



Gobierno de Navarra
Departamento de Obras Públicas,
Transportes y Comunicaciones

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE NAVARRA
ESCALA 1:25.000

HOJA 244-II

RADA

MEMORIA

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 S.L.)

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

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ESTRATIGRAFÍA	5
2.1. Terciario.....	5
2.1.1. Oligoceno.....	8
2.1.1.1. Yesos y margas (312). Yesos de Falces (Unidad Inferior). Arverniense superior-Ageniense inferior.	8
2.1.1.2. Margas y yesos. Yesos de Falces (315). Unidad Superior. Arcillas (314). Ageniense inferior. 10	
2.1.1.3. Arcillas ocreas con algunas intercalaciones de areniscas y calizas (333). Arcillas de Marcilla. Ageniense inferior.	12
2.1.1.4. Lutitas ocreas, margas blancas, areniscas con intercalaciones de yesos y dolomías (332). Arcillas de Marcilla. Ageniense inferior.	14
2.1.1.5. Yesos grises (338). Nivel de Alcanadre. Ageniense.	15
2.1.1.6. Arcillas ocreas, margas blancas, areniscas, calizas, dolomías y yesos. Yesos de Peralta. (8, 10). Ageniense	16
2.1.1.7. Yesos y margas (341). Yesos de Cárcar. Arcillas y yesos de Peralta	18
2.1.1.8. Arcillas rojas con intercalaciones de areniscas (348). Ageniense.....	20
2.1.1.9. Yesos y margas (349) Yesos de Sesma. Ageniense.	21
2.1.1.10. Arcillas ocreas, margas y yesos (350). Areniscas (351). Arcillas de Villafranca. Ageniense. 22	
2.1.1.11. Yesos y arcillas (354). Yesos (355) y Arcillas(356). Yesos de Los Arcos. Ageniense. 23	
2.1.1.12. Arcillas rojas (378). Fm. Tudela. Orleaniense.	25
2.1.1.13. Lutitas ocreas y areniscas (384). Calizas margosas (385). Unidad de Miranda de Arga. Orleaniense.....	26
2.1.1.14. Areniscas y lutitas (383). Unidad de Olite. Orleaniense.....	27
2.1.1.15. Arcillas rojas. (386). Conglomerados (387). Orleaniense.	29
2.2. CUATERNARIO.....	30
2.2.1. Pleistoceno.....	30
2.2.1.1. Conglomerados con encostramientos carbonatados a techo (Glacis de piedemonte) (515). Pleistoceno inferior.....	30
2.2.1.2. Cantos y gravas con matriz limoso-arcillosa (Glacis) (517, 518). Pleistoceno medio-superior. 31	
2.2.1.3. Gravas, cantos, arenas, arcillas y limos (Terrazas) (503 a 508, 521, 523, 524, 525). Pleistoceno medio-superior.	31

2.2.1.4. Limos, arenas y cantos (Conos de deyección) (512, 536). Pleistoceno medio y Holoceno.	32
2.2.2. Holoceno.....	33
2.2.2.1. Limos, arcillas y cantos (Glacis actual-subactual) (534). Holoceno.....	33
2.2.2.2. Arcillas, arenas y gravas (Aluvial-coluvial) (537). Holoceno.	33
2.2.2.3. Lutitas, cantos, gravas y arenas (Fondos de valle) (527). Holoceno.	33
2.2.2.4. Limos, arcillas y arenas con cantos y bloques (Coluviones) (543). Holoceno.	34
2.2.2.5. Gravas, arenas y limos (Llanura de inundación) (526). Holoceno.....	34
2.2.2.6. Arcillas y limos con materia orgánica. (Fondos endorreicos) (549). Holoceno.	34
3. TECTÓNICA.....	36
3.1. DESCRIPCIÓN DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS.....	38
3.1.1. Sinclinal de Miranda de Arga.....	39
3.1.2. Anticlinal de Falces.....	39
3.1.3. Sinclinal de Peralta.....	41
4. GEOMORFOLOGÍA.....	42
4.1. DESCRIPCIÓN FISIAGRÁFICA.....	42
4.2. ANTECEDENTES.....	44
4.3. ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO.....	44
4.3.1. Estudio morfoestructural.....	45
4.3.1.1. Formas estructurales.....	45
4.3.1.2. Estructura de la red de drenaje.....	46
4.3.2. Estudio del modelado.....	46
4.3.2.1. Formas de laderas.....	46
4.3.2.2. Formas fluviales.....	46
4.3.2.3. Formas endorreicas.....	48
4.3.2.4. Formas poligénicas.....	48
4.4. FORMACIONES SUPERFICIALES.....	48
4.5. EVOLUCIÓN DINÁMICA.....	51
4.6. MORFOLOGÍA ACTUAL-SUBACTUAL Y TENDENCIAS FUTURAS.....	52
5. HISTORIA GEOLOGICA.....	54
6. GEOLOGÍA ECONOMICA.....	59
6.1. RECURSOS MINERALES.....	59
6.1.1. Minerales y Rocas Industriales.....	59
6.1.1.1. Yesos.....	59
6.1.1.2. Arcillas comunes.....	59

