

**ACTUALIZACION E INFORMATIZACION DE LA
CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE NAVARRA
A ESCALA 1:25.000 HOJAS 243 y 244**

CUADRANTE 244-I

MARCILLA

MEMORIA

Agosto, 2003

La presente Hoja y Memoria, ha sido realizado por “TECNOLOGÍA DE LA NATURALEZA S.L. (TECNA)”, durante el año 2002-2003, con normas, dirección y supervisión del Gobierno de Navarra, habiendo intervenido los siguientes técnicos:

Dirección y Supervisión (GOBIERNO DE NAVARRA)

. Faci Paricio, E. Dirección del Proyecto

Autores y Colaboradores (TECNA)

. Galán Pérez, G. Cartografía, Memoria e Informática

. García de Domingo, A, Cartografía y Memoria

. Cabra Gil, P. Geomorfología y Cuaternario

. González Lastra, J. Sedimentología

. Díaz Pinto, G. Informática, Geología y Geotecnia

ÍNDICE

0. INTRODUCCION	5
1. ESTRATIGRAFÍA	8
1.1. TERCIARIO	8
1.1.1. OLIGOCENO	10
1.1.1.1. Yesos y margas (1). <i>Yesos de Falces</i> . Unidad Inferior. Arverniense superior-Ageniense inferior.	10
1.1.1.2. Margas y yesos. Yesos de Falces (2). Unidad Superior. Arcillas (3). Ageniense inferior. 12	
1.1.1.3. Arcillas ocreas con algunas intercalaciones de areniscas y calizas (4). <i>Arcillas de Marcilla</i> . Ageniense inferior.	13
1.1.1.4. Yesos. (6). Arcillas de Marcilla. Ageniense inferior.	14
1.1.1.5. Yesos grises (7). Nivel de Alcanadre. Ageniense.	15
1.1.1.6. Arcillas ocreas, margas blancas, areniscas, calizas, dolomías y yesos. Yesos de Peralta. (8, 10). Ageniense	16
1.1.1.7. Yesos y margas (9). Yesos de Cárcar. Arcillas y yesos de Peralta	18
1.1.1.8. Arcillas rojas con intercalaciones de areniscas (11). Ageniense.....	19
1.1.1.9. Yesos y margas (12) <i>Yesos de Sesma</i> . Ageniense.....	19
1.1.1.10. Arcillas ocreas, margas y yesos (13). Areniscas (14). <i>Arcillas de Villafranca</i> . Ageniense. 20	
1.1.1.11. Yesos y arcillas (15). Yesos (16). Arcillas (17) <i>Yesos de Los Arcos</i> . Ageniense.	21
1.1.1.12. Arcillas rojas (19). Fm. Tudela. Orleaniense.	22
1.1.1.13. Arcillas rojas. (24). Conglomerados (25). Orleaniense.	23
1.1.1.14. Gravas, Cantos, arenas, arcillas y limos (Terrazas) (27 a 36). Pleistoceno inferior-Pleistoceno superior.	24
1.1.1.15. Cantos y gravas con matriz limoso-arcillosa (Glacis) (40). Pleistoceno medio-superior. 25	
1.1.1.16. Lutitas, cantos, gravas y arenas (Fondos de valle) (46). Holoceno.	26
1.1.1.17. Limos, arenas y cantos (Conos de deyección) (49). Holoceno	26
1.1.1.18. Gravas, arenas y limos (Llanura de inundación) (50). Holoceno	26
1.1.1.19. Gravas, limo y arenas (Cauces abandonados) (41 a 43, 47). Pleistoceno-Holoceno. 26	
1.1.1.20. Arcillas, arenas y gravas (Aluvial-coluvial) (45). Holoceno.	27
1.1.1.21. Limos, arcillas y arenas con cantos y bloques (Coluviones) (48). Holoceno	27
1.1.1.22. Arcillas y limos con materia orgánica. (Fondos endorreicos) (50). Holoceno	27
1.1.1.23. Cantos y bloques (Laderas de bloques) (52). Holoceno.	28
1.1.1.24. Gravas, cantos y bloques (Barras) (53). Holoceno.	28
2. TÉCTONICA	29
2.1. DESCRIPCIÓN DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS	30
2.1.1. ANTICLINAL DE FALCES.....	31
2.1.2. SINCLINAL DE PERALTA.....	32
3. GEOMORFOLOGÍA	33
3.1. DESCRIPCIÓN FISIOGRÁFICA	33
3.2. ANTECEDENTES.....	34

3.3. ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO	34
3.3.1. ESTUDIO MORFOESTRUCTURAL	35
3.3.1.1. Formas estructurales	35
3.3.1.2. Estructura de la red de drenaje.....	35
3.3.2. ESTUDIO DEL MODELADO	36
3.3.2.1. Formas de laderas	36
3.3.2.2. Formas fluviales.....	36
3.3.2.3. Formas endorreicas	38
3.3.2.4. Formas poligénicas	38
3.3.2.5. Formas antrópicas	38
3.4. FORMACIONES SUPERFICIALES	39
3.5. EVOLUCIÓN DINÁMICA.....	41
3.6. MORFOLOGÍA ACTUAL-SUBACTUAL Y TENDENCIAS FUTURAS	42
<u>4. HISTORIA GEOLOGICA.....</u>	<u>44</u>
<u>5. GEOLOGÍA ECONOMICA.....</u>	<u>48</u>
5.1. RECURSOS MINERALES.....	48
5.1.1. MINERALES Y ROCAS INDUSTRIALES	48
5.1.1.1. Yesos.....	48
5.1.1.2. Gravas	48
5.1.1.3. Arcillas especiales.....	49
5.1.1.4. Sal común	49
5.1.1.5. Arenas y areniscas	49
5.1.1.6. Glauberita.....	50
5.2. HIDROGEOLOGIA	51
5.2.1. INTRODUCCIÓN	51
5.2.2. DESCRIPCIÓN DE LAS FORMACIONES	51
5.2.3. UNIDADES ACUÍFERAS	54
5.2.3.1. Unidad Hidrogeológica Sur	54
5.2.3.2. Unidad Hidrogeológica Aluvial del Ebro y Afluentes.....	56
5.2.3.3. MANANTIALES.....	57
5.3. GEOTECNIA	58
5.3.1. INTRODUCCIÓN	58
5.3.2. METODOLOGÍA.....	58
5.3.3. ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA	59
5.3.3.1. Criterios de división.....	59
5.3.3.2. División en Áreas y Zonas Geotécnicas	59
5.3.3.3. Características geotécnicas	60
<u>6. BIBLIOGRAFIA.....</u>	<u>84</u>

0. INTRODUCCION

Esta Hoja a escala 1:25.000 de Marcilla (244-I), forma parte de la Hoja a escala 1:50.000 de Alfaro (244), constituyendo su primer cuadrante. Toda la Hoja se incluye en la Comunidad Foral de Navarra, en la comarca de la Ribera Navarra del Ebro, región que se extiende a lo largo de la margen izquierda del Ebro en el límite con las Comunidades autónomas de La Rioja y Aragón, constituyendo una unidad fisiográfica deprimida y algo alomada. Además de la población de Marcilla, que da nombre a la Hoja, en ella también se incluyen otros núcleos importantes de esta comarca como son las de Villafranca de Navarra y Funes

Toda la zona pertenece a la cuenca del río Ebro, que únicamente aparece en la esquina suroccidental de la Hoja, y a cuyo cauce vierten sus aguas todos los cauces de la Hoja, especialmente el río Aragón y su afluente el río Arga, cuya confluencia se encuentra en el centro de la Hoja, muy cercana ya su afluencia al Ebro, que tiene lugar en la Hoja inmediatamente inferior (Alfaro 244-III). La presencia de estos importantes cauces fluviales hace que la topografía de la Hoja, en su mayor parte sea eminentemente plana, ocupada por las llanuras aluviales y terrazas de estos ríos. Únicamente la zona occidental, entre la llanura del Ebro y la del Arga, y en el tercio oriental, al este del río Aragón aparecen relieves de escasa entidad en forma de mesetas, con relieves abruptos en los bordes y zonas más planas y llanas en sus zonas elevadas.

La máxima elevación de la Hoja se encuentra al noroeste de la localidad de Funes, en los relieves que bordean la meseta occidental de la Hoja. Se trata de una pequeña elevación de 450 metros de altitud, situada en el paraje de Moratiel. Los puntos mas bajos se localizan en la salida del curso fluvial de río Ebro donde la cota es de 280 metros de altitud.

Se trata de una zona donde las localidades antes reseñadas de Marcilla, Villafranca de Navarra y Funes acogen la práctica totalidad de la población existente en la Hoja, a excepción de algunas casas y caseríos aislados en la vega de los ríos. El resto del territorio, las zonas mesetarias, está despoblado.

Al tratarse de una zona con abundantes recursos hídricos y con topografía adecuada, la agricultura es la actividad principal de toda la zona. Todas las zonas de valle de los ríos están ocupadas por campos de regadío, a excepción de las áreas deprimidas y sin drenaje en las que la acumulación de agua impide el desarrollo de labores agrícolas. En las zonas más elevadas y de topografía llana también la agricultura también alcanza un importante desarrollo, como en la zona al Oeste de Funes, donde recientemente se han realizado concentraciones parcelarias y puesta en regadío que han revitalizado la agricultura de esta zona. En las zonas orientales de la Hoja, es la agricultura de secano la que alcanza un mayor desarrollo.

Además de la agricultura, asociados a los núcleos urbanos aparecen polígonos y áreas industriales, como las de Marcilla y Villafranca de Navarra, en los que la industria de transformación de productos agrícolas es la de mayor importancia.

La red de comunicaciones es importante, como corresponde a una zona tan favorable topográficamente y de alto valor económico. La principal vía de comunicación es la Autopista A-15, que atraviesa la Hoja de Norte a Sur, en su zona oriental. Además de esta autopista, las carreteras autonómicas Na-6600, Na-6430, Na-115 y Na-134 comunican los distintos núcleos urbanos y estos con los de la comarca de la Ribera y la capital navarra. Además, y prácticamente paralela a la autopista A-15, discurre la línea férrea Castejón-Pamplona.

Geológicamente, la Hoja de Marcilla forma parte de la Cuenca del Ebro, una de las principales cuencas terciarias peninsulares. En esta cuenca se distinguen dos grandes ciclos sedimentarios: Una primera de carácter marino, en la que la cuenca estaría conectada con el océano situado al Este, abarcando los sedimentos hasta el Eoceno terminal y una segunda etapa de carácter continental, actuando de forma endorreica que se desarrollaría a lo largo de todo el Eoceno terminal, Oligoceno y Mioceno. A partir del Plioceno, en la cuenca ya colmatada se desarrolla una fase erosiva que tiene su origen en el desarrollo de la red fluvial del Ebro, con drenaje hacia el Mediterráneo.

Toda esta zona se comportó 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.

A este segundo ciclo continental pertenecen todos los materiales de la Hoja de Rada, incluida dentro del denominado "Sector occidental de la cuenca del Ebro". Denominación acuñada por ORTI y SALVANY(), para agrupar las formaciones terciarias que están bien desarrolladas en la Ribera de Navarra y continúan hacia la Rioja y la zona occidental de la Cuenca del Ebro en Aragón.

Como en la Hojas próximas, en esta de Marcilla, la serie terciaria está representada básicamente por una alternancia entre unidades esencialmente arcillosas de origen aluvial y perilacustre, que dan lugar a zonas deprimidas, y formaciones lacustres yesíferas que destacan como resaltes morfológicos constituyendo alineaciones de pequeña elevación, que siguen una dirección ONO-ESE, conforme a los grandes pliegues de toda esta zona de la cuenca del Ebro.

Dado que gran parte de la Hoja esta ocupada por los valles de los ríos Ebro, Aragón y Arga, las formaciones cuaternarias alcanzan un gran desarrollo en estos valles, que ocupan el tercio central de la Hoja, ocupado por los depósitos cuaternarios generados por los ríos Aragón y Arga y la esquina suroccidental, donde se localizan las llanuras aluviales y terrazas del Ebro. Además de estos depósitos de carácter fluvial, también aparecen en la Hoja depósitos originados en procesos de laderas, poligénicos y de carácter endorreicos.

Aunque los primeros estudios sobre esta zona datan de las primeras décadas del siglo XX, realmente fue en la década de los años 60 del pasado siglo cuando se realizaron los primeros estudios importantes. Se trata de estudios de carácter estratigráfico

regional y se deben en gran medida a 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). En esta misma época se inicia la prospección petrolera en el país con la perforación, en las hojas de Peralta y Calahorra, de los sondeos Marcilla-1, (Valdebro, 1953) y Arnedo-1, (Amospain, 1962), y cuyos resultados figuran de forma resumida en la publicación específica del IGME, (1987).

Ya en la década de los años 70, el conocimiento de la geología de esta zona del Terciario de Navarra se amplía con la realización de la primera cartografía a escala 1:25.000 de Navarra, pionera en España y realizada por geólogos de la Diputación Foral de Navarra: Jaime Solé, Javier Castiella, Cayo Puigdefábregas, Joaquín Del Valle y otros colaboradores. Estas cartografías se sintetizan con la publicación del primer Mapa Geológico de Navarra (CASTIELLA et al., 1978) a escala 1:200.000,. De esta misma época son también los primeros mapas geológicos a escala 1:50.000 del Plan MAGNA editados por el IGME (Hojas de Sádaba, Lodosa, Logroño, Alfaro, Calahorra, Tudela y Sos del Rey Católico) y realizados por el mismo grupo de geólogos, con la asistencia del paleontólogo Ramírez del Pozo. Otro trabajo relevante de este período es la tesis de licenciatura de SOLÉ (1972) sobre el Terciario del margen NO de la Ribera de Navarra. A finales de la siguiente década SALVANY, (1989) presenta su tesis doctoral, centrada en el estudio de los depósitos lacustres evaporíticos del Terciario de Navarra y La Rioja. 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). De los estudios de Salvany se derivan un buen número de publicaciones, entre las que destacan las de SALVANY (1989), MUÑOZ y SALVANY (1990), SALVANY et al. (1994), SALVANY y ORTÍ (1994), y INGLÉS et al (1994, 1998).

A lo largo de la década de los 80 el IGME publica las Hojas MAGNA a escala 1:50.000 de Allo, Tafalla, Viana, Peralta y Sangüesa. Entre los estudios más recientes cabe destacar la revisión y actualización del Mapa Geológico de Navarra, a escala 1:200.000 (GOBIERNO DE NAVARRA, 1997) y a escala 1:25.000, en cuyo marco se realiza el presente trabajo.

La cartografía de esta Hoja esta basada en la realizada a escala 1:25.000 por la DIPUTACIÓN FORAL DE NAVARRA, la Hoja de Alfaro a escala 1:50.000 del plan MAGNA, y los datos cartográficos de distintos estudios. Sobre todas se ha realizado la pertinente actualización cartográfica y geológica en base a criterios estructurales y sedimentarios fundamentalmente.

1. ESTRATIGRAFÍA

La estratigrafía de esta Hoja se ha realizado basándose en criterios secuenciales, definiendo unidades tectosedimentarias limitadas por rupturas deposicionales con expresión cuencial.

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. En cada unidad así definida y delimitada se han cartografiado los distintos cuerpos litológicos, determinando hasta donde ha sido posible, sus variaciones espaciales y sus relaciones de facies.

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

1.1. TERCIARIO

En Navarra la sedimentación del Terciario continental se extiende desde el tránsito Eoceno-Oligoceno hasta el Mioceno superior y se distribuye ampliamente por toda la mitad meridional de Navarra (Ribera de Navarra).

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 (Arverniense superior) hasta el Mioceno inferior-medio (Orleaniense) de modo que la mayor parte de la serie pertenece al Ageniense.

Durante el Oligoceno la subsidencia fue importante, llegando a acumularse más de 4000 m de sedimentos detríticos y lacustres. La paleogeografía de la cuenca sufrió sucesivos cambios, siendo el rasgo más relevante la deriva de los sistemas lacustres de centro de cuenca hacia el sur de forma progresiva desde el inicio del Oligoceno hasta el Mioceno, y de forma simultánea a la expansión de los sistemas aluviales y fluviales de procedencia pirenaica y regresión de los de procedencia ibérica (SALVANY, 1989).

Durante el Mioceno la subsidencia fue mucho menor (algunos centenares de metros) y la paleogeografía cambió marcadamente como consecuencia del plegamiento de la

cuenca ocurrido durante el inicio de este periodo. Los sistemas lacustres se desplazaron hacia el E (Aragón) y la sedimentación fue entonces predominantemente detrítica en Navarra y La Rioja, con desarrollo de sistemas aluviales en los márgenes de cuenca y fluviales o fluvio-lacustres en su zona central con drenaje hacia el sector aragonés a través de los surcos sinclinales.

La serie terciaria se divide a grandes rasgos en cinco Formaciones litoestratigráficas (RIBA, 1964 y CASTIELLA, 1978):

LITOESTRATIGRAFÍA		EDAD	
ALFARO	Unidades de Alfaro y Cascante	ORLEANIENSE	
FM. TUDELA	Unidades de Miranda de Arga y Portillo		
	Unidad de Olite	AGENIENSE	
FM. LERÍN	Yesos de Los Arcos		
	Arcillas de Villafranca		
	Yesos de Sesma		
	Arcillas y Yesos de Peralta		
FM. ARCILLAS DE MARCILLA			ARVERNIENSE
FM. YESOS DE FALCES			

Litoestratigrafía del Terciario en la Hoja de Marcilla (244-I) y hojas contiguas

Fm. Yesos de Falces, de carácter yesífero, Fm. Arcillas de Marcilla, esencialmente arcillosa, Fm Lerín, constituida por una alternancia lutítico-yesífera, y Fm. Tudela, que se dispone de forma discordante sobre la anterior y está compuesta por lutitas y

areniscas con intercalaciones de calizas lacustres. Por encima de ellas, la Fm. Alfaro, y su tránsito en una unidad de lutitas rojas con intercalaciones de canales de conglomerados. La Fm. Lerín se divide claramente en varias unidades estratigráficas de gran continuidad para las que se adopta la terminología propuesta por SALVANY (1989): Arcillas y Yesos de Peralta, Yesos de Sesma, Arcillas de Villafranca y Yesos de Los Arcos, esta última descrita previamente por RIBA (1964).

La sucesión terciaria se estructura regionalmente en una serie de anticlinales y sinclinales cuyos ejes se disponen en dirección ONO-ESE. En la Hoja parecen de Norte a Sur los siguientes:

- Anticlinal de Falces
- Sinclinal de Peralta
- Anticlinal de Arguedas

1.1.1. OLIGOCENO

1.1.1.1. Yesos y margas (1). *Yesos de Falces*. Unidad Inferior. Arverniense superior-Ageniense inferior.

Los afloramientos de esta Unidad en la Hoja de Marcilla se encuentran circunscritos a los núcleos de los anticlinales de Arguedas y Falces. El primero de ellos, siguiendo un sentido NO-SE, aparece en la zona occidental de la Hoja, ocupando los relieves de los rasos situados al NO de Milagro. En esta zona los mejores afloramientos aparecen en los cortados del río Arga y en algunos de los barrancos que desde esta zona elevada descienden hacia el Arga. En estas áreas se puede apreciar el intenso plegamiento de estos niveles, debido al carácter diápirico y halocinético de los yesos.

En cuanto al anticlinal de Falces, este aparece en la Hoja de Marcilla en la esquina nororiental, al Este de Marcilla, en la zona conocida como El Carrascal. Sigue la misma dirección NO-SE, que el anticlinal de Arguedas. En las zonas elevadas, su observación es difícil al tratarse de una zona profusamente ocupada por cultivos de secano. Los mejores lugares para la observación de esta Unidad en esta zona aparecen en los cortados del río Aragón, donde algunos caminos conducen a su llanura aluvial, donde puede observarse en los cantiles.

