



**Gobierno de Navarra**

Departamento de Obras Públicas,  
Transportes y Comunicaciones

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE NAVARRA

ESCALA 1:25.000

**HOJA 205-III**

**PRADEJÓN**

MEMORIA

---

La presente Hoja y Memoria ha sido realizada por "Informes y Proyectos, S.A. (INYPSA)", durante el año 2000, con normas, dirección y supervisión del Gobierno de Navarra, habiendo intervenido los siguientes técnicos:

#### **Dirección y Supervisión (Gobierno de Navarra)**

Faci Paricio, Esteban	Dirección del Proyecto
-----------------------	------------------------

#### **Autores y Colaboradores**

López Olmedo, Fabián (INYPSA)	Cartografía, Geomorfología y Memoria
-------------------------------	--------------------------------------

Solé Pont, Javier (INYPSA)	Cartografía y Memoria
----------------------------	-----------------------

Díaz de Neira, Alberto (INYPSA)	Geomorfología
---------------------------------	---------------

García de Domingo, Alfredo (INYPSA)	Geología regional
-------------------------------------	-------------------

Hernaiz Huerta, Pedro Pablo (INYPSA)	Geotecnia
--------------------------------------	-----------

Martínez Arias, Alfredo (INYPSA)	Hidrogeología
----------------------------------	---------------

Salvany Duran, Josep Maria (U.P.C.)	Sedimentología
-------------------------------------	----------------

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>6</b>
<b>2. ESTRATIGRAFÍA .....</b>	<b>9</b>
2.1. Terciario.....	9
2.1.1.1. Yesos y arcillas rojas (316). Ageniense inferior. ....	12
2.1.1.2. Arcillas rojas y areniscas (332). Arcillas de Mendavia. Ageniense inferior. ....	12
2.1.1.3. Yesos (338). Areniscas y calizas tableadas, margas y yesos (339). Nivel de Alcanadre. Ageniense. ....	13
2.1.1.4. Arcillas rojas, areniscas y calizas micríticas (340). Arcillas de Sartaguda. Ageniense. ....	15
2.1.1.5. Yesos y margas (341). Yesos de Cárcar.....	17
2.1.1.6. Arcillas rojas y areniscas (347). Ageniense. ....	18
2.1.1.7. Yesos y margas (349) Yesos de Sesma. Ageniense. ....	19
2.1.1.8. Yesos, margas, lutitas y areniscas (357). Ageniense. ....	20
2.1.1.9. Arcillas rojas, margas, yesos y areniscas (362). Ageniense. ....	21
2.1.1.10. Arcillas ocreas y areniscas (381). F. Alfaro. Ageniense superior-Orleaniense. ....	22
2.2. CUaternario.....	24
2.2.1. Pleistoceno.....	24
2.2.1.1. Gravas, arenas y lutitas. Glacis de acumulación. (516, 517, 518). Pleistoceno .....	24
2.2.1.2. Gravas y arenas. Terrazas altas medias y bajas (521, 528, 524). Pleistoceno-Holoceno .....	24
2.2.1.3. Lutitas con cantos. Glacis. (519). Pleistoceno-Holoceno.....	26
2.2.1.4. Lutitas con cantos y arenas. (544). Depósitos de arroyada. Pleistoceno.....	26
2.2.1.5. Limos y arcillas ocreas con cantos. Conos de deyección (536). Pleistoceno-Holoceno.....	27
2.2.1.6. Limos ocreas, lutitas y arenas con cantos. Aluvial-Coluvial (537). Pleistoceno.....	28
2.2.1.7. Gravas, arenas y lutitas. Meandros y/o cursos abandonados (530). Pleistoceno-Holoceno .....	28
2.2.2. Holoceno.....	29
2.2.2.1. Gravas, arenas y lutitas. Llanura aluvial y barras fluviales (526). Holoceno.....	29
2.2.2.2. Lutitas con cantos y arenas. Fondos de valle (527). Holoceno .....	29
2.2.2.3. Lutitas y arenas con cantos y bloques. Coluviones (543). Holoceno .....	29
2.2.2.4. Bloques, arcillas y limos. Desprendimientos (547). Holoceno .....	30
2.2.2.5. Escombreras y vertederos. Depósitos antrópicos (550). Holoceno .....	30
<b>3. TECTÓNICA.....</b>	<b>32</b>
3.1. CONSIDERACIONES GENERALES .....	32

3.2. DESCRIPCIÓN DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS .....	35
<b>4. GEOMORFOLOGÍA .....</b>	<b>38</b>
4.1. DESCRIPCIÓN FISIAGRÁFICA .....	38
4.2. ANTECEDENTES .....	39
4.3. ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO .....	40
4.3.1. Estudio morfoestructural .....	40
4.3.1.1. Formas estructurales .....	41
4.3.1.2. Estructura de la red de drenaje .....	41
4.3.2. Estudio del modelado .....	42
4.3.2.1. Formas de laderas .....	42
4.3.2.2. Formas fluviales .....	43
4.3.2.3. Formas poligénicas .....	45
4.3.2.4. Formas antrópicas .....	46
4.4. FORMACIONES SUPERFICIALES .....	46
4.4.1.1. Grandes bloques, arcillas y limos con cantos. Desprendimientos (a). Holoceno.....	46
4.4.1.2. Lutitas y arenas con cantos y bloques. Coluviones (b). Holoceno .....	47
4.4.1.3. Lutitas con cantos y arenas. Fondos de valle y Depósitos de arroyada (c). Holoceno	47
4.4.1.4. Gravas poligénicas y arenas. Terrazas, Llanuras de inundación, Meandros y/o cauces abandonados (d) y Glacis de acumulación (f, g, h). Pleistoceno-Holoceno .....	48
4.4.1.5. Limos y arcillas ocre, en ocasiones con cantos y bloques. Conos de deyección (e). Pleistoceno-Holoceno .....	49
4.4.1.6. Lutitas rojas con cantos. Glacis (i). Pleistoceno .....	50
4.4.1.7. Limos ocre y arenas. Depósitos aluvial-coluvial (j). Pleistoceno-Holoceno.....	50
4.4.1.8. Escombros y vertidos. Depósitos antrópicos (k). Holoceno. ....	50
4.5. EVOLUCIÓN DINÁMICA .....	51
4.6. MORFOLOGÍA ACTUAL-SUBACTUAL Y TENDENCIAS FUTURAS .....	52
<b>5. GEOLOGÍA ECONÓMICA .....</b>	<b>54</b>
5.1. RECURSOS MINERALES.....	54
5.1.1. Minerales y Rocas Industriales. ....	54
5.1.1.1. <u>Gravas</u> .....	54
5.1.1.2. Yesos.....	55
5.1.1.3. Arcillas.....	55
5.1.1.4. Arenas y areniscas.....	56
5.1.1.5. Sal común .....	56
5.1.1.6. Glauberita .....	57
5.2. HIDROGEOLOGÍA .....	58
5.2.1. Descripción de las formaciones .....	58

5.2.1.1.	Arcillas ocre y rojizas con intercalaciones de areniscas, calizas yesos y dolomías. Arcillas de Mendavia y Sartaguda. Oligoceno superior-Mioceno inferior .....	58
5.2.1.2.	Yesos y margas. Yesos de Cárcar y de Sesma. Mioceno inferior .....	59
5.2.1.3.	Yesos, margas, lutitas y areniscas. Mioceno inferior .....	60
5.2.1.4.	Arcillas rojizas con intercalaciones de areniscas y calizas. Fm.. Alfaro. Mioceno inferior a medio	60
5.2.1.5.	Gravas, arenas y lutitas. Formaciones cuaternarias de alta permeabilidad .....	61
5.2.1.6.	Fangos, arenas y lutitas con cantos. Formaciones cuaternarias de media y baja permeabilidad .....	61
5.2.2.	Unidades acuíferas. ....	62
5.2.2.1.	Unidad Hidrogeológica Sur.....	62
5.2.2.2.	Unidad Hidrogeológica del Aluvial del Ebro y Afluentes .....	64
5.3.	GEOTECNIA.....	66
5.3.1.	Introducción .....	66
5.3.2.	Metodología.....	67
5.3.3.	Zonificación geotécnica .....	68
5.3.3.1.	División en Áreas y Zonas Geotécnicas.....	68
5.3.4.	Características geotécnicas.....	69
5.3.4.1.	Introducción .....	69
5.3.4.2.	<u>Área I</u> .....	74
5.3.4.3.	<u>Área II</u> .....	81
5.3.4.4.	<u>Área III</u> .....	82
<b>6.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>89</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

La Hoja a escala 1:25.000 de Pradejón (205-III), incluida en la de escala 1:50.000 de Lodosa (205), se sitúa al Sureste la Comunidad Foral de Navarra, si bien gran parte se encuentra en territorio de la Comunidad Autónoma de La Rioja.

El río Ebro cruza la Hoja de ESE a ONO de modo que al Norte se encuentra la región de la Ribera Navarra y al S la denominada Rioja Baja.

La vega del Ebro constituye el principal elemento fisiográfico en la Hoja. Constituye una zona deprimida y bastante llana desarrollada entre los 300 y 350 m de altitud. A ambos márgenes del valle se elevan relieves de mediana altura con cotas máximas comprendidas entre los 400 y 600 m.

Sartaguda representa la única localidad destacable de la Hoja en territorio navarro; en la parte riojana, no obstante, se encuentran Pradejón, Alcanadre y Ausejo mientras que en la vega del Ebro se disponen, de forma diseminada, algunas granjas y caseríos.

La agricultura representa la principal actividad en la zona y sus productos alcanzan un merecido renombre a escala nacional. El desarrollo industrial se encuentra subordinado a la producción agraria, destacando por su profusión y prestigio las empresas de conservas vegetales.

La Autopista A-68 cruza la Hoja de SE a NO por la margen derecha del Ebro, y la N-232 pasa siguiendo la misma dirección por Ausejo, en la esquina SO. Otras carreteras de menor importancia son las comarcales NA-123/LR123 (de Lodosa a Arnedo) y NA-6540/LR-260 (de Lodosa a Alcanadre y Arrúbal). El ferrocarril discurre por el borde meridional de la vega del Ebro y tiene estación en Alcanadre.

En el aspecto geológico, la Hoja a escala 1:25000 de Pradejón se enmarca regionalmente en el sector occidental de la Cuenca Terciaria del Ebro, cuyo relleno se realizó a lo largo del Oligoceno y Mioceno por depósitos continentales en condiciones endorreicas. Este sector actuó durante el Terciario como una subcuenca (Cuenca Navarro-Riojana en el sentido de SALVANY, 1989) con relativa independencia de los sectores vecinos, representados al E y

O por el Sector Central o Aragonés y de La Bureba, respectivamente. Los márgenes septentrional y meridional de la Cuenca Navarro-Riojana están delimitados por los cabalgamientos de la Sierra de Cantabria y Cuenca de Pamplona (Pirineos) al Norte, y por la Sierra de Cameros (Cordillera Ibérica) al Sur.

En la Hoja de Pradejón los materiales terciarios dan lugar a los relieves principales. La serie terciaria está representada en su mayor parte por una alternancia a gran escala entre unidades esencialmente arcillosas de origen aluvial-perilacustre y formaciones lacustres yesíferas (Fm Lerín). Los términos superiores del Terciario se encuentran al SO de la Hoja y constituyen una monótona sucesión arcillosa rojiza (Fm. Alfaro) de gran extensión en la Rioja Baja. La estructuración del sustrato terciario sigue preferentemente la dirección ONO-ESE conforme a los grandes pliegues de la región

La vega del Ebro está ocupada por distintos niveles de terrazas bajas y medias. Al SE, en la Rioja Baja, las terrazas altas y los glacis forman rellanos más o menos aislados en lo alto de los cerros existentes.

Los primeros estudios geológicos relevantes sobre los materiales terciarios de la Cuenca Navarro-Riojana 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 Sadaba, Lodosa, Logroño, Alfaro, Calahorra, Tudela y Sos del Rey Católico) y realizados por el mismo grupo de geólogos, con la asistencia del paleontólogo Ramírez del Pozo. Otro trabajo relevante de este período es la tesis de licenciatura de SOLÉ (1972) sobre el Terciario del margen NO de la Ribera de Navarra. A

finales de la siguiente década SALVANY, (1989) presenta su tesis doctoral, centrada en el estudio de los depósitos lacustres evaporíticos del Terciario de Navarra y La Rioja. Esta tesis estuvo financiada por el Gobierno de Navarra, en un convenio con la Universidad Central de Barcelona, cuyo informe final fue realizado por ORTÍ y SALVANY, (1986). En concordancia con estos estudios cabe destacar los trabajos de carácter académico de MUÑOZ (tesis de licenciatura, 1985 y tesis doctoral, 1991 y 1992) centrados en la estratigrafía de Terciario en la Rioja Baja. De los estudios de Salvany y Muñoz se derivan un buen número de publicaciones, entre las que destacan las de MUÑOZ et al (1986-87), SALVANY (1989), MUÑOZ y SALVANY (1990), SALVANY et al. (1994), SALVANY y ORTÍ (1994), MUÑOZ y CASAS (1997) y INGLÉS et al. (1994, 1998). A lo largo de la década de los 80' el IGME publica las Hojas MAGNA a escala 1:50.000 de Allo, Tafalla, Viana, Peralta y Sangüesa. Entre los estudios más recientes cabe destacar la revisión y actualización del Mapa Geológico de Navarra, a escala 1:200.000 (GOBIERNO DE NAVARRA, 1997) y a escala 1:25.000, en cuyo marco se realiza el presente trabajo.



## **2. ESTRATIGRAFÍA**

En la cartografía geológica de la Hoja a escala 1: 25000 de Pradejón 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 los distintos niveles diferenciados en la cartografía geológica se ha realizado con el apoyo de las distintas bases de datos elaboradas en la Hoja, y éstos han sido agrupados dentro de las unidades litoestratigráficas que se han definido en la región, de acuerdo con la escala de trabajo y el objetivo eminentemente cartográfico del estudio.

### **2.1. Terciario**

El Terciario de la Cuenca Navarro-Riojana está compuesto por formaciones aluviales y lacustres continentales depositadas en régimen endorreico desde finales del Eoceno hasta el Mioceno medio, con una potencia de varios miles de m.

Los depósitos aluviales se desarrollan a partir de las zonas de contacto con las cordilleras limítrofes registrando una expansión variable de sus orlas distales hacia el interior de la Cuenca. Los depósitos lacustres son principalmente evaporíticos y se sitúan en la parte central de la cuenca, si bien las facies lacustres carbonatadas alcanzan un desarrollo destacado en los términos superiores de la sucesión miocena.

El registro estratigráfico aflorante del Terciario en la Hoja comprende desde finales del Oligoceno (Arvernense superior) hasta el Mioceno inferior-medio (Orleanense) de modo que la mayor parte de la serie pertenece al Ageniense.

La sucesión terciaria se estructura en una serie de anticlinales y sinclinales cuyos ejes se disponen en dirección ONO-ESE. De Norte a Sur son. Anticlinal de Falces, Sinclinal de Lodosa, Anticlinal y Sinclinal de Sartaguda, Anticlinal de Alcanadre, Sinclinal y Anticlinal de Pradejón.

Considerando de forma conjunta la Hoja a escala 1.50.000 de Lodosa (205) se distinguen dos dominios estratigráficos desarrollados al NE y SO del Sinclinal de Peralta (Cuadro 1.1).

De este modo, en la Hoja de Pradejón se desarrollan de forma exclusiva los términos del Dominio Meridional para el que SALVANY (1989) define de muro a techo las siguientes Unidades: **Yesos de Falces, Arcillas de Mendavia, Yesos, Arcillas y Areniscas de Alcanadre**, para el que se adopta en el presente estudio el término simplificado de **Nivel de Alcanadre, Arcillas de Sartaguda, Yesos de Cárcar**, de nueva definición en presente estudio, **Arcillas y Yesos de Lodosa, Yesos de Sesma**, y **Yesos de Los Arcos** (RIBA, 1964). Las dos últimas unidades representan los términos evaporíticos de techo de la **Fm. Lerín**, sobre la que se disponen de forma discordante los materiales aluviales de la **Fm. Alfaro** (CASTIELLA et al. 1978).

DOMINIO SEPTENTRIONAL		DOMINIO MERIDIONAL	EDAD
FM. TUDELA		FM. ALFARO	ORLEANIENSE
			AGENIENSE
F M · L E R Í N	Yesos de Los Arcos	Yesos de Los Arcos	
	Arcillas de Villafranca	Facies Allo	
	Yesos de Sesma	Yesos de Sesma	
	Arcillas y yesos de Peralta	Arc. y Yes. de Lodosa/Yesos de Cárcar	
		Arcillas de Sartaguda	
		Yesos, Arc. y Areniscas de Alcanadre	
FM. ARCILLAS DE MARCILLA		Arcillas de Mendavia	
		Yesos de Falces	
FM. YESOS DE FALCES			
			ARVERNIENSE

Cuadro 1.1. Correlación litoestratigráfica del Terciario de los Dominios Septentrional y Meridional de la Hoja de Lodosa, (nº 205).

**2.1.1.1. Yesos y arcillas rojas (316). Ageniense inferior.**

Se reconoce exclusivamente en núcleo del Anticlinal de Sartaguda al E de esta localidad, con una potencia de unos 50 m.

Litológicamente constituye una alternancia cíclica, de frecuencia métrica, entre arcillas rojas y yesos. Los intervalos arcillosos son de carácter homogéneo e incluyen algunos nódulos de yeso diseminados. En los tramos de yesos predomina la litofacies nodular, especialmente a muro de los niveles, registrándose un progresivo incremento hacia techo de los términos laminados.

A escala del todo el Dominio Meridional se considera como un tramo de tránsito entre la Fm. Falces y las Arcillas de Mendavia.