6.1.1.3. Arcillas especiales.....	59
6.1.1.4. Sal común	60
6.1.1.5. Arenas y areniscas.....	60
6.1.1.6. Glauberita	61
6.2. HIDROGEOLOGIA	62
6.2.1. Introducción	62
6.2.2. Descripción de las FORMACIONES	62
6.2.3. Unidades acuíferas	67
6.2.3.1. Unidad hidrogeológica sur	68
6.2.3.2. Unidad Hidrogeológica Aluvial del Ebro y Afluentes	70
6.2.3.3. Manantiales	72
6.3. GEOTECNIA	73
6.3.1. Introducción	73
6.3.2. Metodología.....	73
6.3.3. Zonificación geotécnica	75
6.3.3.1. Criterios de división	75
6.3.3.2. División en Áreas y Zonas Geotécnicas.....	75
6.3.3.3. Características geotécnicas.....	76
7. BIBLIOGRAFIA.....	110

1. INTRODUCCIÓN

La Hoja a escala 1:25.000 de Rada (244-II), ocupa el cuadrante noroccidental de la Hoja nº 244 (Alfaro) correspondiente al Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 y se localiza en el sector meridional de la Comunidad Foral de Navarra, dentro de la comarca de la Ribera de Navarra. Esta comarca abarca las zonas más meridionales de la Comunidad Foral, situadas en ambos márgenes del Ebro. En esta zona se localiza el Espacio Natural de Las Bardenas Reales, que incluye parte de la Hoja, especialmente su zona meridional.

Toda la Hoja pertenece a la Cuenca del Ebro y su curso principal es el barranco Salado, en cuya cuenca se localiza el embalse El Ferial. El resto de cursos fluviales son barrancos de carácter esporádico y torrencial al tratarse de una zona muy árida. Sin embargo en toda la zona aparecen numerosas balsas de agua construidas para el aprovechamiento ganadero.

Topográficamente la Hoja es una zona de relieves suaves, donde los mayores relieves se encuentran en su mitad occidental. Es en esta zona donde se localiza su punto más alto, Masadas, con una altitud de 447 metros, mientras que su punto más bajo se ubica en su esquina suroccidental donde la altura media es de 290 mts. Esta se caracteriza por un área al Este, muy plana, la Plana de El Ferial.

Se trata de una zona escasamente poblada, ya que únicamente se localiza un núcleo urbano, Rada, en toda la extensión de la Hoja, aunque en sus alrededores aparecen poblaciones de cierta importancia como son Caparroso, Arguedas, Valtierra y Marcilla. Salpicando todo el territorio aparecen numerosas bordas para el estabulamiento del ganado, siendo esta una de las principales actividades de la zona. En los últimos años ha aumentado considerablemente la actividad agrícola, al ponerse en regadío numerosas zonas a partir de la construcción de el embalse de El Ferial, que abastece de regadío a toda esta área, habiéndose transformado áreas de cultivos de secano en cultivos de regadío.

La Hoja esta atravesada en su parte occidental por la Carretera N-121 Zaragoza-Francia, siguiendo una dirección S-N. Esta en la vía de comunicación principal de esta Hoja.

Únicamente existe otra carretera que es la que lleva hasta la población de Rada; el resto de vías de comunicación son pistas y caminos, algunos de ellos asfaltados que recorren toda la extensión de la Hoja. Algunos de estos caminos son antiguas cañadas utilizadas en la trashumancia del ganado desde el valle del Ebro hasta los pastos del Pirineo o de la Ibérica, como la Cañada de la Bardenas Reales

Desde el punto de vista geológico, la Hoja de Rada 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.

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.

La tectónica de la Hoja está caracterizada por la existencia de materiales plegados que abarcan la práctica totalidad de los materiales terciarios, a excepción de los más modernos de edad Mioceno que se apoyan sobre aquellos con una estructura tabular ligeramente plegada. Este contacto entre los materiales plegados y los tabulares es en ocasiones discordante y en ocasiones gradual.

Un aspecto importante de la tectónica de esta Hoja es la existencia de diapirismo en las formaciones evaporíticas más basales.

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.

2. 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.

2.1. 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 Rada (244-II) y hojas contiguas

La 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:

- Sinclinal de Miranda de Arga

- Anticlinal de Falces

- Sinclinal de Peralta

- Anticlinal de Arguedas

2.1.1. Oligoceno

2.1.1.1. Yesos y margas (312). Yesos de Falces (Unidad Inferior). Arverniense superior-Ageniense inferior.

La Unidad Inferior de los Yesos de Falces forman el núcleo del anticlinal de Falces en esta Hoja de Rada. Cartográficamente ocupan gran parte del centrooccidente de la Hoja, aflorando en toda la extensión de los relieves de Las Masadas, hasta su cierre periclinal en las proximidades del barranco Salado. Si bien debido a la propia alteración de los yesos y las actividades humanas, no se encuentran buenos cortes en los que puedan observarse las características de esta Unidad.

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.