El techo de los Yesos de Falces está determinado regionalmente por la entrada generalizada de los depósitos arcillosos aluviales de la Fm. Marcilla, si bien en la zona se aprecia un evidente cambio de facies entre ambas formaciones marcado localmente por un potente intervalo yesífero-margoso de tránsito.

La Fm. Yesos de Falces fue definida por CASTIELLA et al. (1978), si bien su equivalencia con los Yesos de Desojo, desarrollados más al NO, ya había sido establecida previamente por RIBA y PÉREZ MATEOS (1962), y RIBA (1964).

Constituye un conjunto yesífero bastante deformado con intercalaciones lutíticas subordinadas. Los yesos aparecen en litofacies laminado-nodulares, presentan un aspecto alabastrino, con frecuentes brechificaciones que dan lugar a texturas poiquiloblásticas y exhiben frecuentes pliegues enterolíticos y fluidales. Los niveles nodulares y masivos suelen adoptar tonos claros blanquecinos mientras que los términos laminados muestran coloraciones más grisáceas y oscuras. Estos últimos incluyen horizontes yesoareníticos con estratificación *linsen*, *flasher* y *wavy* a partir de lenticulas y trenes de *ripples* de olas.

De forma bastante característica hay que hacer notar el desarrollo de niveles dolomíticos, laminados y carniolares, en el seno de los intervalos yesíferos, que se reconocen fácilmente por su tono beige-amarillento.

Los términos lutíticos tienden a adquirir un mayor desarrollo hacia el techo de la unidad, si bien aparecen a distintas alturas de la serie. Muestran coloraciones grisáceas a rojizas y su espectro litológico varía de arcillas a margas dolomíticas, registrando en todos los casos contenidos elevados en yesos.

La potencia deposicional de la Fm. Falces se cifra, a partir de los datos disponibles de subsuelo, en unos 1000 m, no obstante se pueden alcanzar espesores mucho mayores por migración halocinética hacia núcleos anticlinales, como ocurre en el sondeo Marcilla-1, donde se atravesaron cerca de 3000 m de evaporitas. La unidad se encuentra intensamente plegada, lo que dificulta el cálculo del espesor visible, que debe superar no obstante los 300 m.

En el subsuelo la Fm. Falces está representada por anhidrita y halita con intercalaciones lutíticas esporádicas. Las anhidritas, por lo general, alternan rítmicamente con niveles de sal y, en menor medida, con arcillas y margas, e incluyen delgados horizontes de dolomías laminadas. La halita, no obstante, puede formar tramos bastante masivos, de varias decenas de m, mientras que la anhidrita suele presentar un aspecto más laminado. Por otra parte SALVANY (1989) constata la presencia de capas de glauberita entre los términos anhidríticos y halíticos.

Las características de los depósitos evaporíticos de la Fm. Falces indican que su depósito se efectuó en condiciones esencialmente subacuáticas por concentración de salmueras sulfatado-cloruradas en una zona interna de un sistema lacustre salino estable extensamente desarrollado en el sector central de la Cuenca.

La Fm. Falces es prácticamente azoica en la Hoja. La edad se establece por correlación con la Fm. Arnedo, en la Rioja Baja. En los yacimientos de vertebrados existentes en esta región se determina una edad de Arverniense superior (Oligoceno sup.) a Ageniense inferior puesto que se alcanza la zona MN-1.

1.1.1.2. Margas y yesos. Yesos de Falces (2). Unidad Superior. Arcillas (3). Ageniense inferior.

La Unidad está representada por una serie de alternancias de frecuencia decamétrica entre facies arcillosas margosas grises y niveles de yesos, constituyendo el tránsito entre las Fms. Falces y Marcilla.

Afloran flanqueando la Unidad Inferior de Falces, mediante contactos mecánicos, que pueden diferenciarse en los cortados de los ríos Arga y Aragón debido a la diferencia de plegamiento que se aprecia entre ambas Unidades. La Unidad Inferior fuertemente replegada, de carácter diapírico, mientras que la Unidad Superior muestra una estructura tabular, donde solamente aparecen pequeñas ondulaciones en los diferentes niveles.

Litológicamente está representada mayoritariamente por margas arcillosas grises y yesos. Los términos lutíticos forman intervalos de potencia decamétrica y métrica de aspecto homogéneo o con intercalaciones eventuales de dolomías. Los yesos constituyen paquetes, de espesor comprendido entre 5 y más de 20 m, que registran un marcado predominio de litofacies nodulares, si bien muestran un aspecto bastante tableado como consecuencia de la alternancia rítmica con lechos de margas arcillosas grises y niveles dolomíticos laminados. Las dolomías forman capas tabulares de escasa potencia y distribución irregular en la serie correspondiendo a dolomicritas laminadas con moldes de cristales de yeso.

Intercalados entre estos niveles aparecen también areniscas y calizas micríticas. Las areniscas constituyen niveles tabulares grises de potencia decimétrica y centimétrica con abundantes estructuras tractivas, granoclasificación positiva, huellas tractivas de base, laminación paralela, estratificación ondulada de tipo *hummocky*, convoluciones, *ripples* de oleaje y *cosets* de *climbing ripples*, correspondiendo a avenidas torrenciales turbulentas en zonas subacuáticas lacustres. Las calizas forman capas tabulares de escasa potencia y distribución irregular en la serie correspondiendo a facies micríticas bastante detríticas (*wackestones* arcillosos con fósiles, intraclastos y granos terrígenos).

El espesor de este conjunto es superior a 50 metros.

La presencia de una serie terrígeno-yesífera entre la Fm. Falces y la Fm. Marcilla ya fue constatada por SALVANY (1989), quien argumentó además el contacto transicional, y obviamente por cambio de facies, entre ambas formaciones.

La Unidad se enmarca ambientalmente en un contexto lacustre salino marginal en tránsito a los frentes distales de los sistemas aluviales de procedencia septentrional. Se generan en consecuencia amplias llanuras perilacustres con eventuales desarrollos de charcas carbonatadas, registrándose expansiones intermitentes del sistema lacustre salino.

Se atribuye, de acuerdo con la posición estratigráfica y ante la falta de restos paleontológicos, una edad de Ageniense inferior.

1.1.1.3. Arcillas ocreas con algunas intercalaciones de areniscas y calizas (4). *Arcillas de Marcilla. Ageniense inferior.*

Se dispone concordantemente sobre los niveles anteriores correspondiendo regionalmente a un cambio lateral de facies. El techo de la Fm. Marcilla está claramente marcado por el desarrollo de un nivel yesífero de poca potencia pero de gran continuidad lateral (Yesos de Alcanadre), que representa la base de la Unidad de Peralta, de la Fm. Lerín.

Los mejores puntos de observación se localizan en la zona de Peñalen, por lo que se refiere al anticlinal de Arguedas, donde el barranco del mismo nombre ha erosionado esta zona, dejando al descubierto las características de esta Unidad.

En la zona de Marcilla, en el flanco Sur del Anticlinal de Falces, las Arcillas de Marcilla, aparecen en la zona del Montico, al SE de esta población que da nombre a la Unidad. El corte ocasionado por el río Aragón permite estudiar esta Unidad, que es donde fue definida.

Litológicamente forma una potente y monótona serie arcillosa ocre, con algunos horizontes rojizos, que contiene intercalaciones de areniscas y calizas.

Los términos lutíticos representan más del 80% de la Fm. y corresponden a intervalos homogéneos y masivos de espesor métrico-decamétrico. Esporádicamente se distinguen horizontes rojizos de origen edáfico que pueden desarrollar costras ferruginosas y nódulos carbonatados diseminados. En algunos intervalos y especialmente a techo de la Unidad, se distinguen nódulos dispersos de yesos alabastrinos. La bioturbación está poco desarrollada y se concentra ocasionalmente en los intervalos rojizos edáficos, donde se constata su carácter pedogénico.

Las areniscas son las intercalaciones más comunes. Predominantemente corresponden a capas tabulares de potencia decimétrica, excepcionalmente métrica, de tonos ocreos y grises, que se interpretan como depósitos de *sheet-flood* aportados en avenidas periódicas a partir de flujos laminares. Presentan gradación positiva, con variaciones de tamaño de grano medio-fino a muy fino. Las estructuras tractivas son muy abundantes, reconociéndose: Huellas de base, laminación paralela, estratificación cruzada de mediana escala, *ripples* de corriente, de tipo *climbing* y de oscilación, y laminaciones onduladas. Los procesos de deformación sedimentaria corresponden a pequeños colapsos, convoluciones, escapes de fluidos y huellas de desecación, y las estructuras de origen biológico consisten en pistas de escape y reptación de pequeños invertebrados. Asociados lateralmente a las capas tabulares se desarrollan cuerpos lenticulares con morfologías de tipo *sand-wave*. Su potencia está comprendida entre 0,5 y 1,5 m y la extensión lateral es del orden de varios m. El tamaño de grano oscila entre medio y fino y se desarrolla una característica estratificación cruzada con láminas de trazado sigmoidal. Los niveles de morfología canalizada son muy poco frecuentes, si bien alcanzan las mayores potencias, superando ocasionalmente los 3 m. Registran una mayor variación granulométrica, con gradación de tamaño de grano medio-grueso a fino-muy fino. Destacan por presentar superficies marcadas de progradación lateral con láminas cruzadas y *ripples* desarrollados en sentido contrapuesto o perpendicular al de la acreción. En la base de los niveles pueden

observarse depósitos de carga residual formados por cantos blandos, y son relativamente frecuentes los fenómenos de deformación hidrolástica. Se interpretan como pequeños canales efímeros de configuración meandriforme.

Las intercalaciones de calizas son relativamente frecuentes en la parte media de la Fm. Consisten en niveles tabulares de tonos grises y potencia centi-decimétrica (hasta 50 cm). Texturalmente corresponden a *wackestones* micríticos, más o menos arcillosos, con fósiles (ostrácodos, caráceas y fragmentos de gasterópodos), intraclastos y granos terrígenos como principales aloquímicos. Ocasionalmente se observan laminaciones paralelas y *ripples* de oscilación. La bioturbación es intensa, correspondiendo a finas huellas de raíces de plantas acuáticas, o bien está ocasionada por la actividad de pequeños invertebrados. Representan depósitos de origen palustre generados en charcas carbonatadas de desarrollo estacional.

La Fm. Arcillas de Marcilla fue definida por CASTIELLA et al. (1978) como un potente conjunto arcilloso de tonos ocres, desarrollado en la zona central de la Cuenca Navarro-Riojana, que se dispone sobre la Fm. Falces.

Su potencia en la Hoja se cifra normalmente en unos 250 m, en el anticlinal de Falces, siendo menor en el anticlinal de Arguedas y registrando un progresivo adelgazamiento hacia el SE.

La Fm. Marcilla evidencia una etapa de expansión generalizada de los sistemas aluviales de procedencia pirenaica en la cuenca Navarro-Riojana. La gran proporción de términos lutíticos indica un medio de frente aluvial muy distal probablemente en situación perilacustre, de acuerdo con el desarrollo episódico de depósitos de charcas carbonatadas y eventuales niveles evaporíticos yesíferos.

En Hojas próximas a esta se cita el hallazgo de asociaciones de caráceas y ostrácodos que indican una edad próxima al techo del Oligoceno. De acuerdo con los datos disponibles se tiene constancia de la presencia de *Chara cf. brongniarti*, *Chara gr. Medicaginula*, *Chara 1*, *Chara sp. 7*, *Cypridopsis cf. kinkelini*, *Canadona aff. Chassei* y microfauna resedimentada del Eoceno. La cronoestratigrafía de la Unidad se concreta por correlación hacia la Rioja Baja con la Fm. Arnedo. En ésta se localizan numerosos yacimientos de vertebrados que indican una edad de Ageniense inferior (Zona MN1).

1.1.1.4. Yesos. (6). Arcillas de Marcilla. Ageniense inferior.

El techo de la Fm. Marcilla está claramente marcado por el desarrollo de un nivel yesífero de potencia moderada pero gran continuidad lateral, fácilmente distinguible en las labores de campo, que representa la base de la Unidad de Peralta de la Fm. Lerín.

Únicamente aflora esta unidad en una estrecha banda en el flanco Norte del Anticlinal de Arguedas, intercalada entre los niveles arcillosos de techo de la Formación.

Litológicamente esta constituido por un conjunto de yesos generalmente como intercalaciones de potencia métrica que tienden a concentrarse en la parte superior de la unidad, incluyendo dolomías en proporciones destacadas.

Exhiben un aspecto tableado derivado de la alternancia en bajas proporciones con dolomías laminadas y con margas dolomíticas grises bastante arcillosas. Predomina la litofacies nodular, aunque la parte media de los niveles es algo más laminada y contiene yesoarenitas.

Representan depósitos lacustres evaporíticos de tipo sulfatado.

La Fm. Marcilla evidencia una etapa de expansión generalizada de los sistemas aluviales de procedencia pirenaica en la cuenca Navarro-Riojana. La gran proporción de términos lutíticos indica un medio de frente aluvial muy distal probablemente en situación perilacustre, de acuerdo con el desarrollo episódico de depósitos de charcas carbonatadas y de niveles evaporíticos yesíferos.

La edad se determina por correlación hacia la Rioja Baja con la Fm. Arnedo. En ésta se localizan numerosos yacimientos de vertebrados que indican una edad de Ageniense inferior (Zona MN1).

1.1.1.5. Yesos grises (7). Nivel de Alcanadre. Ageniense.

Esta unidad cartográfica constituye un nivel guía yesífero de potencia relativamente reducida pero de gran continuidad cartográfica por toda la Hoja.

Se ha correlacionado con el Nivel de Alcanadre, definido por SALVANY (1989) en el Dominio Meridional, equivalencia basada en su posición estratigráfica.

En la Hoja de Marcilla aflora en dos estrechas bandas, en el flanco Norte del Anticlinal de Arguedas, al Oeste de Funes, y en el flanco Sur, en el de Falces, ambas siguiendo la dirección del plegamiento en esta región, NO-SE. En ambos casos, se dispone sobre las Arcillas de Marcilla, distinguiéndose claramente de esta unidad, así como de sus superior, formada por arcillas de la Unidad de Peralta

Constituyendo un excelente nivel-guía de campo que define perfectamente la estructura y aunque no presenta un gran espesor, entre 15 y 30 metros, mantiene una gran continuidad lateral cartográfica.

En este conjunto yesífero se reconocen tres niveles, uno inferior nodular, donde se observan también facies brechoides de tipo poiquiloblástico. Uno intermedio caracterizado 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 esta unidad cartográfica.

Este conjunto constituye 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.

Su contenido paleontológico en la Hoja es prácticamente nulo. La edad, establecida en el Ageniense, se basa en su posición estratigráfica.

1.1.1.6. Arcillas ocre, margas blancas, areniscas, calizas, dolomías y yesos. Yesos de Peralta. (8, 10). Ageniense

El límite con la unidad infrayacente se encuentra delimitado por el nivel yesífero al que se ha hecho referencia anteriormente (Nivel de Alcanadre) mientras que a techo se dispone un paquete yesífero de gran potencia y extensión, correspondiente a los Yesos de Sesma.

La Unidad de Peralta (SALVANY, 1989) constituye una serie esencialmente arcillosa con intercalaciones de yesos que se superpone a la Fm. Marcilla.

En la Hoja de Marcilla aparecen con un espesor comprendido entre 200 y 300 m. En los flancos Norte del anticlinal de Arguedas y Sur del de Falces.

Hacia el Dominio Meridional presenta una correlación bastante razonable con la Unidades de Sartaguda y Lodosa descritas por SALVANY (1989).

Litológicamente constituye un conjunto arcilloso de tonos ocre, con algunos horizontes rojizos, e intercalaciones de yesos, areniscas y carbonatos, representando las lutitas el término litológico predominante disponiéndose en intervalos homogéneos de espesor métrico-decamétrico.

Presentan un aspecto semejante a los depósitos lutíticos de la Fm. Marcilla si bien se registra un mayor contenido en yesos y en arcillas margosas yesíferas, que destacan en el terreno por su tonalidad más clara. Los horizontes de arcillas rojizas son más abundantes hacia techo de la Unidad, si bien parecen relacionarse con cuñas terrígenas de procedencia meridional.

Los yesos constituyen las principales intercalaciones, especialmente en la parte media y superior de la Unidad, y sobre todo hacia el SO, donde suelen alcanzar representación cartográfica (Yesos de Cárcar). Aparecen comúnmente como niveles de potencia métrica y decamétrica constituyendo ciclos evaporíticos propios de medios lacustres salinos someros (SALVANY, 1989) que se caracterizan por el escaso

desarrollo de los términos medios laminados, por lo que predominan las litofacies nodulares.

Los niveles de calizas son bastante frecuentes aunque de reducido espesor no representables en la cartografía geológica. Presentan una marcada morfología tabular y adoptan tonalidades grises. Texturalmente se describen como *wackestones* micríticos, más o menos arcillosos, cuyos componentes aloquímicos consisten en fósiles, intraclastos y granos terrígenos. Ocasionalmente se preserva laminación paralela y *ripples* de oscilación. La bioturbación es bastante intensa y está originada por raíces de pequeñas plantas acuáticas o por la actividad de algunos invertebrados. Se atribuyen a depósitos palustres ligados a charcas carbonatadas.

Las areniscas alternan por tramos con las arcillas y no forman en la Hoja niveles diferenciables cartográficamente debido a su reducido espesor. Predominan los depósitos de tipo *sheet-flood*, correspondientes a capas tabulares ocreas y grises, de potencia centi-decimétrica y grano medio-fino a muy fino, que exhiben abundantes estructuras sedimentarias: gradación positiva, huellas tractivas de base, laminación paralela, estratificación cruzada de mediana escala, *ripples* de corriente, de tipo *climbing* y de oscilación, laminaciones onduladas, pequeños colapsos, convoluciones, escapes de fluidos, huellas de desecación, *burrows* de escape y pistas de reptación de pequeños invertebrados. Los cuerpos de morfología lenticular (*sand-waves*) o canalizada son muy poco frecuentes y raramente alcanzan potencias superiores a 1 m.

Otras intercalaciones destacables, también sin representación cartográfica en la Hoja, son los niveles de dolomías. Forman capas de potencia decimétrica a métrica en algunos casos y corresponden a dolmicritas laminadas bastante arcillosas con frecuentes moldes de cristales de evaporitas, hasta el punto de adoptar en ocasiones un aspecto carniolar.

La Unidad de Peralta se caracteriza paleogeográficamente por la confluencia de los sistemas aluviales de procedencia pirenaica a márgenes lacustres salinos sulfatados, siendo alternante el predominio de ambos subambientes. La gran proporción en términos lutíticos evidencia el predominio de los medios de frente aluvial muy distal y llanura fangosa perilacustre, con desarrollo estacional de depósitos de charcas carbonatadas.

El contenido paleontológico se concentra en los niveles de calizas micríticas y margas adyacentes, donde se han determinado (IGME, 1977) los ostrácodos *Candona sp.*, *Eocyropteron sp.*, *Ostrácodo sp. G*, y las caráceas *Tectochara cf. meriani*, *Gyrogona cf. medicaginula*, *Harrisichara cf. tuberculata*, *Rhabdochara cf. major*, *Rhabdochara cf. stockmansii*, *Sphaerochra hirmani var. longiuscula*, *Gyrogona cf. medicaginula*, *Chara media* y *Chara sp. 11*, constituyendo una asociación próxima a la base del Mioceno.

Por correlación con las formaciones de la Rioja Baja, ricas en yacimientos de vertebrados, se precisa una edad de Ageniense (Zonas MN1 y MN2).

1.1.1.7. Yesos y margas (9). Yesos de Cárcar. Arcillas y yesos de Peralta

En esta Hoja se sitúa litoestratigráficamente entre los Yesos de Alcanadre en la base y las Arcillas y Yesos de Peralta situada en el techo de esta unidad cartográfica.

Los principales afloramientos de esta Unidad se encuentran intercalados entre la Unidades 8 y 10 de arcillas, suguiendo una banda en el sentido dominante de la zona.