El muro de la Unidad no aflora en la Hoja aunque debe estar próximo a la superficie en el afloramiento de Sartaguda, donde fluye un manantial salino que pone de manifiesto la presencia de niveles de halita intercalados probablemente en los Yesos de Falces.

Se enmarca ambientalmente en un contacto de tránsito entre las zonas más distales de sistemas aluviales de procedencia meridional y un área lacustre hipersalina estable. Esta situación dio lugar a llanuras fangosas evaporíticas de tipo *playa-lake* sujetas a expansiones intermitentes hacia el Sur del sistema lacustre salino.

Se atribuye, de acuerdo con la posición estratigráfica, una edad de Ageniense inferior.

**2.1.1.2. Arcillas rojas y areniscas (332). Arcillas de Mendavia. Ageniense inferior.**

La presente unidad constituye una serie arcillosa de tonos rojos vivos, de potencia inferior a 100 m, desarrollada inmediatamente a muro del Nivel de Alcanadre (Yesos, Arcillas y Areniscas de Alcanadre, Unidades 12 y 13).

Ha sido definida litoestratigráficamente por SALVANY (1989) como Unidad Arcillas y Yesos de Mendavia, con serie-tipo en el núcleo del anticlinal de Sartaguda, si bien este autor agrupa bajo el mismo término también el intervalo arcillosos-yesífero (316), de tránsito con la Fm. Falces.

En la Hoja de Pradejón (205-III), aflora en los núcleos de los anticlinales de Sartaguda y Alcanadre.

Litológicamente la Unidad está representada por arcillas rojas con intercalaciones de areniscas rojizas. Las arcillas constituyen con mucho la litología predominante y forman intervalos homogéneos de espesor métrico a decamétrico que en raras ocasiones contienen horizontes poco importantes con nódulos de yesos dispersos.

Las areniscas aparecen en capas tabulares de potencia centi-decimétrica aunque excepcionalmente pueden llegar a superar 1 m de espesor. Exhiben abundantes estructuras sedimentarias, *lag* de cantos blandos, huellas de base, laminación paralela, estratificación cruzada de mediana escala, *ripples* de corriente, de tipo *climbing* y de oscilación, colapsos, convoluciones, escapes de fluidos, huellas de desecación, *burrows* de escape y otras pistas.

La unidad se enmarca en un medio de frente aluvial muy distal que recibe aportes clásticos de procedencia meridional mediante flujos arenosos laminares movilizados en avenidas periódicas.

Se correlaciona, por lo menos en parte, con la Fm. Marcilla, del Dominio norte, si bien esta última es mucho más potente.

Por otra parte hay que hacer notar la expansión simultánea de los sistemas aluviales procedentes de los márgenes septentrional (Fm. Marcilla) y meridional (Arcillas de Mendavia) de la Cuenca Navarro-Riojana, lo que implica una severa retracción del área lacustre evaporítica central.

Se precisa una edad de Ageniense inferior por correlación con otras formaciones.

**2.1.1.3. Yesos (338). Areniscas y calizas tableadas, margas y yesos (339). Nivel de Alcanadre. Ageniense.**

Ha sido definido en el Dominio Meridional por SALVANY (1989) como un tramo heterolítico de tonos grises que separa las unidades terrígenas arcillosas, de marcado color rojizo, de Mendavia y Sartaguda, desarrolladas a muro y a techo respectivamente.

Se ha correlacionado en el Dominio Septentrional con el nivel yesífero de base de la Unidad de Peralta, equivalencia basada en su posición estratigráfica y otras analogías (gran continuidad, litología, contenido paleontológico), puesto que no existe conexión cartográfica de un flanco a otro del Sinclinal de Sesma.

En la cartografía geológica se han distinguido dos unidades (12 y 13) que presentan entre sí marcadas diferencias litológicas.

La Unidad 12 está formada esencialmente por yesos y aflora únicamente en el entorno del núcleo del Anticlinal de Sartaguda. La litofacies nodular se desarrolla especialmente en la base de la Unidad donde se observan también facies brechoides de tipo poiquiloblástico. La parte intermedia se caracteriza por la coexistencia de términos laminados y nodulares alternando con delgados lechos de margas dolomíticas yesíferas, y a techo predomina de nuevo la litofacies nodular aumentando la proporción en materiales lutítico-margosos. En los intervalos laminados se reconocen algunas intercalaciones de dolomías y de yesoarenitas con *ripples* de oleaje. Los desarrollos enterolíticos son relativamente frecuentes, especialmente en la parte inferior de la Unidad.

Los Yesos de Alcanadre constituyen el primer episodio evaporítico extensivo de la Fm. Lerín que se relaciona con la implantación de un sistema lacustre salino estable en la zona central de la cuenca Navarro-Riojana. Su moderada potencia puede explicarse por una baja tasa de subsidencia o bien por una duración relativamente reducida del episodio salino.

La Unidad 13 es característica de la parte occidental del Dominio sur en la Hoja a escala 1:50.000 de Lodosa. En el cuadrante a escala 1:25.000 de Pradejón aflora en el ámbito del Anticlinal de Alcanadre.

Constituye un tramo de carácter heterolítico que destaca por su relativa competencia y por sus colores grisáceos entre las unidades rojizas arcillosas adyacentes, registrando una potencia media de unos 50 m.

Los yesos se concentran en la parte inferior de la Unidad, donde aparecen en litofacies predominantemente nodular entre arcillas rojizas y grises.

Al término yesífero basal se superpone una serie rítmica de areniscas y/o calizas detríticas en alternancia con arcillas margosas grises o formando tramos tableados, que puede intercalar algún horizonte yesífero nodular o de yesoarenitas. Las capas de areniscas y calizas presentan una marcada morfología tabular y su potencia es de orden centi-decimétrico. Petrográficamente pueden describirse de forma conjunta puesto que el contenido en carbonato es en todos los casos elevado, acompañando a la fracción clástica terrígena abundantes granos carbonatados (fósiles, peloides, intraclastos) inmersos en una matriz micrítica con desarrollo variable en cemento esparítico (SALVANY, 1989). Las estructuras sedimentarias son muy abundantes y reflejan la afinidad turbidítica de estos depósitos: granoclasificación positiva, base neta con huellas tractivas, laminación paralela, convoluciones, escapes de fluidos y *ripples*, ya sean de oscilación, con relaciones de interferencia, o de corriente, predominando los de tipo *climbing*. También se han reconocido estructuras de origen biológico, pistas de invertebrados, *burrows* de escape e icnitas (pisadas de aves y posibles huellas de plantígrados).

La Unidad 13 se enmarca en un contexto lacustre salino en el que la sedimentación evaporítica se encuentra inhibida por aportes terrígenos episódicos que alcanzan la zona subacuática estable.

La edad, establecida en el Ageniense, se basa en la posición estratigráfica del Nivel.

#### **2.1.1.4. Arcillas rojas, areniscas y calizas micríticas (340). Arcillas de Sartaguda. Ageniense.**

La Unidad Arcillas de Sartaguda ha sido definida por SALVANY (1989) como un tramo terrígeno rojizo característico en el Dominio Meridional, que se sitúa por encima del Nivel de Alcanadre y que incluye algunas intercalaciones destacables de yesos.

Se adopta en la presente informe la misma denominación para todos los intervalos terrígenos rojizos existentes en el Dominio Meridional que se relacionan lateralmente con los Yesos de Cárcar (341). Su techo está definido por el principal paquete de los Yesos de Cárcar.

En La Hoja sus afloramientos se extienden ampliamente alrededor de los anticlinales de Sartaguda y Alcanadre donde se cuentan tres intercalaciones mayores de yesos. De los tres

intervalos lutíticos de la Unidad, el basal es el más potente, superando normalmente los 100 m.

Litológicamente constituye un conjunto arcilloso rojizo con intercalaciones de areniscas, calizas micríticas y yesos.

Los términos arcillosos se disponen en intervalos de potencia decimétrica a métrica, eventualmente decamétrica, de aspecto homogéneo. En situación próxima a los niveles yesíferos pasan vertical y lateralmente a margas dolomíticas arcillosas, más o menos yesíferas y pueden incluir nódulos dispersos de yesos alabastrinos.

Los yesos constituyen las únicas intercalaciones que alcanzan expresión cartográfica (341) por lo que se describen en el siguiente epígrafe.

Las areniscas presentan unas características semejantes a las descritas para la Unidad Arcillas de Mendavia (332), de modo que predominan los niveles de morfología tabular asimilables a depósitos de tipo *sheet flood*. Su potencia es de orden centi-decimétrico, y presentan abundantes estructuras sedimentarias: huellas de base, tractivas y de colapso, laminación paralela, estratificación cruzada de mediana escala, *climbing ripples* y *ripples* de oscilación, *convolute lamination*, huellas de desecación, fluidificaciones y pistas de invertebrados. Los cuerpos canalizados alcanzan mayores potencias, de orden métrico. Exhiben superficies muy marcadas de acreción lateral y otras estructuras menores propias de barras de meandro.

Las calizas aparecen con frecuencia como capas tabulares de potencia centi-decimétrica que adquieren un tono gris bastante oscuro debido a su alto contenido en materia orgánica. Corresponden a *wackestones* micríticos, más o menos arcillosos, con abundantes granos terrígenos, hasta punto de registrar contenidos próximos a la clasificación de areniscas. El resto de aloquímicos corresponde a fósiles (ostrácodos, caráceas y fragmentos de gasterópodos), intraclastos y peloides. Las estructuras sedimentarias observadas consisten en laminación paralela y *ripples* de oscilación, y la bioturbación es en ocasiones bastante intensa. Representan depósitos típicamente palustres propios de charcas carbonatadas.



La Unidad de Sartaguda se enmarca en un medio de frente aluvial muy distal ligado a sistemas de procedencia meridional con frecuentes episodios lacustres y palustres de distinta salinidad, como consecuencia de su posición perilacustre.

En IGME (1977) se cita la presencia de *Limnocythere sp.*, *Harrisichara cf. tuberculata*, *Rabdochara cf. stockmansi*, *Gyrogona sp.* y *Chara sp. 11*, que representan una asociación próxima a la base del Mioceno. La edad se establece, por correlación con otras formaciones, en el Ageniense.

#### **2.1.1.5. Yesos y margas (341). Yesos de Cárcar.**

La Fm. Cárcar, (SOLE, 1972) agrupaba originalmente las unidades terrígenas de Peralta, Mendavia y Sartaguda. El término fue adaptado posteriormente por SALVANY (1989) para el Nivel de Alcanadre en facies yesíferas dentro del Dominio Meridional.

Se redefine en la presente memoria, con validez para toda la Hoja a escala 1:50.000 de Lodosa (205), la denominación litoestratigráfica de Yesos de Cárcar, aplicándose a los términos yesíferos con entidad cartográfica comprendidos estratigráficamente entre el Nivel de Alcanadre y la Unidad de Yesos de Sesma, de modo que forman varias intercalaciones relacionadas con las facies terrígenas de Peralta (342) y Sartaguda (340).

De forma conjunta con las Unidades 19 y 21 constituiría la denominada Unidad Arcillas y Yesos de Lodosa (SALVANY, 1989).

Los diversos niveles de yesos adquieren una mayor potencia y continuidad cartográfica en el Dominio Meridional lo que puede provocar confusiones con la Unidad de Yesos de Sesma.

En la Hoja de Pradejón los principales afloramientos de esta Unidad se encuentran en el flanco norte del Anticlinal de Sartaguda y en el flanco meridional del Anticlinal de Alcanadre constituyendo tres niveles de potencia creciente desarrollados a techo de los tres intervalos de las Arcillas de Sartaguda.

Litológicamente la Unidad de Cárcar está representada por yesos y margas que se organizan en ciclos bastantes completos de ambientes lacustres salinos estables y cuyas potencias son de orden métrico a decamétrico (SALVANY 1989). Cada ciclo está formado por un tramo arcilloso inferior en tránsito gradual a un tramo yesífero superior. En el tramo yesífero pueden distinguirse cuatro términos con un grado variable de desarrollo que suelen ordenarse de muro a techo en el siguiente orden: 1) capas de carbonato (dolomicrita) que incluyen nódulos, micronódulos y lentículas (pseudomorfos) de yeso; 2) yeso nodular, rico en matriz arcillosa y con variadas morfologías (yeso enterolítico, yeso con elongación vertical, etc.); 3) yeso laminado y 4) yeso nodular en margas dolomíticas yesíferas. Los tramos lutíticos suelen corresponder a arcillas margosas grises generalmente yesíferas con eventuales intercalaciones de dolomías laminadas y de areniscas grises de grano fino en capas tabulares. En algunas ocasiones se desarrollan intervalos de potencia decimétrica a métrica de arcillas rojizas u ocre yesíferas.

Los Yesos de Cárcar representan los primeros episodios salinos de la Fm. Lerín con una producción de evaporitas volumétricamente importante. La variedad de facies y complejas relaciones laterales con otras unidades indican que la zona lacustre salina central experimentó frecuentes variaciones de nivel y expansión facilitando la propagación episódica de las orlas distales aluviales de procedencia sur.

Dado el contenido paleontológico prácticamente nulo, la edad de la Unidad se establece por su posición estratigráfica en el Ageniense.

#### **2.1.1.6. Arcillas rojas y areniscas (347). Ageniense.**

La presencia de un intervalo arcilloso rojizo (347) a muro de los Yesos de Sesma ya fue constatada por SALVANY (1989) quien lo describió como el tramo superior de la Unidad de Lodosa.

En la Hoja aparece como un nivel arcilloso que destaca en el terreno por su tonalidad rojiza y posee un potencia comprendida entre 20 y 50 m.

Sus afloramientos se localizan al N de Sartaguda, circunscritos al Sinclinal de Lodosa, y al Oeste de Alcanadre, formando parte del flanco norte del Sinclinal de Pradejón. Destaca, por las buenas condiciones de exposición, el corte de la trinchera del Ferrocarril en las cercanías de la ermita de Aradón.

Litológicamente predominan las arcillas rojas sobre las margas arcillosas grises. Ambos términos contienen yesos en horizontes nodulares y eventualmente incluyen cristales lenticulares dispersos. Las principales intercalaciones consisten en areniscas y yesoarenitas que aparecen en capas tabulares de potencia centi-decimétrica con abundantes estructuras sedimentarias: huellas de base, tractivas y de colapso, laminación paralela, *convolute lamination*, escapes de fluidos, deformación hidrolástica, *cosets* muy bien desarrollados de *climbing ripples* y *ripples* de oscilación. Esporádicamente se reconocen también delgadas capas de dolomías laminadas con moldes de cristales de yesos.

Sedimentológicamente se enmarca en un contexto de frente aluvial muy distal y refleja un episodio de gran propagación hacia el N de los sistemas de procedencia ibérica.

#### **2.1.1.7. Yesos y margas (349) Yesos de Sesma. Ageniense.**

La Unidad Yesos de Sesma (SALVANY, 1989) constituye un potente nivel yesífero de gran extensión en la Cuenca Navarro-Riojana.

Se superpone a la Unidad 21 mediante un tránsito bastante rápido.

En la Hoja los Yesos de Sesma aparecen exclusivamente en la esquina NE, en el ámbito del Sinclinal de Lodosa.

Litológicamente constituye una potente serie yesífera con algunas intercalaciones margosas y arcillosas. Los yesos presentan gran variedad de facies (laminada, nodular, lenticular) y texturas cristalinas (yesos alabastrinos, megacristalinos, porfiroblásticos) que se distribuyen irregularmente en la serie o bien presentan un cierto orden cíclico. La parte inferior a media de la unidad es más yesífera y masiva. Hacia techo se registra un aumento notable del contenido de margas y arcillas, bien como intercalaciones entre los yesos o como matriz en las capas de yeso, y también tienden a aumentar en proporción las facies nodulares. En subsuelo la Unidad incluye niveles de halita y posiblemente de glauberita. Aunque la halita no aflora en ningún punto, se pone de manifiesto por la existencia de manantiales salinos en la región. El carbonato está poco desarrollado. Generalmente se limita a finas capas dolomíticas de potencia milimétrica o centimétrica entre los yesos laminados.

La Unidad de Sesma representa una etapa prolongada de implantación de un sistema lacustre salino estable de gran expansión en la Cuenca Navarro-Riojana facilitada por la escasa actividad aluvial en los márgenes.

El contenido paleontológico es prácticamente nulo. La edad de Ageniense (Zonas MN1 y MN2) se asigna por la posición estratigráfica de la Unidad.

#### **2.1.1.8. Yesos, margas, lutitas y areniscas (357). Ageniense.**

La presente Unidad constituye un conjunto evaporítico que agrupa a los Yesos de Sesma y los Yesos de Los Arcos.

Su individualización cartográfica está justificada por las dudas que plantea la correlación de los términos yesíferos superiores de la Fm. Lerín a ambos lados del Ebro.

Está representada en el extremo noroccidental de la Hoja desarrollándose esencialmente en el flanco norte del Sinclinal de Pradejón y el mejor corte se localiza en la Ermita de Aradón, al Oeste de Alcanadre, donde se registra una potencia de unos 170 m.

Se superpone mediante un tránsito rápido a la Unidad 21 y el techo está marcado por la superposición, bastante neta, de una serie lutítico-yesífera rojiza que representa los términos más superiores de la Fm. Lerín al S del Ebro.

En conjunto se distinguen dos paquetes principales de yesos separados por un tramo arcillosos rojizo de escasa potencia.

En SALVANY (1989) se pone de manifiesto la presencia de glauberita en la base de los dos paquetes yesíferos, y de halita, productos que se explotaron por labores subterráneas en las cercanías de la ermita de Aradón.

La litofacies laminada es la predominante, especialmente en el paquete superior, mientras que los desarrollos nodulares se concentran a muro de los dos niveles yesíferos principales.