2.1.1.2. Margas y yesos. Yesos de Falces (315). Unidad Superior. Arcillas (314). 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 a ambos los del anticlinal de Falces mediante contacto mecánico sobre la Unidad Inferior de Falces. En el flanco Norte este contacto ha biselado la Unidad Superior de tal forma que no aflora en todo el flanco, quedando reducido a un amplio arco que choca con el contacto mecánico en la zona de Los Caracierzos.

En el flanco Sur, la estructura de esta Unidad sigue el contacto con la Unidad Inferior, formando un arco que hacia el NO sigue una orientación NO-SE, tornándose más tendido hacia el Este a medida que se va cerrando el anticlinal. Este cierre tiene lugar en la margen izquierda del Barranco Salado, por debajo del glacis de Piedemonte que ocupa toda la superficie de El Plano de El Ferial.

Litológicamente está representada mayoritariamente por margas arcillosas grises y yesos. Los términos lutíticos (314) forman intervalos de potencia decamétrica y métrica

de aspecto homogéneo o con intercalaciones eventuales de dolomías, que se localizan principalmente hacia techo de la Unidad. 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 200 metros en el flanco sur del Anticlinal de Falces, mientras que en el Norte, la tectónica diapírica de la Unidad Inferior ha facilitado el biselamiento de las capas inferiores por lo que no se pudo conocer su potencia con exactitud.

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.

2.1.1.3. Arcillas ocreas con algunas intercalaciones de areniscas y calizas (333). 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.

Apareciendo en ambos flancos del Anticlinal de Falces, La Fm. Arcillas de Marcilla muestra una clara diferencia de potencia a ambos lados. Mientras que en el flanco Norte esta potencia puede ser de 300 metros aproximadamente, en el flanco Sur es menor de 200 m. En cualquiera de estas bandas pueden encontrarse afloramientos en lo que se puede comprobar las características de esta Unidad.

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 ocreas 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-groeso 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 hidroplástica. 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.

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).

2.1.1.4. Lutitas ocreas, margas blancas, areniscas con intercalaciones de yesos y dolomías (332). Arcillas de Marcilla. Ageniense inferior.

Afloran únicamente en una estrecha banda, en la zona de Peña Roya, con un contacto transicional, tanto con las unidades infrayacentes como suprayacentes y un espesor comprendido entre 20 y 40 metros.

Litológicamente se distingue por la incorporación al depósito de facies evaporíticas, representadas por margas grisáceas, resultando en consecuencia una alternancia de orden métrico a decamétrico entre horizontes aluviales arcillosos ocreos con intercalaciones de areniscas e intervalos lacustres salinos margo-yesíferos distinguibles por su coloración gris y blanquecina.

Los términos de alternancia entre lutitas y areniscas son similares a los descritos para la unidad cartográfica anteriormente citada si bien pueden incluir trazas de yesos e intercalaciones margosas, especialmente en el tránsito a los intervalos evaporíticos.

Los niveles yesíferos alcanzan potencias de orden métrico e incluso decamétrico, caso en el que es posible su diferenciación cartográfica (334). Se asocian con margas

dolomíticas grises e incluyen dolomías en proporciones destacadas, especialmente en la parte inferior de la Fm. Marcilla. Los yesos 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 tiende a ser más laminada y puede contener yesoarenitas. Representan depósitos lacustres evaporíticos de carácter sulfatado.

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

2.1.1.5. Yesos grises (338). 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 Rada, aparece en dos estrecha bandas, por encima de la Fm. Arenas de Marcilla, formando parte de los flancos del anticlinal de Arguedas. En la esquina suroccidental también aparece una estrecha banda, dentro de los niveles del flanco norte del Anticlinal de Arguedas.

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.

2.1.1.6. Arcillas ocreas, 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 Rada, con un espesor comprendido entre 200 y 300 m. a ambos flancos del Anticlinal de Falces, parece como el resto de la Fm. Lerín a ambos lados de la estructura y en el flanco Norte del Anticlinal de Arguedas, en la zona de Morante.

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 ocreas, 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 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).

2.1.1.7. Yesos y margas (341). 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.

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 lenticulas (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.

**2.1.1.8. Arcillas rojas con intercalaciones de areniscas (348).
Ageniense.**

La presencia de un intervalo arcilloso rojizo (348) 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 hidroplástica, *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.

Aparece en ambos flancos del anticlinal de Falces, pero mientras que en el flanco Norte, esta es la unidad superior de la Fm. Lerín recubierta por los materiales de la Fm. Miranda de Arga, en el flanco Sur, la serie de Lerín continúa hasta sus términos superiores. También aparece en la esquina suroccidental, formando parte del flanco norte del Anticlinal de Arguedas.

2.1.1.9. Yesos y margas (349) Yesos de Sesma. Ageniense.

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

Se 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.

En la Hoja aflora únicamente en el flanco sur de Falces con un espesor aproximado de 80-90 metros y siguiendo la misma dirección del plegamiento, estando ausente en el Flanco Norte. Así mismo, aparece en una banda estrecha en la zona de Morante de menor potencia.

