂, II₃, II₄ y II₅

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 Los Hermanos.

UNIDAD CARTOGRÁFICA	ZONACIÓN GEOTÉCNICA	DESCRIPCIÓN
23	II ₅	Escombros y vertidos antrópicos
16, 20, 21 y 22	II ₄	Limos y arcillas con cantos, gravas y arenas
18 y 19	II ₃	Lutitas y arenas con cantos y bloques
15 y 17	II ₂	Arcillas y limos con cantos y gravas
11, 12, 13 y 14	II ₁	Conglomerados, gravas y arenas
6, 8 y 10	I ₃	Alternancia de areniscas y lutitas
1, 4, 5, 7 y 9	I ₂	Lutitas con intercalaciones de areniscas y calizas
2 y 3	I ₁	Yesos y margas

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

5.3.4. Características geotécnicas

5.3.4.1. Introducción

La falta de datos geotécnicos puntuales ha condicionado la caracterización geotécnica de cada una de las Zonas establecidas. En algunos casos se ha realizado una caracterización por correlación con formaciones litológicamente similares en 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/o 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 Nº 200 (0.08 mm) de la serie ASTM. Estos datos son utilizados posteriormente en diversas clasificaciones.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Cargas admisibles según el Código de Práctica Británico nº 4, para diferentes tipos de roca.

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

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

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

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

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

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

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

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

Clase I Roca muy buena: RMR = 81-100

Clase II Roca buena: RMR = 61-80

Clase III Roca media: RMR = 41-60

Clase IV Roca mala: RMR = 21-40

Clase V Roca muy mala: RMR < 20

A continuación se pasa a una descripción de cada una de las áreas y zonas establecidas en la Hoja de Los Hermanos (245-III)

5.3.4.2. Área I

ZONA I₁

Características Geológico-Geotécnicas

Esta Zona agrupa todas las formaciones predominantemente yesíferas de la Hoja correspondientes a los Yesos de Los Arcos (unidades 2 y 3). Litológicamente corresponden a yesos masivos o alternantes con margas, en proporciones variables así como el tramo margoso somital de la unidad. A nivel regional y aunque fuera de esta hoja, esta unidad ocupan grandes extensiones en los núcleos o flancos de las principales estructuras, constituyendo resaltes morfológicos de gran continuidad cartográfica.

En los yesos la meteorización produce una karstificación por disolución relativamente superficial, aunque en paquetes masivos y de cierto espesor puede ser más penetrativa. Las intercalaciones margosas disminuyen la compacidad natural del conjunto y aumentan su erosionabilidad. El tránsito entre roca sana y alterada es transicional.

En general, la permeabilidad es baja o muy baja, excepción hecha de los niveles someros karstificados. Localmente la permeabilidad y la propia karstificación pueden estar incentivadas por una fracturación intensa

Las características fundamentales de los materiales que constituyen esta Zona son las siguientes: a) la presencia de intercalaciones de margas confiere en muchos casos una acusada heterogeneidad al conjunto, lo que se traduce en un comportamiento mecánico no uniforme; b) la constante presencia de yesos presupone un alto contenido en sulfatos tanto en los suelos como, eventualmente, en las aguas que los drenan y por tanto es de esperar una fuerte agresividad a hormigones). Los fenómenos de disolución y karstificación en yesos, aunque son relativamente superficiales, pueden originar importantes discontinuidades en el subsuelo y dar lugar a fenómenos de colapso del terreno y a desprendimientos.

Características constructivas

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN.

La Norma DIN 1054 y el Código Británico establecen presiones admisibles del orden 10-20 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 5 y 10 kp/cm², valores suficientes para el caso de edificios habituales en los que las cargas proyectadas son inferiores a 3-4 kp/cm². El tipo de cimentación será en general superficial, previa eliminación del horizonte de alteración. Es de esperar la presencia de asientos diferenciales y fenómenos de punzonamiento debido a la intercalación de niveles margosos blandos entre los paquetes de yesos.

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

Excavabilidad. En general, son materiales duros, por lo que su excavación precisa el empleo de explosivos; no obstante puede haber niveles ripables. Los términos margosos son fácilmente excavables.

Estabilidad de taludes. No se registran fenómenos destacables de inestabilidad en taludes muy inclinados de escasa altura o en cortes naturales de baja a media pendiente. El riesgo de caída de bloques y deslizamientos es muy elevado en taludes subverticales de cierta

altura, especialmente en las zonas de voladizo por descalce de los niveles lutíticos inferiores o por fracturación.