Litológicamente la Unidad de Cárcar está representada por yesos y margas que se organizan en ciclos muy 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 (Unidad 10).

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 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.

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.

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.

1.1.1.8. Arcillas rojas con intercalaciones de areniscas (11). Ageniense.

La presencia de un intervalo arcilloso rojizo (11) a muro de los Yesos de Sesma ya fue constatada en el sector de Lodosa por SALVANY (1989) quien lo describió como el tramo superior de la Unidad de Lodosa.

Esta unidad constituye un buen nivel guía en la región, fácilmente distinguible por su posición estratigráfica y característica tonalidad rojiza.

Su gran continuidad contrasta con su reducida potencia que se cifra en la Hoja en unos 10-15 m e incluso a veces menos.

Litológicamente predominan las arcillas rojas hacia la base con alguna intercalación areniscosa. Hacia techo alternan con 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 la Unidad se enmarca en un contexto de frente aluvial muy distal y refleja parece relacionarse con propagaciones episódicas hacia el N de los sistemas de procedencia ibérica.

1.1.1.9. Yesos y margas (12) 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 sitúa transicionalmente sobre la unidad cartográfica anterior, mediante un cambio bastante rápido Su techo en cambio registra una marcada heterocronía, correspondiendo a un complejo cambio lateral de facies con la Unidad terrígena suprayacente.

Como el resto de la Fm. Lerín, aflora en los flancos de Arguedas y Falces, en el primero de ellos entre el paraje de Caluengo y la localidad de Funes, y en el segundo en la zona de El Romeral.

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.

1.1.1.10. Arcillas ocreas, margas y yesos (13). Areniscas (14). *Arcillas de Villafranca. Ageniense.*

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

Su límite inferior está poco definido debido al cambio lateral de facies que presenta con la Unidad de los Yesos de Sesma mientras que el tránsito con la unidad suprayacente es gradual y muy neto.

Solamente aparece en esta Hoja la Unidad 13 formada por arcillas ocreas, margas y yesos, ya que los niveles de areniscas tienen escaso desarrollo.

Litológicamente consiste en un conjunto de arcillas de tonos ocreas con intercalaciones poco potentes de yesos, areniscas y carbonatos.

Los niveles más lutíticos corresponden predominantemente a arcillas ocreas bastante homogéneas que forman intervalos masivos de potencia métrica a decamétrica o bien alternan con otras litologías. Eventualmente, y en mayor medida hacia techo, se desarrollan horizontes de arcillas rojizas de origen edáfico o atribuibles a cuñas terrígenas de procedencia meridional. Intermitentemente se desarrollan tramos de tonalidad gris correspondientes a margas dolomíticas arcillosas que están ligadas a facies yesíferas. Son relativamente frecuentes las trazas de yesos dispersas en forma de nódulos alabastrinos, cristales fibrosos y venas, tanto en las arcillas ocreas como en los términos margoarcillosos grises.

Los niveles de yesos forman intervalos de espesor decimétrico-métrico con marcado predominio de litofacies nodulares, eventuales desarrollos enterolíticos y contenidos

variables en términos margodolomíticos grises, constituyendo delgados niveles interstratificados o formando parte de la matriz en los horizontes nodulares.

Las intercalaciones de areniscas aparecen como capas tabulares de tonos grises y ocre de potencia centimétrica, eventualmente decimétrica. Presentan abundantes estructuras sedimentarias: Granoclasificación positiva, laminación paralela, escapes de fluidos de pequeña envergadura, convoluciones de las láminas, *ripples* de corriente y oleaje, con frecuencia colapsados, grietas de desecación, bioturbación y ocasionales icnitas de vertebrados.

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

El espesor máximo en la Hoja es de 150 metros en la zona de Marcilla, descendiendo hasta 50-75 m. en la zona de Funes.

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

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

1.1.1.11. Yesos y arcillas (15). Yesos (16). Arcillas (17) *Yesos de Los Arcos. Ageniense.*

En la Hoja la Unidad de Los Arcos se desarrolla ampliamente en el flanco Norte del anticlinal de Arguedas, donde alcanza una potencia superior a 250 metros, con buzamientos que suelen superar los 15° y alcanzan una potencia de aproximadamente 100-150 metros en el anticlinal de Arguedas.

En la zona de Funes existen numerosos puntos de observación de esta unidad, junto a esta localidad de Funes, en los cortes proporcionados por la carretera Na-115 y en caminos de esta zona. En la zona de Marcilla, los afloramientos son peores, debido al mayor enmascaramiento por depósitos cuaternarios y a la mayor alteración. Sin embargo, en algunos taludes de los numerosos caminos de la zona pueden estudiarse sus características.

El tránsito con la unidad inferior se observa muy neto y definido, a techo el tránsito con la Fm. Tudela es muy neta, mediante una importante discordancia erosiva

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

Litológicamente, los Yesos de Los Arcos presentan unas características similares a los de la Unidad de Sesma. En superficie constituyen un conjunto yesífero, con intercalaciones de materiales lutíticos y dolomías laminadas. En el subsuelo incluye materiales solubles, halita y glauberita, alternando con anhidritas.

En su Tesis Doctoral, SALVANY, (1989) define la estratigrafía general de la Unidad, distinguiendo de muro a techo cuatro tramos principales: 1) tramo basal (unos 20 m) de alternancia entre margas grises y yesos nodulares, 2) tramo yesífero (30-40 m) en litofacies laminada y nodular, 3) tramo de alternancia margo-yesífera (30 m) y tramo superior yesífero con predominio alternante de litofacies laminada y nodular (hasta 100 m de potencia).

En la cartografía, cuando no se han podido separar los distintos tramos yesíferos y margosos se ha definido esta Unidad como la Unidad 15. en el caso contrario, en el que se han podido separar los tramos margosos de los yesíferos, a los primeros se les ha nominado como Unidad 17, mientras que a los yesos como Unidad 16.

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

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

1.1.1.12. Arcillas rojas (19). Fm. Tudela. Orleaniense.

Constituye un conjunto de materiales principalmente arcillosos, con niveles de carbonatos y areniscas, que se desarrolla ampliamente en la región de Tudela y Las Bardenas, al SE de la cuenca Navarro-Riojana, y que se extiende hacia el Oeste por los sinclinales de Sesma y Miranda de Arga.

La Fm. Tudela o Facies de Tudela (CASTIELLA et al. 1978) culmina la serie terciaria en la zona. Se correlaciona hacia el Sur con las Facies de Alfaro, características de la Rioja Baja, y hacia el Norte pasa lateralmente a las Facies de Ujué.

El contacto basal corresponde a una discordancia erosiva, de modo que trunca los términos superiores de la Fm. Lerín.

En la Hoja a escala 1:25.000 de Marcilla, la Fm. Tudela forma el núcleo del sinclinal de Peralta, aflorando especialmente entre los parajes de El Plano y Peñalfons y las corralizas de la Estanca. En las zonas mas bajas, esta unidad esta cubierta por depósitos cuaternarios, pudiendo observarse sus características en las zonas de mayor relieve.

En la zona de Funes, la Fm. Tudela esta reducida a una estrecha banda, discordante sobre la Fm. Lerín, en el borde de los relieves de esta zona y ocultada en su casi totalidad por formaciones superficiales cuaternarias de barrancos que desaguan al Arga.

Se extiende de forma asimétrica registrando una mayor representación en el flanco suroccidental, de modo que predominan los buzamientos suaves (<20°) hacia el NE.

Litológicamente forma una serie lutítica integrada por arcillas rojizas (color ladrillo característico) homogéneas y masivas. Presentan trazas de yesos, que aparecen bajo la forma de pequeños nódulos alabastrinos subsféricos, como cristales lenticulares y especulares dispersos o constituyendo venas fibrosas.

La Fm. Tudela se encuentra relacionada genéticamente hacia el N con sistemas aluviales de procedencia pirenaica. Constituye sus equivalentes de frente muy distal, evidenciada por la alta dilución de los depósitos terrígenos, situación que facilita el desarrollo ocasional de facies lacustre-palustres carbonatadas. Hacia el Oeste y Suroeste se correlaciona con los depósitos atribuidos a las Facies de Alfaro características de la Rioja Baja

No se dispone de datos paleontológicos recogidos en la Unidad dentro de la Hoja. Se cuenta no obstante con la referencia de los yacimientos de vertebrados de las Fms. Tudela y Alfaro en la región, donde se indica una edad de Ageniense superior (MN2) a Orleaniense medio (MN4).

1.1.1.13. Arcillas rojas. (24). Conglomerados (25). Orleaniense.

La Unidad 24 se trata de arcillas y limos pardo-amarillentos y rojizos con esporádicas intercalaciones de conglomerados (Unidad 25) y algunos niveles de areniscas.

Su potencia total es difícil de determinar, ya que no se aprecia el techo de la formación. En algunas zonas próximas a esta, se asocia esta Unidad con la Fm. Cascante, habiéndose podido comprobar, que la Fm. Cascante es el tránsito gradual entre la Fm. Fitero y la Fm Alfaro.

Esta Unidad de arcillas rojas con canales de conglomerados aparece en dos extensas zonas en la Hoja de Marcilla. La primera de ellas se desarrolla en las zonas elevadas de los relieves mesetarios de forma triangular que aparecen separando las cuencas de los ríos Arga-Aragón y Ebro. Toda esta zona esta recubierta por arcillas rojas en la que se intercalan los canales de conglomerados. En esta área, los mejores afloramientos de arcillas aparecen en uno de los caminos que desde Funes asciende hasta estas zonas elevadas, una vez pasado el barranco de Peñalen. Aquí se puede observar como es la litología, estratigrafía y estructura de la Unidad 24, observándose como descansa discordantemente son los niveles de las Fm. Falces, Marcilla y Lerín. La estructura de los canales muestra en esta zona una orientación NO-SE, con un buzamiento hacia el NE de 10-15° aproximadamente.

La otra zona donde aparece esta Unidad, mucho más baja topográficamente, aparece al Sureste de la localidad de Villafranca de Navarra. Esta zona se caracteriza por una serie de alineaciones de relieves y depresiones alternantes, en la que los primeros están ocupados por los canales de conglomerados (25), mientras que las zonas más bajas corresponden a arcillas rojas (24). La orientación de estas alineaciones es la general del plegamiento en toda la zona, NO-SE. Los laderas Norte de estos relieves están ocupadas en su totalidad por cantos procedentes de los conglomerados mostrando un pendiente aproximada igual al buzamiento de los canales. En las laderas sur de estos relieves es donde mejor pueden observarse los niveles de arcillas, ya que las zonas más bajas, suelen estar ocupadas por depósitos cuaternarios, esencialmente coluviones que descienden ocupando las laderas y por zonas endorreicas en las depresiones entre relieves.

Los niveles canaliformes están formados por conglomerados de cantos fundamentalmente de cuarcita y esporádicamente calcáreos, con intercalaciones de areniscas, generalmente con tamaño de grano grueso y arcillas.

Los conglomerados se presentan en bancos de unos 5 m de espesor, con laminación y estratificación cruzada a gran escala mientras que en las areniscas es frecuente observar trenes de ripples. Estos conglomerados están bien clasificados y con cantos procedentes en su mayor parte del Jurásico y Cretácico inferior.

Las areniscas son de tonos grises de naturaleza silicea y fragmentos de rocas, preferentemente de calizas, con cemento calcáreo.

Estos niveles de conglomerados representan canales de tipo anastomosado en la parte distal de un sistema de abanicos aluviales en las que las zonas de desbordamiento están representados por los niveles de areniscas y limos.

Este sistema de conglomerados representa los procesos sedimentarios causados por los fenómenos de erosión anteriores a la sedimentación de la Formación Tudela en la que estos conglomerados se encuentran incluidos, formando parte de la zona basal de esta formación y adosados a los relieves preexistentes fosilizados por estos depósitos.

1.1.1.14. Gravas, Cantos, arenas, arcillas y limos (Terrazas) (27 a 36). Pleistoceno inferior-Pleistoceno superior.

Los sistemas de terrazas de los ríos Ebro, Aragón y Arga constituyen el grupo de formas de origen fluvial más importantes de la hoja, habiéndose diferenciado cinco niveles a +3-5 m, +7-10 m, +15-20 m, +40-45 m y +90-100 m,. Los tres niveles inferiores se han considerado como terrazas “bajas” y poseen un dispositivo de terrazas solapadas o encajadas y localmente, colgadas en tanto que los dos siguientes han sido considerados como terrazas “medias” y “altas”, respectivamente, apareciendo siempre como terrazas colgadas. La terraza baja es la que alcanza un mayor desarrollo superficial y el resto de ellas se disponen escalonadamente, quedando separadas unas de otras por escarpes, producto del encajamiento de la red fluvial. Los que limitan a las terrazas bajas, ofrecen una mayor continuidad superficial y

son más netos, mientras que los pertenecientes a las terrazas altas y medias están menos definidos.

La litología es muy similar en casi todas ellas, si bien la granulometría y el grado de cementación, por carbonatos, muestran ciertas variaciones. En general, están formadas por gravas y cantos polimícticos, con arenas y lutitas en proporción variable, predominando los clastos redondeados de naturaleza areniscosa y carbonatada. Cuando la cementación es acusada constituyen auténticos conglomerados. En cuanto al tamaño de los cantos, es muy variable, presentando en ocasiones dos modas; se encuentran clastos de hasta 50 cm de diámetro en las terrazas altas, aunque el tamaño medio fluctúa entre 10 y 20 cm. Frente a estos valores, en las terrazas bajas predominan los diámetros de 6-8 cm, con máximos de 15 cm. Los espesores son también muy irregulares, siendo habituales las potencias de 3-4 m. En hojas próximas se reconocen valores superiores a 10 m en las terrazas "altas" y se señalan, espesores anómalos de hasta 30 m en sectores próximos, explicados en relación con fenómenos de subsidencia diferencial en áreas localizadas. Sin embargo hay que decir que en la hoja de Marcilla, a escala 1:25.000, y en las adyacentes que conforman la hoja de Alfaro, a escala 1:50.000, este hecho no ha sido observado. Con frecuencia las terrazas bajas y medias desarrollan suelos que por sus características son frecuentemente utilizados para el cultivo. 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. Por su relación con respecto a la red fluvial actual, se han atribuido al Pleistoceno, excepción hecha de los niveles inferiores, pertenecientes al Holoceno.

1.1.1.15. Cantos y gravas con matriz limoso-arcillosa (Glacis) (40). Pleistoceno medio-superior.

Los glacis, bastante bien desarrollados, se sitúan en el sector noreste de la hoja a partir de la terraza más alta de la cual se alimentan. En este caso, sus depósitos y su morfología son muy similares a aquella, pero ofrecen una mayor inclinación hacia los valles. Su morfología en planta, es palmeada, originada, sin duda, por la incisión de los arroyos que los cortan. Su perfil es plano-convexo con inclinación hacia las partes distales. Los glacis originados al norte de la terraza de +90-100 m, tienen menor desarrollo.

Se originan sobre depósitos neógenos, contribuyendo a la morfología actual de las vertientes del sector nororiental. Por lo general, su composición refleja la del sustrato sobre el que se desarrollan, así como la de los relieves al pie de los cuales se generan, pero en este caso se forman a partir de las terrazas altas por lo que su composición y textura refleja dicha influencia. Están constituidos cantos y gravas, a veces gravas y bloques, con morfología subangulosa a redondeada y de composición cuarcítica y calcárea. La matriz es limoso-arcillosa de colores grises y ocreos. Al estar colgados y desconectados de la red fluvial actual, se les supone una edad pleistocena.

**1.1.1.16. Lutitas, cantos, gravas y arenas (Fondos de valle) (46).
Holoceno.**

Aparecen, por lo general, con formas alargadas y estrechas con una longitud que varía sensiblemente de unos arroyos a otros. Los fondos de valle más rectilíneos son los que se encuentran en el cuadrante suroriental de la hoja, donde se acomodan a la estructura de las capas con una dirección general NO-SE. En algunas zonas, la naturaleza arcillosa de los sedimentos provoca la difusión del drenaje, pudiendo producirse procesos de tipo endorreico o semiendorreico. Están constituidos, mayoritariamente, por lutitas grises y ocres que incluyen cantos de tamaño variable y, en ocasiones, gravas y bloques. En menor medida, también poseen niveles de arena. La litología de sus componentes es muy variable, predominando los fragmentos de yesos o de areniscas según el área fuente. La potencia, no siempre visible suele estar comprendida entre 3 y 5 m. Su edad es Holoceno.

1.1.1.17. Limos, arenas y cantos (Conos de deyección) (49). Holoceno

Estos depósitos se localizan en la margen izquierda del río Ebro y se generan cuando la carga concentrada en barrancos estrechos alcanza áreas más amplias, expandiéndose y dando lugar a sus típicas morfologías en abanico. Aunque los conos se suelen presentar como formas aisladas, a veces, la proximidad entre los barrancos hace se solapen unos con otros, dando como resultado formas coalescentes a modo de bandas que orlan algunas laderas como sucede en el paraje de La Arzagosa. Los conos de deyección de esta zona están formados por limos y arcillas con delgadas hiladas de cantos que aparecen ocasionalmente. A veces se aprecian cementaciones, aunque son siempre muy superficiales y de poca consistencia. Estos depósitos que se disponen a la salida de algunos barrancos, tienen una litología que lógicamente es función del área madre pero, dada la naturaleza de la zona, predominan los constituyentes de carácter yesífero. Por su relación con el relieve actual y en particular con la red fluvial, se han enmarcado en el Holoceno.

**1.1.1.18. Gravas, arenas y limos (Llanura de inundación) (50).
Holoceno**

La única llanura de inundación que se ha representado en esta hoja, corresponde a un afluente del Aragón, por su margen izquierda y que desemboca entre las localidades de Marcilla y Villafranca (no tiene asignado nombre en el mapa topográfico). Dada la topografía de la zona, está poco encajada, su fondo es muy plano y tiene aproximadamente un Km. de anchura. Su litología, aunque similar a la de las terrazas colindantes, difiere bastante en la textura pues tiene un mayor contenido en elementos finos, sobre todo en limos.

**1.1.1.19. Gravas, limo y arenas (Cauces abandonados) (41 a 43, 47).
Pleistoceno-Holoceno.**

Asociados a las terrazas “bajas” se presentan 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. Están formados por gravas, arenas y lutitas, con una litología muy similar a la de las terrazas en las que se encuentran. El tamaño de los cantos es variable, con ocasionales clastos de tamaño bloque, siendo su litología muy variada, si bien predominan los constituyentes carbonatados y areniscosos. Con frecuencia desarrollan suelos que, por sus características, son utilizados para el cultivo.

1.1.1.20. Arcillas, arenas y gravas (Aluvial-coluvial) (45). Holoceno.

Los depósitos de origen aluvial-coluvial no son muy abundantes y se distribuyen por la superficie de la hoja, sobre los diversos materiales del Terciario. Los aluviales-coluviales son depósitos de origen aluvial a los que se suman importantes aportes laterales, difíciles de separar de los primeros. Por lo general se localizan en áreas de topografía muy suave y en zonas con cursos de carácter ligeramente divagante y bastantes efímeros. Su litología, por regla general, corresponde a materiales finos, generalmente limos, a veces yesíferos, y arenas procedentes de zonas laterales o arrastrados por el propio curso de los arroyos. Su espesor puede llegar a ser considerable, del orden de 3-6 metros. Su edad es holocena.

1.1.1.21. Limos, arcillas y arenas con cantos y bloques (Coluviones) (48). Holoceno

Los coluviones son muy abundantes sobre toda en el cuadrante sureste donde aparecen como bandas delgadas a favor de la dirección de las estructuras y, en general, adosados a los fondos de valle o en la parte baja de las laderas. Son depósitos de reducido espesor, en general inferior a 2 m, y moderada representación superficial. Su constitución litológica depende directamente de la naturaleza de su área madre por lo que algunas veces predominan los cantos y arenas procedentes de los depósitos de las terrazas y otras, las lutitas con cantos y bloques angulosos y subangulosos, de tamaño variable, de yesos y areniscas.