Litológicamente constituye una potente serie yesífera con algunas intercalaciones margosas y arcillosas. Los yesos presentan gran variedad de facies (laminada, nodular, lenticular) y texturas cristalinas (yesos alabastrinos, megacristalinos, porfiroblásticos) que se distribuyen irregularmente en la serie o bien presentan un cierto orden cíclico. La parte inferior a media de la unidad es más yesífera y masiva.

Hacia techo se registra un aumento notable del contenido de margas y arcillas, bien como intercalaciones entre los yesos o como matriz en las capas de yeso, y también tienden a aumentar en proporción las facies nodulares.

En subsuelo la Unidad incluye niveles de halita y posiblemente de glauberita. Aunque la halita no aflora en ningún punto, se pone de manifiesto por la existencia de manantiales salinos en la región.

El carbonato está poco desarrollado. Generalmente se limita a finas capas dolomíticas de potencia milimétrica o centimétrica entre los yesos laminados.

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

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

**2.1.1.10. Arcillas ocreas, margas y yesos (350). Areniscas (351).
Arcillas de Villafranca. Ageniense.**

La Unidad Arcillas de Villafranca ha sido descrita por SALVANY (1989) como un tramo arcilloso terrígeno, de tonos ocreos, 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.

Como el resto de la Formación Lerín, en esta Hoja de Rada, las Arcillas de Villafranca siguen las direcciones de plegamiento formando parte de los flancos del sinclinal de Peralta. La zona del vedado de Eguaras muestra un extenso afloramiento de estas Unidades. Esta es una zona en la que la erosión del Plano del Ferial ha excavado los depósitos del glacis de piedemonte que recubre esta zona, poniendo al descubierto la estructura del Anticlinal de Falces, del cual, esta unidad, forma el cierre periclinal en esta zona suroriental de la hoja.

Litológicamente consiste en un conjunto de arcillas de tonos ocreos 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 interestratificados o formando parte de la matriz en los horizontes nodulares.

Las intercalaciones de areniscas aparecen como capas tabulares de tonos grises y ocreas 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.

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.

2.1.1.11. Yesos y arcillas (354). Yesos (355) y Arcillas(356). Yesos de Los Arcos. Ageniense.

En la Hoja la Unidad 15 de la Fm. Yesos de Los Arcos se desarrolla ampliamente en una banda de 200 metros de espesor con buzamientos que suelen superar los 20°. Esta

banda, siguiendo la dirección de plegamiento NO-SE, desde la zona del paraje de Las Mesas, hasta el Vedado de Eguaras, donde la orientación del plegamiento tiende hacia orientaciones O-E. En esta banda, únicamente aparecen yesos por lo que se ha cartografiado esta Unidad, como una formación compresiva que incluye los distintos tramos yesíferos y arcillosos.

En el flanco Norte de este anticlinal y al otro lado del Sinclinal de Peralta, flanco Norte del Anticlinal de Peralta, aparece también esta unidad de Yesos de Los Arcos, habiéndose podido diferenciar en las unidades yesíferas (356) y arcillosas (355).

Existen numerosos puntos de observación de esta unidad, en todas las zonas donde aflora, especialmente en numerosos caminos que cortan transversalmente los relieves ocasionados por los niveles de yesos, más competentes que los niveles arcillosos.

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.

2.1.1.12. Arcillas rojas (378). 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 Rada la Fm. Tudela se desarrolla por ocupando la zona deprimida entre los relieves que forman el Anticlinal de Falces y los del Anticlinal de Arguedas, formando el núcleo del sinclinal de Peralta. Esta zona se extiende desde el paraje del Hondo de Espartosa hasta la zona de Barrancosalado, estando recubierta en algunas zonas por materiales cuaternarios.

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 subesféricos, 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).

**2.1.1.13. Lutitas ocre y areniscas (384). Calizas margosas (385).
Unidad de Miranda de Arga. Orleaniense.**

El conjunto se desarrolla en toda la zona septentrional de la hoja, ocupando los llanos desde el Oeste de la localidad de Rada hasta la zona de Los Portillos, próxima ya la localidad de Caparros, en la contigua hoja del mismo nombre situada al norte de esta que nos ocupa. Intercalados en los niveles lutitas (384) aparecen dos bandas formadas por calizas margosas que suponen un resalte en la topografía baja formada por las lutitas. Estas bandas siguen una dirección NO-SE, dirección principal de plegamiento.

Esta unidad presenta un contacto transicional con la Unidad de Olite de la que se distingue por la disminución en proporción y potencia de los términos areniscosos y por la incorporación destacada de intercalaciones carbonatadas lacustres.

Se trata de un conjunto de lutitas rojas con delgadas intercalaciones de areniscas y margas. Los términos lutíticos, están representados por arcillas rojizas (color ladrillo

característico) en tramos homogéneos de potencia métrica a decamétrica, ocasionalmente con trazas de yesos, o alternando con otras litologías (areniscas y calizas). En consecuencia, es evidente el predominio de facies aluviales enmarcándose en un contexto de frente aluvial muy distal con desarrollo de charcas palustres carbonatadas de carácter efímero.