Empuje sobre contenciones. Bajos para las margas, y a considerar para los yesos.

Aptitud para préstamos. Constituyen materiales no aptos para su uso en terraplenes y pedraplenes salvo tratamiento con aditivos.

Aptitud para explanada en carreteras. En general deben constituir suelos aptos para explanadas de tipo E3, aunque se deberán tomar medidas de impermeabilización. Localmente pueden corresponder a suelos marginales, caso en que se procederá a la mejora de la explanada, con adición de suelo más adecuado.

Obras subterráneas. Se encuadran entre la Clase III (Calidad Media) y Clase IV (Calidad Mala) de la Clasificación de BIENIAWSKI (1979), jugando un papel importante la orientación de la estratificación y el grado de diaclasado y karstificación. Se destaca de nuevo la prevención respecto a la utilización de hormigones por el alto contenido en sulfatos

ZONA I₂

Características Geológico-Geotécnicas

Esta zona agrupa varias formaciones eminentemente arcillosas (Facies Las Bardenas) y las intercalaciones de escaso espesor de areniscas que estas contienen. Se trata por tanto de una zona geotécnica poco competente dentro de la cual destacan morfológicamente algunos niveles duros correspondientes a las intercalaciones mencionadas.

Dentro de la Hoja de Los Hermanos (245-III) los afloramientos de la Zona I₂ ocupan prácticamente en su totalidad la mitad occidental de la hoja formando parte de las propias Bardenas Reales.

Esta zona geotécnica agrupa las unidades cartográficas 1, 4, 5, y 7 y en ocasiones se encuentra cubierta de forma discontinua por depósitos cuaternarios.

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

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

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

Características constructivas:

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN

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

Entre los problemas de cimentación pueden preverse los siguientes: a) variación del horizonte alterado, que puede provocar 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. Los términos arcillosos son fácilmente excavables, especialmente los niveles someros de alteración. A mayor profundidad pueden variar de excavables a ripables en función de su grado de cementación. Las intercalaciones de areniscas se consideran no ripables para espesores superiores a los 15 cm, casos en los que se requiere el uso de martillo.

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

Empuje sobre contenciones. Bajos en margas, moderados en arcillas

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

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

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

ZONA I₃

Características Geológico-Geotécnicas

La presente zona se distingue de la anterior por su mayor contenido en intercalaciones de areniscas, que pueden hacerse predominantes en algunos tramos de la serie terciaria. Comprende las unidades cartográficas 6, 8 y 10, las dos primeras intercaladas en las Facies Bardenas y la última representativa de la Unidad de Olite y que se desarrollan esencialmente en el sector septentrional y oriental de la Hoja.

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

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

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

Se dispone de los siguientes ensayos de Laboratorio en rocas de similares características:

Cuadro Resumen de Características Geotécnicas (Roca inalterada)		
Clasificación de Casagrande	CL	
% pasa tamiz n° 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 asientos diferenciales y fenómenos de punzonamiento debido a la intercalación de niveles lutíticos blandos entre los paquetes de areniscas

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

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

Estabilidad de taludes. La naturaleza de estos materiales en cuanto a sus parámetros resistivos y disposición alternante no favorece la aparición de deslizamientos. Por otra parte, los bajos buzamientos registrados dificultan la aparición de inestabilidades. Únicamente existe riesgo de caída de bloques en los resaltes 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. Las niveles arcillosos se consideran No Aptos para su uso en terraplenes y pedraplenes. Los niveles de areniscas constituyen, por el contrario, Terrenos Adecuados.

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

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

5.3.4.3. Área II

ZONA II₁

Características Geológicas

Comprende esta zona el conjunto de formaciones cuaternarias principalmente de génesis aluvial-fluvial. Ésta se caracterizan por presentar una proporción elevada de términos clásticos en el depósito (conglomerados, gravas, arenas) frente a los finos así como por ocupar áreas llanas (superficies medias y altas). Se han incluido en este apartado y dentro de la Hoja las unidades cartográficas 12, 13 y 14.

Predominan los materiales aportados por el piedemonte y a los glaciares procedentes del desmantelamiento de los relieves terciarios, cubriendo buena parte de la mitad oriental de la Hoja.

Litológicamente es patente el predominio de conglomerados y gravas, a veces con algo de arenas, constituyendo depósitos generalmente escasamente consolidados.

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

Estos materiales poseen, en general, una permeabilidad alta por permeabilidad intergranular. Los piedemontes y los glacis constituyen acuíferos locales colgados.

Características constructivas

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN.