1.1.1.22. Arcillas y limos con materia orgánica. (Fondos endorreicos) (50). Holoceno

Se forman en áreas de topografía muy suave y de sustrato impermeable, condiciones ambas que se dan en la zona de estudio y se localizan en los sectores centro-occidental y centro-occidental. En el primer sector aparecen como pequeñas formas subredondeadas u ovaladas, mientras que en el segundo ocupan zonas de valle por lo que sus formas son estrechas y alargadas. El fondo endorreico de mayor tamaño es el que se sitúa en los parajes de Peñalfons y El Agudiel. Como en épocas de lluvias se han visto encharcadas, hay que pensar que son todavía funcionales. Se trata de depósitos finos asociados a áreas de drenaje deficiente, es decir a áreas donde se producen encharcamientos superficiales. Por lo general son arcillas grises y limos, a veces yesíferos, con un cierto contenido en materia orgánica y que en general poseen poco espesor. Ocasionalmente pueden intercalar depósitos más groseros suministrados por el emisario que, a veces, alcanzan las pequeñas depresiones. Se les asigna una edad holocena.

1.1.1.23. Cantos y bloques (Laderas de bloques) (52). Holoceno.

Las vertientes de bloques forman un conjunto litológico integrado por fragmentos procedentes de un área fuente común que son los escarpes de yesos de la margen occidental del río Aragón. En su mayor parte, están constituidas por fragmentos angulosos de gran tamaño, con diámetros que pueden alcanzar varios metros, de composición yesífera y a veces con una matriz limoso-arcillosa. Estos fragmentos caen por gravedad desde la parte alta de los escarpes, cuando alcanzan un cierto grado de inestabilidad. Su geometría es muy irregular, pero lo más frecuente es que se presentan a modo de cuña al pie de los escarpes. Este factor influye en la variabilidad de su potencia, pero generalmente tienen valores de orden métrico. Por su relación con la dinámica actual, les corresponde una edad Holoceno

1.1.1.24. Gravas, cantos y bloques (Barras) (53). Holoceno.

Las barras de acreción lateral, están constituidas casi exclusivamente por cantos, gravas y bloques, debido a que gran parte del material fino ha sido lavado por las aguas, al encontrarse en el cauce activo del mismo. Por su posición con respecto a las terrazas "bajas", se han atribuido al Holoceno.

2. TÉCTONICA

La Hoja a escala 1.25.000 de Rada (244-II) se localiza en el “sector occidental de la cuenca del Ebro”. La cuenca del Ebro constituye un área de sedimentación terciaria de geometría triangular que se comporta a lo largo del Terciario como cuenca de antepaís respecto al orógeno pirenaico.

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

Esta estructuración comienza a finales del Cretácico, continuando hasta buena parte del Terciario. La deformación producida se desplaza de forma heterócrona hacia el Oeste a lo largo del trazado de la cadena, que enlaza en este sentido con la Sierra de Cantabria-Montes Obarenes y Cordillera Cantábrica.

Tectónicamente, esta Cuenca del Ebro está formada por un basamento rígido y una cobertera formada por materiales continentales terciarios plegados, con importantes acumulaciones de evaporitas que facilitan los despegues y los procesos halocinéticos, especialmente en zonas centrales de la cuenca.

La colisión de placas finalizó en el Luteciense, durante el Eoceno, momento en el que se produce la denominada Fase Pirenaica, aunque el régimen compresivo continuó hasta el Mioceno.

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

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

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

Durante el Oligoceno superior y Mioceno inferior se verifica el emplazamiento definitivo del Manto de Gavarnie, originando una serie de estructuras plegadas y/o cabalgantes a lo largo del frente surpirenaico. En consecuencia, la propagación de despegues no

emergentes hacia la cuenca de antepaís pasiva (Cuenca del Ebro) motiva la migración de los depocentros sedimentarios hacia el Sur.

En esta zona de la Cuenca, en cuya parte nororiental se enmarca la zona de estudio, el plegamiento tuvo lugar en el Mioceno inferior a medio.

Durante este período se produjo el plegamiento de la cuenca navarro-riojana como resultado de la 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.

El resultado del plegamiento en esta zona es un conjunto de pliegues de gran longitud de eje y flancos comparativamente cortos, dispuestos en dirección NO-SE y vergentes al Sur, que definen el denominado Dominio Plegado del Ebro, del cual la Hoja que nos ocupa forma parte.

De la información de subsuelo existentes, especialmente líneas sísmicas próximas y el sondeo Marcilla-1, emplazado en la vecina Hoja de Peralta (nº 206-IV), indica que los principales anticlinales corresponden a cabalgamientos ciegos hacia el SSO, relacionados con pliegues de crecimiento. Los niveles de despegue están representados por formaciones evaporíticas terciarias, especialmente Yesos de Falces, bajo los que se encuentra la serie terciaria autóctona en disposición claramente tabular.

2.1. DESCRIPCIÓN DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS

La Hoja de Rada (244-II) se localiza en el denominado Dominio Plegado del Ebro, caracterizado por una estructuración en un sistema de pliegues de dirección NO-SE y vergencia Sur con una gran extensión longitudinal

Las principales estructuras que aparecen en este dominio son las siguientes:

- Sinclinal de Miranda de Arga
- Anticlinal de Falces
- Sinclinal de Peralta
- Anticlinal de Arguedas (Lodosa o Cárcar)

De estas estructuras, las que tienen un mayor desarrollo en la Hoja de Marcilla son las tres primeras: el Anticlinal de Falces, que recorre la Hoja, en su esquina Nororiental, el

sinclinal de Peralta, que aparece al Norte de Funes y en la zona al Este de Villafranca y , por último, el anticlinal de Falces, que ocupa el centro de las zonas de relieve entre Funes y Marcilla.

2.1.1. ANTICLINAL DE FALCES

El Anticlinal de Falces es la principal estructura que aparece en la Hoja de Rada, extendiéndose en dirección NO-SE desde la esquina nororiental de la Hoja, en las proximidades de la localidad de Marcilla, en la contigua Hoja 244-I, hasta el paraje del Vedado de Eguaras.

El núcleo del pliegue está formado por la Unidad Inferior de los Yesos de Falces, unidad que constituye un conjunto intensamente replegado, denotando la actividad halocinética de los yesos con desarrollo de pliegues menores de dirección subparalela a la dirección principal de plegamiento.

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

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

Sobre la Fm. Falces se disponen las Fms. Marcilla y Lerín constituyendo serie monoclinales a ambos flancos del pliegue. En la Hoja sólo aparece el flanco septentrional y el contacto entre las Fms Falces y Marcilla se encuentra mecanizado, faltando los términos superiores de la primera. La serie integrada por las Fms Marcilla y Lerín registra buzamientos de unos 15-30° hacia el NNE.

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

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

2.1.2. SINCLINAL DE PERALTA

Aparece en la zona occidental de la Hoja, y como el resto de estructuras, con una dirección NO-SE, paralela entre los anticlinales de Falces y Arguedas

Se trata de una estructura bastante laxa con los flancos algo más inclinados en posición próxima a los anticlinales adyacentes. Los buzamientos registrados evidencian la vergencia hacia el Sur propia del sistema de pliegues de la zona, sin que se observen en corte variaciones sensibles de potencia y de facies dentro de la serie terciaria de un flanco a otro de la estructura.

El núcleo está ocupado mayoritariamente por las arcillas de la Fm. Tudela, dispuesta discordantemente sobre los Yesos de Los Arcos y muy recubierta por depósitos cuaternarios, que ha dado lugar a una depresión en la que es frecuente encontrar zonas endorreicas.

El eje estructural, al igual que en muchas estructuras de La Ribera, es bastante horizontal, con una parte deprimida en la transversal del río Aragón. La vergencia del pliegue en líneas generales es hacia el Sur, no obstante no se llega a observar una vergencia clara.

3. GEOMORFOLOGÍA

3.1. DESCRIPCIÓN FISIOGRAFICA

La superficie que representa la hoja de Marcilla (244-I), a escala 1:25.000, está incluida en la hoja de Alfaro (244), a escala 1:50.000, y se ubica en el sector meridional de la Comunidad Autónoma de Navarra.

Desde un punto de vista fisiográfico, la zona en cuestión 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 Cordillera Costero-Catalana, al este. De manera mas concreta, se enmarca en el sector denominado Cuenca de La Rioja-Navarra (RIBA et al., 1983) o Cubeta Navarro-Riojana (ORTÍ, 1990) que se caracteriza, morfoestructuralmente, en el ámbito navarro, por dos dominios: uno constituido por los "Relieves terciarios" y el otro, por los "Valles cuaternarios" (Ebro, Aragón y Arga). El primero se ha modelado sobre un conjunto de sedimentos plegados y el segundo es producto del encajamiento de la red fluvial en época reciente.

El relieve de la hoja está íntimamente relacionado con los dominios morfoestructurales, de tal manera que dentro del dominio de los "Relieves terciarios" la morfología se caracteriza por la presencia de una serie de alineaciones de altura media, orientadas NO-SE, con las máximas elevaciones al norte del río Ebro y al suroeste de los ríos Aragón y Arga, concretamente en los parajes La Dehesa Nueva (408 m) y Monte Alto (379), aunque en el sector oriental, al este del río Aragón, la altura media es de 320 m, no superando nunca los 400 m. Por otra parte, el dominio de "Los Valles", caracterizado por sus amplias vegas y seccionando al anterior, ofrece las cotas mas bajas, con una media de 285 m y sin superar, en ningún caso, los 290 m.

La red hidrográfica es de gran importancia en esta zona, y se ordena en torno al río Ebro que aparece, de forma muy discreta, en la esquina suroeste de la hoja, en los parajes de El Ramillo y El Soto. Afluente principal del Ebro, el río Aragón hace su entrada por la esquina noreste de la hoja y con un trazado meandriforme, se dirige hacia el suroeste hasta la confluencia con el Arga, discurriendo, a partir de ahí, con dirección casi meridiana hasta la desembocadura con el Ebro. El río Arga, ya mencionado mas arriba, es el tercero en importancia y vierte sus aguas al Aragón, en el paraje de Soto del Molino, donde accede desde el norte. El resto de la red de drenaje es de poca importancia, limitándose a arroyos que inciden y erosionan los relieves terciarios o a cursos que al circular paralelamente a las estructuras, no encuentran desniveles dando lugar a áreas de mal drenaje y encharcamientos. Existen magníficos ejemplos de este tipo al sureste de Villafranca, en los parajes de Barbal y Navizuela

Desde un punto de vista climático, la región pertenece al tipo Mediterráneo Templado, con precipitaciones medias anuales comprendidas entre 400 y 500 mm y temperaturas medias anuales de 13 a 14°C, con máximas en Julio y mínimas en Diciembre-Enero.

Por otra parte, se trata de una región escasamente poblada en la que la mayoría de sus habitantes se concentran en los tres principales núcleos urbanos, Marcilla, Villafranca y Funes, y una pequeña parte se distribuye entre los diversos caseríos y casas de campo diseminados por la zona. La agricultura constituye la principal fuente de riqueza del sector, especialmente en el valle de los ríos Ebro, Aragón y Arga, aunque también fuera de éstos, se han desarrollado importantes sistemas de regadío y amplias zonas de viñedo. La vegetación existente es escasa, caracterizándose por el monte bajo y matorral con terrenos claros. El arbolado se limita a la vegetación de ribera.

La red de comunicaciones es buena y la forman un conjunto de carreteras comarcales y locales distribuidas por toda la zona, poniendo en comunicación los núcleos urbanos entre sí. Destaca la autopista A-6 que, con dirección submeridiana, atraviesa el sector oriental, pero no hay que olvidar los numerosos caminos y pistas que hacen posible el acceso a la totalidad de la superficie de la hoja.

3.2. ANTECEDENTES

Los trabajos de carácter geomorfológico, referentes a este sector de la Depresión del Ebro, son muy escasos y más aún los que afectan de forma específica al territorio ocupado por la hoja de Marcilla. Entre los estudios de carácter general, cabe señalar el de GUTIÉRREZ y PEÑA (1994) que considera la totalidad de la cuenca, pero 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, éstos se dirigen principalmente a los depósitos de terrazas y glacis de los ríos Ebro y Aragón, destacando los de RIBA y BOMER (1957) y LERÁNOZ (1989), mereciendo la pena señalar el de LERÁNOZ (1990 a) que aborda, además, el endorreísmo del sector meridional navarro. Por su relación directa con la zona de estudio, cabe señalar los trabajos de MENSUA y BIELZA (1974) y LERÁNOZ (1990 b), centrados en el curso bajo del río Ega (al norte de la hoja de Marcilla), así como el de JUARISTI (1979) que aborda las terrazas y glacis del sector meridional del valle del Arga.

También es preciso destacar las aportaciones de las hojas geológicas a escala 1:50.000 correspondientes al Plan MAGNA de la región, especialmente las de y Peralta (206), Calahorra (243) y Alfaro (243), que incluyen un capítulo de geomorfología con su correspondiente esquema a escala 1:100.000. Por último, hay que hacer una mención especial a las hojas geológicas y geomorfológicas a escala 1:25.000 realizadas dentro del presente proyecto: "Actualización e informatización de la cartografía geológica de Navarra" en las zonas limítrofes (San Adrián, 205-IV y Lodosa, 206) por los numerosos datos aportados y la puesta al día llevada a cabo sobre las características geológicas de la región.

3.3. ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO

El estudio morfológico que aquí se realiza ha sido abordado desde dos puntos de vista muy diferentes. Por un lado, se considera el relieve desde un punto de vista estático, es decir, como una consecuencia del sustrato geológico y de la disposición del mismo

(estudio morfoestructural) y por otro, desde la dinámica que supone la incidencia de los procesos exógenos sobre dicho sustrato (estudio del modelado).

3.3.1. ESTUDIO MORFOESTRUCTURAL

La Hoja de Marcilla(243-I) se localiza en la Cuenca de La Rioja-Navarra, perteneciente a un sector de la Depresión del Ebro, caracterizado por una clara influencia de la estructura y la tectónica en el relieve. De acuerdo con los rasgos regionales más relevantes, los afloramientos terciarios integran el dominio principal, que aparece atravesado, de norte a sur, por los valles de los ríos Aragón y por el Ebro en el sector suroeste.

3.3.1.1. Formas estructurales

El dominio terciario, constituido por un conjunto sedimentario de edad Oligoceno-Mioceno, se caracteriza por una serie alternante lutítico-yesífera con intercalaciones de diversos niveles de calizas y areniscas. Como consecuencia de la mayor resistencia a la erosión de algunos de estos niveles, los resaltes estructurales a que dan lugar, quedan patentes en el paisaje, definiendo la estructura tectónica de la zona, consistente en una sucesión de pliegues de orden kilométrico y decakilométrico, anticlinales y sinclinales, cuya continuidad regional aparece interrumpida por la red de drenaje.

Las formas estructurales que aquí aparecen, poseen gran continuidad, con frecuencia de varios kilómetros y se limitan a líneas de capa, más o menos pronunciadas. Pero como la serie estratigráfica suele estar verticalizada, los resaltes pueden parecer crestas, aunque por sus dimensiones y proximidad, nunca llegan a serlo.

3.3.1.2. Estructura de la red de drenaje

Excepción hecha del río Arga que discurren de norte a sur, siguiendo la línea de máxima pendiente regional, con un marcado carácter consecuente, la red de drenaje presenta una jerarquización claramente condicionada por la estructura. Así, una buena parte de la misma posee carácter subsecuente, de tal manera que se adapta a las depresiones paralelas a los principales resaltes, de directriz predominante NO-SE. En otras zonas posee una mayor irregularidad debido a la superposición de las deformaciones salinas locales sobre la tectónica regional o a la profusión de afloramientos de naturaleza arcillosa en los que se observa un drenaje más deficiente.

Finalmente, conviene destacar que aunque muy poco visibles, en esta hoja, existen deformaciones muy localizadas en algunas terrazas como consecuencia de la tectónica de yesos. Estos fenómenos son observables en la hoja de Lodosa (205), en el valle del Ega, en las terrazas situadas al norte de Andosilla, así como en esta hoja de Calahorra (243-II), en los alrededores de San Adrián, en la zona de confluencia con el Ebro.

3.3.2. ESTUDIO DEL MODELADO

El relieve de esta zona también es el resultado de la acción de los procesos externos, tanto erosivos como sedimentarios, que han actuado durante el Terciario y el Cuaternario sobre la estructura regional. Dichos procesos tienen origen gravitacional (de laderas), fluvial, poligénico, endorreico y antrópico y son los que se describen a continuación.

3.3.2.1. Formas de laderas

Los procesos relacionados con la dinámica de laderas son muy frecuentes debido a la existencia de desniveles que aunque no muy importantes, son suficientes para producir transporte por gravedad. Sin embargo, sí existe un gran escarpe en la margen oeste del río Aragón, escarpe con una altura entre 30 y 120 m, al pie del cual se puede encontrar un verdadero muestrario de formas, con él relacionadas. No obstante, la representación cartográfica de estas formas, se limita a coluviones, desprendimientos y vertientes de bloques.

Los coluviones son muy abundantes sobre toda en el cuadrante sureste donde aparecen como bandas delgadas a favor de la dirección de las estructuras y, en general, adosados a los fondos de valle o a la parte baja de las laderas. Los desprendimientos se producen a favor del gran escarpe del río Aragón, donde la inestabilidad y los procesos meteorológicos, favorecen la caída de grandes bloques que se acumulan al pie del talud. Esta acumulación alcanza, a veces, grandes proporciones, dando lugar a lo que se denominan vertientes de bloques, mayoritariamente de composición yesífera

3.3.2.2. Formas fluviales

Constituyen, sin duda alguna, el grupo de mayor relevancia y con mayor desarrollo superficial, debido al cortejo de terrazas que escalonan los valles de los ríos Ebro, Aragón y Arga. Junto a ellas, hay que considerar también: conos de deyección, cauces abandonados, barras de acreción lateral, sin olvidar las llanuras de inundación y los fondos de valle correspondientes a otros cursos de menor entidad. Entre las formas erosivas, se han reconocido huellas de incisión lineal y de arroyada difusa, escarpes de terrazas, cárcavas y cabeceras de cárcavas.

Los fondos de valle aparecen, por lo general, con formas alargadas y estrechas, cuya longitud varía sensiblemente de unos arroyos a otros. Los fondos de valle más rectilíneos son los que se encuentran en el cuadrante suroriental de la hoja, donde se acomodan a la estructura de las capas con una dirección general NO-SE. En algunas zonas, la naturaleza arcillosa de los sedimentos provoca la difusión del drenaje, pudiendo producirse procesos de tipo endorreico o semiendorreico.

La llanura de inundación sólo se ha reconocido en un afluente del río Aragón que desemboca junto a la localidad de Villafranca y que en el mapa topográfico aparece sin nombre. Su forma es alargada, rectilínea, con dirección SE-NO, de fondo plano y

con una anchura de aproximadamente 1 Km. En la hoja de Peralta, adyacente por el norte, la llanura de inundación de los ríos Arga y Aragón, se ha representado conjuntamente con la terraza más baja.

Los sistemas de terrazas de los ríos Ebro, Aragón y Arga constituyen el grupo de formas de origen fluvial más importantes, habiéndose diferenciado cinco niveles a +3-5 m, +7-10 m, +15-20 m, +40-45 m y +90-100 m,. Los tres niveles inferiores se han considerado como terrazas “bajas” y poseen un dispositivo de terrazas solapadas o encajadas y localmente, colgadas en tanto que los dos siguientes han sido considerados como terrazas “medias” y “altas”, respectivamente apareciendo siempre con un dispositivo de terrazas colgadas.

La terraza baja es la que alcanza un mayor desarrollo superficial y el resto de ellas se disponen escalonadamente, quedando separadas unas de otras por escarpes, producto del encajamiento de la red fluvial. Los que limitan a las terrazas bajas, ofrecen una mayor continuidad superficial y son más netos, mientras que los pertenecientes a las terrazas altas y medias están menos definidos.