Las areniscas representan las intercalaciones más comunes, aunque escasas. Aparecen predominantemente como capas tabulares de potencia centimétrica a decimétrica que adquieren tonos ocre-rojizos a grises. Su morfología y estructuras sedimentarias (granoclasificación positiva, huellas de base, laminación paralela, estratificación cruzada de mediana escala, escapes de fluidos y *ripples* a techo) indican su depósito bajo mecanismos de tipo *sheet flood* en avenidas episódicas, que en ocasiones pueden afectar a zonas lacustre-palustres, generándose capas de tonos grises con *ripples* de oleaje y laminaciones onduladas. Localmente los niveles de areniscas adquieren mayor desarrollo y potencia incorporando cuerpos canalizados de potencia métrica. Estos presentan *sets* tabulares superpuestos de láminas cruzadas y *cosets* de *ripples* de corriente a techo indicando configuraciones de baja sinuosidad.

En IGME (1987) se han determinado una larga lista de ostrácodos y caráceas constituyendo asociaciones propias del Mioceno inferior a medio. Se cuenta además con la referencia de los yacimientos de vertebrados de las Fms. Tudela y Alfaro en la región, donde se indica una edad de Ageniense superior (MN2) a Orleaniense medio (MN4), por lo que la edad de la unidad debe corresponder a este último piso.

Esta unidad cartográfica representa los términos claramente aluviales del conjunto. Hacia el N se relaciona con sistemas aluviales de procedencia pirenaica de los que constituye el frente distal. En este contexto son relativamente frecuentes los desarrollos de facies lacustre-palustres.

2.1.1.14. Areniscas y lutitas (383). Unidad de Olite. Orleaniense.

Esta unidad cartográfica se corresponde a la denominada Unidad de Olite, aflorante en esquina nororiental de la Hoja, situándose por debajo de los depósitos de Glacis de

Piedemonte que forman el Plano de El Ferial, llegando hasta el Vedado de Egúaras y regionalmente representa los términos más detríticos de la Fm Tudela.

Los afloramientos suelen ser bastante frecuentes en las laderas del Plano de El Ferial, si bien en algunas zonas son difíciles de observar.

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

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

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

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

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

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

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

2.1.1.15. Arcillas rojas. (386). Conglomerados (387). 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.

Sus únicos afloramientos se sitúan en la esquina suroccidental de la Hoja, donde tanto las arcillas como los canales de conglomerados aparecen recubriendo distintas unidades de la Formación Lerín. En esta zona se encuentran algunas canteras, donde se ha extraído material de los canales de conglomerados donde puede observarse la estructura de estas intercalaciones conglomeráticas.

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 silíceas 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.

2.2. CUATERNARIO

2.2.1. Pleistoceno

2.2.1.1. Conglomerados con encostramientos carbonatados a techo (Glacis de piedemonte) (515). Pleistoceno inferior.

Configuran las grandes plataformas elevadas que ocupan la mitad sureste de la hoja. Con una superficie muy plana, reflejan una pendiente deposicional hacia el SO y el O. Están disectados por la red de drenaje dando unos escarpes muy bien conservados. La litología conglomerática al superponerse sobre materiales más finos y blandos, produce un efecto similar a una superficie estructural.

Forman parte de un sistema de abanicos aluviales antiguos procedentes de los relieves septentrionales y orientales de la región. Están integrados por conglomerados de cantos redondeados de calizas y areniscas de 10 cm de diámetro, con valores máximos de 15 cm. Aparecen fuertemente cementados por carbonatos, siendo su espesor de 6-8 m. Se trata de uno de los depósitos cuaternarios más antiguos de la Hoja, habiéndose asignado al Pleistoceno inferior.

2.2.1.2. Cantos y gravas con matriz limoso-arcillosa (Glacis) (517, 518). Pleistoceno medio-superior.

Los glacis de cobertera poseen una representación menor que los anteriores, pero son también importantes. Se pueden reconocer hasta dos generaciones que se sitúan paralelamente al borde distal del glacis de techo de piedemonte. Por lo general, su composición refleja la del sustrato sobre el que se desarrollan, así como la de los relieves al pie de los cuales se generan. Están constituidos por gravas y lutitas con cantos dispersos, a veces bloques, de carácter anguloso a subanguloso, de composición, areniscosa y calcárea. Los glacis del sector septentrional, están constituidos por cantos redondeados de calizas y areniscas de diámetros de 6-10 cm. Su génesis está en relación con el desmantelamiento del relieve establecido en la zona tras el depósito de los abanicos aluviales antiguos, razón por la que se ha atribuido al Pleistoceno.

2.2.1.3. Gravas, cantos, arenas, arcillas y limos (Terrazas) (503 a 508, 521, 523, 524, 525). Pleistoceno medio-superior.