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

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

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

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

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

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

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

Aptitud para préstamos. En general constituyen Terrenos Aptos, ocasionalmente marginales. Los tramos de gravas se consideran Aptos, si bien precisan una clasificación que elimine y/o clasifique los tamaños gruesos.

Aptitud para explanada en carreteras. Se trata esencialmente de suelos Aptos constituyendo explanadas de tipo E2 y E3, exceptuando los niveles de gravas formadas por cantos de gran tamaño que precisen una regularización de la superficie o aquellos fondos de desmonte que queden en términos lútficos.

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 el sector central de la Hoja y correspondiente a los mantos de arroyada difusos y a los abanicos aluviales que proceden de los relieves terciarios (unidad 15).

Presentan por tanto una cierta pendiente deposicional y gradación clástica grosera a distancia creciente del relieve. Litológicamente la Zona esta constituida por materiales arcillosos y limosos con cantos y a veces niveles discontinuos de gravas más o menos dispersas en función de su posición y área madre de procedencia.

Características Geotécnicas

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

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

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

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

Características constructivas

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN.

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

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

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

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

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

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

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

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

ZONA II₃

Características Geológicas

Se integran en esta Zona las formaciones cuaternarias desarrolladas de forma característica en laderas es decir: coluviones (unidad 19) que están formados por depósitos fangosos con cantos y a veces bloques de distinto tamaño más o menos dispersos y poco o nada consolidados.

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

Litológicamente constituyen un depósito bastante heterogéneo formado por una matriz fangosa que engloba cantos poco rodados y bloques en proporciones muy variables y cuya naturaleza depende de la litología del área de procedencia y que generalmente suelen ser areniscas y en menor proporción cantos procedentes de niveles de gravas. En ocasiones se presentan como bloques de gran tamaño sueltos y dispersos irregularmente sobre el sustrato

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.

A continuación se expone un cuadro con las características geotécnicas de los materiales que integran esta zona

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

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

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

Características constructivas

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN.

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

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

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

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

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

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

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

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

ZONA II₄

Características Geológico-Geotécnicas

En esta Zona se incluyen una serie de depósitos poco consolidados relacionados bien con la red fluvial actual (unidad 20 y 21) o con zonas endorreicas (unidad 22). También se han incluido los depósitos relacionados con la formación de glacis actuales y/o subactuales (unidad 16). Todos ellos presentan un cierto grado de inundabilidad, en función de las fluctuaciones del nivel de agua y del grado de impermeabilidad.

Litológicamente se trata de depósitos lutíticos (limos y arcillas), a veces con cantos y en ocasiones con niveles de gravas y arenas, que se localizan a favor de los cursos, barrancos y valles actuales, por lo que su distribución por la Hoja se hace de forma irregular de acuerdo con la red de drenaje. Ocasionalmente pueden llegar a registrar cierto contenido en materia orgánica.

Su representación en la Hoja esta muy localizada a favor de la red fluvial. La potencia es variable y difícil de establecer aunque se estima que no sobrepasa los 5 m para los depósitos más potentes. Ocasionalmente y sobre todo en los depósitos de origen más estanco se

localizan efluorescencias salinas blancas, de muy poco espesor, que tapizan los depósitos arcillosos.

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

Características constructivas

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN

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

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

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA

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

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

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

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

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

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

ZONA II₅

Características Geológico-Geotécnicas

Se trata de depósitos de origen antrópico, correspondientes a fangos y cantos (unidad 23).

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

Características constructivas

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN.

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

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

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

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

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

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

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

6. BIBLIOGRAFÍA

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

GOBIERNO DE NAVARRA (2001). Mapa Geológico de Navarra a E. 1:25.000, Peralta (206-III). Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.

GOBIERNO DE NAVARRA (2001). Mapa Geológico de Navarra a E. 1:25.000, Caparroso (206-IV). Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.

GOBIERNO DE NAVARRA (2001). Mapa Geológico de Navarra a E. 1:25.000, Carcastillo (207-III). Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.

GOBIERNO DE NAVARRA (2001). Mapa Geomorfológico de Navarra a E. 1:25.000, Peralta (206-III). Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.

GOBIERNO DE NAVARRA (2001). Mapa Geomorfológico de Navarra a E. 1:25.000, Caparroso (206-IV). Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.

GOBIERNO DE NAVARRA (2001). Mapa Geomorfológico de Navarra a E. 1:25.000, Carcastillo (207-III). Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.

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

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

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

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

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

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

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

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

IGME (SOLE, J.) (1976). Mapa Geológico de España a E. 1:50.000, 2ª serie, 1ª edición, Sádaba (245).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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