El tramo lutítico intermedio destaca por su tonalidad rojiza y está representado por arcillas con nódulos alabastrinos subesféricos de yesos.

Analizando la sucesión completa existen indicios de correlación de los paquetes yesíferos inferior y superior con las unidades de Sesma y los Arcos respectivamente, si bien se registraría un acusada reducción de potencias, de más de 150 m a unos 70-80 m para cada una de las dos unidades. El intervalo lutítico intermedio constituiría un equivalente, en facies aluviales distales de procedencia meridional, de la unidades homólogas de Allo y Villafranca, desarrolladas al Norte.

El contenido paleontológico es prácticamente nulo, de modo que la atribución al Ageniense se realiza por la situación estratigráfica de la Unidad.

#### **2.1.1.9. Arcillas rojas, margas, yesos y areniscas (362). Ageniense.**

A techo de la Unidad anterior se desarrolla una serie lutítico-yesífera, que alcanza varios cientos de metros de espesor, sobre la que se dispone discordantemente la Fm. Alfaro.

Constituye el techo de la Fm Lerín en la Hoja y se desarrolla en el eje del Sinclinal de Pradejón.

Litológicamente consiste en una serie heterogénea de yesos, arcillas rojizas y margas arcillosas grises con intercalaciones menores de dolomías y yesoarenitas.

Los yesos constituyen niveles de espesor generalmente métrico a decamétrico. Predominan las litofacies nodulares siendo infrecuentes los términos laminados. Incluyen intercalaciones subordinadas de margas dolomíticas grises y de dolomías laminadas o carniolares.

Los tramos arcillosos rojizos registran potencias de orden métrico-decamétrico. Presentan un aspecto bastante homogéneo e incluyen abundantes nódulos dispersos de yesos.

Los intervalos margosos están formados por margas dolomíticas grises, más o menos arcillosas, con crecimientos de yesos nodulares y lenticulares. Incluyen intercalaciones de diversas litologías en proporciones variables.

Las yesoarenitas son relativamente frecuentes como intercalaciones en el seno de las margas grises y también en los niveles de yesos, constituyendo capas tabulares de potencia centimétrica y decimétrica. Muestran muy abundantes estructuras sedimentarias

consistentes en: granoclasificación positiva incipientes , huellas de base, tractivas y de colapso, laminación paralela, *convolute lamination*, escapes de fluidos, deformación hidrolástica y *ripples* de oleaje.

Ambientalmente la sedimentación se realiza en un medio llanura evaporítica fangosa, periférica de un área lacustre salina conectada hacia el Sur con sistemas aluviales procedentes de la Cordillera Ibérica.

Se asigna una edad de Ageniense superior, atribución basada exclusivamente en la posición estratigráfica de la unidad, dada la ausencia de fósiles.

**2.1.1.10. Arcillas ocreas y areniscas (381). F. Alfaro. Ageniense superior-Orleaniense.**

La Fm. Alfaro (CASTIELLA et al. 1978), conocida también como Facies de Alfaro, culmina la serie terciaria en la Hoja.

Está representada por una serie arcillosa de tonos rojizos, con intercalaciones areniscosas de escasa potencia, que se extiende al Sur del valle del Ebro a lo largo de buena parte de Rioja Baja.

Cubre el tercio suroccidental de la Hoja desarrollándose esencialmente en el flanco sur del Sinclinal de Pradejón, donde presenta buzamientos muy bajos (<10°) hacia el SO.

Se correlaciona hacia el Norte con Fm. Tudela, (CASTIELLA, 1978), con la que presenta notables analogías litológicas, sedimentológicas y estratigráficas. Hacia el Oeste se considera un equivalente lateral de la parte superior de la facies de Nájera (RIBA, 1955), o Fm. Nájera.

Se dispone mediante una discordancia erosiva a escala regional sobre la Fm. Lerín, de manera que trunca parcialmente el techo de la Unidad infrayacente (362).

La potencia máxima de la Fm Alfaro en la Hoja alcanza valores próximos a los 200 m en el sector de Ausejo.

Litológicamente predominan los términos lutíticos, representados por arcillas rojizas en tramos homogéneos de potencia métrica a decamétrica, a veces con trazas de yesos, o alternando con otras litologías.

Las areniscas forman capas tabulares de potencia centimétrica a decimétrica y con tonos ocre-rojizos a grises. Su morfología y estructuras sedimentarias (granoclasificación positiva, huellas de base, laminación paralela, estratificación cruzada de mediana escala, escapes de fluidos y *ripples* a techo) indican su depósito bajo mecanismos de tipo *sheet flood* en avenidas torrenciales episódicas.

Las calizas constituyen intercalaciones muy escasas en los afloramientos de la Fm. Alfaro dentro la Hoja y su presencia se limita a la parte basal de la Unidad. Forman niveles tabulares de potencia centimétrica a decimétrica con intervalos adyacentes subordinados de arcillas grises más o menos margosas. Texturalmente predominan los *wackestones* micríticos generalmente arcillosos que presentan ostrácodos y caráceas como principales aloquímicos y registran un contenido bastante elevado en granos terrígenos.

La Fm. Alfaro se encuentra relacionada genéticamente hacia el S con sistemas aluviales de procedencia ibérica, constituyendo sus representantes de frente distal. Hacia el N, en el eje del Ebro, son más frecuentes las facies lacustre-palustres carbonatadas, cubiertas casi totalmente en la Hoja por los extensos depósitos de terrazas.

En IGME (1977) se han identificado: *Chara gr. Tornata*, *Chara cf. Cylindrica*, *Chara cf. Media*, *Rhabdochara cf. Major*, *Elkocythereis aff. Minutidontis* y *Elkocythereis aff. Bramletti*, que representan una asociación de caráceas y ostrácodos propia del Mioceno inferior. Se cuenta además con la referencia de los yacimientos de vertebrados de la Fm. Alfaro y diversos equivalentes en la región, donde se indica una edad de Ageniense superior (MN2) a Orleaniense medio (MN4).

## 2.2. CUATERNARIO

### 2.2.1. Pleistoceno

#### 2.2.1.1. **Gravas, arenas y lutitas. Glacis de acumulación. (516, 517, 518). Pleistoceno**

Los materiales que se describen en este epígrafe afloran en el cuadrante S.O de la Hoja, concretamente en el entorno de la localidad de Ausejo en La Rioja.

Litológicamente los depósitos están constituidos por clastos muy heterométricos (cantos y bloques) y bastantes redondeados de calizas, areniscas y microconglomerados, empastados en una matriz arcillosa ocre y/o rojiza, organizados de forma bastante heterogénea. Ocasionalmente se presentan algo cementados. Llegan a alcanzar espesores de 10-12 m.

Su origen y disposición es claramente aluvial y su procedencia de los relieves ibéricos, presentándose como grandes sediplanos colgados de pendiente relativamente suave, gran extensión superficial y con ligera inclinación hacia donde se articula la red fluvial actual. Por su morfología, han sido considerados como glacis y por su disposición a distintas alturas se han podido diferenciar tres generaciones, siendo la mas desarrollada la de Ausejo y cuyo corte más representativo se tiene en la carretera N-232 junto a dicha localidad.

En cuanto a edad se refiere se les asigna una edad Pleistoceno, probablemente inferior a estos depósitos, por su disposición respecto a los relieves de la cadena ibérica y a las terrazas altas del Ebro.

#### 2.2.1.2. **Gravas y arenas. Terrazas altas medias y bajas (521, 528, 524). Pleistoceno- Holoceno**

Dentro de este apartado se incluyen todos aquellos depósitos relacionados con la red fluvial actual articulada en torno al río Ebro.

Ocupan dentro de la Hoja una buena extensión superficial, habiéndose diferenciado hasta 10 niveles de terrazas en el río Ebro respecto a sus cauce actual. Todos ellos por su



disposición y cota han sido agrupados en tres niveles denominados: terrazas altas, media y bajas.

Así se incluyen como terrazas altas los niveles situados a +165-175 m, +100-125 m, y la+80 m, en las terrazas medias las situadas a +60-65 m, +50-55 m, +30-35 m, 20-25 m y +10-15 m y finalmente como terrazas bajas las situadas a +8-10 m y +5 m

Conviene advertir que localmente algunas de estas cotas se pueden ver modificadas al encontrarse algunos depósitos de terrazas movidos y/o basculados por efectos de neotectónica y de los movimientos de los yesos que constituyen a veces su sustrato.

La litología de los depósitos de las terrazas es muy similar en casi todas ellas, si bien la granulometría a veces resulta algo mayor en las superiores que en las inferiores así como el grado de cementación de los materiales. En general están formadas por gravas poligénicas y arenas y arcillas en proporciones variables. Los clastos son de calizas, cuarcitas, areniscas y microconglomerados y se encuentran por lo general redondeados. En ocasiones se encuentran cementadas por carbonatos, siendo mas frecuente este proceso de cementación en las terrazas altas.

El tamaño de los cantos es muy variable, presentando en ocasiones dos modas. No obstante se llegan a reconocer clastos de hasta 50 cm de diámetro en las terrazas altas, si bien el tamaño medio fluctúa entre los 10-12 cm y los 15-20 cm. Los espesores son muy irregulares, así en las terrazas altas se reconocen potencias medias de 10-12 m, aunque ocasionalmente como en las proximidades de Alcanadre este espesor aumenta considerablemente, al margen que se encuentran deformadas y coluvionadas. Por el contrario en las terrazas medias llegan a medirse hasta 30 m de gravas, como p.e en unas explotaciones de la margen derecha cerca de Alcanadre. Estos espesores anómalos corresponden probablemente a fenómenos de subsidencia diferencial en determinadas áreas.

Las terrazas bajas, son las más extensas y por lo general las menos potentes. Sobre ellas se desarrolla de forma intensa la horticultura. Están constituidas por gravas y arenas con lutitas de tonos ocre y grises que predominan en la parte alta de los depósitos. Los clastos son también poligénicos de calizas y areniscas y son frecuentes los niveles de arenas.

Tanto las terrazas medias como las bajas han sido y son objeto de explotación intensiva.

La edad asignada para los distintos niveles es similar, atribuyéndolas todas al Pleistoceno, excepción hecha de la terraza más baja que correspondería ya al Holoceno.

#### **2.2.1.3. Lutitas con cantos. Glacis. (519). Pleistoceno-Holoceno**

Se trata de depósitos que se desarrollan sobre los depósitos neógenos generalmente arcillosos y en ocasiones sobre materiales yesíferos, contribuyendo a la morfología actual de las laderas. Se han diferenciado este tipo de materiales en varios puntos en los alrededores de Alcanadre.

Por lo general presentan una composición similar al sustrato sobre el que se desarrollan, por lo que los materiales suelen ser lutitas con cantos dispersos e incluso a veces bloques, angulosos y subangulosos generalmente de areniscas y/o yesos así como redondeados procedentes de gravas de zonas de cabecera o de áreas próximas correspondientes a algún nivel de terraza.

Su formación y desarrollo están en relación con la evolución a lo largo del Cuaternario del relieve de la región, por lo que su edad se considera Pleistoceno-Holoceno.

#### **2.2.1.4. Lutitas con cantos y arenas. (544). Depósitos de arroyada. Pleistoceno**

Afloran estos materiales en el cuadrante suroccidental de la hoja, en las proximidades de Ausejo, concretamente en los barrancos de Rubiejo y Escarrilla. Se trata de depósitos de origen aluvial que configuran y rellenan los fondos de dichos valles, quedando desconectados en parte de la red actual.

Litológicamente están formados por lutitas de tonalidades ocre y rojizas así como arenas que engloban cantos de areniscas y calizas procedentes del desmantelamiento de los relieves circundantes. Se trata de depósitos poco potentes, que se distribuyen a lo largo y ancho de dichos valles contribuyendo a la actual morfología de los mismos

Tienen un claro origen fluvial y se atribuyen al Pleistoceno, a los tiempos iniciales de la configuración de la red fluvial, quedando parte de ellos desconectados de la misma por los procesos fluviales posteriores.

#### **2.2.1.5. Limos y arcillas ocre con cantos. Conos de deyección (536). Pleistoceno-Holoceno**

Se describen en este apartado una serie de depósitos muy característicos y ampliamente desarrollados a lo largo de toda la Hoja enmascarando buena parte del sustrato.

Se pueden diferenciar dos tipos: los asociados a los valles amplios y zonas de cierto relieve y los de las zonas de confluencia de la red fluvial.

Los primeros se localizan preferentemente en la margen derecha del Ebro, al pie de los relieves. Están formados por limos y arenas de tonalidades ocre que tapizan el sustrato y a veces presentan una morfología bastante difícil de reconocer. En ocasiones y cuando se encuentran disectados, como p.e como ocurre en la margen izquierda del valle del Ebro se disponen sobre niveles de gravas correspondientes a las terrazas medias de dicho río.

Los segundos suelen ser bastantes frecuentes y se localizan en las salidas de los arroyos y los de pequeños valles que acceden a otros de rango superior o a las terrazas mas bajas de la red fluvial, es decir del río Ebro. En ocasiones se solapan, dando lugar a formas coalescentes de mayor desarrollo

Litológicamente están formados por un conjunto también heterogéneo y bastante caótico de lutitas, con cantos y bloques de tamaño, a veces gravas en hiladas de composición muy variable. Ocasionalmente se pueden producir cementaciones en algunos de estos depósitos, pero siempre muy superficiales y de poca consistencia.

Por su relación con la red fluvial a los primeros se les atribuye al Pleistoceno y a los segundos se les asigna una edad Holoceno.

**2.2.1.6. Limos ocre, lutitas y arenas con cantos. Aluvial-Coluvial (537). Pleistoceno**

En este epígrafe se describe un conjunto de depósitos de origen fluvial que por su morfología en planta, difieren de los fondos de valle y ponen en evidencia un aporte lateral difícil de separar de los propiamente fluviales.

Por lo general se localizan en valles abiertos de topografía muy suave y con zonas de cursos de carácter ligeramente divagante y bastantes efímeros. Tal es el caso de los afloramientos al Norte de Sartaguda. En ocasiones son objeto de explotación para obras de pequeña envergadura

Su litología por regla general corresponde a materiales finos, generalmente limos ocre a veces yesíferos y arenas procedentes de zonas laterales o arrastrados por el propio cursos de los arroyos. Su espesor puede llegar a ser considerable, del orden de varios metros. Ocasionalmente, como al Oeste de Alcanadre, abundan los depósitos tipo gravas mezclados con los anteriores, como consecuencia del desmantelamiento de los niveles de terrazas altas.

Por su posición respecto al resto de los depósitos cuaternarios se les atribuye al Pleistoceno-Holoceno

**2.2.1.7. Gravas, arenas y lutitas. Meandros y/o cursos abandonados (530). Pleistoceno- Holoceno**

En algunos parajes de las terrazas bajas del río Ebro se reconoce zonas, a veces algo deprimidas y de cierta continuidad lateral, que son perfectamente identificables en fotografía aérea por su forma rectilínea y algo sinuosa a veces y cuyas características litológicas son similares a las de las terrazas fluviales.

Son depósitos formados por gravas, arenas y limos en distinta proporción, con desarrollo de suelos que son frecuentemente utilizados para el cultivo.

Por su posición respecto a las terrazas bajas su edad es Holoceno, aunque algunos de ellos puedan corresponder al Pleistoceno

## **2.2.2. Holoceno**

### **2.2.2.1. Gravas, arenas y lutitas. Llanura aluvial y barras fluviales (526). Holoceno**

Estos depósitos corresponden a gravas, arenas y lutitas, que ocasionalmente incluyen clastos tamaño bloque, con cantos de litología muy variada: areniscas, calizas etc. Se trata de depósitos de llanura aluvial desarrolladas junto a la terrazas bajas o bien a barras fluviales en zonas próximas a los márgenes del río con una marcada acreción lateral o bien a los sectores centrales del mismo y cuya morfología es perfectamente apreciable en fotografía aérea a lo largo del curso del Ebro.

### **2.2.2.2. Lutitas con cantos y arenas. Fondos de valle (527). Holoceno**

Estos materiales corresponden a cursos de escorrentía superficial efímera o actualmente nula, que discurren a través de los principales arroyos. Constituyen pues la red fluvial de menor orden que se localiza en la Hoja.

Se trata de depósitos de forma alargada, algunos de orden kilométrico y cierta anchura que por lo general tienen poca potencia (3 a 5 m), aunque en ocasionalmente pueden presentar mayor espesor

Predominan en este tipo de depósitos las lutitas de tonalidades rojas, grises u ocre que incluyen cantos de diverso tamaño y a veces bloques. Ocasionalmente se reconocen niveles de arenas. Los cantos son de litología muy variable, aunque los que predominan son los de yesos y/o areniscas según las zonas.

Estos depósitos se asignan al Holoceno por su relación con la red fluvial actual.

### **2.2.2.3. Lutitas y arenas con cantos y bloques. Coluviones (543). Holoceno**

Se trata de depósitos por lo general de muy poco espesor, aunque a veces de amplia representación superficial. Se encuentran repartidos de forma irregular a lo largo de toda la Hoja. Se localizan al pie de las laderas de los principales valles, asociados a veces a los

distintos niveles de terrazas, así como a pequeños relieves, tratándose en todo caso de depósitos de poca entidad, al menos en cuanto a espesor se refiere.

Litológicamente la composición de estos depósitos es muy variable, ya que dependen del sustrato sobre el que se desarrollan. Lo más frecuente es encontrar lutitas de color ocre mezcladas y/o empastando cantos angulosos y subangulosos de arenisca o yesos, y a veces algunos de caliza según por donde se desarrollen.

Por su posición al pie de las laderas y su relación con el resto de los depósitos cuaternarios se asignan al Holoceno.