Uno de los rasgos que en ocasiones puede observarse en las terrazas son las deformaciones relacionadas con los procesos de disolución del sustrato yesífero. Aunque en esta hoja no son muy llamativos, en la contigua hoja de Lodosa (205), por el NO, se mencionan colapsos, basculamientos y plegamientos que, en cualquier caso, modifican el aspecto típico de estos depósitos a lo largo del curso bajo del Ega desde las proximidades de Andosilla hasta San Adrián y en ambas márgenes. En esta hoja, uno de los ejemplos más visibles es la terraza mas alta del río Aragón, basculada hacia el SO.

Asociados a las terrazas “bajas” se presentan 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.

Las barras también aparecen relacionadas con el curso de los ríos principales, ocupando parte de su cauce activo. En ellas se pueden observar, sobre todo en la fotografía aérea, las cicatrices de acreción lateral de las mismas.

También se han reconocido conos de deyección en la margen izquierda del río Ebro. Estas formas se generan cuando la carga concentrada en barrancos estrechos alcanza áreas más amplias, expandiéndose y dando lugar a sus típicas morfologías en abanico. Aunque los conos se suelen presentar como formas aisladas, a veces, la proximidad entre los barrancos hace se solapen unos conos con otros, dando como resultado formas coalescentes, a modo de bandas que orlan algunas laderas, como sucede en el paraje de La Arzagosa.

En cuanto a las formas erosivas de origen fluvial, también poseen una amplia distribución, destacando la incisión lineal, generalmente con desarrollo transversal a los cursos principales. El desarrollo de cárcavas, con sus correspondientes cabeceras,

es frecuente en los afloramientos arcillosos y yesíferos, donde el carácter "blando" favorece el desarrollo de una profunda incisión; no obstante, debido a sus reducidas dimensiones, carecen con frecuencia de representación cartográfica.

3.3.2.3. Formas endorreicas

Se forman en áreas de topografía muy suave y de sustrato impermeable. Ambas condiciones se dan de sobremanera en la zona de estudio y se encuentran representadas en los sectores centro-occidental y centro-occidental. En el primer sector aparecen como pequeñas formas subredondeadas u ovaladas, mientras que en el segundo ocupan zonas de valle por lo que sus formas son estrechas y alargadas. El fondo endorreico de mayor tamaño es el que se sitúa en los parajes de Peñalfons y El Agudiel. Como en épocas de lluvias se han visto encharcadas, hay que pensar que son todavía funcionales.

3.3.2.4. Formas poligénicas

Están representadas por glacis y aluviales-coluviales. Los glacis, bastante bien desarrollados, se sitúan en el sector noreste de la hoja a partir de la terraza más alta de la cual se alimentan. En este caso, sus depósitos y su morfología son muy similares a los de aquella, aunque presentan un mayor grado inclinación hacia el valle. Su morfología en planta es palmeada y originada, sin duda, por la incisión de los arroyos que los cortan. Su perfil es plano-convexo con inclinación hacia las partes distales. Los glacis originados al norte de la terraza de +90-100 m, tienen menor desarrollo.

En algunos sectores, sobre el Terciario, parecen reconocerse restos de superficies de erosión degradadas que. Dado su dudoso reconocimiento, no han sido cartografiadas pero es muy posible que estén relacionadas con el desarrollo de la red fluvial, principalmente de los ríos Arga, Aragón y Ebro. Lógicamente, su interpretación en el contexto del encajamiento de la red fluvial actual, hace que se las relacione con el Cuaternario.

Los depósitos de origen aluvial-coluvial no son muy abundantes y se distribuyen por toda la superficie de la hoja, sobre los diversos materiales del Terciario. Su génesis, en principio fluvial, se encuentra parcialmente enmascarada por los aportes laterales que procedentes de las laderas dificultan la diferenciación de los sedimentos claramente fluviales de los incorporados por las laderas. Al igual que los fondos de valle, se adaptan en muchos casos a las estructuras de plegamiento

3.3.2.5. Formas antrópicas

La actividad antrópica constituye una importante característica en esta zona. Son dignas de atención todas aquellas modificaciones del paisaje que están en relación con la explotación de áridos en los diferentes niveles de terrazas. Sólo se han cartografiado aquellas formas que tienen una cierta entidad como canteras y explotaciones, así como algunas balsas relacionadas con actividades agropecuarias

Otras modificaciones de menor entidad están relacionadas con las redes de transporte y de nuevos asentamientos urbanos o industriales. La remoción de materiales y la modificación de la topografía original, bien allanando, rellenando o ahuecando es, intensa.

3.4. FORMACIONES SUPERFICIALES

Se definen como formaciones superficiales todos aquellos depósitos, coherentes o no, que pueden sufrir una consolidación posterior y que están relacionados con la evolución del paisaje que vemos en la actualidad (GOY et al., 1981). Deben caracterizarse por ser cartografiables a la escala de trabajo y por estar definidas por una serie de atributos tales como geometría, textura, tamaño, potencia y, siempre que sea posible, edad. A continuación se abordan todos estos aspectos.

Las formaciones superficiales de ladera están constituidas por coluviones y laderas de bloques. Los primeros son depósitos de reducido espesor, en general inferior a 2 m, y moderada representación superficial. Su constitución litológica depende directamente de la naturaleza de su área madre por lo que algunas veces predominan los cantos y arenas procedentes de los depósitos de las terrazas y otras, las lutitas con cantos y bloques angulosos y subangulosos, de tamaño variable, de yesos y areniscas.

Las vertientes de bloques forman un conjunto litológico integrado por fragmentos procedentes de un área fuente común que son los escarpes de yesos de la margen occidental del río Aragón. En su mayor parte, están constituidas por fragmentos angulosos de gran tamaño, con diámetros que pueden alcanzar varios metros, de composición yesífera y a veces con una matriz limoso-arcillosa. Estos fragmentos caen por gravedad desde la parte alta de los escarpes, cuando alcanzan un cierto grado de inestabilidad. Su geometría es muy irregular, pero lo más frecuente es que se presentan a modo de cuña al pie de los escarpes. Este factor influye en la variabilidad de su potencia, pero generalmente tienen valores de orden métrico. Por su relación con la dinámica actual, les corresponde una edad Holoceno

Las formaciones superficiales de origen fluvial están representadas por fondos de valle, llanuras de inundación, conos de deyección, terrazas, cauces abandonados y barras. Los fondos de valle están constituidos mayoritariamente por lutitas grises y ocre que incluyen cantos de tamaño variable y, en ocasiones, gravas y bloques. En menor medida, también poseen niveles de arena. La litología de sus componentes es muy variable, predominando los fragmentos de yesos o de areniscas según el área fuente. La potencia, no siempre visible suele estar comprendida entre 3 y 5 m. Su edad es Holoceno.

Los conos de deyección están formados por limos y arcillas con delgadas hiladas de cantos ocasionales. A veces se aprecian cementaciones, aunque son siempre muy superficiales y de poca consistencia. Estos depósitos que se disponen a la salida de algunos barrancos, tienen una litología que lógicamente es función del área madre, pero dada la naturaleza de la zona, predominan, en cualquier caso, los constituyentes de carácter yesífero. Es frecuente el solapamiento o la coalescencia de varias de

estas formas, dando lugar a conjuntos de amplio desarrollo lateral. Por su relación con el relieve actual y en particular con la red fluvial, se han enmarcado en el Holoceno.

La única llanura de inundación que se ha representado en esta hoja, corresponde a un afluente del Aragón, por su margen izquierda y que desemboca entre las localidades de Marchilla y Villafranca (no tiene asignado nombre en el mapa topográfico). Dado el suave relieve de la zona, la llanura está poco encajada, su fondo es muy plano y tiene aproximadamente un Km de anchura. La litología, aunque similar a la de las terrazas colindantes, difiere bastante en la textura, pues tiene un mayor contenido en elementos finos, sobre todo en limos.

Las terrazas cartografiadas en esta hoja pertenecen a los sistemas fluviales de los ríos Ebro, Aragón y Arga. Como ya se ha mencionado mas arriba, se han diferenciado cinco niveles a +3-5 m, +7-10 m, +15-20 m, +40-45 m y +90-100 m. En cualquier caso, es preciso recordar que algunas de estas cotas pueden haber sido modificadas debido a las deformaciones neotectónicas de los yesos que constituyen su sustrato. La litología es muy similar en casi todas ellas, si bien la granulometría y el grado de cementación, por carbonatos, muestran ciertas variaciones. En general, están formadas por gravas y cantos polimícticos, con arenas y lutitas en proporción variable, predominando los clastos redondeados de naturaleza areniscosa y carbonatada. Cuando la cementación es acusada constituyen auténticos conglomerados. En cuanto al tamaño de los cantos, es muy variable, presentando en ocasiones dos modas; se encuentran clastos de hasta 50 cm de diámetro en las terrazas altas, aunque el tamaño medio fluctúa entre 10 y 20 cm. Frente a estos valores, en las terrazas bajas predominan los diámetros de 6-8 cm, con máximos de 15 cm. Los espesores son también muy irregulares, siendo habituales las potencias de 3-4 m. En hojas próximas se reconocen valores superiores a 10 m en las terrazas "altas" y se señalan, espesores anómalos de hasta 30 m en sectores próximos, explicados en relación con fenómenos de subsidencia diferencial en áreas localizadas. Sin embargo hay que decir que en la hoja de Marcilla, a escala 1:25.000, y en las adyacentes que conforman la hoja de Alfaro, a escala 1:50.000, este hecho no ha sido observado. Con frecuencia las terrazas bajas y medias desarrollan suelos que por sus características son frecuentemente utilizados para el cultivo. 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. Por su relación con respecto a la red fluvial actual, se han atribuido al Pleistoceno, excepción hecha de los niveles inferiores, pertenecientes al Holoceno.

Los cauces abandonados están formados por gravas, arenas y lutitas, con una litología muy similar a la de las terrazas en las que se encuentran. El tamaño de los cantos es variable, con ocasionales clastos de tamaño bloque y con una litología muy variada, si bien predominan los constituyentes carbonatados y areniscosos. Con frecuencia desarrollan suelos que, por sus características, son utilizados para el cultivo.

Las barras de acreción lateral, están constituidas casi exclusivamente por cantos, gravas y bloques, debido a que gran parte del material fino ha sido lavado por las aguas, al encontrarse en el cauce activo del río. Por su posición con respecto a las terrazas "bajas", tanto los cauces abandonados como las barras, se han atribuido al Holoceno.

Por lo que se refiere a las formaciones superficiales de origen endorreico hay que señalar que se trata de depósitos finos asociados a áreas de drenaje deficiente, es decir a áreas donde se producen encharcamientos superficiales. Por lo general son arcillas grises y limos, a veces yesíferos, con un cierto contenido en materia orgánica y que en general poseen poco espesor. Ocasionalmente pueden intercalar depósitos más groseros suministrados por los emisarios que a veces alcanzan la pequeña depresión. Se les asigna una edad holocena.

Finalmente, se tratan aquí, las formaciones superficiales de origen poligénico, representadas por depósitos de glaciares y aluviales-coluviales. Los primeros se producen sobre depósitos neógenos, contribuyendo a la morfología actual de las vertientes del sector nororiental. Por lo general, su composición refleja la del sustrato sobre el que se desarrollan, así como la de los relieves al pie de los cuales se generan, pero en este caso se forman a partir de las terrazas altas por lo que su composición y textura refleja dicha influencia. Están constituidos cantos y gravas, a veces gravas y bloques, con morfología subangulosa a redondeada y de composición cuarcítica y calcárea. La matriz es limoso-arcillosa de colores grises y ocre. A estos depósitos, por estar colgados y desconectados de la red fluvial actual, se les supone una edad pleistocena.

Los aluviales-coluviales son depósitos de origen aluvial a los que se suman importantes aportes laterales, difíciles de separar de los primeros. Por lo general se localizan en áreas de topografía muy suave y en zonas con cursos de carácter ligeramente divagante y bastantes efímeros. Su litología, por regla general, corresponde a materiales finos, generalmente limos, a veces yesíferos, y arenas procedentes de zonas laterales o arrastrados por el propio curso de los arroyos. Su espesor puede llegar a ser considerable, del orden de 3-6 metros. Su edad es holocena.

3.5. EVOLUCIÓN DINÁMICA

La evolución geomorfológica de una zona de reducidas dimensiones es difícil de establecer sin integrarla en un ámbito regional más amplio, por lo que es preciso encuadrar la superficie de la hoja de Marchilla en el contexto de la Depresión del Ebro.

Las superficies de erosión aparecen claramente encajadas en las principales superficies de los sistemas montañosos que bordean la cuenca del Ebro y, aunque poco puede precisarse sobre el modelado finineógeno en la zona, debido a la ausencia de depósitos del intervalo Mioceno superior-Plioceno, parece probable la pertenencia de aquéllas al Cuaternario.

Aunque en la hoja de Marchilla no se han cartografiado superficies de erosión por su alto nivel de degradación, sí se denuncia la presencia de arrasamientos. La superficie más próxima reconocida, se desarrolla en el sector noroccidental de la contigua hoja de Peralta, por el norte, y los autores relacionan su génesis con la de los niveles de terraza altos de los ríos Ega y Ebro, por lo que puede considerarse como la superficie de la cual arrancó el encajamiento de la red fluvial en ese sector, y por tanto, el desmantelamiento del relieve finiterciario en la zona. Suele estimarse que este

proceso de desmantelamiento se inició a comienzos del Cuaternario por los agentes externos, sin que deba olvidarse que la evolución del modelado ha estado condicionada en todo este periodo por la estructura del sustrato.

El episodio sedimentario más antiguo está representado, también en las contiguas hojas de Peralta y Rada, por los depósitos de abanicos aluviales procedentes de los relieves de los sectores septentrional y oriental, probablemente de edad Pleistoceno inferior, dando como resultado la creación de una superficie “a techo” ligeramente inclinada hacia el sur. Esta superficie constituyó, sin duda, el punto de partida del encajamiento de la red fluvial, principal modeladora de la zona y que ha llevado aparejados una serie de procesos denudativos y sedimentarios entre los que destacan la erosión de los relieves por parte de los cauces principales y la acumulación de depósitos fluviales que dan lugar a las terrazas.

Una vez esbozada la red principal, representada aquí por los ríos Ebro, Aragón y Arga, con valles aún poco pronunciados, posiblemente a finales del Pleistoceno inferior, dio comienzo el encajamiento generalizado de la red secundaria, que propició, 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.

Ya en el Holoceno, la dinámica fluvial ha seguido gozando de una gran preponderancia en el modelado de la región, dando lugar a nuevos conos de deyección, fondos de valle, etc. Los procesos de ladera han dejado su huella en coluviones, desprendimientos y laderas de bloques y empiezan a adquirir cierta relevancia los procesos endorreicos, favorecidos por una clara disminución de las pendientes regionales y la existencia de un sustrato impermeable de naturaleza arcilloso-yesífera.

La influencia del sustrato también ha sido puesta de manifiesto por la abundancia de formas estructurales modeladas por la erosión y que constituyen elementos característicos del paisaje actual en la región.

3.6. MORFOLOGÍA ACTUAL-SUBACTUAL Y TENDENCIAS FUTURAS

La fisonomía actual de la Hoja de Marcilla es debida fundamentalmente a dos factores, la estructura del sustrato y el encajamiento de la red fluvial y se plasma en la existencia de dos dominios morfológicos principales: “Relieves Terciarios” y “Valles Cuaternarios”

En general, la red fluvial se encaja mediante procesos de incisión vertical, más acusados en la red secundaria que incide los sedimentos terciarios. Estos procesos van acompañados por retrocesos de laderas y, en algunas zonas, acaravamientos.

La previsible evolución del relieve a corto plazo no sugiere modificaciones importantes en relación con los procesos actuales, siendo de esperar una tendencia general de aproximación del relieve al nivel de base local, marcado por los ríos Ebro y Aragón. Si

bien en las áreas de afloramiento de materiales blandos, las formas se suavizarán y habrá un aumento del carácter endorreico. Además, la superior resistencia a la erosión de algunos materiales podría exagerar, en algunas zonas, los desniveles asociados con algunas formas estructurales. Por último, resulta imposible predecir todas aquellas modificaciones relacionadas con las deformaciones de los materiales yesíferos.

4. HISTORIA GEOLOGICA

La Hoja a escala 1:50.000 de Alfaro, de la que forma parte el cuadrante 244-II, Rada, se sitúa en el centro de la Depresión del Ebro, y dentro de esta, se ubica en la denominada Cuenca Navarro-Riojana (SALVANY, 1989) que constituye una subcuenca de la cuenca del Ebro.

Teniendo en cuenta las distintas unidades caracterizadas en esta Hoja y las hojas limítrofes, en este apartado se va a tratar de ajustar una síntesis paleogeográfica y evolutiva que de idea de la historia geológica de esta zona.

La cuenca terciaria del Ebro es una de las grandes cuencas terciaria peninsulares, junto con las cuencas del Duero y la del Guadalquivir. Esta cuenca se ha mantenido activa desde el Paleoceno hasta el Mioceno terminal, variando su configuración geográfica a lo largo del tiempo en función del levantamiento de las cordilleras limítrofes: Pirineos al Norte, la Ibérica al Sur y las Catalánides hacia el Este, de las cuales la mayor influencia es la de la Cadena Pirenaica, que se ha levantado cabalgando los depósitos terciarios. Respecto a esta cadena, la Depresión del Ebro se comporta como cuenca de antepaís meridional a lo largo del Terciario.

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

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

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

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

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

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

Esta historia geológica que se desarrolla a continuación se establece de acuerdo con los datos obtenidos en la Hoja y con los del entorno próximo

Los primeros registros que aparecen en estas Hojas corresponden a los depósitos evaporíticos de la Fm. Yesos de Falces, pertenecientes al Oligoceno superior. En este período se instala en el sector central de la Cuenca Navarro-Riojana este cuerpo evaporítico de gran extensión, que ocupa los núcleos anticlinales de las estructuras existentes. Los depósitos aluviales correlativos o equivalentes están integrados en la vertiente pirenaica por las facies de Sangüesa, Cáseda y Mués y por la Fm. Arnedo en el margen meridional.

Una vez culminado este episodio evaporítico de la Fm. Falces, a continuación se produce una etapa de propagación aluvial que se evidencia en la zona por el desarrollo de la Fm. Marcilla, que enlaza hacia el N con los términos superiores de las Facies de Sangüesa y hacia el Sur con los de la Fm. Arnedo.

En el tránsito entre el Oligoceno Superior y el Mioceno Inferior se registran variaciones sucesivas en la configuración de la paleogeografía de la Cuenca Navarro-Riojana que se traducen estratigráficamente en una alternancia entre unidades detríticas y evaporíticas de gran continuidad, (SALVANY, 1989), configurando en conjunto la Fm. Lerín, formada por alternancia de ciclos evaporíticos, (Alcanadre, facies yesíferas de Peralta y Sesma, y Yesos de Los Arcos), y ciclos de carácter detríticos (facies detríticas de Peralta, Sesma y Arcillas de Villafranca):

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

En el Mioceno, los sistemas aluviales presentan una disposición axial submeridiana y se generan facies aluviales proximales indicativas claramente ya del desplazamiento hacia el Sur del margen de la cuenca (Unidad de Olite y Facies Las Bardenas) y más

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

La sedimentación de la Fm Tudela, y sus equivalentes, Fm. Olite y Miranda de Arga, se localizan por toda la zona y fuera ya de ella en los sinclinales de Miranda de Arga y en la continuación hacia el Oeste del de Peralta. Hacia el Oeste, se expande la Unidad de Olite, estando representada por facies aluviales distales. Esta, se acuña hacia el Sur por su disposición en *on lap* y por tránsito en vertical a las Unidades de Miranda de Arga, que incluyen niveles lacustres carbonatados.