El sistema de terrazas que aparece en esta hoja, pertenece al barranco del Salado, a excepción de un afloramiento que se encuentra en el sector noroeste y que corresponde al sistema del río Aragón (en la hoja de Caparroso, contigua por el norte). Los diferentes niveles cartografiados se sitúan a +10-12 m, +40-45 m, +60-65 m y +90-100 m. El nivel inferior se considera como terrazas "baja", el de +40-45 m, como terraza "media" y los dos superiores, como terrazas "bajas". Todas ellas poseen un dispositivo morfológico de terrazas colgadas y escarpes netos, sin degradar.

Uno de los rasgos de algunas terrazas de la región, es la deformación que presentan, relacionada con la naturaleza del sustrato yesífero. Entre los fenómenos observados, se

encuentran colapsos, basculamientos y plegamientos que modifican localmente el aspecto típico de estos depósitos. Aunque en el ámbito de la hoja no son frecuentes, algunas manifestaciones se encuentran en el sector suroccidental.

Por su parte, la litología de las terrazas es muy similar en todas ellas, si bien la granulometría y el grado de cementación por carbonatos, muestran ciertas variaciones. En general, están formadas por gravas polimícticas, con arenas y lutitas en proporción variable, predominando los clastos redondeados de naturaleza areniscosa y carbonatada; cuando aparecen cementadas constituyen auténticos conglomerados. En cuanto al tamaño de los cantos, es muy variable presentando en ocasiones dos modas; se encuentran clastos de hasta 40 cm de diámetro en las terrazas altas, aunque el tamaño medio fluctúa entre 10 y 20 cm; frente a estos valores, en las terrazas bajas predominan los diámetros de 6-8 cm, con máximos de 15 cm. Los espesores son muy irregulares, siendo habituales las potencias de 3-4 m, reconociéndose valores superiores en las terrazas "altas".

2.2.1.4. Limos, arenas y cantos (Conos de deyección) (512, 536). Pleistoceno medio y Holoceno.

Los conos de deyección son muy escasos. Se generan cuando la carga concentrada en barrancos estrechos alcanza áreas más amplias donde se expande, dando lugar a sus típicas formas en abanico. Por lo general se trata de formas aisladas, de pequeño tamaño, que se instalan en los principales valles como en el barranco del Salado.

Están formados por limos y arcillas que engloban cantos dispuestos en delgadas hiladas. A veces presentan cementaciones, pero muy superficiales y de poca consistencia. Al disponerse a la salida de los barrancos, lógicamente su composición variará en función del área madre, predominando en cualquier caso los constituyentes de naturaleza yesífera, carbonatada y areniscosa. Por ejemplo, el cono más antiguo, situado al norte de la hoja, se alimenta del glacis de techo de piedemonte por lo que su composición será de carácter más conglomerático que los más recientes.

2.2.2. Holoceno

2.2.2.1. Limos, arcillas y cantos (Glacis actual-subactual) (534). Holoceno.

En el cuadrante suroeste, en la margen norte de la acequia Riajon se instalan unos glacis muy recientes que se han denominado como glacis actuales-subactuales. Son muy planos, de perfil algo cóncavo y formados por materiales muy finos. Están muy conectados con los fondos de valle por lo que se les asigna una edad holocena.

2.2.2.2. Arcillas, arenas y gravas (Aluvial-coluvial) (537). Holoceno.

En el sector centro-septentrional existen valles muy poco encajados en los que resulta difícil delimitar los depósitos de origen fluvial y los procedentes de las laderas; son las formas de origen aluvial-coluvial. Son de pequeño tamaño, pero muy abundantes y rellenan valles perpendiculares a las estructuras de plegamiento. Ya que se trata de depósitos muy localizados, su composición presenta escasas variaciones, reflejando en cualquier caso la del sustrato donde se desarrollan; por ello predominan los términos lutíticos con delgadas hiladas de cantos de calizas y arenisca, así como niveles de arenas. Su espesor, difícil de establecer, debe oscilar entre 1 y 2 m. Lógicamente, se les ha asignado la misma edad que a los depósitos de fondo de valle y a los coluviones, es decir, Holoceno.

2.2.2.3. Lutitas, cantos, gravas y arenas (Fondos de valle) (527). Holoceno.

Los fondos de valle aparecen como formas alargadas y estrechas y con una longitud que varía sensiblemente según zonas. En algunos casos, su geometría aparece perfectamente adaptada a la estructura, en tanto que en otras, a la pendiente regional y en el sector septentrional. Esto mismo sucede con los depósitos aluviales-coluviales desarrollados sobre los yesos. Poseen un espesor comprendido entre 3 y 5 m, aunque ocasionalmente puede ser superior. Predominan las lutitas de tonalidades rojas, grises u ocre, que incluyen cantos de tamaño variable y, en ocasiones, gravas y bloques. En

menor medida, también se reconocen niveles de arenas. La litología de sus componentes es muy variable, predominando los fragmentos de yeso, caliza o arenisca, según las zonas. Por su íntima relación con la red fluvial actual se atribuyen al Holoceno.