#### **2.2.2.4. Bloques, arcillas y limos. Desprendimientos (547). Holoceno**

Se incluye en este epígrafe un conjunto y heterogéneo grupo litológico de tonalidades grisáceas y ocres constituido por bloques fundamentalmente de yesos de gran tamaño, generalmente métrico, empastados en arcillas y limos, que en campo presentan un aspecto irregular y caótico, y cuyo origen se encuentra en el desprendimiento por gravedad de cuerpos que se encontraban en posición inestable.

Son muy frecuentes a lo largo de los taludes de ambas márgenes del río Ebro, aunque, destacando los que se localizan próximos a la Ermita de la Virgen de Aradón.

Constituyen sin duda alguna uno de los riesgos geológicos de la región, sobre todo en los taludes o zona de escarpes que conforman ambas márgenes del Ebro. Dado que se trata de un proceso actual o subactual quedan incluidos en el Holoceno.

#### **2.2.2.5. Escombreras y vertederos. Depósitos antrópicos (550). Holoceno**

En la cartografía y por su extensión superficial se ha diferenciado un conjunto de depósitos heterogéneos y artificiales, de claro origen antrópico. Corresponden a escombreras de materiales o a vertederos que se sitúan próximos a algunas de las localidades de la Hoja.

Consisten en un acúmulo importante de bloques de diverso tamaño y consideración con varios metros de espesor, procedentes de obras o a veces se trata simplemente de materiales vertidos que destacan en el paisaje.

Se han localizado en la Hoja en varios puntos tales como en las proximidades de Pradejón y de Alcanadre, así como junto al canal de Lodosa procedentes de las obras de excavación y construcción de este.

Al tratarse de depósitos recientes quedan incluidos en el Holoceno.

### 3. TECTÓNICA

#### 3.1. CONSIDERACIONES GENERALES

La presente Hoja de Pradejón 205-III se localiza en la Depresión del Ebro, unidad estructuralmente conocida como Dominio del Ebro, que corresponde a un área de geometría triangular con un comportamiento de cuenca de antepais, es decir se trata de una cuenca tipo “*foreland*” del orógeno pirenaico desarrollada a lo largo del Terciario en el borde entre las placas ibérica y europea. Esta cuenca ha sufrido el empuje por el Norte de las laminas cabalgantes pirenaicas y por el Sur los de la cadena Ibérica, presentando esta ultima una clara aloctonia hacia el Norte con desplazamientos de mas de 20-30 Km hacia la cuenca

La evolución y estructura de la Hoja esta relacionada con la estructuración de las cadenas pirenaica e ibérica. El Pirineo comenzó su configuración a finales del Cretácico y se prolongo durante buena parte del Terciario, presentando además una deformación heterocrona a lo largo del trazado de la cordillera, haciéndose progresivamente más moderna esta hacia el Oeste.

De acuerdo con los criterios mas actualizados, la extensión de la cadena sobrepasa ampliamente a la longitud actual del istmo, por lo que la Cordillera Cantábrica y en particular la sierra de Cantabria, con un desplazamiento hacia el Sur, sería una prolongación de la citada cadena y pondría limite septentrional por el Norte a la cuenca.

Finalmente el Macizo de Cameros de la cadena ibérica, es el dominio alpino más próximo al área ocupada por las Hoja, siendo este en parte también responsable de la geometría y estructura de los depósitos que la conforman.

Los materiales que constituyen la Hoja a escala 1:50.000 a la que pertenece la cuadrícula son todos ellos terciarios, con edades comprendidas entre el Oligoceno superior y el Mioceno medio (Arverniense-Orleaniense). A grandes rasgos se identifican dos unidades: una inferior, formada por un potente conjunto detrítico-evaporítico del Oligoceno superior-Mioceno inferior (Arverniense-Ageniense), estructurado según grandes pliegues de escala



kilométrica y otra superior, eminentemente detrítica y de edad Mioceno inferior-medio (Ageniense superior-Orleaniense) que se dispone discordante claramente sobre la anterior.

Estructuralmente el área objeto de estudio esta constituida por un basamento rígido y una cobertera formada por materiales continentales terciarios plegados, con importantes acumulos de evaporitas que facilitan los despegues o la halocinesis. Sobre estos materiales se dispone una potente serie detrítica, de procedencia ibérica que cubre en parte la infrayacente. La disposición de estos materiales es subhorizontal o formando a veces grandes y laxos pliegues de escala regional.

Información sobre la estructura profunda de la zona la aporta el sondeo Marcilla, ubicado en una zona relativamente próxima, al Este de la zona estudiada, poniendo de manifiesto el importante acumulo de materiales salinos que existen en el subsuelo, así como el tipo de estructura de la región.

Entre las referencias y/o los autores que han estudiado los depósitos terciarios así como su estructuración cabe citar previamente los trabajos llevados a cabo por la DIPUTACIÓN FORAL DE NAVARRA a comienzos de los 70, con la realización de las Hojas a escala 1:25.000 y posteriormente reflejadas a escala 1:50.000 en el MAGNA por el IGME (1976, 1977). En la década de los 80 destacan los trabajos de PEREZ (1983), GONZALEZ(1982), GONZALEZ et al (1988), SALVANY (1989) y MUÑOZ (1992). Estos autores la metodología que presentan es la del análisis tectosedimentario, caracterizando un total de ocho unidades (UTS) a nivel cuencial (MUÑOZ, 1992) que abarcan un intervalo temporal comprendido entre el Eoceno y el Mioceno superior.

El acercamiento definitivo entre las placas ibérica y europea, motivo en la cadena pirenaica la creación de un cinturón de pliegues y cabalgamientos, que se propagaron hacia el antepais en secuencia de bloque inferior. Estas estructuras se agrupan en las denominadas "laminas cabalgantes (mantos) inferiores y superiores". La colisión de placas culmina en el Eoceno, durante el Luteciense, con la denominada "fase pirenaica", si bien el régimen compresivo perduró hasta comienzos del Mioceno.

A partir del Eoceno superior, los cabalgamientos de basamento de la zona axial pirenaica, adquieren un notable e importante desarrollo, emergiendo sobre las rocas de la cobertera ya deformadas anteriormente. Durante este intervalo y en el Oligoceno inferior-medio, se

produce el mayor desplazamiento de la vertiente sur del Pirineo sobre la cuenca del Ebro a favor de un cabalgamiento basal.

Esta traslación hacia el Sur se tradujo en la deformación interna y de manera progresiva de los depósitos clásticos, cuya geometría corresponde a sistemas de pliegues y cabalgamientos en las series paleogenas y a la emergencia del frente o rampa frontal de cabalgamiento surpirenaico.

Durante el Oligoceno superior y Mioceno inferior continuo la deformación y tuvo lugar el emplazamiento definitivo del Manto de Gavarnie originando una serie de estructuras plegadas y/o cabalgantes a lo largo del frente surpirenaico, así como la propagación de despegues no emergentes hacia la cuenca de antepais pasiva (cuenca del Ebro) lo que motivo una migración de los depocentros de la cuenca hacia el Sur.

Durante el Mioceno inferior se produjo el plegamiento de la cuenca navarro-riojana como resultado de una etapa principal de compresión pirenaica. Se desarrollaron extensos pliegues de dirección NO-SE, que compartimentaron la cuenca en diferentes dominios sedimentarios, situados en los surcos sinclinales, más o menos independientes entre sí, desplazándose los grandes sistemas lacustres evaporíticos de centro de cuenca, característicos de la etapa anterior, hacia el sector aragonés, convirtiéndose el sector navarro-riojano en una zona de sedimentación principalmente detrítica tanto en el margen ibérico como en el pirenaico.

Algunas de las estructuras de plegamiento del relleno sintectónico de la cuenca de antepais, corresponderían a veces a cabalgamientos ciegos que llegarían a afectar a la cobertera mesozoica subyacente. Muchas de ellas estarían relacionadas con pliegues de crecimiento o sinsedimentarios.

La estructura alpina de la zona estudiada es función de la orientación e intensidad de las distintas fases compresivas y la naturaleza y disposición de los materiales que configuran la cobertera sedimentaria. No hay que olvidar la importancia de los procesos halocinéticos, es decir del movimiento y migración de las sales responsables de la geometría y disposición de algunas de las estructuras.

En el marco de la Hoja no obstante, la estructura es el resultado por un lado de los cabalgamientos de Cameros sobre la cuenca del Ebro y por otro del desplazamiento hacia el Sur y Suroeste de los cabalgamientos, que a veces ponen límite a las grandes estructuras que en la región presentan una dirección general N.NO-S.SE con ligeras inflexiones hacia el Oeste, por lo que adoptarían posiciones O.NO-E.SE.

Finalmente interesa destacar a partir del Mioceno superior, la existencia de procesos neotectónicos motivados probablemente por la deformación de las evaporitas, como consecuencia de la lenta y continua actividad halocinética de las sales. Esto conlleva a una serie de deformaciones observadas en los depósitos cuaternarios, a veces bastante notables acaecidas durante el Pleistoceno y observables en el valle del Ebro, principalmente en los depósitos fluviales.

La existencia de esos procesos es de antaño conocida, siendo numerosos trabajos los que hacen referencia a deformaciones en los valles del Ega, Arga, Aragón y Ebro. Así, al margen de los pioneros, entre ellos los de BOMER y RIBA (1965) son dignos de mención los de GONZALO (1968), MENSUA y BIELZA (1974), ATARES et al. (1983) y CASAS y BENITO (1988).

### **3.2. DESCRIPCIÓN DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS**

La Hoja 205-III Pradejón se caracteriza por presentar dos dominios estructurales claramente diferenciados. Por un lado destaca un sector constituido por yesos y lutitas rojas estructurado según pliegues de dirección NO-SE a veces algo norteados y por otro lado y ocupando los sectores más meridionales de la Hoja un conjunto detrítico suavemente plegado y en disposición casi subhorizontal.

El primero de ellos, el denominado dominio plegado del Ebro, está formado por una sucesión de anticlinales y sinclinales a veces bastante apretados y de gran longitud de eje y flancos relativamente bastante cortos. Dentro de este dominio y para su descripción, a su vez se pueden diferenciar dos sectores o subdominios dentro de la Hoja separados por el curso del río Ebro. Por un lado está el sector de Sartaguda y por otro el de Alcanadre y sus alrededores ya en la margen izquierda del Ebro.

El sector de Sartaguda constituye el flanco suroccidental del denominado sinclinal de Lodosa, estructura de aspecto sinclinorial formada por una sucesión de pliegues anticlinales y sinclinales apretados que dibujan de forma muy clara la geometría de los depósitos salinos en esta zona. Esta estructura se resuelve hacia el Ebro en un pliegue anticlinal, estructura cuyos flancos están formados por una alternancia de lutitas y areniscas de tonalidades rojas muy espectaculares alternando con niveles margosos y yesíferos de colores blancos y grises. En el núcleo llegan a aflorar probablemente la serie más baja estratigráficamente (Yesos de Falces) en sus equivalentes detríticos y evaporíticos de la serie más baja. Esta estructura anticlinal y en particular su núcleo es perfectamente reconocible al Suroeste de la citada localidad junto a las terrazas del Ebro, resolviéndose hacia el río en un laxo sinclinal cuyo eje pasa cerca de dicha localidad.

El sinclinal de Lodosa se resuelve en la Hoja con una serie de pliegues en los términos superiores de la serie. Se trata de unos sinclinales y anticlinales, estos últimos apretados, que dibujan una bonita geometría observable p.e desde las proximidades de la carretera de Lodosa a Sartaguda o cerca de la fábrica de escayolas.

El sector de Alcanadre, en el que aflora una potente serie detrítica de tonos rojos ("Arcillas de Mendavia") se caracteriza por presentar pliegues anticlinales apretados, que hacia el Norte tienden a abrirse (Hoja 205-I Lodosa) tras sufrir una ligera inflexión y adoptar una disposición submeridiana. En las proximidades de dicha localidad y junto a un barranco próximo se puede llegar a reconocer el núcleo de dicha estructura y como las capas llegan a invertirse, aunque de forma muy local. Hacia el Oeste, en los relieves de la Ermita de la Virgen de Aradón, se reconoce el flanco más suroccidental de dicha estructura así como pliegues de menor envergadura.

El dominio plegado del Ebro queda delimitado en todo este sector por una estructura sinclinal laxa de dirección general NO-SE que recorre de forma diagonal toda la Hoja, resultando pues de escala kilométrica la longitud de su eje, sobrepasando los límites de la cuadrícula. Este pliegue configura también en parte la geometría de los depósitos neógenos suprayacentes que caracterizan ya al otro dominio.

El dominio que se podía denominar de La Rioja Baja, está constituido por una potente sucesión monótona de lutitas rojas y areniscas que dibujan una estructura anticlinal, el denominado anticlinal de Pradejón, estructura paralela a la anterior, muy laxa también y

cuyo flanco más meridional adopta una disposición con buzamientos muy suaves, del orden de los 7-10°

Más hacia el Sur y fuera ya de Hoja, según una dirección general NO-SE, se reconoce una importante estructura paralela a las descritas: el denominado sinclinal de La Rioja Baja, estructura laxa que se desarrolla y afecta estos depósitos neógenos de la margen derecha del Ebro y que se extiende desde el Sur de Logroño hasta al menos Calahorra e incluso Autol.

En cuanto a accidentes tipo fallas, solo destacar que estas a escala hectométrica o kilométrica no se reconocen, observándose solo pequeñas discontinuidades con saltos decimétrico a métrico, lo que no implica que accidentes de este tipo de cierta envergadura no estén ocultos bajo sedimentos recientes.

Es de destacar en la zona de Alcanadre, los movimientos de bloques y la actividad neotectónica que en este sector tuvo lugar durante el Cuaternario, observándose deformaciones en las terrazas altas, basculamientos y contactos entre distintos depósitos por fallas. Este sector y sus accidentes fueron estudiados por ATARÉS et al. (1983).

## **4. GEOMORFOLOGÍA**

### **4.1. DESCRIPCIÓN FISIAGRÁFICA**

La Hoja a escala 1:25.000 de Pradejón (205-III) está incluida en la Hoja a escala 1:50.000 de Lodosa (205), encontrándose situada en el sector suroccidental de la Comunidad Autónoma de Navarra abarcando además parte de la Comunidad Autónoma de La Rioja.

Pertenece a la Depresión del Ebro, cuenca sedimentaria de forma triangular rellena durante el Terciario y limitada por los Pirineos y los Montes Vasco-cantábricos, al Norte, la Cordillera Ibérica, al Sur, y la Cadena Costero Catalana, al Este. Más concretamente, se enmarca en su sector occidental, denominado Cuenca de La Rioja-Navarra (RIBA, 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.

A grandes rasgos, el relieve de la Hoja se caracteriza por presentar una elevación moderada en los sectores suroccidental y menos en el nororiental, contrastando con los relieves suaves y planos de los aterrazamientos del río Ebro que de Este a Oeste transcurre por la mitad septentrional de la Hoja. Destacan una serie de amplios valles orientados según bandas de dirección SO-NE que con cabecera en los relieves riojanos tienen su salida al Ebro y terminan de configurar la fisiografía de la Hoja.

Es precisamente en el cuadrante suroccidental donde se da la mayor altitud, 593 m, concretamente en la localidad de Ausejo, mientras que es en el valle del Ebro en su margen izquierda, cerca de Sartaguda es donde se encuentra la altitud mínima (305 m). No obstante y a grandes rasgos, la cota media se sitúa por debajo de los 400 m por encima de una diagonal NO-SE que cruzase la cuadrícula, mientras que por debajo de esta la cota media se sitúa por encima de dicha altura

El principal curso fluvial es el río Ebro que transcurre según una dirección E-O con una configuración meandriforme, presentando una ligera inflexión NO-SE en la parte oriental de

la cuadrícula. En torno a él se articula la red de drenaje del sector integrada por diversos arroyos y barrancos de pequeña entidad.

Climatológicamente, la región pertenece al tipo Mediterráneo Templado, con precipitaciones medias anuales comprendidas entre 450 y 600mm y temperaturas medias anuales de 13 a 14°C.

Se trata de una zona bastante poblada, distribuyéndose gran parte de sus habitantes entre los núcleos urbanos, siendo Sartaguda la principal población de la Comunidad Autónoma de Navarra, mientras que Alcanadre, Ausejo y Pradejón los son de la Comunidad Autónoma de La Rioja, dando esta última nombre a la Hoja Andosilla y Carcar los tres núcleos de población más importantes, pertenecientes todos ellos a la Comunidad Autónoma de Navarra

La red de comunicaciones se basa en una serie de carreteras, densamente distribuidas por el sector meridional, entre las que destacan la NA-6540 y la NA-6221, la LR-260 y la N-232 así como la autopista A-68 que casi diagonalmente atraviesa la cuadrícula. Al margen existen en numerosos caminos y pistas que permiten el acceso a la práctica totalidad de la Hoja.

En cuanto a la vegetación, alternan los terrenos de monte bajo y matorral, predominantes en las zonas de mayor relieve, con los de cultivo, habituales en las zonas bajas, que adquieren su máxima expresión en el valle del Ebro. Esta labor agrícola, al margen de la ganadería, constituye la principal ocupación de la población.

## **4.2. ANTECEDENTES**

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

Por lo que respecta a estudios más concretos, en su mayor parte se centran en los depósitos de terrazas y glaciares del río Ebro, destacando los de RIBA y BOMER (1957), GONZALO (1977 y 1979) y LERANOZ (1989), mereciendo la pena señalar el de LERANOZ (1990 a) que aborda el endorreísmo del sector meridional navarro. Por su interés neotectónico es preciso señalar la publicación de ATARES et al. (1983), en relación con la existencia de fallas cuaternarias en el área de Alcanadre; otro tanto puede decirse, por su relación directa con la zona de estudio, de los trabajos de MENSUA y BIELZA (1974) y LERANOZ (1990 b) centrados en el curso bajo del río Ega.