Se producen en consecuencia, durante los tiempos miocenos una marcada reestructuración paleogeográfica en la cuenca que queda cubierta por facies aluviales con el desplazamiento de la sedimentación evaporítica lacustre (Yesos de Zaragoza) hacia el Este. Las facies aluviales más progradantes y proximales de procedencia pirenaica se encuentran aflorantes en las Sierras de San Pedro y Peña y tienen sus equivalentes laterales en la Unidad de Artajona y se sitúan por el S y SE. sobre la Unidad de Olite y sobre las Facies de Las Bardenas. Por el Sur y Suroeste, los depósitos de atribución correlativa están integrados por las Fms. Fitero, Cascante y Alfaro, que en esta zona están representados por lutitas rojas y ocre con intercalaciones de canales de conglomerados (equivalente de la Fm. Cascante) y la Fm. Alfaro por depósitos arcillosos de color rojo.

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

El plegamiento sinsedimentario es el responsable de la discordancia progresiva del borde de cuenca y por consiguiente de las discordancias internas reconocibles como p.e. la discordancia basal de la Unidad de Olite (Fm. Tudela) con su marcado carácter erosivo y la disposición en *on lap* hacia las principales estructuras anticlinales. También se encuentran relacionados con este plegamiento las notables diferencias de espesor observables de un flanco a otro de algunas estructuras como la del anticlinal de Falces y el sinclinal de Peralta y en definitiva de la compartimentación incipiente en la zona a favor de los surcos sinclinales.

El origen del plegamiento está relacionado con alguna de las fases de compresión pirenaica, pero su posterior evolución debe relacionarse también con la plasticidad de las evaporitas que se presentan en el núcleo, principalmente, y flancos de las estructuras anticlinales. Este hecho se fundamenta en las estructuras observadas en los distintos cortes a través de los anticlinales de Falces y Arguedas, donde se puede apreciar que las estructuras que presentan los yesos son totalmente diapíricas, llegando a sobreponerse como en el caso del corte del río Aragón entre Marcilla y Caparroso.

Este plegamiento puede considerarse sincrónico a la sedimentación terminal de la Fm. Lerín, lo que configuraría una cuenca con subsidencia diferencial, con valores máximos en el fondo de los sinclinales y mínimos en las alineaciones anticlinales.

Paralelamente a estas fases compresivas que originó el plegamiento y diapirismo en esta zona, se produjo la reactivación de fallas del subsuelo que ocasionaron el levantamiento de bloques, y produciendo el hundimiento del valle del Arga. El hundimiento de esta fosa sería la responsable de la distinta altitud a la que se encuentran los depósitos equivalentes de la Fm. Cascante, ya que, en el valle del Arga-Aragón, topográficamente aparecen en altitudes mucho más bajas que en las zonas situadas a Oeste y Este de este valle.

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

5. GEOLOGÍA ECONOMICA

5.1. RECURSOS MINERALES

En la Hoja a escala 1:25.000 de Marcilla (244-I), se han inventariado 5 indicios mineros, representados exclusivamente por rocas y minerales industriales. En su mayor parte se trata de canteras abandonadas, alguna intermitente, que corresponden a las siguientes sustancias: Yesos, 3 indicios y gravas, 2 indicios.

Las antiguas explotaciones de yesos se emplazan sobre la formación evaporítica de yesos de Falces. Las antiguas explotaciones de gravas se localizan, una de ellas en la cuenca del río Aragón y la restante, en la cuenca del Ebro.

5.1.1. MINERALES Y ROCAS INDUSTRIALES.

Los yesos constituyen la sustancia con más indicios registrados en la Hoja. Se han inventariado 3 indicios de yesos y 2 de gravas. Se describen también otras sustancias, arcillas especiales, arenas, sal y glauberita, por sus posibilidades de aprovechamiento en el futuro.

5.1.1.1. Yesos

Se ha reconocido 3 canteras de yesos en la Hoja. Dos de ellos se localiza en la esquina noroccidental de la Hoja, junto a la carretera Na-115, emplazándose en los yesos de la Fm. Yesos de Falces.

Esta Fm de los Yesos de Falces, junto con la Unidad de Los Arcos, presentan yesos en variedades alabastrinas, megacrystalinas y porfiroblásticas. Las litofacies nodulares contienen más arcilla y exhiben un aspecto tableado mientras que las litofacies laminadas son más puras y aparecen en capas más masivas.

Las canteras se encuentran en la actualidad abandonadas si bien, por sus características, ha debido registrar, en las últimas décadas, actividades extractivas intermitentes.

5.1.1.2. Gravas

Se han inventariado dos canteras de gravas en la Hoja, en las terrazas de los ríos Aragón y 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.

La potencia de los niveles de terrazas es de orden métrico, variable, por lo que la gravera presenta frentes de explotación con alturas comprendidas entre 2 y 10 m.

No se observan en la actualidad actividades extractivas si bien se puede registrar un funcionamiento ocasional con objeto de cubrir pequeñas demandas locales.

Es importante destacar que en la Unidad 25, canales de conglomerados, aparecen pequeñas canteras para la extracción de gravas, que han sido utilizadas para el relleno de caminos y que no pueden considerarse como canteras, al tratarse de pequeñas excavaciones para la obtención del material superficial (1-3 mts.)

5.1.1.3. Arcillas especiales

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

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

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

No se descarta no obstante la existencia de niveles de arcillas especiales, con alto poder de absorción, asociadas a las facies lacustres de la Fm. Lerín.

5.1.1.4. Sal común

Las Fms. de Falces y Lerín, presentan un evidente potencial minero de esta sustancia puesto que contienen sal, a profundidades poco distantes de la superficie, que puede extraerse mediante procedimientos simples de inyección de agua y bombeo de salmuera.

En la Hoja de Marcilla se desarrollan varios niveles evaporíticos destacables por su potencia y extensión. De muro a techo son: Yesos de Falces o Fm. Falces, y en la Fm Lerín, Yesos de Sesma y Yesos de Los Arcos.

5.1.1.5. 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, son frecuentes en la región las canteras establecidas sobre las principales intercalaciones de areniscas de las formaciones terciarias para la obtención de bloques de mampostería.

En la Hoja de Marcilla no se ha inventariado ningún indicio de esta sustancia, cuya cita en el presente epígrafe se debe únicamente a su potencial minero.

5.1.1.6. Glauberita

Aunque no se ha inventariado ningún indicio de esta sustancia en la Hoja, cabe señalar que 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 (antiguas labores mineras de Alcanadre-Arrúbal y San Adrián) en los que no ha llegado a ser disuelta aunque está parcialmente transformada en yeso secundario.

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-euhedrales 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. HIDROGEOLOGIA

5.2.1. INTRODUCCIÓN

En este apartado se describen las características hidrogeológicas de las distintas unidades de la Hoja a escala 1:25.000 nº 244-I correspondiente a Marcilla, y se establecen las características hidrogeológicas de distintas unidades acuíferas que aparecen.

5.2.2. DESCRIPCIÓN DE LAS FORMACIONES

A continuación se describen las principales características hidrogeológicas de las distintas unidades cartográficas que aparecen en la Hoja, agrupadas en función de sus características litológicas, geométricas y de permeabilidad.

- Fm. Yesos de Falces. Oligoceno superior-Mioceno inferior

La Fm. Falces incluye las unidades cartográficas 1 a 3, formadas esencialmente por yesos con intercalaciones de arcillas y margas, Unidades 1 y 2, y la Unidad 3 que representa niveles cartográficos de arcillas situados a techo de la formación. En esta Hoja afloran en los núcleos del Anticlinal de Arguedas y de Falces.

La Unidad 1 esta fuertemente replegada, mientras que la Unidades Superior (2) sigue la estructura de plegamiento general de la zona. Ambas unidades se presentan como un conjunto de yesos con intercalaciones menores de margas, dolomías y eventualmente arcillas con intercalaciones de areniscas. En profundidad incluye abundantes niveles de halita alternando con anhidrita, lutitas y dolomías.

Su potencia es muy variable debido a procesos halocinéticos si bien se estima un espesor deposicional de unos 1000 m.

Es una formación salina de muy baja permeabilidad ($<10^{-8}$ m/s) que puede sin embargo permitir cierta circulación de agua en los niveles superficiales por carstificación, aunque muy superficialmente.

- Arcillas de Marcilla y Peralta. Oligoceno superior-Mioceno inferior

Por encima de la Fm Yesos de Falces y mediante un contacto transicional se dispone un potente conjunto esencialmente arcilloso, que comprende de muro a techo las unidades de la Fm. Arcillas de Marcilla (Unidades 4, 5 y 6), y la Unidad Arcillas y yesos de Peralta (Unidades 8,9 y 10). Entre ambas formaciones se sitúa un nivel-guía de yesos de carácter regional que se describe como el Nivel de Alcanadre.

En esta Hoja, este conjunto aparece en ambos flancos del anticlinal de Arguedas y en el flanco Sur de Falces. La potencia media del conjunto es de unos 500 m y su techo está definido por los Yesos y Arcillas de Sesma.

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.

- Yesos y Arcillas de Sesma. Mioceno inferior

Como en la unidad anterior, los Yesos y Arcillas de Sesma (11 y 12) se desarrollan en la hoja a ambos flancos del Anticlinal de Arguedas. Su potencia aumenta de N a S pasando de unos de 50-60 m a cerca de 100 m.

La unidad 10 aparece 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).

Esta es una unidad salina 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.

En el caso de las arcillas, son lutitas de colores ocres con algunas intercalaciones yesíferas. Su permeabilidad es muy baja.

- Arcillas de Villafranca. Mioceno inferior

Es el tramo arcilloso superior de la Fm. Lerín, separando los Yesos de Sesma de los de Los Arcos.

Litoestratigráficamente responde al término de Arcillas de Villafranca (13). Se ha diferenciado también un tramo areniscoso (14) y su potencia total media en la Hoja es de 75-80 m.

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

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

- Yesos de Los Arcos. Mioceno inferior

Los Yesos de Los Arcos (15-16) representan el nivel evaporítico más importante de la Fm. Lerín, por su potencia y continuidad. Aparece como un potente paquete yesífero

de aspecto masivo o tableado que alcanza una potencia de unos 200 m. Intercalados aparecen niveles arcillosos, que cuando tienen continuidad cartográfica se han cartografiado como la unidad 17.

Como en el resto de las unidades de la Fm. Lerín, los Yesos de Los Arcos, ocupan los flancos del anticlinal de Arguedas. En profundidad contiene niveles de halita en proporciones destacadas, que alternan de forma más o menos rítmica con anhidritas, dolomías y lutitas.

Constituye una formación salina de muy baja permeabilidad, ($<10^{-8}$ m/s).

- Fm.. Tudela. Mioceno inferior a medio

La Fm. Tudela esta formada por una potente series de arcillas rojizas (19), en las que se intercalan niveles de areniscas y calizas margosas que cuando alcanzan suficiente expresión cartográfica se han diferenciado (20). Se dispone de forma discordante sobre la Fm. Lerín mediante un contacto truncacional y erosivo.

Esta unidad ocupa grandes áreas de la mitad oriental de la Hoja, con una potencia máxima del conjunto estimada en unos 300 m

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

- Formaciones cuaternarias de alta permeabilidad

Se agrupan en esta apartado las formaciones permeables del Cuaternario que 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 de los principales ríos Ebro, Aragón y Arga. Las terrazas medias y bajas se desarrollan de forma escalonada ocupando extensas superficies junto con otros materiales clásticos de génesis fluvial, y las terrazas altas algo más aisladas, desconectadas parcialmente del cauce actual.

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

La permeabilidad es alta, al menos para los niveles bajos y medios, por porosidad intergranular dada su granulometría grosera, escasez de matriz lutítica y poca o nula cementación.

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, endorreicos y conos aluviales.

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.

5.2.3. 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

5.2.3.1. Unidad Hidrogeológica Sur

- Geometría

La Hoja se emplaza en el sector central de la Cuenca por lo que predominan las facies lutíticas de origen aluvial y las formaciones evaporíticas lacustres, constituyendo un conjunto bastante impermeable. Dentro de esta Cuenca, la Unidad Hidrogeológica Sur está representada por los materiales terciarios de relleno de la Cuenca del Ebro en condiciones endorreicas.

La estructura 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 estos niveles alcanzan espesores de orden métrico constituyendo acuíferos locales de escasa entidad.

Por lo que se refiere a las unidades evaporíticas, estas pueden presentar potencias de hasta cerca de 1000 m (Fm. Falces), según se deduce de datos de sondeos, aunque normalmente forman en superficie intervalos yesíferos muy expansivos de unos 50 a 200 m de potencia, (Yesos de Sesma y de Los Arcos básicamente), 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, en la Hojas 243 y 244, profundidades máximas del orden de algunos metros, ya que normalmente se encuentran intercalados niveles arcillosos que impiden la circulación del agua, como es el caso de la Unidad Yesos de Los Arcos.

- Funcionamiento hidrogeológico

Los niveles más potentes de areniscas (Areniscas de Villafranca, etc.) 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.

Los horizontes de calizas de mayor potencia (2-3 m de espesor máximo, en las Calizas de la Fm. Tudela) pueden albergar agua y permitir su circulación través de fracturas.

En los principales niveles evaporíticos, la permeabilidad se origina en los niveles superficiales por karstificación de los yesos, lo que puede dar lugar, en ocasiones, a manantiales salinos, pero muy superficiales y de escasa entidad

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

- Parámetros hidráulicos

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

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

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.

5.2.3.2. Unidad Hidrogeológica Aluvial del Ebro y Afluentes

- Geometría

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

En la presente Hoja, (Marcilla, 244-I), comprende los acuíferos cuaternarios ligados al curso bajo del Arga en su confluencia con el río Aragón, y cuaternarios del Ebro. Los niveles de mayor interés se encuentran en las terrazas bajas y medias de los ríos, si bien se integran también en la Unidad Hidrogeológica las terrazas altas y parte del sistema de abanicos aluviales existentes.

En esta Unidad, los niveles acuíferos aparecen relacionados con depósitos de arenas y gravas de cantos heterométricos, y registran una escasa o nula cementación, normalmente intercalados en materiales limosos y arcillosos, correspondientes esencialmente a llanuras de inundación y terrazas bajas de los ríos Arga, Aragón y Ebro.

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

- Funcionamiento hidrogeológico.

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

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

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

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

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

- Parámetros hidráulicos.

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

Las aguas del acuífero del Aragón muestran una composición muy poco variable, son netamente bicarbonatadas cálcicas registrando una dureza media y mineralización alta. En el Arga se trata de aguas bastante duras y mineralizadas, de carácter clorurado sódico.

5.2.3.3. MANANTIALES

Dentro de los niveles acuíferos descritos individualmente con anterioridad, destaca el conjunto de materiales cretácicos. Este acuífero que sufre numerosas compartimentaciones por efecto de la tectónica regional tiene en esta zona algunos de los puntos de descarga más significativos, dichos puntos, en las Hojas 244, se localizan en el listado adjunto:

CODIGO	NOMBRE	TIPO	CUENCA	SUBCUEN1	MUNICIPIO
704	EL PUENTE I	Manantial	EBRO	EBRO	MILAGRO
12730	EL PUENTE II	Manantial	EBRO	EBRO	MILAGRO
730	LA TEJA	Manantial	EBRO	EBRO	MILAGRO
729	BALDEBUTRE	Manantial	EBRO	ARGA	FUNES

731	LA CASTELLANA	Manantial	EBRO	ARGA	FUNES
734	CEMENTERIO	Manantial	EBRO	ARGA	FUNES
735	BARRANCO TRUJAL	DEL Manantial	EBRO	ARGA	FUNES
744	DELALTO	Manantial	EBRO	ARGA	FUNES
697	LA QUEMADA	Manantial	EBRO	EBRO	VALTIERRA

5.3. GEOTECNIA

5.3.1. INTRODUCCIÓN

En este apartado se describe la cartografía geotécnica de la Hoja a escala 1:25.000 nº 244-I correspondiente a Marcilla, y se establecen las características geomecánicas de los materiales que la componen.

Esta caracterización geotécnica se ha realizado en función de la disponibilidad de datos geotécnicos que se han podido recopilar en obras y proyectos. En el caso de no disponer de esta información, se efectúa una valoración geotécnica según las características litológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas de los materiales.

El objetivo de este trabajo es proporcionar al usuario una información geotécnica de carácter general, pero lo suficientemente objetiva como para permitir la toma de posturas iniciales en temas de ordenación del territorio, o prever problemas en el planteamiento y diseño de campañas geotécnicas puntuales.

5.3.2. METODOLOGÍA

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

- Recopilación de los datos existentes: Dado que en la Hoja no se han podido recoger datos procedentes de obras y proyectos, realizados en Navarra por organismos públicos y empresas privadas, se ha acudido a las hojas contiguas donde existen datos geotécnicos sobre las mismas unidades
- Tratamiento de los datos: En esta etapa se trata de establecer, de la manera más adecuada posible la naturaleza actual de la roca, su comportamiento mecánico y/o hidráulico y, la evolución y propiedades de la roca bajo los procesos de meteorización. Los datos recopilados se clasifican en los siguientes grupos:

1. Identificación; establecen la naturaleza de la roca y su estado natural aparente (granulometría, límites de Atterberg, densidad y humedad, absorción, grado de meteorización).
 2. Clasificación; intentan establecer una idea general del comportamiento de la roca en relación a criterios previamente establecidos. Algunos de estos criterios se fijan en base a resultados de ensayos de resistencia. (Índice de Calidad, resistencia a compresión simple, point load test).
 3. 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, Brasileño).
 4. 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).
- 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). Como se ha señalado con anterioridad, cuando no ha sido posible disponer 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 las Hojas 1:50.000 de Calahorra (243) y Alfaro (244), en el ámbito de este trabajo, se ha dividido, en función 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 nueve Zonas, siguiendo criterios básicamente litológicos y morfológicos, ya que son éstos los que permiten diferenciar desde un punto de vista geotécnico los materiales de cada Área.

5.3.3.2. División en Áreas y Zonas Geotécnicas

Las Áreas geotécnicas consideradas en el conjunto de los 5 cuadrantes de las Hojas 243 (Cuadrante 243-II) y 244 (Cuadrantes I, II, III y IV) 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 I₁, I₂, y I₃

ÁREA II: ZONAS II₁ y II₂

ÁREA III: ZONA III₁, III₂, III₃, III₄ y III₅

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 Arguedas (244-IV).

UNIDAD CARTOGRÁFICA	ZONACIÓN GEOTÉCNICA	DESCRIPCIÓN
41, 42, 43, 46, 47, 50, 51 y 53	III ₄	Lutitas y limos con cantos
48 y 52	III ₃	Bloques y lutitas con cantos
38, 39, 40, 44, 45 y 49	III ₂	Lutitas y arenas con cantos
27 a 36,37	III ₁	Conglomerados, gravas, arenas y lutitas
20 y 22	II ₃	Conglomerados y calizas
18, 23 y 26	II ₂	Arcillas rojas y areniscas
19, 21, 24 y 25	II ₁	Arcillas rojas con intercalaciones de areniscas y calizas
3, 4, 5, 11 y 17	I ₃	Arcillas con intercalaciones de areniscas y carbonatos
8, 10, 13 y 14	I ₂	Margas, arcillas, yesos e intercalaciones de areniscas y carbonatos
1, 2, 6, 7, 9, 12, 15 y 16	I ₁	Yesos con algunas intercalaciones de margas

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

5.3.3.3. Características geotécnicas

5.3.3.3.1. Introducción

De los materiales que se disponen ensayos, aunque no sea en esta Hoja, se ha realizado una caracterización geomecánica utilizando los criterios que se señalan más adelante. No obstante, la generalización a cada zona de estos valores puntuales 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).