2.2.2.4. Limos, arcillas y arenas con cantos y bloques (Coluviones) (543). Holoceno.

No son muy abundantes en la superficie de la hoja por no existir grandes desniveles y se presentan al pie de las laderas de los principales valles, en relación con los depósitos aluviales, apareciendo también al pie de algunos escarpes estructurales. Son de formas alargadas y estrechas y se disponen paralelamente a los ríos o a los escarpes. Son depósitos de reducido espesor, en general inferior a 2 m. Su constitución litológica depende directamente de la naturaleza de su área madre, predominando los cantos y arenas procedentes de los depósitos de glaciares, así como lutitas, yesos, calizas y areniscas de los sedimentos terciarios. Por su posición con respecto a las vertientes actuales, así como por su relación con el resto de los depósitos cuaternarios se han asignado al Holoceno.

2.2.2.5. Gravas, arenas y limos (Llanura de inundación) (526). Holoceno.

La única llanura de inundación que se ha representado, en esta hoja, corresponde a la de la acequia Riajon, en la esquina suroeste. 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. Se considera de edad holocena.

2.2.2.6. Arcillas y limos con materia orgánica. (Fondos endorreicos) (549). Holoceno.

Se forman en áreas de topografía muy suave y de sustrato impermeable. Ambas condiciones se dan en la zona de estudio, sobre todo en los sectores centro-septentrional y suroccidental. En el primer sector dan lugar a grandes formas, alargadas en la

dirección de las estructuras, mientras que en el segundo son algo más pequeñas. Son funcionales en la actualidad y en época de lluvias se ven cubiertas de agua. Están constituidos por depósitos finos asociados a áreas de drenaje deficiente, donde se producen encharcamientos de varios kilómetros de longitud. Se trata de arcillas grises y limos con un moderado contenido en materia orgánica y que en general poseen un espesor superior a 1 m. Ocasionalmente pueden intercalar depósitos más groseros suministrados por los barrancos que alcanzan la depresión. Por su disposición dentro del relieve actual se han atribuido al Holoceno, sin que se descarte que su génesis se iniciase en el Pleistoceno.

3. TECTÓNICA

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.

3.1. 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 Rada son las tres primeras: el sinclinal de Miranda de Arga, que aparece en la esquina nororiental de la Hoja y, especialmente, el Anticlinal de Falces, que recorre la Hoja desde la esquina Noroccidental hasta la zona del Vedado de Eguaras, en la esquina opuesta del mapa. El sinclinal de Peralta aparece al Sur de la Hoja, entre el Anticlinal de Falces y el de Arguedas, del cual solamente aparece una pequeña porción de su flanco Norte.

3.1.1. Sinclinal de Miranda de Arga

Como se ha señalado, el Sinclinal de Miranda de Arga se extiende en dirección ONO-ESE por la esquina noroccidental de la Hoja, cercana ya su terminación y soterramiento en la vecina hoja de 243-I.

El núcleo está ocupado por diversas unidades de la Fm. Tudela, que se disponen con buzamientos moderados (10-15°) a ambos flancos, si bien el meridional presenta buzamientos más fuertes, indicadores de una vergencia hacia el Sur y Suroeste. La principal característica distintiva de esta estructura consiste en la marcada disposición en *on lap* hacia el Anticlinal de Falces de la Fm. Tudela sobre la Fm. Lerín, lo que se traduce en un acusado incremento de espesores para la primera hacia el N. Este fenómeno se hace patente en la Hoja por el desarrollo de la Unidad de Olite, integrada por facies aluviales de procedencia pirenaica, en el flanco norte de la estructura, donde presenta una potencia superior a los 500 m. Se acuña en el flanco sur, en parte por su disposición en *on lap* hacia el Anticlinal de Falces y también por paso lateral y en vertical a las Unidades de Miranda y Portillo, que contienen niveles lacustres carbonatados.

Éste se caracteriza por su estructuración en un sistema de pliegues de dirección NO-SE y vergencia sur que registran una gran extensión longitudinal.

El Anticlinal de Falces constituye la principal estructura de la Hoja. Al Norte de éste se encuentra en primer lugar el Sinclinal de Miranda de Arga y posteriormente el Anticlinal de Pitillas.

3.1.2. 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.

La terminación periclinal de este pliegue aparece en la margen izquierda del Barranco Salado, donde la Unidad Superior de los Yesos de Falces y la Fm. Arcillas de Marcilla dibujan en esta zona el cierre del Anticlinal. El flanco Sur, próximo a este cierre periclinal esta cortado por numerosas fallas transversales.

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.

3.1.3. 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.

4. GEOMORFOLOGÍA

4.1. DESCRIPCIÓN FISIAGRÁFICA

El territorio representado por la hoja, a escala 1:25.000, de Rada (244-I) está incluido en la hoja, a escala 1:50.000, de Alfaro y pertenece al sector centro-meridional de la Comunidad Autónoma de Navarra.

Desde el punto de vista geográfico, la zona se sitúa en 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. Más concretamente, ocupa parte de su sector occidental, denominado Cuenca de La Rioja-Navarra (RIBA et al., 1983) o Cubeta Navarro-Riojana (ORTÍ, 1990). Morfoestructuralmente, esta zona está caracterizada por un conjunto de materiales terciarios, plegados según una dirección NO-SE y una serie de depósitos, de edad cuaternaria, de gran extensión que arrasan, disectan y modelan el conjunto anterior.