También es preciso destacar las aportaciones de las Hojas geológicas a escala 1:50.000 correspondientes al Plan MAGNA de las áreas vecinas, especialmente la de Lodosa (205) y las más recientes (Viana, 171; Allo, 172; y Tafalla, 173), que incluyen un capítulo de geomorfología, así como un esquema geomorfológico 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 (GOBIERNO DE NAVARRA, 1998) en las zonas limítrofes, por la gran cantidad de datos aportados y la puesta al día llevada a cabo en cuanto al conocimiento geológico de la región.

### **4.3. 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).

#### **4.3.1. Estudio morfoestructural**

La Hoja de Pradejón (205-III) se localiza en la denominada Cuenca de La Rioja-Navarra, localizada en el sector noroccidental de la Depresión del Ebro, caracterizada 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 regionales, los afloramientos terciarios integran un dominio, en tanto que el valle del Ebro tapizado por depósitos cuaternarios, constituyen otro de gran entidad por sus características fisiográficas y geológicas.

#### **4.3.1.1. Formas estructurales**

El dominio terciario, en el que aflora un conjunto sedimentario atribuido al Oligoceno-Mioceno, está caracterizado por una serie detrítica, lutítico-yesífera y yesífera en la que se intercalan frecuentes niveles de calizas, dolomías, areniscas, cuya mayor resistencia a la erosión les confiere el papel de resaltes estructurales. Son estos niveles los que permiten establecer la geometría de la zona, consistente en una sucesión de pliegues de orden decakilométrico orientados en la Hoja según direcciones NO-SE tales como las estructuras de Alcanadre, Pradejón, Sartaguda y Lodosa.

Éstas estructuras aparecen interrumpidas o acompañadas por la red de drenaje por lo que es frecuente la presencia de líneas de capa o escarpes más o menos pronunciados, en todos los casos con desniveles inferiores a 100 m. También en algunos casos se ha reconocido alguna pequeña combe. A veces se reconocen, conservadas superficies estructurales, que aparecen como cuestas en ocasiones degradadas. Entre estas formas derivadas de la estructura es preciso señalar también los cerros cónicos, como resultado de procesos de erosión selectiva y que de forma aislada se reconocen en algunos puntos de la Hoja.

Finalmente interesa destacar las formas que adoptan algunas terrazas como consecuencia de basculamientos debido a procesos neotectónicos y deformaciones en yesos, como ocurre en las terrazas altas en los alrededores de Alcanadre. Estos fenómenos son observables también en el valle del Ebro cerca de Pradejón y en las proximidades de San Adrián en la zona de confluencia con el Ega, ya fuera de la Hoja.

#### **4.3.1.2. Estructura de la red de drenaje**

En líneas generales, tanto el río Ebro, que discurren por la mitad septentrional de la Hoja según una dirección general NO-SE siguiendo la línea de máxima pendiente regional, como

el resto de la red de drenaje tiene un marcado carácter consecuente, apenas condicionada por la estructura. Solo una parte de la red en el cuadrante nororiental posee carácter subsecuente, de tal manera que se adapta a las depresiones paralelas a los principales resaltes, de directriz predominante NO-SE. Solo algunos pequeños arroyos y barrancos muestran carácter resecuente, discurriendo en contra de la pendiente regional, pero teniendo en general de escasa entidad.

#### **4.3.2. Estudio del modelado**

El relieve de la zona es el resultado de la acción de los procesos externos, tanto erosivos como sedimentarios que han actuado durante el Cuaternario, sobre la estructura existente a finales del Terciario. Dichos procesos tienen un origen gravitacional (de laderas), fluvial, poligénico, endorreico y antrópico.

##### **4.3.2.1. Formas de laderas**

Los procesos relacionados con la dinámica de las laderas son frecuentes como consecuencia de los abundantes desniveles existentes, debido a la profusión de escarpes, cerros cónicos y terrazas colgadas, entre otros elementos de relieve positivo. No obstante, la representación cartográfica de las formas de ladera es moderada, estando restringida a un pequeño número de desprendimientos de bloques y en general de coluviones que son formas de enlace muy frecuentes entre los relieves y las terrazas.

Los desprendimientos de bloques son frecuentes en el valle del Ebro, tanto en su margen izquierda como derecha siempre que existan escarpes suficientemente verticalizados para favorecer dichos desprendimientos. Se ponen de manifiesto a diferentes escalas siendo los más llamativos los que se reconocen en la Ermita de Aradón al noroeste de la Hoja, dando como resultado un acumulo caótico de bloques generalmente de yesos empastados en limos y arcillas.

Los coluviones poseen una representación mucho mayor, apareciendo como bandas delgadas a favor de la dirección de las estructuras, en general en la parte baja de las laderas de pendientes acusadas o bien a favor de cualquier tipo de escarpes y frecuentemente como formas de enlace entre distintos niveles de terrazas o con los relieves.

#### 4.3.2.2. Formas fluviales

Constituyen, sin duda alguna, el grupo de mayor relevancia, merced principalmente al cortejo de terrazas que escalonan el valle del río Ebro en el que también está representada su llanura de inundación junto con diversos meandros y cauces abandonados. Las formas sedimentarias se completan con los numerosos fondos de valle y conos de deyección repartidos por todo el territorio. Como formas erosivas, se han reconocido aristas, huellas de incisión lineal, acarcavamientos y de forma ocasional, erosiones laterales del cauce del Ebro.

Los fondos de valle tienen una notable representación, apareciendo con formas alargadas siendo en general, estrechos, cuya longitud varía sensiblemente pudiendo llegar a ser kilométrica. En general, en algunas zonas arcillosas en las que el drenaje se hace difuso pueden llegar a producirse procesos de tipo endorreico. Por sus dimensiones destacan los depósitos de los arroyos de Cofrades y Madre, este último en las proximidades de Alcanadre.

Los depósitos de arroyada constituyen a su vez amplios fondos de valle. Se reconocen en el cuadrante suroccidental de la Hoja, en las proximidades de Ausejo concretamente en los barrancos de Rubiejo y Escarrilla. Se trata de depósitos de origen aluvial que configuran y rellenan los fondos de dichos valles, quedando desconectados en parte de la red actual. Están constituidos por lutitas de tonalidades ocres y rojizas así como arenas que engloban cantos de areniscas y calizas procedentes del desmantelamiento de los relieves circundantes.

El sistema de terrazas del Ebro es el conjunto de formas fluviales más característico. Así se han diferenciado dentro de la Hoja diez niveles de terrazas: +5m, +8-10 m, +10-15 m, +20-25 m, +30-35 m, +50-55 m, +60-65 m, +80 m, +100-125 m y +165-175 m

Los tres niveles inferiores se han considerado como terrazas “bajas” y poseen un dispositivo de terrazas encajadas y a veces ligeramente solapadas, en tanto que las cuatro siguientes han considerado terrazas “medias” y las tres restantes ya como “altas”, presentándose como terrazas colgadas. Por lo que respecta a los niveles considerados como terrazas “medias” los más inferiores pueden aparecer como encajadas o colgadas localmente. En conjunto, confieren al valle un aspecto asimétrico escalonado, con netos escarpes entre los

distintos niveles; Los niveles inferiores son los que poseen una mayor continuidad superficial, en tanto que los superiores aparecen a modo de mesas o retazos aislados e incluso a veces sin claros escarpes diferenciadores.

Uno de los rasgos más llamativos de las terrazas de la región es la espectacular deformación que presentan a menudo, relacionada con los procesos de deformación del sustrato yesífero; entre los fenómenos observados se encuentran acumulaciones anómalas, colapsos y basculamientos que, en cualquier caso, modifican el aspecto típico de estos depósitos. Especial atención y llamativos son los alrededores de Alcanadre donde se pone de manifiesto una serie de procesos neotectónicos afectando a las terrazas altas.

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

La llanura de inundación así como las barras fluviales del Ebro aparece representada, a modo de retazos adyacentes al cauce activo, con su típica morfología plana y ligeramente encajada en la terraza más baja. El río Ebro en la mitad oriental de la Hoja, en las proximidades de Sartaguda tiene muy bien desarrollada la llanura de inundación así como varias barras fluviales que destacan claramente por su morfología.

En algunos los tramos donde el Ebro muestra trazados sinuosos, se registran fenómenos de erosión lateral del cauce, también identificados en las curvas en los alrededores de Sartaguda.

También los conos de deyección son frecuentes. Se generan cuando la carga concentrada en estrechos barrancos alcanza áreas más amplias, en las cuales se expande, dando lugar a sus típicas morfologías en abanico. Aunque existen formas aisladas, la proximidad entre los barrancos hace que predominen los dispositivos coalescentes, de forma que aparecen como bandas que orlan los principales relieves, siendo en este caso más difíciles de ser reconocidos. A destacar el sistema de conos de El Salobral, entre Alcanadre y Ausejo y los sistemas coalescentes próximos a Pradejón, que actúan de formas de enlace entre las terrazas del Ebro y los relieves terciarios.

En cuanto a las formas erosivas de origen fluvial, también poseen una amplia distribución, destacando entre ellas la incisión lineal, generalmente con desarrollo transversal a los principales cursos de la zona. En algunas áreas, su acción da lugar a un retroceso de las cabeceras que favorece el desarrollo de aristas, como interfluvios de morfología afilada diseminados por la zona.

El desarrollo de cárcavas, con sus correspondientes cabeceras, es poco frecuente, o al menos es incipiente en los sectores meridionales de la Hoja encontrándose poco desarrolladas en los afloramientos arcillosos, a pesar de que el carácter “blando” favorece el desarrollo de una profunda incisión; no obstante, debido a sus reducidas dimensiones, con frecuencia carecen de representación cartográfica.

#### **4.3.2.3. Formas poligénicas**

Están representadas por los glacia, los depósitos aluvial-coluvial y los restos de pequeñas superficies de erosión degradadas y escarpes.

Los glacias aparecen muy bien desarrollados y caracterizados en el sector meridional, en La Rioja, concretamente sobre el Terciario y al pie de los relieves ibéricos, caracterizándose por sus perfiles longitudinales plano-cóncavos, con aumento de la concavidad hacia la cabecera. En general se trata de sistemas de gran entidad, disectados por la red de drenaje actual y de la que quedan formas relictas cuanto más antiguos son estos.

Por lo que respecta a los depósitos de origen aluvial-coluvial se identifican en dos zonas: una de ellas en el sector del sinclinal de Lodosa, cerca de Sartaguda y rellenando una buena parte de la depresión original y otra cerca de Alcanadre en el paraje de Los Tres Corrales. En cualquier caso la disposición es alargada a favor de las estructuras y rellenando pequeñas depresiones.

En algunos sectores, como al Norte de Sartaguda, parecen reconocerse restos de una superficie de erosión degradada probablemente relacionadas con el desarrollo de la red fluvial de los ríos Ebro y Ega, dada su proximidad. Lógicamente, su interpretación en el contexto de la evolución y encajamiento de la red fluvial actual, hace que se atribuyan al Cuaternario.

Por lo que respecta a los escarpes, cabe decir que son de envergadura variable y a veces con desniveles superiores a los 50 m. Se han representado delimitando los glaciares, si bien se reconocen en el mismo valle del Ebro, concretamente junto a la Ermita de la Virgen de Aradón y aguas abajo de Sartaguda, interpretándose estos como formas poligénicas porque pese a su evidente influencia fluvial y estructural, se supone que los procesos de ladera también han tenido incidencia en su génesis.

#### **4.3.2.4. Formas antrópicas**

La actividad antrópica se concentra casi exclusivamente en el valle del Ebro, desarrollándose sobre las terrazas bajas que es donde mayor actividad se da dentro de la Hoja. Corresponden bien a representación de frentes de canteras en explotaciones de graveras, a vertederos o escombreras como en las proximidades de Alcanadre y en Pradejón.

### **4.4. FORMACIONES SUPERFICIALES**

#### **4.4.1.1. Grandes bloques, arcillas y limos con cantos. Desprendimientos (a). Holoceno**

Integran un conjunto litológico heterogéneo y caótico, cuya génesis se relaciona con procesos de desprendimientos de importantes masas y bloques de yesos con lutitas que impactan en el paisaje de la zona. Obviamente, el espesor de estos depósitos es muy variable, tanto entre las distintas masas como de cada una de ellas.

Estos depósitos son observables en el valle del Ebro, en ambas márgenes y a distintas escalas, siendo los más llamativos los que se observan al pie de los escarpes en la margen izquierda del río, cerca de la Ermita de la Virgen de Aradón en el cuadrante nororiental de la Hoja. Constituyen sin duda alguna uno de los mayores riesgos geológicos de la región y dado que se trata de un proceso actual o subactual quedan incluidos en el Holoceno.

**4.4.1.2. Lutitas y arenas con cantos y bloques. Coluviones (b). Holoceno**

Se trata de depósitos de reducido espesor, en general inferior a 2m, y moderada representación superficial, distribuidos irregularmente al pie de las laderas de los principales relieves. Su constitución litológica es muy variable, dependiendo de la naturaleza de su área madre. Predominan las lutitas ocres que engloban cantos y bloques angulosos y subangulosos de areniscas, yesos o calizas de tamaño muy variable, con frecuencia de orden decimétrico. Ocasionalmente y cuando se desarrollan sobre algún nivel de terrazas estos depósitos resultan “canturrales” procedentes de las gravas pudiendo llegar a confundirse con aquellas.

Su posición en relación con las vertientes actuales, así como su relación con el resto de los depósitos cuaternarios han aconsejado su asignación al Holoceno.

**4.4.1.3. Lutitas con cantos y arenas. Fondos de valle y Depósitos de arroyada (c). Holoceno**

Constituyen el depósito de cursos de escorrentia superficial efímera o actualmente nula, que discurren intermitentemente a través de los principales valles, reflejan pues, la sedimentación de la red fluvial secundaria.

Se trata de depósitos de forma alargada, adaptados a la estructura de la red de drenaje. Aunque en algunos casos poseen una longitud de orden kilométrico y una anchura moderada, en general poseen un espesor comprendido entre 3 y 5m aunque ocasionalmente puede ser superior. Localmente pueden presentar un cierto grado de cementación.

Predominan las lutitas de tonalidades grises, rojas u ocres, que incluyen cantos de tamaño variable y, en ocasiones, bloques. En menor medida, también se reconocen niveles de arenas. La litología de sus componentes es muy variable, predominando los clastos de fragmento de yeso o arenisca según las zonas. Por su íntima relación con la red fluvial actual se atribuyen al Holoceno.

#### **4.4.1.4. Gravas poligénicas y arenas. Terrazas, Llanuras de inundación, Meandros y/o cauces abandonados (d) y Glacis de acumulación (f, g, h). Pleistoceno-Holoceno**

En relación con el sistema fluvial de la Hoja formado por la principal arteria, el río Ebro, se reconocen depósitos de gravas y arenas, bajo tres contextos diferentes: por una parte como materiales asociados a las terrazas fluviales de dichos ríos por otra como depósitos de reducida extensión bien adyacentes al cauce activo y ligeramente encajados en la terraza más baja, correspondiendo a la llanura de inundación o como formas estrechas, en ocasiones fuertemente curvadas, ligeramente encajados en las terrazas “bajas”, correspondiendo a meandros o cauces abandonados. Finalmente aparecen también estas formaciones como asociadas a las distintas generaciones de glacis de acumulación previos o quizás algunos contemporáneos al desarrollo de las terrazas más altas.

Las terrazas fluviales aparecen muy bien y representadas y pertenecen al sistema fluvial del Ebro, excepción hecha de algún tributario, como el río Madre en Alcanadre, que desarrolla algún nivel bajo cerca de su confluencia con aquel. Es preciso recordar que algunas de las cotas de las terrazas pueden haber sido modificadas debido a las deformaciones neotectónicas de los yesos que constituyen su sustrato.

Como ya se ha expuesto en el Ebro y en esta Hoja aparecen representados 9 niveles de terrazas, habiendo sido agrupadas en altas medias y bajas en función de su cota

La litología de las terrazas es muy similar en casi todas ellas, destacando el carácter poligénico de los cantos: calizas, areniscas, conglomerados y cuarcitas. El grado de cementación, por carbonatos, parece ser algo mayor en las terrazas superiores. El contenido en arenas es muy variable así como la fracción lutítica más notoria en la parte superior o techo de las terrazas bajas. En cuanto al tamaño de los cantos cabe decir que a veces se reconocen de tamaño bloque de hasta 50 cm de diámetro en las terrazas altas. Presentan a veces dos modas aunque el tamaño medio fluctúa entre los 10-12 y 15-20 cm.

Los espesores son muy irregulares, reconociéndose potencias anómalas de hasta 30 m en las proximidades de Pradejón en las terrazas altas, explicados por relación con fenómenos de subsidencia diferencial en áreas localizadas. En cuanto a las terrazas medias y/o bajas,



sus espesores pueden llegar a superar los 25-30 m como se puede observar en alguna cantera de los alrededores de Pradejón.

Con frecuencia las terrazas bajas y medias desarrollan suelos que por sus características son frecuentemente utilizados para el cultivo de productos hortícolas. En el río Ebro las terrazas bajas desarrollan suelos del tipo 10 YR 6/4, mientras que en las medias son ya 7,5 YR 5/4 y en las altas del tipo 2,5 Y/R 4/6

Las terrazas, por su relación con respecto a la red fluvial actual se han atribuido al Pleistoceno, sin descartar que los niveles inferiores puedan pertenecer al Holoceno. La llanura de inundación, por su posición con respecto a las terrazas “bajas”, se ha atribuido al Holoceno, en tanto que los meandros y cauces abandonados se han asignado al Pleistoceno-Holoceno.