La caracterización geomecánica de los diferentes materiales, se ha realizado con ayuda de los ensayos de laboratorio y de campo. Hay que señalar que el número de ensayos geotécnicos es muy reducido, teniendo en cuenta la extensión de la zona y la diversidad de formaciones existentes, por lo que estos valores deben considerarse como orientativos y en ningún caso pueden sustituir a los ensayos geotécnicos de detalle. Se ha recopilado información de los siguientes ensayos:

- Granulometría. Del análisis granulométrico se ha considerado 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. La clasificación de los suelos cohesivos según su plasticidad se ha efectuado con el límite líquido (WL) y el índice de plasticidad (IP), utilizando la carta de plasticidad de Casagrande.
- Absorción de agua. Permite obtener una idea del grado de meteorización o fisuración por comparación de muestras del mismo material. Está relacionado con la expansividad del terreno.
- Grado de meteorización. Mediante reconocimientos y descripciones “de visu” se determina el grado de meteorización de las muestras según la siguiente relación:

Grado de meteorización	Denominación
I	Sana
II	Meteorización incipiente (juntas oxidadas)
III	Moderadamente meteorizada

IV	Muy meteorizada
V	Completamente meteorizada

- Índice de calidad (I_Q). Se define como la relación porcentual entre la velocidad de propagación de ondas longitudinales (V_L) en testigos cilíndricos de roca y en roca sana (sin fisuras ni huecos). La Figura 6.1 muestra valores medios de V_L en diferentes tipos de roca en estado sano.

Tipo de rocas	V_L media (m/s)
Gabros	7000
Basaltos	6500 a 7000
Cuarcitas	6000
Granitos	5500 a 6000
Calizas	6000 a 6500
Calizas dolomíticas *	6500 a 7500
Argilitas **	900 a 2600

Fig. 6.1. Velocidades máximas medias de propagación de ondas longitudinales en los principales tipos de rocas. (* según el contenido en dolomía; ** según la estructura y grado de alteración).

En general, la velocidad de propagación está en relación inversa con la porosidad de la roca (n). Con el índice de calidad (I_Q) y el valor de porosidad (n) de la roca, puede determinarse la Densidad de Fisuración..

- Resistencia a compresión simple (Q_u , Kp/cm²). 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

ACTUALIZACION E INFORMATIZACION DE LA CARTOGRAFÍA
 GEOLÓGICA DE NAVARRA A ESCALA 1:25.000. HOJAS 243 y 244
 Cuadrante 244-I. Memoria

Muy resistente	100 - 250	No corta	Se rompe con muchos golpes
Resistente	50 - 100	No corta	Se rompe con varios golpes
Medio resistente	25 - 50	No corta	Se rompe con un solo golpe
Blanda	5 - 25	Corta con dificultad	Puede indentarse con el pico
Muy blanda	1 - 5	Corta fácilmente	Se puede machacar

Igualmente, considerando la resistencia a compresión simple, se puede valorar la consistencia del terreno, de manera cualitativa.

Tensión de rotura a compresión simple en Kp/cm ²	Consistencia
< 0,25	Muy blando
0,25 a 0,50	Blando
0,50 a 1	Medio
1 a 2	Firme
2 a 4	Muy firme
> 4	Duro

- Ensayo de Carga Puntual (I_s , Kp/cm²). Determina la resistencia de una muestra de testigo. Por su facilidad de realización se utiliza en aquellos casos en los que las muestras no reúnen las condiciones necesarias para realizar un ensayo de compresión simple (baja dureza, elevada anisotropía,). Requiere un elevado número de ensayos y un tratamiento estadístico de los mismos para obtener resultados fiables. Generalmente I_s presenta una buena correlación con el ensayo de resistencia a compresión simple (Q_u), mediante la siguiente relación: $Q_u = f \cdot I_s$, donde f es una constante que depende del diámetro del testigo de roca.
- 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. En suelos granulares basta conseguir una alta densidad seca, pero en suelos con finos es preciso controlar

también las condiciones humedad. La presencia de agua disminuye la presión intergranular, y actúa como lubricante, facilitando el deslizamiento y giro de las partículas entre sí y su agrupamiento en estructuras más compactas. El resultado es una densidad seca más elevada.

- 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. Se utiliza por tanto para el dimensionamiento de firmes. A mayor CBR, mayor es la capacidad de soporte de la explanada. Normalmente se expresa el valor de CBR para el 95 % y 100% de la densidad Proctor.
- Ensayo de tracción indirecta (σ_{tb} , Kp/cm²). También conocido como “Brasileño”, es un ensayo normalizado de tracción más adecuado para clasificar la resistencia de la roca que la resistencia a tracción. La relación entre la resistencia a compresión simple (Qu) y la resistencia a tracción (σ_{tb}) en el ensayo brasileño (Qu/σ_{tb}) aumenta al hacerlo Qu, pudiendo variar de 10 a 15 para $Qu < 500$ Kp/cm², y de 15 a 25 para resistencias más elevadas. El criterio de clasificación de rocas con rotura frágil a partir de ensayos brasileños es como sigue:

Resistencia	σ_{tb} , Kp/cm ²
Muy débil	0-15
Débil	15-35
Media	35-65
Alta	65-100
Muy alta	> 100

- Ensayo de corte directo. Es un ensayo rápido y económico que permite determinar la cohesión (c) y el ángulo de rozamiento interno (ϕ) de una muestra de roca o discontinuidad. Es de gran aplicación práctica en el cálculo de estabilidad de taludes.
- Ensayo de Molinete. Permite hallar la resistencia al corte en suelos blandos, principalmente arcillas blandas saturadas o suelos orgánicos.
- Módulo de deformación y coeficiente de Poisson. El módulo de deformación se puede obtener en arcillas sobreconsolidadas, utilizando el valor de la resistencia al corte sin drenaje (Cu) en la correlación $E = 130 \times Cu$ definida por Butler. Para el coeficiente de Poisson se podría adoptar un valor entre 0,30 y 0,35, dependiendo de la consistencia blanda o densa.

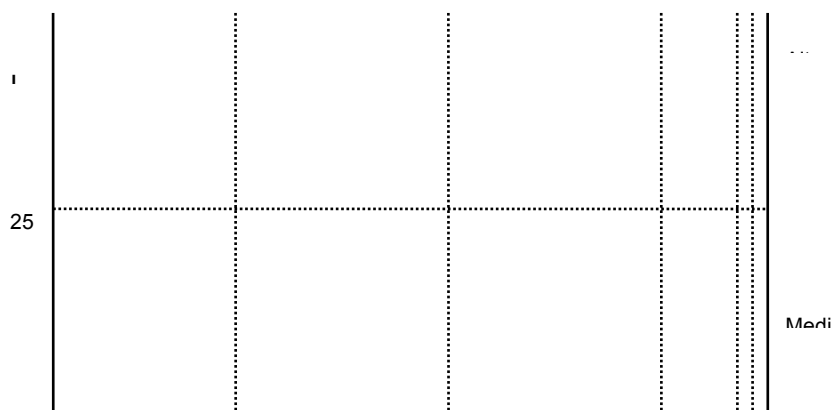
- **Análisis químico.** Se han utilizado los datos de contenido en Materia Orgánica, Carbonatos y Sulfatos. Estos últimos permiten determinar la agresividad del terreno mediante el contenido en sulfatos, valorado según la normativa que se expone a continuación:

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

- **Análisis de Hinchamiento.** Mide el cambio de volumen debido al humedecimiento general de la roca. Normalmente se suele medir la componente vertical de hinchamiento. Los datos que se poseen sobre la expansividad del terreno están obtenidos a través del ensayo Lambe, que fija el cambio potencial de volumen (C.P.V.) de la manera siguiente:

C.P.V.	Descripción
0 - 2	No crítico
2 - 4	Marginal
4 - 6	Crítico
> 6	Muy crítico

- **Ensayo de durabilidad (I_D).** Mide la resistencia de la roca frente a procesos de meteorización y disgregación como resultado de someter a la muestra a dos ciclos de secado y agitación en un baño de agua. Se obtiene un índice (I_D) que muestra la relación porcentual entre el peso seco de la muestra después de dos ciclos y el peso seco antes del ensayo. La durabilidad del material puede relacionarse con el índice de plasticidad (I_P) en rocas arcillosas según el cuadro que muestra la Figura 6.3.



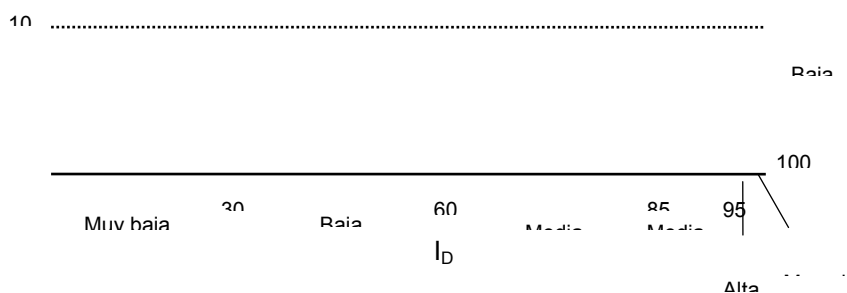


Fig. 6.3. Clasificación de durabilidad-plasticidad en rocas arcillosas propuesta por GAMBLE (ISRM, 1972).

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 para roca poco diaclasada, no meteorizada con estratificación favorable y marcada de 15 Kp/cm² y de 30 Kp/cm² en estado masivo o columnar. (En caso de rocas diaclasadas o con disposición desfavorable de los planos de estratificación, estos valores deberán reducirse a la mitad).

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

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

En suelos y debido a que no se dispone de datos sobre asientos, éstos han sido estimados considerando la consistencia media del terreno. Asimismo, se señalan los problemas concretos de cimentación que pueden darse en cada Zona Geotécnica; los más generalizados están relacionados con asientos diferenciales, presencia de agua subterránea, presencia de sulfatos en el sustrato, debido a la alta reactividad de los mismos con el hormigón, y riesgos

de colapsos en aquellas unidades con presencia potencial de cavidades subterráneas.

- Excavabilidad. Los terrenos se han clasificado de acuerdo con la Norma Tecnológica de Edificación (Acondicionamiento del Terreno. Desmontes. Vaciados; NTE-ADV, (1976) en los siguientes grupos: 1) Duro. Atacable con máquina o escarificador, pero no con pico, como terrenos de tránsito, rocas descompuestas, tierras muy compactas; 2) Medio. Atacable con el pico, pero no con la pala, como arcillas semicompactas, con o sin gravas o gravillas; 3) Blando. Atacable con la pala, como tierras sueltas, tierra vegetal, arenas. Cuando en la excavación se encuentran mezclados los terrenos se establece el porcentaje de cada uno de los tres tipos.
- Estabilidad. Dos son los parámetros que condicionan estos procesos: litología (y estructura) y pendiente del talud. En consecuencia, en cuanto a la naturaleza de los materiales se evalúa su estabilidad en tres grupos (alta, media y baja), desechándose aquellas unidades geológicas que por su litología no son favorables a la aparición de situaciones de inestabilidad. Por lo que se refiere a la pendiente, se estima una inclinación del 10% como límite inferior a la aparición de estos fenómenos.
- Empujes sobre 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.

- Obras subterráneas. Se utiliza el término "Muy Difícil" para suelos muy blandos por debajo del nivel freático o suelos potencialmente expansivos; "Difícil"

designa terrenos blandos o arenosos limpios bajo el nivel freático; y "Medio", suelos firmes, casi rocas blandas, que sólo a veces presentan problemas de nivel freático, con cierta capacidad de autoaporte y sin empujes fuertes.

Para las formaciones rocosas se da una idea de su categoría en las clasificaciones de Bieniawski (1979), que obtiene un índice de calidad (RMR, Rock Mass Rating), mediante la valoración de cinco parámetros:

- Resistencia de la roca
- RQD
- Separación entre diaclasas
- Presencia de agua
- Disposición de las juntas respecto a la excavación

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

5.3.3.3.2. Área I

5.3.3.3.2.1 ZONA I₁

- Características Geológicas

En esta zona se incluyen todas las unidades predominantemente yesíferas de la Hoja (Yesos de Falces, Alcanadre, Sesma y Los Arcos, así como las unidades yesíferas de la unidad Arcillas de Marcilla). Se trata de yesos masivos, en el caso de la Fm. Falces o alternantes con margas, en proporciones variables, para el resto. Los Yesos de Falces ocupan grandes extensiones en los núcleos de las principales estructuras anticlinales (Anticlinal de Falces y Anticlinal de Arguedas y la Unidad de Los Arcos en los flancos de anticlinales (Arguedas y Falces y sinclinal de Peralta) constituyendo resaltes morfológicos de gran continuidad cartográfica.

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

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

- Características geotécnicas

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

- Características constructivas

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN.

La Norma DIN 1054 y el Código Británico establecen presiones admisibles del orden 10-20 kp/cm², valores que deben reducirse a la mitad cuando el espesor de los tramos lutíticos aumenta o la disposición de la estratificación y grado de diaclasado son desfavorables. Se estima que la capacidad portante de estos materiales se sitúa entonces entre 5 y 10 kp/cm², valores suficientes para el caso de edificios habituales en los que las cargas proyectadas son inferiores a 3-4 kp/cm². El tipo de cimentación será en general superficial, previa eliminación del horizonte de alteración. Es de esperar la presencia de asientos diferenciales debido a la intercalación de niveles margosos blandos entre los paquetes de yesos.

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

Excavabilidad. Son materiales de dureza media a dura, por lo que en su excavación puede ser preciso el empleo de explosivos, parav los paquetes más duros , mientras que para los niveles margosos y arcillosos pueden ser excavados por medios mecánicos.

Estabilidad de taludes. Como se puede apreciar en los taludes existentes en la Hoja y en zona aledañas, no se registran fenómenos destacables de inestabilidad en taludes muy inclinados de escasa altura o en cortes naturales de baja a media pendiente. Sin

embargo, el riesgo de caída de pequeños bloques y deslizamientos es muy elevado en taludes subverticales de cierta altura, especialmente en las zonas de voladizo por descalce de los niveles lutíticos inferiores, tal como se observa en los farallones labrados por los ríos.

Empuje sobre contenciones. No serán necesarias para el caso de las margas, y a considerar para los yesos.

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

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

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

5.3.3.3.2..2 ZONA I₂

- Características Geológico-Geotécnicas

Esta zona agrupa las unidades constituidas alternancias entre términos lutíticos y yesíferos: miembros de la Unidad de Peralta y las arcillas y areniscas de Villafranca.

Se trata de materiales arcillosos y margosos con intercalaciones destacadas de yesos y, en menor medida y con espesores muy reducidos, de areniscas y carbonatos (calizas y dolomías). En los términos arcilloso-margosos la meteorización produce alteraciones superficiales, fomentando la erosionabilidad ya de por sí elevada en estos materiales

La permeabilidad es muy baja para el conjunto. Únicamente los niveles más potentes de yesos pueden permitir localmente cierta circulación de agua subterránea por karstificación.

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

- Características constructivas

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN.

Según los datos contenidos en diferentes Códigos y Normas, se puede considerar cargas admisibles entre 1,5 y 5 Kp/cm², esperándose asentamientos de consolidación a largo plazo.

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

Excavabilidad. Las margas, arcillas y niveles margosos son en general ripables. Las intercalaciones que contienen son, en términos generales, de escaso espesor y su excavación puede afrontarse, alternativamente, con escarificador o martillo. Los horizontes yesíferos y areniscosos pueden presentar dificultades de excavación, en el primer caso puesto que alcanzan en muchos casos potencias considerables, de orden métrico a decamétrico, requiriendo el uso de martillo o explosivos y en el segundo debido a su mayor dureza.

Estabilidad de taludes. Pueden aparecer deslizamientos y caídas de bloques en tramos potentes con predominio de arcillas con una orientación desfavorable respecto al talud, al descalzarse el tramo arcilloso menos competente.

Empuje sobre contenciones. Serán ocasionalmente de tipo medio en zonas margosas alteradas o en taludes con problemas de estabilidad, moderados en arcillas, teniendo que considerarse en el caso de yesos.

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

Aptitud para explanada en carreteras. Son suelos poco aptos o marginales para explanadas de tipo E3.

Obras subterráneas. Como en caso anterior, pertenecen a la Clase III-Clase IV (Calidad Mala) de la Clasificación de BIENIAWSKI (1979).

5.3.3.3.2..3 ZONA I₃

- Características Geológico-Geotécnicas

Esta zona se han agrupado las formaciones eminentemente arcillosas y sus intercalaciones de escaso espesor de areniscas, calizas (eventualmente dolomías) y, esporádicamente, algunos yesos. Se trata por tanto de una zona geotécnica poco competente dentro de la cual destacan morfológicamente algunos niveles duros correspondientes a las intercalaciones mencionadas.

A excepción de las intercalaciones existentes en el seno de la Fm. Yesos de Falces (unidad cartográfica 3), los afloramientos de la Zona I₃ se distribuyen a ambos flancos de la estructura anticlinal correspondiendo a la mayor parte de Fm Marcilla, al nivel somital rojizo de la Fm. Peralta (Unidad cartográfica 10) y a la Unidad Arcillas de Villafranca.

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

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

El contenido en yesos es notablemente menor que en las zonas I₁ y I₂. No obstante puede haber puntos en los que el contenido de sulfatos en los suelos alcance proporciones destacadas.

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

- Características constructivas:

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN

Las cargas admisibles en esta Unidad varían entre 1,3 a 3 kp/cm² para las arcillas y de 6 a 8 kp/cm² para los términos más margosos. La profundidad mínima de cimentación se estima en 1,5 a 2 m.

Los problemas de cimentación pueden ser variados: 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, lo que obliga a la consecuente utilización de hormigones especiales.

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

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

Estabilidad de taludes. Pueden aparecer problemas de deslizamientos en tramos potentes con predominio de arcillas y orientación de los niveles desfavorable respecto al talud. El deterioro progresivo de los taludes puede provocar la alteración y pérdida de cementación de los términos lutíticos y margosos.

Empuje sobre contenciones. Moderados en arcillas y bajos en los niveles margosos

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

Aptitud para explanada en carreteras. Son suelos marginales o no aptos de tipo E2, sobre los que será necesario proceder a la colocación de una explanada mejorada.

Obras subterráneas. Como en el resto de las Zonas del Area I, se encuadran entre la Clase III (calidad media) y la Clase IV (calidad Mala) de la Clasificación de BIENIAWSKI (1979).

5.3.3.3.3. Área II

5.3.3.3.3.1 ZONA II₁

- Características Geológico-Geotécnicas

Esta Zona comprende unidades arcillosas de las Fm Tudela y Miranda de Arga, además de la Unidad 21 formada por arcillas rojas

Litológicamente está constituida por un conjunto de materiales básicamente arcillosos de tonos rojos, que presentan un suave plegamiento, registrando valores moderados de buzamiento. Los términos lutíticos son predominantes en esta Zona, con intercalaciones esporádicas de yesos y algunos delgados niveles de calizas y areniscas.

En los niveles superficiales la meteorización produce una alteración y cambio de coloración de los términos arcillosos aumentando su erosionabilidad mientras que en las capas de calizas y areniscas se produce una pérdida de cementación.

Debido al marcado carácter arcilloso de la Zona la permeabilidad es muy baja, solamente en los niveles más potentes de areniscas y calizas pueden desarrollarse pequeños acuíferos locales por fracturación.

La presencia de sulfatos es poco importante aunque las trazas de yeso (cristales especulares, nódulos aislados y venas) pueden concentrarse localmente en algunos intervalos. El contenido en materia orgánica debe considerarse en los horizontes próximos a los niveles carbonatados (Unidad cartográfica) debido a la existencia de intercalaciones de lignitos

- Características constructivas:

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN

Los valores normalmente aceptados de cargas admisibles para arcillas son de 1,3 a 3 kp/cm². La profundidad mínima de cimentación se estima en 1,5 a 2 m, debido a que suelen estar alteradas en superficie con el consiguiente descenso de las presiones que pueden admitir.