#### **4.4.1.5. Limos y arcillas ocres, en ocasiones con cantos y bloques. Conos de deyección (e). Pleistoceno-Holoceno**

Se ha reconocido una serie de depósitos asociados a conos de deyección o conos aluviales. Por lo general suelen ser de dos tipos: los desarrollados a la salida de fondos de valle o barrancos de diferente envergadura y los de forma coalescentes, que tapizan las laderas de vertiente de zonas de relieve.

Generalmente, están formados por limos y arcillas de tonalidades ocres, a veces algo rojizas que ocasionalmente engloban cantos angulosos o subangulosos dispersos e incluso gravas dispuestas en delgadas hiladas; también pueden apreciarse cementaciones, pero siempre muy superficiales y de poca consistencia. Se disponen a la salida de los barrancos estrechos hacia valles más amplios y lógicamente su composición de detalle varía en función del área madre así como su espesor a veces superior a los 8-10 m. Es bastante frecuente como ya se ha expuesto, el solapamiento o la coalescencia de varios aparatos, dando lugar a formas de desarrollo lateral de orden kilométrico.

Por su relación con el relieve actual y en particular con la red fluvial se han enmarcado con una edad que abarcaría parte del Pleistoceno y el Holoceno.

**4.4.1.6. Lutitas rojas con cantos. Glacis (i). Pleistoceno**

Su desarrollo se produce sobre depósitos preferentemente lutíticos y yesíferos, contribuyendo a la morfología actual de las laderas. Por lo general su composición refleja la del sustrato sobre el que se desarrollan y la de las vertientes al pie de las cuales se generan. Están constituidos por lutitas con cantos dispersos, a veces bloques, angulosos a subangulos, de composición yesífera.

Su génesis está en relación con el desmantelamiento del relieve finiterciario en la zona, previo al encajamiento definitivo de la red, razón por la que se han atribuido al Pleistoceno, aunque parece probable que su desarrollo haya podido proseguir durante al menos parte del Holoceno.

**4.4.1.7. Limos ocre y arenas. Depósitos aluvial-coluvial (j). Pleistoceno-Holoceno**

Corresponden a un conjunto de depósitos de origen aluvial y que por su morfología en planta, difieren de la de los fondos de valle y ponen en evidencia un aporte lateral difícil de separar de los propiamente fluviales.

Por lo general se localizan en áreas de topografía muy suave y en zonas de cursos de carácter ligeramente divagante y bastantes efímeros.

Su litología por regla general corresponde a materiales finos, generalmente limos ocre a veces yesíferos y arenas procedentes de zonas laterales o arrastrados por el propio cursos de los arroyos. Su espesor puede llegar a ser considerable, del orden de varios metros

Por su posición respecto al resto de los depósitos cuaternarios se les atribuye una edad Pleistoceno-Holoceno

**4.4.1.8. Escombros y vertidos. Depósitos antrópicos (k). Holoceno.**

Tan sólo se ha diferenciado un reducido grupo de depósitos de esta naturaleza, relacionados con escombreras de canteras o vertederos; en las primeras predominan las acumulaciones de gravas, en tanto que en los segundos se puede encontrar cualquier tipo

de material, natural o no, con dimensiones muy variables. En cualquiera de los casos, su espesor varía constantemente, dentro de márgenes métricos a hectométricos. Obviamente, se trata de un depósito actual.

#### **4.5. EVOLUCIÓN DINÁMICA**

Lógicamente, es difícil de 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 Pradejón dentro de un contexto más amplio como el de la Depresión del Ebro o al menos de todo este sector de Navarra-La Rioja.

En cualquier caso, los restos de las superficies de erosión degradadas reconocidas en la Hoja, parecen 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 muy probable su pertenencia al Cuaternario y relación con el desarrollo de la red fluvial actual.

Los relieves más altos se localizan en el sector más meridional de la Hoja y tienen su continuidad por los relieves terciarios riojanos. Sobre estos a comienzos del Cuaternario, probablemente durante el Pleistoceno inferior se desarrollan y encajan de forma sucesiva una serie de glaciares de acumulación, que llegan a enrasar con las terrazas más altas del Ebro, que durante esos tiempos circulaba por zonas algo más meridionales que las actuales.

Estos niveles pueden considerarse, por tanto, como la superficie de la cual arrancó el encajamiento de la red en la zona, estimándose generalmente que este proceso tuvo lugar a comienzos del Cuaternario. A partir de este momento se produjo la evolución encaminada a configurar el relieve actual, sin que deba olvidarse la influencia ejercida por la estructura del sustrato durante este periodo.

El encajamiento de la red fluvial como principal modelador de la zona, ha llevado aparejados una serie de procesos erosivos y sedimentarios entre los cuales destacan el desmantelamiento de los relieves por parte de los cauces principales y la acumulación de depósitos, que en sucesivos encajamientos se han configurado como terrazas. La erosión

vertical de la red fue acompañada por un retroceso de las laderas, favorecido por los procesos gravitacionales.

Una vez esbozada la red principal, con valles aún poco pronunciados, posiblemente a partir del Pleistoceno medio dio comienzo el encajamiento generalizado del río Ebro y de la red secundaria, que propiciaría, no sólo un incremento de la superficie susceptible de ser atacada por los procesos denudativos, sino también el desarrollo de sistemas de conos de deyección y de glaciares, generalmente orlando los principales relieves.

Ya 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 por el río Ebro y los fondos de los valles como por la ejercida por los conos de deyección. Los procesos de las laderas ahora sí permanecen “momentáneamente” conservados en forma de coluviones y desprendimientos, comenzando a adquirir cierta relevancia en algunos sectores los procesos endorreicos, favorecidos por una clara disminución de las pendientes regionales y de un sustrato yesífero y arcillo-yesífero. La influencia del sustrato se pone de manifiesto por la profusión de escarpes, crestas y cerros cónicos que la erosión ha modelado y que constituyen elementos inseparables del paisaje actual en la región.

#### **4.6. MORFOLOGÍA ACTUAL-SUBACTUAL Y TENDENCIAS FUTURAS**

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

La estructura está condicionada por la existencia de un sustrato fundamentalmente detrítico y yesífero en el que se intercalan niveles lutíticos y areniscosos y a veces carbonatados, de mayor competencia, estructurado en grandes pliegues de orientación NO-SE. Por su parte, la red fluvial se encaja mediante procesos de incisión vertical, más acusados en la red secundaria de las zonas más abruptas; estos procesos van acompañados por retrocesos de las laderas con desprendimientos y en algunas zonas de erosión lateral de los cauces y acaravamientos como ocurre en el valle del Ebro. También se producen fenómenos de aluvionamiento y abandono de cauces.

La evolución del relieve previsible 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 en el sector septentrional. No obstante en las áreas de afloramientos de materiales blandos se incrementará la tendencia a suavizar las formas. La superior resistencia a la erosión de algunos niveles podría exagerar los desniveles de algunas formas estructurales. Otro probable efecto futuro es la captura de algunos cursos de carácter resecaente adaptándose así a la pendiente regional. Por último, resulta imposible predecir todas aquellas modificaciones relacionadas con las deformaciones de los materiales yesíferos y en particular las que puedan afectar a los materiales cuaternarios suprayacentes.

## 5. GEOLOGÍA ECONÓMICA

### 5.1. RECURSOS MINERALES

En la Hoja a escala 1:25.000 de Pradejón (205-I) se cuenta con 6 indicios inventariados dentro del territorio correspondiente a la Comunidad Foral de Navarra. Corresponden a canteras de gravas que se encuentran sobre las terrazas bajas y medias del Ebro. Se describen además algunas sustancias que si bien no cuentan con indicios inventariados en la Hoja, presentan posibilidades de aprovechamiento minero.

#### 5.1.1. Minerales y Rocas Industriales.

Las gravas constituyen la única sustancia con indicios registrados dentro del territorio navarro de la Hoja. Se han inventariado en total 6 indicios de gravas. Se describen también otras sustancias, arcillas, arenas, sal común y glauberita, por sus posibilidades de aprovechamiento en el futuro.

##### 5.1.1.1. Gravas

Se cuenta con 6 indicios de esta sustancia listados en el territorio navarro de la Hoja.

Corresponden a canteras de dimensiones variables que se concentran en las inmediaciones de Sartaguda.

Benefician depósitos clásticos de las terrazas medias y bajas del Ebro.

Litológicamente corresponden a gravas heterométricas de cantos bien rodados con contenidos variables en matriz arenosa y arenoso-limosa. El tamaño de los cantos varía entre 2 y 15 cm y corresponden mayoritariamente a calizas del Terciario y Mesozoico, y en menor medida a cuarcitas y areniscas.

La potencia de los niveles de terrazas es de orden métrico a decamétrico por lo que las canteras presentan frentes de explotación con alturas comprendidas entre 3 y 15 m.

Una de las canteras se encuentra actualmente en funcionamiento y sus productos se destinan a la construcción y/o mantenimiento de las carreteras cercanas.

El resto de graveras no presentan en la actualidad actividades extractivas si bien pueden registrar un funcionamiento ocasional con objeto de cubrir pequeñas demandas locales

#### **5.1.1.2. Yesos**

No se ha inventariado ningún indicio de yesos en la parte Navarra de la Hoja aunque son frecuentes las canteras de esta sustancia en la zona.

Se reconocen varios niveles evaporíticos en la sucesión de la Fm. Lerín en la Hoja. De muro a techo son: Yesos de Alcanadre (338), Yesos de Cárcar (341) y Yesos de Sesma (349).

En Alcanadre, dentro del territorio de la Hoja perteneciente a la Comunidad de La Rioja se observan algunas canteras de reducidas dimensiones emplazadas sobre la Unidad 12. No obstante cabe señalar que los restantes niveles yesíferos (Unidades 20 y 23) alcanzan potencias de más de 100 m y se extienden ampliamente al NE de Sartaguda lo que da idea de su potencial minero.

#### **5.1.1.3. Arcillas**

Las Unidades de Mendavia (332) y de Sartaguda (340) constituyen dos formaciones esencialmente lutíticas que representan una importante fuente potencial de arcillas comunes.

Mineralógicamente se caracterizan por su elevado contenido en minerales arcillosos de origen detrítico, caolinita e illita, siendo bajos los contenidos en clorita

En la parte Navarra de la Hoja de Pradejón no se localiza ninguna explotación si bien son frecuentes las canteras de arcillas en la zona.

Las arcillas de la región se emplean principalmente para la elaboración de ladrillos. No se descarta no obstante la existencia de niveles de arcillas especiales (ricas en esmectita y sepiolita) asociadas a las facies lacustres de la Fm. Lerín.

#### **5.1.1.4. Arenas y areniscas**

Los términos arenosos de los niveles de terrazas son objeto de explotación en la región para la obtención de áridos.

Por otro lado en la zona se han establecido canteras sobre las principales intercalaciones de areniscas de las Fms. terciarias para la obtención de bloques de mampostería.

En la Hoja de no se ha inventariado ningún indicio correspondiente a esta sustancia, que se cita en presente epígrafe por su potencial minero.

#### **5.1.1.5. Sal común**

Se ha constatado por sondeos la presencia de grandes volúmenes de halita en el subsuelo de la región.

Los niveles yesíferos de las Fms. Falces y Lerín contienen sal, a profundidades poco distantes de la superficie, que puede extraerse mediante procedimientos simples de inyección de agua y bombeo de salmuera.

En las cercanías de la ermita de Aradón dentro de la parte riojana de la Hoja se localiza una pequeña labor subterránea en la que se extrajo sal común que se encuentra en la actualidad muy desmantelada. Se emplaza sobre la Unidad 30 que integra las unidades evaporíticas de Sesma y Los Arcos.

En las cercanías de Sartaguda se desarrollan varios niveles evaporíticos destacables por su potencia y extensión. De muro a techo son: Yesos de Falces, Yesos de Cárcar, Yesos de Sesma y Yesos de Los Arcos.

Aunque no se registran labores mineras de sal común en el territorio navarro de la Hoja, cabe destacar las posibilidades de aprovechamiento de esta sustancia, que podría destinarse a demandas locales (curtidos y alimentación, esencialmente).



#### **5.1.1.6. Glauberita**

Las Fms. Falces y Lerín contienen niveles de glauberita dentro de sus principales tramos yesíferos.

Sin embargo, este mineral sólo se reconoce en subsuelo pues, al igual que la halita y otros minerales evaporíticos de alta solubilidad, en superficie se disuelve con las aguas de lluvia.

Excepcionalmente la glauberita se reconoce en algunos afloramientos recientes de la región en los que no ha llegado a ser disuelta aunque está parcialmente transformada en yeso secundario. Uno de estos puntos se encuentra en la Hoja de Pradejón, en las cercanías de la ermita de Aradón (yacimiento de Alcanadre-Arrúbal) dentro de territorio riojano aunque muy próximo al límite con la Comunidad de Navarra.

En el subsuelo la glauberita está asociada a yeso, anhidrita, polihalita, halita, magnesita y dolomita.

La glauberita se presenta en capas individuales de 10 a 30 cm, que pueden estar aisladas entre sí o bien agruparse para formar capas mayores de hasta varios metros de potencia. Se emplazan facies anhidríticas laminado-nodulares. Las capas individuales de glauberita pueden ser masivas, bandeadas, nodulares o enterolíticas. Texturalmente, el tamaño de los cristales de glauberita puede variar desde grano fino (cristales de <0.5 mm de tamaño) a grueso (cristales de hasta varios centímetros de tamaño). Forman generalmente agregados cristalinos sub-euedrales romboédricos, de tamaño relativamente uniforme, o bien con claras tendencias granocrecientes hacia los bordes de las capas. Estos agregados cristalinos suelen ser puros, pero en las capas tabulares de textura gruesa la glauberita suele estar acompañada de abundante matriz arcillosa o carbonatada. En los afloramientos, la glauberita se presenta siempre con diferentes grados de meteorización y recubierta por eflorescencias que le dan un aparente color blanco que resalta del color grisáceo del yeso encajante. En subsuelo se muestra como un material halocristalino gris, que se puede confundir fácilmente con el yeso o anhidrita, especialmente cuando su tamaño es fino. La glauberita es generalmente de origen primario, aunque también puede proceder del reemplazamiento de anhidrita durante la diagénesis temprana.

La polihalita aparece en finas capas de algunos mm o cm de espesor, de aspecto masivo y color gris oscuro, emplazadas en niveles laminados de carbonatos (generalmente de magnesita), glauberita o halita. Texturalmente estas capas de polihalita forman agregados de esferulitos con un tamaño máximo de 2 mm. Cada esferulito es de microestructura interna fibroso-radiada. Los esferulitos pueden ser de origen primario o bien originados por reemplazamiento de glauberita durante la diagénesis temprana.

La magnesita es otro mineral propio de estos yacimientos glauberíticos. Su aspecto, tanto a simple vista como al microscopio, es idéntico al de la dolomita. Es decir, forma capas poco potentes de carácter masivo o laminado, de textura muy fina y uniforme (micrítica), y de color beige.

La halita y dolomita son minerales frecuentes en los principales tramos evaporíticos de las formaciones Falces y Lerín, independientemente del desarrollo de niveles glauberíticos y presentan siempre las mismas características petrológicas.

## 5.2. HIDROGEOLOGÍA

### 5.2.1. Descripción de las formaciones

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

#### **5.2.1.1. Arcillas ocreas y rojizas con intercalaciones de areniscas, calizas yesos y dolomías. Arcillas de Mendavia y Sartaguda. Oligoceno superior-Mioceno inferior**

Sobre la Fm. Falces y mediando un contacto transicional se dispone un potente conjunto esencialmente arcilloso.

Litoestratigráficamente comprende, de muro a techo, las Unidades de Mendavia y Sartaguda (7 y 15) que se desarrollan en el núcleo del Anticlinal de Sartaguda al Este de dicha localidad.

La dos Unidades están separadas por un nivel guía yesífero (338). El intervalo inferior corresponde a las Arcillas de Mendavia y se caracteriza por la práctica ausencia de niveles de yesos. El intervalo superior está representado por la Unidad de Sartaguda y contiene varias intercalaciones mayores de yesos que se han agrupado bajo el término de Yesos de Cárcar (341).

Además de los yesos se distinguen otras intercalaciones, si bien son de escasa potencia (decimétrica a métrica). Consisten en areniscas, calizas micríticas y dolomías.

El conjunto registra una permeabilidad muy baja debido a su naturaleza arcillosa y la escasa potencia de las intercalaciones de areniscas y carbonatos impide que éstas desarrollen acuíferos locales de cierta entidad.

#### **5.2.1.2. Yesos y margas. Yesos de Cárcar y de Sesma. Mioceno inferior**

Se agrupan los Yesos de Sesma (349) y los de Cárcar (341) por su situación intermedia dentro de la Fm. Lerín y por sus analogías litológicas. Cabe hacer notar, no obstante que entre las dos unidades media un intervalo arcilloso rojizo muy continuo que constituye un buen nivel guía en la zona (347).

Los Yesos de Sesma ocupan en la Hoja la parte axial del Sinclinal de Lodosa donde alcanzan una potencia de unos 150 m.

Los Yesos de Cárcar afloran en el flanco norte del Anticlinal del Alcanadre donde registran buzamientos medios (30-40°) hacia el NE. Constituyen tres intercalaciones de potencia creciente (hasta más de 100 m) en las Arcillas de Sartaguda.

Las dos Unidades aparecen en superficie como un conjunto de yesos con intercalaciones lutíticas en proporciones variables.

En profundidad se ha constatado la presencia de importantes volúmenes de sal intercalada entre términos sulfatados (anhidrita principalmente).

Se consideran formaciones salinas de muy baja permeabilidad ( $<10^{-8}$  m/s). En situación próxima a la superficie aumentan los valores de permeabilidad debido a fenómenos de karstificación por disolución de las evaporitas, lo que en ocasiones da lugar a manantiales salinos.

#### **5.2.1.3. Yesos, margas, lutitas y areniscas. Mioceno inferior**

Los términos más superiores de la Fm. Lerín en la Hoja de Pradejón están caracterizados por una sucesión lutítico-yesífera (Unidad Cartográfica 29).

Su desarrollo en la Hoja se limita a la parte meridional donde presentan buzamientos bajos ( $<10^\circ$ ).

Litológicamente está formada por yesos, arcillas rojizas y margas yesíferas grises con intercalaciones menores de carbonatos y areniscas.

La potencia total es de unos 200-250 m y el techo está definido por el contacto discordante con la Fm Alfaro (332).

La permeabilidad es baja-muy baja, del orden de  $10^{-7}$  m/s, debido a la naturaleza lutítico-yesífera del conjunto. No obstante localmente se puede registrar cierta circulación de agua en algunos niveles de yesos a favor de conductos kársticos.

#### **5.2.1.4. Arcillas rojizas con intercalaciones de areniscas y calizas. Fm.. Alfaro. Mioceno inferior a medio**

La parte superior de la serie terciaria de la Hoja está representada por arcillas rojizas que intercalan areniscas y calizas en bajas proporciones.

Corresponde a la unidad cartográfica 33 que recibe la denominación litoestratigráfica de Fm. Alfaro.

Se dispone de forma discordante sobre la Fm. Lerín mediante un contacto truncacional y erosivo.

Se desarrolla en la parte meridional de la Hoja donde presenta valores bajos de buzamiento (<10°).

Su potencia máxima en la hoja es de unos 150 m.

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

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

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

Litológicamente corresponden a depósitos de gravas y arenas que pueden contener términos lutíticos en proporciones menores.

Su origen está ligado principalmente a la dinámica fluvial del Ebro. Las terrazas medias y bajas se desarrollan de forma escalonada ocupando extensas superficies junto con otros materiales clásticos de génesis fluvial, y las terrazas altas aparecen de forma aislada, desconectadas del cauce actual.

En la parte riojana de la Hoja cabe destacar el desarrollo de varios niveles de glaciares que descienden hacia el NNE.

La potencia de estos depósitos es por lo general de orden métrico (1-10 m) aunque pueden registrarse localmente valores mayores sobre substratos yesíferos colapsados.

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

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

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

Corresponden principalmente a depósitos de ladera, conos aluviales, y materiales de génesis aluvial-coluvial

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

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

### **5.2.2. Unidades acuíferas.**

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

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

Por orden cronoestratigráfico son:

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

#### **5.2.2.1. Unidad Hidrogeológica Sur**

*Geometría.*

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

La Hoja se emplaza en el sector central de la Cuenca por lo que predominan las facies lutíticas de origen aluvial en alternancia a gran escala con términos evaporíticos lacustres, constituyendo un conjunto bastante impermeable.

La estructuración de la serie terciaria en la zona se realiza a partir de una serie de pliegues de gran radio ampliamente extendidos en dirección ESE-ONO, con buzamientos crecientes hacia los ejes anticlinales.

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

Las principales unidades evaporíticas forman en superficie intervalos yesíferos muy expansivos de unos 50 a 300 m de potencia, (Yesos de Alcanadre, Cárcar, Sesma y de Los Arcos), intercalados en facies lutíticas (Fm. Lerín). En el subsuelo aparecen como una alternancia entre anhidritas y halita con intercalaciones de lutitas y carbonatos, comportándose como formaciones salinas de muy baja permeabilidad. La circulación de agua se circunscribe a las zonas superficiales, donde la karstificación de los yesos alcanza profundidades máximas del orden de varias decenas de m.

#### 5.2.2.1.1..1.1 Funcionamiento hidrogeológico

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

En los principales niveles evaporíticos, la permeabilidad se origina en los niveles superficiales por karstificación de los yesos, dando lugar, en ocasiones, a manantiales salinos.

En ambas litologías la recarga se produce esencialmente por infiltración del agua de lluvia. La descarga se realiza por manantiales dispersos y por transferencia hacia los ríos a través

de depósitos cuaternarios permeables. Los caudales registrados en los manantiales y pozos son bajos, con valores inferiores a 1 l/s.

*Parámetros hidráulicos:*

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

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

En las unidades evaporíticas cabe señalar la irregular distribución de la karstificación y la pésima calidad de las aguas por su gran dureza y mineralización (aguas sulfatadas y sulfatado-cloruradas cálcicas y sódico-cálcicas magnésicas) por lo que constituyen recursos poco apreciados.

#### **5.2.2.2. Unidad Hidrogeológica del Aluvial del Ebro y Afluentes**

##### Geometría

De acuerdo con la descripción propuesta en D.F.N., (1975-77), la presente Unidad Hidrogeológica comprende las llanuras aluviales o fondos de valle y las terrazas encajadas del río Ebro y sus principales afluentes.

Se extiende desde Logroño hasta Cortes y ocupa una superficie de unos 900 km<sup>2</sup>, de los que 735 km<sup>2</sup> pertenecen a Navarra.

En el valle del Ebro la Unidad posee una anchura de unos 4-6 km, por término medio.

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



La potencia de los niveles acuíferos es bastante uniforme, con valores medios de unos 20 m. Sobre sustratos yesíferos pueden alcanzarse espesores de hasta más de 30 m debido a fenómenos de disolución y colapso de las evaporitas.

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

#### *Funcionamiento hidrogeológico.*

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

La recarga se realiza esencialmente por infiltración del agua de lluvia (estimada para la Unidad en unos 45 hm<sup>3</sup>/año) y de los excedentes de los riegos (unos 90 hm<sup>3</sup>/año) y, en menor medida, por escorrentía de las aguas procedentes de los relieves circundantes o transmitidas por otros acuíferos e inundaciones estacionales por desbordamientos de los ríos.

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

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

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

*Parámetros hidráulicos.*

Se han recopilado los datos existentes en el libro de “Las aguas subterráneas en Navarra” (D.F.N., 1975-77). En el marco de este proyecto se realizaron ensayos que proporcionaron para el aluvial del Ebro unos valores de transmisividad comprendidos entre 10.000 y 200 m<sup>2</sup>/día, siendo muy frecuentes los registros de 1000-2000 m<sup>2</sup>/día. La porosidad eficaz es de un 10-30 %.

Las reservas evaluadas para el acuífero de aluvial del Ebro se reflejan en el siguiente Cuadro, habiéndose estimado un espesor saturado medio y una porosidad eficaz del 10%.

**RESERVAS ESTIMADAS DEL ACUÍFERO DEL ALUVIAL DEL RÍO EBRO**

Acuífero	<b>Superficie(km<sup>2</sup>)</b>	<b>Espesor saturado medio (m)</b>	Porosidad %	<b>Reservas (hm<sup>3</sup>)</b>
Ebro	530 (370*)	16	10	848 (592*)

(\*: Superficie comprendida dentro del territorio navarro)

Las aguas del acuífero del Ebro muestran una calidad química variable, aunque en la zona son duras, bastante mineralizadas, bicarbonatadas y sulfatadas cálcicas.

**5.3. GEOTECNIA**

**5.3.1. Introducción**

En este apartado se describe la cartografía geotécnica de la Hoja a escala 1:25.000 de Pradejón (205-III) correspondiente al Mapa 1:50.000 de Lodosa y se establecen las características geomecánicas de los materiales que la componen.

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

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

### 5.3.2. Metodología

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

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

- Realización de la base de datos. Ante la ausencia de datos no se ha elaborado ficha geotécnica de recopilación de ensayos de laboratorio. Estos ensayos tratan de establecer, de la manera más adecuada la posible la naturaleza actual de la roca, su comportamiento mecánico y/o hidráulico y, la evolución y propiedades de la misma bajo los procesos de meteorización. Cuando existen, 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 reseñándose, 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 Lodosa (205) se ha dividido, en función de la intensidad del plegamiento y de la edad de los materiales, en tres Áreas que presentan una entidad propia y cierta homogeneidad. Posteriormente, estas áreas han sido divididas a su vez en un total de diez Zonas, siguiendo criterios básicamente litológicos y morfológicos, ya que son estos los que permiten diferenciar desde un punto de vista geotécnico los materiales de cada área.

#### **5.3.3.1. División en Áreas y Zonas Geotécnicas**

Las Areas geotécnicas consideradas en el conjunto de la Hoja 205 de Lodosa son las siguientes:

ÁREA I: Engloba los materiales plegados del Oligoceno y Mioceno inferior

ÁREA II: Comprende los materiales poco plegados o subhorizontales de la parte alta del Mioceno inferior y del Mioceno medio

ÁREA III: Agrupa todos los depósitos cuaternarios

Estas áreas se han dividido en las siguientes zonas:

ÁREA I: ZONAS I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>, I<sub>3</sub> y I<sub>4</sub>

ÁREA II: ZONA II<sub>1</sub>

ÁREA III: ZONA III<sub>1</sub>, III<sub>2</sub>, III<sub>3</sub>, III<sub>4</sub>.

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 Pradejón

UNIDAD CARTOGRAFICA	ZONACION GEOTÉCNICA	DESCRIPCION
550	III <sub>3</sub>	Escombreras y vertederos
543	III <sub>2</sub>	Grandes bloques, arcillas y limos a veces con cantos
508, 521, 524, 544, 527 a 537	III <sub>1</sub>	Gravas y arenas, arenas con cantos, lutitas y limos ocres
381	II <sub>1</sub>	Arcillas rojas con intercalaciones de areniscas y calizas
332, 340, 347	I <sub>4</sub>	Lutitas rojas. areniscas, calizas, dolomías, margas y yesos
339	I <sub>3</sub>	Areniscas, calizas tableadas, margas y yesos
316	I <sub>2</sub>	Arcillas y yesos
312, 338, 346, 341, 349, 354, 363	I <sub>1</sub>	Yesos con intercalaciones de margas

CUADRO 1.- CORRELACIÓN ENTRE LAS UNIDADES GEOLÓGICAS Y ZONAS GEOTÉCNICAS EN LA HOJA DE PRADEJÓN (205-III)

### 5.3.4. Características geotécnicas

#### 5.3.4.1. Introducción

La falta de datos geotécnicos puntuales ha condicionado la caracterización geotécnica de cada una de las zonas. En algunos casos se ha realizado una caracterización por correlación a litologías similares de áreas próximas o del ámbito de la Comunidad Navarra. Por esta razón se trata de una caracterización aproximada. Por otra parte, la generalización de valores de ensayos puntuales al conjunto de una Zona, es complicada, sobre todo cuando en ella coexisten varios conjuntos litológicos con un comportamiento geomecánico diferente, y que no admiten ser diferenciados por razones de escala de trabajo. Cuanto mayor sea la heterogeneidad litológica de cada Zona, mayor será la dispersión de los

valores; por tanto, la mayor o menor fiabilidad de los datos aportados vendrá condicionada por el grado de homogeneidad litológica de las Zonas Geotécnicas.

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

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

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

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

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

ROCA		ENSAYO DE CAMPO	
Descripción	Co (MPa)	Navaja	Martillo geológico
Ext. resistente	> 250	No corta	El golpe arranca pequeños trozos Se rompe con muchos golpes
Muy resistente	100 -	No corta	
Resistente	250	No corta	

Medio resistente	50 - 100	No corta	Se rompe con varios golpes
Blanda	25 - 50	Corta con dificultad	Se rompe con un solo golpe
Muy blanda	5 - 25	Corta fácilmente	Puede indentarse con el pico
	1 - 5		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 ( $\phi$ ) de una muestra de roca o discontinuidad. Es de gran aplicación práctica en el cálculo de estabilidad de taludes.

*Análisis químico.* Sirven para obtener el contenido en Materia Orgánica, Carbonatos y Sulfatos. Estos últimos permiten determinar 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/cm<sup>2</sup> y de 30 Kp/cm<sup>2</sup> 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 <sup>2</sup>
Roca ígnea o gnéissica sana	109
Calizas masivas y areniscas duras	44
Esquistos y pizarras	33
Lutitas duras, limolitas y areniscas blandas	22
Lutitas arcillosas	11

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

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

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

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

- Empujes sobre contenciones. 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 autoporte y sin empujes fuertes.

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

Bieniawski establece cinco categorías en función del valor RMR:

Clase I Roca muy buena: RMR = 81-100

Clase II Roca buena: RMR = 61-80

Clase III Roca media: RMR = 41-60

Clase IV Roca mala: RMR = 21-40

Clase V Roca muy mala: RMR < 20

#### **5.3.4.2. Área I**

##### **Zona I<sub>1</sub>**

##### Características Geológico-Geotécnicas

Esta zona agrupa todas las unidades predominantemente yesíferas de la Hoja que, en términos generales, coinciden con resaltes morfológicos. Son yesos masivos o alternantes con margas que se disponen en niveles de entidad cartográfica aflorantes en los flancos de las estructuras o en grandes extensiones que ocupan sus núcleos. Estos materiales son mayoritarios en los núcleos del anticlinal de Sartaguda y del sinclinal de Lodosa

En los yesos la meteorización produce una carstificación por disolución que suele ser somera aunque en paquetes masivos y de cierto espesor puede ser algo penetrativa. Sin embargo, en las intercalaciones margosas se producen cambios de color y pérdida del cemento calcáreo que disminuyen su compacidad natural, 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 anteriormente citados niveles someros carstificados. Localmente la permeabilidad y la propia carstificación pueden estar incentivadas por una fracturación intensa

No se dispone de ensayos de laboratorio:

Las características fundamentales de los materiales que constituyen esta zona son las siguientes: a) es una 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; 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.

#### Características constructivas

##### a. Condiciones de cimentación.

La Norma DIN 1054 y el Código Británico establecen presiones admisibles del orden 10-20 kp/cm<sup>2</sup>, valores estos 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/cm<sup>2</sup>, valores suficientes para el caso de edificios habituales en los que las cargas proyectadas son inferiores a 3 - 4 kp/cm<sup>2</sup>.

El tipo de cimentación será en general superficial, previa eliminación del horizonte de alteración. Es de esperar la presencia de asentamientos diferenciales y fenómenos de punzonamiento debido a la intercalación de niveles 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. Las margas alteradas son fácilmente excavables.

*Estabilidad de taludes.* Cuando la disposición de los materiales es transversal a la orientación de las laderas, y su buzamiento es superior a la pendiente, no se observa ningún fenómeno de inestabilidad. Por otra parte la naturaleza de estos materiales en cuanto a sus parámetros resistivos y disposición alternante no favorece la aparición de deslizamientos. Únicamente existe riesgo de caída de bloques, muy localmente, en aquellas zonas donde existan escarpes pseudoverticales o en voladizo por descalce de los niveles lutíticos inferiores.

*Empuje sobre contenciones.* Bajos para las margas, y no serán necesarios para los yesos.

*Aptitud para préstamos.* Ni los niveles de yesos ni los de margas son aptos para su uso en terraplenes y pedraplenes..

*Aptitud para explanada en carreteras.* En general deben constituir suelos aptos para explanadas de tipo E3. Localmente pueden ser marginales

*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. Se destaca de nuevo la prevención respecto a la utilización de hormigones por el alto contenido en sulfatos

## **Zona I<sub>2</sub>**

### Características Geológico-Geotécnicas

Esta zona agrupa una serie de unidades cartográficas con escasa representatividad puesto que forman niveles de poco espesor y continuidad dispuestos generalmente a techo de los Yesos de Falces. En esta Hoja la zona está representada sólo por la unidad N° 5.

Se trata de una alternancia de yesos y arcillas rojas que forman un pequeño afloramiento en el núcleo del anticlinal de Sartaguda

La meteorización produce una alteración y cambio de coloración en la zona superficial de los afloramientos fomentando la erosionabilidad ya de por sí elevada en estos materiales

La permeabilidad es nula. En niveles de yesos algo potentes se pueden dar fenómenos locales de carstificación

Pese a que el contenido en yesos es menor que en la zona anterior siguen siendo suelos agresivos para la utilización de hormigones por su alto contenido en sulfatos

No se dispone de ensayos de laboratorio

Características constructivas:

a. Condiciones de cimentación

Aplicando los diferentes Códigos y Normas, se puede considerar cargas admisibles entre 1,5 y 5 Kp/cm<sup>2</sup>, esperándose asentamientos de consolidación a largo plazo.

b. Condiciones para obras de tierra.

*Excavabilidad.* Son materiales fácilmente excavables

*Estabilidad de taludes.* Se pueden dar problemas de deslizamientos en tramos potentes con predominio de arcillas con una orientación desfavorable respecto al talud

*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 poco aptos o marginales para explanadas de tipo E3.

*Obras subterráneas.* Se encuadran entre la Clase III Clase IV (Calidad Mala) de la Clasificación de Bieniawski (1979). Se destaca de nuevo la prevención respecto a la utilización de hormigones por el alto contenido en sulfatos

**Zona I<sub>3</sub>**

### Características Geológico-Geotécnicas

Esta zona se corresponde con un único tramo cartográfico que no obstante presenta una notable variedad litológica puesto que se trata de una alternancia de areniscas, calizas tableadas, margas y yesos. El tramo, que suele dar resalte morfológico, aflora en los flancos del anticlinal de Sartaguda

La meteorización es escasa y se traduce en una alteración de las margas, ligera disolución de los yesos y una pérdida de cementación en las areniscas. Localmente las calizas también se presentan carstificadas en superficie

En general, la permeabilidad es baja debido a la presencia de las intercalaciones de niveles margosos. Localmente la permeabilidad y la propia carstificación pueden estar incentivadas por una fracturación intensa

No se dispone de ensayos de Laboratorio:

### Características constructivas

#### a. Condiciones de cimentación.

La Norma DIN 1054 y el Código Británico establecen presiones admisibles entre 20 y 40 kp/cm<sup>2</sup>, valores estos 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.