Entre los problemas de cimentación se pueden prever los siguientes: a) variación del horizonte alterado, que puede provocar asentamientos diferenciales; b) intercalaciones de materiales competente, calizas y areniscas, que producen variaciones en las condiciones geotécnicas, entre ellas la facilidad de excavación, y c) presencia ocasional de materia orgánica

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

Excavabilidad. Son materiales fácilmente excavable.

Estabilidad de taludes. Se pueden dar problemas de deslizamientos por la existencia de tramos potentes de arcillas en zonas de taludes verticales o subverticales

Empuje sobre contenciones. Medios en arcillas

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

Aptitud para explanada en carreteras. Son suelos de tipo 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).

5.3.3.3.2 ZONA II₂

- Características Geológico-Geotécnicas

La Zona II₂ aparece en la Hoja representada por las unidades cartográficas 18 (Lutitas rojas y ocreas), 23 (Areniscas y lutitas de la Fm. Olite) y 26 (Arcillas rojas de la Fm. Alfaro). Se distingue de la Zona anterior (II₁) desde el punto de vista litológico por el ligero incremento en intercalaciones de areniscas y la escasa presencia de niveles carbonatados.

Se trata de un conjunto de materiales arcillosos de tonos rojos y areniscas, que presentan un suave plegamiento, registrando valores moderados de buzamiento. Los términos lutíticos, tienden a predominar en el conjunto y conforman intervalos masivos, si bien intercalan niveles de areniscas de potencia decimétrica y métrica.

En los niveles superficiales la meteorización produce una alteración y cambio de coloración de los términos arcillosos aumentando su erosionabilidad, mientras que en las capas de areniscas se produce una pérdida de cementación. Debido a la destacada proporción de arcillas la permeabilidad puede considerarse bastante baja es bastante baja para el conjunto que integra la Zona. Los niveles de areniscas pueden desarrollar pequeños acuíferos locales por fracturación.

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

Aunque no se dispone de ensayos de laboratorio en la Hoja, no obstante se exponen a continuación los resultados obtenidos en formaciones análogas existentes en otros sectores de la Comunidad Navarra:

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

- Características constructivas:

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN

La Norma DIN 1054 y el Código Británico establecen presiones admisibles del orden 20 kp/cm², 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 6 y 10 kp/cm², valores suficientes para el caso de edificios habituales en los que las cargas proyectadas son inferiores a 3-4 kp/cm².

El tipo de cimentación será en general superficial, previa eliminación del horizonte de alteración. Es de esperar la presencia de asientos diferenciales y fenómenos de punzonamiento debido a la alternancia entre niveles de lutitas y areniscas, lo que además origina variaciones en las condiciones geotécnicas, entre ellas la facilidad de excavación

c. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

Excavabilidad. Se trata de un conjunto heterogéneo en el que los materiales lutíticos son fácilmente excavables mientras que las areniscas constituyen niveles competentes que requieren el uso de explosivos, martillo o escarificador dependiendo de su espesor.

Estabilidad de taludes. En la Hoja no se ha observado ningún fenómeno de inestabilidad cuando la disposición de los materiales es transversal a la orientación de las laderas, y su buzamiento es superior a la pendiente. El riesgo de deslizamientos aumenta sensiblemente cuando aparecen tramos potentes de arcillas y debe considerarse la posibilidad de caída de bloques en escarpes subverticales areniscosos o en voladizo por descalce de los niveles lutíticos inferiores

Empuje sobre contenciones. No serán necesarias

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

Aptitud para explanada en carreteras. Los niveles arcillosos se consideran No Aptos para su uso en terraplenes y pedraplenes. Los niveles de areniscas, constituyen, sin embargo, Terrenos Adecuados.

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

5.3.3.3.4. Área III

5.3.3.3.4.1 ZONA III₁

- Características Geológicas

Comprende el conjunto de formaciones cuaternarias de génesis aluvial-fluvial (terrazas) y glacia de piedemonte. Éstas se caracterizan por presentar una proporción elevada de términos clásticos (gravas y arenas) en el depósito y por ocupar áreas llanas (zonas deprimidas de los valles y superficies medias y altas)

Predominan los materiales aportados por los dos ríos principales de la Hoja correspondiendo mayoritariamente a terrazas que cubren casi totalmente la mitad suroriental de la Hoja. Cabe mencionar también los materiales pertenecientes a los.

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

- Características Geotécnicas

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

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

Cohesión (C')	2,20
---------------	------

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

- Características Constructivas

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN.

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

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

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

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

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

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

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

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

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

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

5.3.3.3.4.3 ZONA III₂

- Características Geológicas

Se integran en esta Zona las formaciones cuaternarias desarrolladas característicamente a la salida de los barrancos y en algunas laderas (conos de deyección y glacia) y están formados por depósitos fangosos con cantos más o menos dispersos.

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

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

- Características Geotécnicas

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

5.3.3.3.4.4 Cuadro Resumen de Características Geotécnicas	
Humedad	20,5 %
Contenido en Finos (<0.08mm)	75-80,4 %
Límite Líquido (WL)	28-40,4
Índice de Plasticidad (IP)	12-19,2
Clasificación de Casagrande	GC-CL
Densidad Máxima Proctor Normal	1,8 gr/cm ³

ACTUALIZACION E INFORMATIZACION DE LA CARTOGRAFÍA
GEOLOGICA DE NAVARRA A ESCALA 1:25.000. HOJAS 243 y 244
Cuadrante 244-I. Memoria

Humedad Óptima Proctor Normal	15-12,7 %
Ángulo de Rozamiento Interno (ϕ)	30,5-38 ^{oo}
Cohesión (C')	1,0
Contenido en sulfatos	0,01%

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

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

- Características Constructivas

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN.

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

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

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

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

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

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

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

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

5.3.3.3.4..5 ZONA III₃

- Características Geológico-Geotécnicas

Esta Zona está definida por depósitos cuaternarios generados por inestabilidades activas relacionadas con procesos de gravedad (coluviones y desprendimientos).

En la Hoja su desarrollo se localiza en las laderas (coluviones), a veces como formas de enlace entre distintos niveles de terrazas o como derrame de alguna de estas. Los desprendimientos se reconocen al pie del cantil de los Yesos de Falces existente en la margen derecha del Arga. En consecuencia los materiales movilizados están constituidos por bloques y masas de yesos con matriz lutítica o limo-yesífera en proporciones variables.

Su permeabilidad está condicionada por el contenido en finos, siendo muy alta en los desprendimientos y francamente baja en los deslizamientos. Por otra parte la pendiente natural de las formas de depósito generadas facilita la evacuación de aguas por escorrentía por lo que difícilmente se registran problemas de drenaje.

Constituyen terrenos con importantes problemas geotécnicos derivados básicamente de las inestabilidades gravitacionales registradas, heterogeneidad de los depósitos y litología yesífera o yesífero-arcillosa. No se dispone de ensayos geotécnicos específicos para este tipo de materiales.

- Características constructivas

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN.

No son terrenos aptos para el emplazamiento de construcciones que requieran cimentación debido al riesgo de movilización de materiales. En los casos que se proceda a la estabilización del área de procedencia de los materiales movilizados se deberá recurrir a la retirada de estos últimos para establecer la cimentación en suelos de características más favorables, o sobre sustrato rocoso.

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

Excavabilidad. Se prevén graves dificultades de excavación dada la presencia de bloques y grandes masas de yesos para cuya retirada deberán emplearse consideran medios especiales

Estabilidad de taludes. Constituyen depósitos no consolidados ya de por sí inestables en condiciones naturales de modo que deben adoptarse ángulos muy bajos (<30°) para los taludes de desmonte en estos materiales.

Empuje sobre contenciones. Pueden ser altos en función de la incidencia de los procesos gravitacionales activos.

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

Aptitud para explanada en carreteras. En fondos de desmonte definen explanadas tipo E-1 o de categoría inferior debido las desfavorables características litológicas, heterogeneidad e irregularidades del terreno.

Obras subterráneas. Sólo pueden verse afectadas obras de pequeña envergadura, desarrolladas a escasa profundidad, para las que deben considerarse terrenos francamente desfavorables.

5.3.3.3.4..6 ZONA III₄

- Características Geológico-Geotécnicas

En esta Zona se incluyen una serie de depósitos poco consolidados asociados a la red fluvial actual, así como aquellos que presentan un alto contenido en finos y de origen poligénico (unidades 41 a 43, 46, 47, 50, 53). Todos ellos presentan un cierto grado de inundabilidad, en función de las fluctuaciones del nivel de agua. También se han incluido aquí una serie de depósitos de naturaleza limo-arcillosa (unidad 51) que se localizan en zonas deprimidas con un cierto drenaje deficiente. Presentan una potencia variable, aunque generalmente no sobrepasan los 5 m..

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

- Características constructivas

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN

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

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

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA

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

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

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

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

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

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

6. BIBLIOGRAFIA

- ÁLVAREZ, M.A. (1987). Estudio sistemático y bioestratigráfico de los Eomyidae (Rodentia) del Oligoceno superior y Mioceno inferior español. Scripta Geologica, 86, 207 pp.
- BOMER , B. y RIBA, O. (1965). Deformaciones tectónicas recientes por movimientos de yesos en Villafranca de Navarra. Com. C. 6-3 del Tomo V de las publicaciones del I Col. Inter. sobre las obras públicas en terrenos yesíferos.
- CASTIELLA, J.; SOLÉ, J. y DEL VALLE, J. (1978). Mapa Geológico de Navarra, 1:200.000, Publ. Diputación Foral de Navarra.
- CASAS, A. M., BENITO, G. (1988). Deformaciones cuaternarias debidas a procesos diapíricos en la depresión del Ebro. (Provincias de Zaragoza, Navarra y La Rioja). II Congreso Geológico de España. Comunicaciones 1. pp 375-378.
- CRUSAFONT, M.; TRUYOLS, J. y RIBA, O. (1966). Contribución al conocimiento de la estratigrafía del Terciario continental de Navarra y La Rioja. Not. y Com. del IGME, 90, pp 53-76.
- JIMÉNEZ, F., GUTIÉRREZ ELORZA, M., IBÁÑEZ, M.J., MACHÍN, J., PEÑA, J.L., POCOVI, A. Y RODRIGUEZ VIDAL, J. (1984) El Cuaternario de la Depresión del Ebro en la Región Aragonesa. Cartografía y síntesis de los conocimientos existentes. Univ. de Zaragoza. Estación Experimental de Aula Dei.
- GOBIERNO DE NAVARRA (1997). Mapa Geológico de Navarra a E. 1:200.000. Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.
- GOBIERNO DE NAVARRA (2000). Mapa Geológico de Navarra a E. 1:25.000, Lerín (205-II). Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.
- GOBIERNO DE NAVARRA (2000). Mapa Geológico de Navarra a E. 1:25.000, Pradejón (205-III). Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.
- GOBIERNO DE NAVARRA (2000). Mapa Geológico de Navarra a E. 1:25.000, San Adrián (205-IV). Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.

- GOBIERNO DE NAVARRA (2001). Mapa Geológico de Navarra a E. 1:25.000, Peralta (206-III). Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.
- GOBIERNO DE NAVARRA (2001). Mapa Geológico de Navarra a E. 1:25.000, Caparroso (206-IV). Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.
- GOBIERNO DE NAVARRA (2002). Mapa Geológico de Navarra a E. 1:25.000, Alera (245-I). Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.
- GOBIERNO DE NAVARRA (2002). Mapa Geológico de Navarra a E. 1:25.000, Los Hermanos (245-IIIV). Departamento de Obras Públicas, Transportes y omunicaciones. Pamplona.
- GONZÁLEZ, A. (1989). Análisis tectosedimentario del Terciario del borde SE de la Depresión del Ebro (sector bajoaragones) y cubetas marginales ibéricas. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza. 507 pp.
- GONZÁLEZ, A.; PARDO, G. y VILLENA, J. (1988). El análisis tectosedimentario como instrumento de correlación entre cuencas. II Congreso Geológico de España, Granada, pp 175-184.
- GONZALO, A. (1968). Contribución al estudio del piedemonte ibérico riojano. Geomorfología del valle medio del Cidacos. Ed. Biblioteca de Estudios Riojanos, I.E.R. 508 pp, II.Vol.
- GONZALO, A. (1977). Los niveles de las terrazas del Ebro en La Rioja. Geographica, XIX-XX, 131-138. Madrid.
- GONZALO, A. (1979). Los glacis de La Rioja. Actas III reunión G.E.T. Cuaternario, 139-147. Zaragoza.
- GUTIÉRREZ, M. y PEÑA, J.L. (1994): Depresión del Ebro. In GUTIÉRREZ, M. (Ed.). Geomorfología de España. Ed. Rueda, 305-349. Madrid.
- IGME (HERNÁNDEZ, A.; RAMÍREZ DEL POZO, J.; OLIVÉ, A. y ÁLVARO, M.) (1987). Mapa Geológico de España a E. 1:50.000, 2ª serie, 1ª edición, Peralta (206).
- IGME (BEROIZ, C y SOLÉ, J.) (1972). Mapa Geológico de España a E. 1:50.000, 2ª serie, 1ª edición, Alfaro (244).
- IGME (BEROIZ, C y SOLÉ, J.) (1972). Mapa Geológico de España a E. 1:50.000, 2ª serie, 1ª edición, Tudela (282).

- IGME (CASTIELLA, J. y BEROIZ, C.) (1977). Mapa Geológico de España a E. 1:50.000, 2ª serie, 1ª edición, Lodosa (205).
- IGME (CASTIELLA, J. y SOLE, J.) (1977). Mapa Geológico de España a E. 1:50.000, 2ª serie, 1ª edición, Calahorra (243).
- IGME (1987). Contribución de la exploración petrolífera al conocimiento de la geología de España. Publ. IGME, 465 pp.
- INGLÉS, M; MUÑOZ, A.; PÉREZ, A. y SALVANY, J.M (1994). Relación entre la mineralogía y los ambientes sedimentarios en el Terciario continental del sector sur-occidental de la cuenca del Ebro. Resumen, II Congreso del Grupo Español del Terciario, Jaca, pp 247-250.
- INGLÉS, M; SALVANY, J.M; MUÑOZ, A. y PÉREZ, A. (1998). Relationship of mineralogy to depositional environments in the non-marine Tertiary mudstones of the southwestern Ebro Basin (Spain). *Sedimentary Geology* 116, pp 159-176.
- JUARISTI, J.M. (1979). Terrazas y glaciares en el bajo valle del Arga. Actas III Reunión Nac. G.E.T.C., 161-169. Zaragoza.
- LERÁNOZ, B. (1989). Terrazas y glaciares del río Ebro en Navarra. II Reunión del Cuaternario Ibérico. Madrid.
- LERÁNOZ, B.(1990 a). El endorreísmo en el S. de Navarra. I Reunión Nac. de Geomorfología, 289-298. Teruel.
- LERÁNOZ, B. (1990 b). Geomorfología del curso bajo del río Ega. I Reunión Nac. Geomorfología, 447-455. Teruel.
- MUÑOZ, A. (1991). Análisis tectosedimentario del Terciario del sector occidental de la Cuenca del Ebro (Comunidad de La Rioja). Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 496 pp.
- MUÑOZ, A. (1992). Análisis tectosedimentario del Terciario del sector occidental de la Cuenca del Ebro (Comunidad de La Rioja). Tesis Doctoral, Publ. Instituto de Estudios Riojanos, 347 pp.
- MUÑOZ, A. y CASAS, M. (1997). The Rioja trough (N Spain): tectosedimentary evolution of a symmetric foreland basin. *Basin Research*, 9, pp 65-85.
- MUÑOZ, A.; PARDO, G. y VILLENA, J. (1986-87). Análisis tectosedimentario del Terciario de la Depresión de Arnedo (Cuenca del Ebro, prov. de La Rioja). *Acta Geol. Hisp.*, t. 21-22, pp 427-435.

- MUÑOZ, A.; PARDO, G. y VILLENA, J. (1992). Evolución paleogeográfica de los conglomerados miocenos adosados al borde norte de la Sierra de Cameros (La Rioja), *Acta Geol. Hisp.*, v.27, num 1-2, pp. 3-14.
- MUÑOZ, A. y SALVANY, J.M. (1990). El sistema lacustre evaporítico del margen ibérico de la cuenca del Ebro (Mioceno inferior). In ORTÍ, F. y SALVANY, J.M. (Eds.). *Formaciones evaporíticas de la cuenca del Ebro y cadenas periféricas, y de la Zona de Levante*. GPPG-ENRESA, pp 123-126.
- ORTÍ, F. y SALVANY, J.M. (1986). Programa de investigación de las formaciones evaporíticas en Navarra. Vol.1, *Estudio Geológico*, 121 pp.; Vol.2, *Estudio Geoeconómico*, 126 pp.; 2 anejos, informe inédito para el Gobierno de Navarra.
- ORTÍ, F. y SALVANY, J.M. (1991). Depósitos de glauberita en España: aspectos sedimentológicos y petrológicos generales. In: *Génesis de formaciones evaporíticas, modelos andinos e ibéricos* (Pueyo, J. J., Eds.). Publ. Universitat de Barcelona. pp 191-230.
- PARDO, G.; VILLENA, J. y GONZÁLEZ, A. (1989). Contribución a los conceptos y a la aplicación del análisis tectosedimentario. Rupturas y unidades tectosedimentarias como fundamento de correlaciones estratigráficas. *Rev. Soc. Geol. España*, 2, pp 199-221.
- PÉREZ, A. (1989). *Estratigrafía y sedimentología del Terciario del borde meridional de la Depresión del Ebro (sector riojano-aragonés) y cubetas de Muniesa y Montalbán*. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 474 pp.
- 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. y BOMER, B. (1957). Les terrasses et glacis du Bassin de l'Ebre dans la Ribera de Navarre et la Baja Rioja. *Livret-guide de l'excursion n° 3: Villafranchien de Villarroja*. V congr. Int. INQUA, 7-10. Madrid-Barcelona.
- RIBA, O. y JURADO, M. J. (1992). Reflexiones sobre la geología de la parte occidental de la Depresión del Ebro. *Acta Geol. Hisp.*, v.27, 1-2, pp 177-193.

- RIBA, O. y PÉREZ MATEOS, J. (1962). Sobre una inversión de aportes sedimentarios en el borde Norte de la Cuenca del Ebro (Navarra). Inst. Edaf. Sec. Petrol. Sedim. II Reunión del GES, Sevilla 1961, pp 201-221. Madrid.
- RIBA, O.; REGUANT, S. y VILLENA, J. (1983): Ensayo de síntesis estratigráfica y evolutiva de la cuenca terciaria del Ebro. Libro Jubilar J.M. Ríos, 2, 131-159. IGME. Madrid.
- 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 y ORTÍ, F. (1987). La paragénesis de sulfatos de Ca y Na en el Mioceno continental de Alcanadre-Arrúbal (La Rioja) y San Adrián (Navarra). Bol. Soc. Esp. de Mineralogía, 10-1, pp 47-48.
- SALVANY, J.M. y ORTÍ, F. (1992). El yacimiento glauberítico de Alcanadre: procesos sedi-mentarios y diagenéticos (Mioceno inferior, Cuenca del Ebro). In: Recursos Minerales de España (GARCÍA GUINEA, J. y MARTÍNEZ FRÍAS, J., Eds.). CSIC-Madrid, pp 1251-1274.
- SALVANY, J.M y ORTÍ, F. (1994). Miocene glauberite deposits of Alcanadre, Ebro basin, Spain: sedimentary and diagenetic processes. In Sedimentology and geochemistry of modern and ancient saline lakes, SEPM Special Publications, 50, pp 203-215.
- SALVANY, J.M. y MUÑOZ, A. (1989). Aspectos petrológicos y sedimentológicos de los Yesos de Ribafrecha (La Rioja). XII Congreso Español de Sedimentología, Leioa-Bilbao, pp 87-90.
- SALVANY, J.M; MUÑOZ, A. y PÉREZ, A. (1994). Nonmarine evaporitic sedimentation and associated diagenetic processes of the southwestern margin of the Ebro Basin (lower Miocene), Spain. Journal of Sedimentary Research, vol A64, 2, pp 190-203.