Estos materiales son aptos para cualquier tipo de cimentación superficial, previa eliminación del horizonte de alteración.

#### 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. Las margas alteradas son fácilmente excavables.

*Estabilidad de taludes.* Cuando la disposición de los materiales es transversal a la orientación de las laderas, y su buzamiento es superior a la pendiente, no se observa ningún fenómeno de inestabilidad. Por otra parte la naturaleza de estos materiales en cuanto a sus parámetros resistivos y disposición alternante no favorece la aparición de deslizamientos. Únicamente existe riesgo de caída de bloques, muy localmente, en aquellas zonas donde existan escarpes pseudovericales o en voladizo por descalce de los niveles lutíticos inferiores.

*Empuje sobre contenciones.* Nulos

*Aptitud para préstamos.* Los tramos de calizas son aptos para su uso en terraplenes y pedraplenes.

*Aptitud para explanada en carreteras.* Son suelos aptos para explanadas de tipo E3.

*Obras subterráneas.* Se encuadran entre la Clase III (Calidad Media) y Clase II (Calidad Buena) de la Clasificación de Bieniawski (1979), jugando un papel importante la orientación de la estratificación y el grado de diaclasado

#### **Zona I<sub>4</sub>**

##### Características Geológico-Geotécnicas

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

Sus afloramientos se distribuyen en la parte externa del núcleo del anticlinal de Sartaguda, y en sus flancos.

La meteorización produce una alteración y cambio de coloración en la zona superficial de las arcillas fomentando la erosionabilidad ya de por sí elevada en estos materiales. En los niveles de calizas y areniscas se produce una pérdida de cementación

La permeabilidad es nula. En niveles de yesos algo potentes se pueden dar fenómenos locales de carstificación

El contenido en yesos es notablemente menor que en las zonas I<sub>1</sub> y I<sub>2</sub>. No obstante puede haber puntos en los que el contenido de sulfatos en los suelos sea elevado

Como en casos anteriores, no se dispone de ensayos de laboratorio. Sin embargo, en este caso la similitud de facies permite extrapolar para esta unidad las Características constructivas consideradas para la facies Eslava, representada en la Hoja de Sangüesa

#### Características constructivas:

##### a. Condiciones de cimentación

Se consideran cargas admisibles de 1,3 a 3 kp/cm<sup>2</sup> para las arcillas y de 6 a 8 kp/cm<sup>2</sup> para los términos más margosos. 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; b) intercalaciones de materiales detríticos y calcáreos, que producen variaciones en las condiciones geotécnicas, entre ellas la facilidad de excavación, y c) presencia ocasional de sulfatos que obliga a la utilización de hormigones especiales.

##### b. Condiciones para obras de tierra.

*Excavabilidad.* Los términos arcillosos son fácilmente excavables, especialmente los niveles someros de alteración. Las margas pueden variar de ripables a no ripables en función de su grado de cementación y las intercalaciones de areniscas y calizas se convierten en no ripables para espesores superiores a los 10 cm.

*Estabilidad de taludes.* Se pueden dar problemas de deslizamientos en tramos potentes con predominio de arcillas con una orientación desfavorable respecto al talud. En margas el problema es menor pero puede haber un deterioro progresivo del talud por la alteración y pérdida de cementación de las mismas



*Empuje sobre contenciones.* Bajos en margas, moderados en arcillas

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

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

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

### **5.3.4.3. Área II**

#### **Zona II<sub>1</sub>**

##### Características Geológico-Geotécnicas

Esta zona es, desde el punto de vista geotécnico, muy similar a la anterior y, si cabe, aún menos competente puesto que las intercalaciones de niveles duros (calizas y areniscas) son más esporádicas y raramente superan los 10 cm. También se diferencia de la zona anterior por la actitud subhorizontal o ligeramente monoclinas de sus materiales y por la ausencia de yesos

Esta zona se distribuye en un amplio afloramiento al SO del río Ebro

La meteorización produce una alteración y cambio de coloración en la zona superficial de las arcillas fomentando la erosionabilidad ya de por sí elevada en estos materiales. En los niveles de calizas y areniscas se produce una pérdida de cementación

La permeabilidad es muy baja para toda la zona.

El contenido en yesos es muy bajo o inexistente.

No se dispone de ensayos de laboratorio.

##### Características constructivas:

a. Condiciones de cimentación

Se consideran cargas admisibles de 1,3 a 3 kp/cm<sup>2</sup> para las arcillas. 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; b) intercalaciones de materiales detríticos y calcáreos, que producen variaciones en las condiciones geotécnicas, entre ellas la facilidad de excavación, y c) presencia ocasional de materia orgánica

Condiciones para obras de tierra.

*Excavabilidad.* En general se trata de un conjunto fácilmente excavable.

*Estabilidad de taludes.* Se pueden dar problemas de deslizamientos por la existencia de tramos potentes de arcillas.

*Empuje sobre contenciones.* 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 en la Clase IV (calidad Mala) de la Clasificación de Bieniawski (1979).

#### **5.3.4.4. Área III**

##### **Zona III<sub>1</sub>**

Características Geológico-Geotécnicas

Constituyen los depósitos fluviales y aluviales de los principales valles y barrancos, y depósitos poligénicos, representados por conos de deyección, depósitos de fondo de valle,

cauces abandonados y activos, terrazas y glacis. Están formados por gravas y cantos de naturaleza calcárea, areniscosa y cuarcítica, arenas, limos y arcillas. A veces presentan un cierto grado de cementación. Su proporción y distribución son muy variables, aumentando la proporción de finos en los depósitos poligénicos y en los de fondo de valle mientras que en las terrazas dominan las gravas. Estas últimas ocupan una extensión importante con relación al cauce del río Ebro La naturaleza de la fracción gruesa depende del área de procedencia.

### Características geotécnicas

Se trata de materiales poco consolidados, donde los problemas geotécnicos están condicionados a su disposición geomorfológica y estratigráfica. En la presente Hoja no se dispone de ensayos geotécnicos. Sin embargo hay ensayos de materiales equivalentes, procedentes de catas realizadas sobre tramos arcillosos de terrazas aluviales y depósitos de glacis en la vecina Hoja 173, que se consideran representativos para el conjunto de esta zona. Los valores medios obtenidos en estos ensayos son los siguientes.

#### Cuadro Resumen de Características geotécnicas

Contenido en Grava (>5mm)	5/65 %
Contenido en Arena (5-0.08mm)	20/20 %
Contenido en Finos (<0.08mm)	75/15 %
Límite Líquido (WL)	28/-
Límite Plástico (WP)	16/No plástico
Índice de Plasticidad (IP)	12/-
Clasificación de Casagrande	CL/GW-GM
Densidad Máxima Proctor Normal	1,8/2,13 gr/cm <sup>3</sup>
Humedad Óptima Proctor Normal	15/7 %
Ángulo de Rozamiento Interno ( $\phi$ )	30,5/40 °
Cohesión (C')	1,0/2,20

En esta Zona hay que evaluar el riesgo potencial de inundaciones y avenidas debido a precipitaciones importantes concentradas. Presentan una permeabilidad variable entre alta (detríticos gruesos) y baja (áreas con alto contenido en finos), y un nivel freático continuo y somero.

#### 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/cm<sup>2</sup>, 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 de intercalaciones de arcillas blandas puede provocar asientos diferenciales no admisibles.

b. Condiciones para obras de tierra.

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

*Estabilidad de taludes.* La estabilidad del talud dependerá de la profundidad del nivel freático y del tipo de unidad morfológica. En general, para alturas superiores a 3 m pueden proyectarse taludes 3H: 4V. De manera ocasional, pueden producirse pequeños desprendimientos de cantos 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 Marginales. Los tramos de gravas se consideran Aptos, si bien precisan una clasificación que elimine los tamaños gruesos (8-10 cm).

*Aptitud para explanada en carreteras.* Para constituir explanadas de tipo E-1 en desmontes en roca, precisan sobre ellos la extensión de 50 cm de Suelo Adecuado (ej.: grava clasificada).

*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 III<sub>2</sub>**

#### Características Geológico-Geotécnicas

Esta Zona está definida por depósitos cuaternarios relacionados con procesos de gravedad y corto transporte por agua, tales como, coluviones y deslizamientos. Los coluviones se sitúan a pie de ladera y también a media ladera, favorecidos por la construcción de muros de mampostería para evitar procesos erosivos y lograr superficies planas de cultivo. Las masas deslizadas se generan en zonas de alta pendiente y sobre litologías blandas (recubrimientos superficiales y zonas de alteración) o alternantes.

Están formados por arcillas limosas o areniscas con abundantes bloques, cantos y gravas de materiales carbonatados y areniscosos que se presentan sueltos, sin ningún tipo de cementación. Merecen mención especial las masas deslizadas, que se forman a partir de recubrimientos coluvionares, zonas de alteración superficial y litologías blandas o alternantes. Aunque en conjunto son depósitos relativamente frecuentes, poseen un reducido espesor (3-7 m) y carácter errático.

#### Características geotécnicas

Se trata de depósitos escasamente consolidados, donde los problemas geotécnicos están condicionados con la disposición geomorfológica y estratigráfica de los materiales. Tampoco se dispone de ensayos geotécnicos, pero, dada la homogeneidad de estos materiales, se pueden extrapolar para esta zona los parámetros geotécnicos obtenidos en unidades equivalentes de Hojas próximas. En esta ocasión se dispone de ensayos geotécnicos

procedentes de catas realizadas en depósitos coluvionares de la Hoja de Sangüesa (174). A continuación se describen los valores más significativos.

#### Cuadro Resumen de Características geotécnicas

Humedad	20,5 %
Contenido en Finos (<0.08mm)	80,4 %
Límite Líquido (WL)	28,1-40,4
Índice de Plasticidad (IP)	12,3-19,2
Densidad PROCTOR	1,86 gr/cm <sup>3</sup>
Humedad PROCTOR	12,7 %
CBR 100 % Densidad PROCTOR	14
Clasificación de Casagrande	GC-CL
Contenido en Sulfatos	0,01 %
Ángulo de Rozamiento interno (Ø)	38°

Basándose en los datos existentes, los materiales analizados están constituidos por suelos limo-arcillosos de baja plasticidad, que presentan un cierto contenido en grava y arena. Presentan consistencia media, baja capacidad portante, y un valor alto en el índice CBR, por lo que su comportamiento en explanadas puede calificarse como aceptable.

Desde un punto de vista hidrogeológico, carecen, en conjunto, de un nivel freático continuo.

#### Características constructivas

##### a. Condiciones de cimentación.

Se consideran cargas admisibles entre 1,5-2,5 Kp/cm<sup>2</sup>. En general, se debe cimentar sobre el sustrato rocoso, mediante cimentación superficial o semiprofunda por pozos, todo ello en función de la profundidad de los materiales, con el fin de evitar posibles fenómenos de inestabilidad, sobre todo 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 por medios mecánicos sin dificultad.

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, o incluso Adecuados.

*Aptitud para explanada en carreteras.* En desmontes definen explanadas tipo E-0 ó E-1.

*Obras subterráneas.* Debido a su reducido espesor, este tipo de obras afectará a materiales del sustrato. No obstante, para obras de pequeña envergadura, nos encontraremos con Terrenos Difíciles, que en principio precisarán entibación total.

### **Zona III<sub>4</sub>**

#### Características Geológico-Geotécnicas

Se trata de depósitos artificiales de escombreras o vertederos, acumulados durante la realización de obras civiles. Están formados bien por margas o por una acumulación caótica de bloques, cantos y lutitas .desorganizados. La naturaleza de los bloques es muy dispar. aunque por lo general son de areniscas.

Son materiales poco o nada consolidados con gran número de problemas geotécnicos.

#### Características constructivas

a Condiciones de cimentacion.

Son desaconsejables para la construccion por la gran cantidad de problemas que pueden plantear: asientos diferenciables, escasa capacidad portante etc. Para la construcción 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 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 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

- ATARES, A.; ORTEGA, A. y PÉREZ, F. (1983): Fallas cuaternarias en las proximidades de Alcanadre y en la Rioja Baja. Cuad. Inv. Geogr., 9, 29-39. Logroño.
- ALVAREZ, M.A. (1987). Estudio sistemático y bioestratigráfico de los Eomyidae (Rodendia) del Oligoceno superior y Mioceno inferior español. Scripta Geologica, 86, 207 pp.
- ALVAREZ, M.A.; DAAMS, R.; LACOMBA, J.I.; LOPEZ, N. y SACRISTAN, N.A. (1987). Succession of micromammal faunas in the Oligocene of Spain. Muncher Geowiss, Abh (A), 10, pp 43-48.
- ASTIBIA, H.; MORALES, J. y SESE, 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.; SOLE, 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.
- FACI, E.; CASTIELLA, J.; DEL VALLE, J.; GARCIA, A.; DIAZ, A.; SALVANY, J.M.; CABRA, P.; RAMIREZ, J. y MELENDEZ, A. (1997). Memoria y Mapa Geológico de Navarra, 1:200.000, Publ. Gobierno de Navarra. 142 pp.
- GOBIERNO DE NAVARRA (1997): Mapa Geológico de Navarra a E. 1:200.000. Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.

- GOBIERNO DE NAVARRA (1998): Mapa Geológico de Navarra a E. 1:25.000, Viana (171-III). Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.
- GOBIERNO DE NAVARRA (1998): Mapa Geológico de Navarra a E. 1:25.000, Los Arcos (171-IV). Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.
- GOBIERNO DE NAVARRA (1998): Mapa Geomorfológico de Navarra a E. 1:25.000, Viana (171-III). Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.
- GOBIERNO DE NAVARRA (1998): Mapa Geomorfológico de Navarra a E. 1:25.000, Los Arcos (171-IV). Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.
- 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.
- 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.
- GONZALEZ, A. (1989). Análisis tectosedimentario del Terciario del borde SE de la Depresión del Ebro (sector bajoaragonés) y cubetas marginales ibéricas. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza. 507 pp.
- GONZALEZ, A.; PARDO, G. y VILLENA, J. (1988). El análisis tectosedimentario como instrumento de correlación entre cuencas. II Congreso Geológico de España, Granada, pp 175-184.
- GUTIÉRREZ, M. y PEÑA, J.L. (1994): Depresión del Ebro. En: *Geomorfología de España* (GUTIÉRREZ, M., Ed.). Ed. Rueda, 305-349. Madrid.
- IGME (CASTIELLA, J.)(1975): Mapa Geológico de España a E. 1:50.000, 2ª serie, 1ª edición, Logroño (204).
- IGME (CASTIELLA, J. y BEROIZ, C.)(1977): Mapa Geológico de España a E. 1:50.000, 2ª serie, 1ª edición, Lodosa (205).
- IGME (1987). Contribución de la exploración petrolífera al conocimiento de la geología de España. Publ. IGME, 465 pp.
- IGME (OLIVÉ, A.; RAMÍREZ, J.I.; CARBAYO, A.; CASTIELLA, J. y SOLÉ, J.)(1987): Mapa Geológico de España a E. 1:50.000, 2ª serie, 1ª edición, Viana (171).
- IGME (HERNÁNDEZ, A.; RAMÍREZ DEL POZO, J.; CARBAYO, A.; CASTIELLA, J. y SOLÉ, J.)(1987): Mapa Geológico de España a E. 1:50.000, 2ª serie, 1ª edición, Allo (172).

- 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).
- INGLES, M; MUÑOZ, A.; PEREZ, A. y SALVANY, J.M (1994). Relación entre la mineralogía y los ambientes sedimentarios en el Terciario continental del sector sur-occidental de la cuenca del Ebro. Resumen, II Congreso del Grupo Español del Terciario, Jaca, pp 247-250.
- INGLES, M; SALVANY, J.M; MUÑOZ, A. y PEREZ, A. (1998). Relationship of mineralogy to depositional environments in the non-marine Tertiary mudstones of the southwestern Ebro Basin (Spain). *Sedimentary Geology* 116, pp 159-176.
- LERÁNOZ, B. (1989): Terrazas y glaciares del río Ebro en Navarra. II Reunión del Cuaternario Ibérico. Madrid.
- LERÁNOZ, B.(1990): El endorreísmo en el S. de Navarra. I Reunión Nac. De Geomorfología, 289-298. 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.

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

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

ORTI, F. y SALVANY, J.M. (1991). Depósitos de glauberita en España: aspectos sedimentológicos y petrológicos generales. In J.J. Pueyo ed. Génesis de formaciones evaporíticas, modelos andinos e ibéricos. 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.

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

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 glaciaires du Bassin de l'Ebre dans la Ribera de Navarre et la Baja Rioja. Livret-guide de l'excursion n° 3: Villafranchien de Villarroja. V Congr. Int. INQUA, 7-10. Madrid-Barcelona.

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

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

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

RIBA, O.; REGUANT, S. y VILLENA, J. (1983). Ensayo de síntesis estratigráfica y evolutiva de la Cuenca terciaria del Ebro. En Geología de España, Publ. IGME, Libro Jubilar J.M. RIOS, T. II, pp 131-159.

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

SALVANY, J.M. (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 Ortí, F. y Salvany, J.M eds., Formaciones evaporíticas de la cuenca del Ebro y cadenas periféricas, ENRESA-GPPG, Univ.Barcelona, pp 106-116

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

SALVANY, J.M y ORTI, 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 ORTI, F. (1992). El yacimiento glauberítico de Alcanadre: procesos sedimentarios y diagenéticos (Mioceno inferior, Cuenca del Ebro). In. García Guinea, J. y Martínez Frías, J. eds., Recursos Minerales de España. CSIC-Madrid, pp 1251-1274

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

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