Las características fisiográficas derivadas de esta disposición dan como resultado dos dominios bien diferenciados cuyo límite sería la diagonal SO-NE de la hoja. En el primer dominio, mayoritariamente ocupado por sedimentos terciarios, se caracteriza por la morfología estructural y por una serie de depósitos más recientes que se adaptan a la dirección general de las estructuras. El segundo está ocupado, en la mayor parte de su superficie por un gran glacis de piedemonte que procedente del este y del noreste, arrasa el conjunto terciario dando como resultado una gran planicie. Este segundo dominio pertenece, ya, a la región de las Bardenas Reales. Dadas las características tan especiales de este espacio protegido, merece la pena añadir algunos datos de interés. Se trata de un relieve condicionado por la litología y la estructura, pero en el que han influido de sobremanera el factor climático. La escasez de vegetación y un régimen de lluvias escasas pero torrenciales, ha hecho posible la formación de una red fluvial con una gran capacidad erosiva. Esta erosión ha sido el principal modelador del relieve, actuando de forma e intensidad diferentes.

La altura media del relieve de la hoja es de unos 350 m, con la cota más alta en el Monte Cascajo (441 m), situado casi en el centro de la zona. Por otra parte la planicie dada por el glacis de piedemonte del sector de la Bardenas Reales se desarrolla ente los 400 y 440 m, con las mayores alturas al este y las mas bajas, al oeste, próximas a los valles.

La red fluvial que aparece en la hoja es tributaria del río Ebro, pero no aparecen cursos de agua importantes. El de mayor desarrollo es el Barranco del Salado, límite oeste de las Bardenas Reales, destacando su afluente, por la margen izquierda, Val de la Fuente del Ferial, embalsado con el mismo nombre

Climatológicamente, la región pertenece al tipo Mediterráneo Templado, con precipitaciones medias anuales comprendidas entre 400 y 600 mm y temperaturas medias anuales de 13 a 14 °C. También aquí hay que hacer mención aparte al clima de las Bardenas Reales, más extremo que el de la región de La Rioja. Por su situación, están sujetas a un tipo de clima Mediterráneo occidental, caracterizado por lluvias escasas y esporádicas, veranos calurosos e inviernos fríos. Como zona árida y esteparia, las precipitaciones varían entre los 400 y 500 mm. La temperatura media anual oscila entre los 13 y 14 °C, con épocas en las que se alcanzan los 50 °C de máxima y los -5 °C de mínima. El viento también es un elemento clave en la Bardenas sobre todo en las zonas deforestadas. Se trata del Cierzo, un viento helador en invierno y moderado en verano que se produce por las diferencias entre las altas presiones del Cantábrico, Europa o la Meseta y las bajas del Mediterráneo. En esta zona esteparia, entre el Moncayo y los Pirineos, el cierzo suele soplar en dirección NO-SE, alcanzando con facilidad los 70 km/h, aunque puede llegar hasta 120 km/h.

Se trata de una zona muy poco poblada, con un sólo núcleo de población, Rada, y algunos caseríos y casas de campo, donde se distribuyen sus habitantes. La agricultura constituye la principal ocupación de sus habitantes que además de ocupar los fondos de valle han instalado excelentes sistemas de regadío en el sector septentrional. La vegetación muestra un fuerte contraste entre los reducidos bosques existentes en las zonas más abruptas, frente los extensos matorrales y terrenos claros.

Las vías de comunicación se basan en unas cuantas carreteras entre las que destaca la N-121 y en una serie de numerosos caminos y pistas que permiten el acceso a la práctica totalidad de la Hoja.

4.2. ANTECEDENTES

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

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

De gran ayuda han sido las aportaciones de las hojas geológicas a escala 1:50.000 correspondientes al Plan MAGNA de la región, especialmente las de Tafalla (173), Peralta (206), Calahorra (243) y Alfaro (244) porque incluyen un capítulo de geomorfología y un esquema a escala 1:100.000. Por último, mención aparte merecen las Hojas geológicas y geomorfológicas a escala 1:25.000 realizadas dentro del presente "Proyecto de actualización e informatización de la cartografía geológica de Navarra" en zonas próximas, por la gran cantidad de datos aportados y la puesta al día llevada a cabo sobre la geología de la región.

4.3. 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).

4.3.1. Estudio morfoestructural

La hoja de Rada (244-II) se localiza en la Cuenca de La Rioja-Navarra, perteneciente al sector noroccidental de la Depresión del Ebro, caracterizado por una clara influencia de la estructura en el relieve, derivada a su vez de la acción de la tectónica sobre los diferentes conjuntos litológicos.

De acuerdo con los rasgos geológicos regionales, los afloramientos terciarios que integran el sustrato aparecen modelados mayoritariamente por la dinámica fluvial. Los procesos fluviales, junto con los endorreicos, poligénicos y de ladera, dejan al descubierto la estructura tectónica de esta región.

4.3.1.1. Formas estructurales

El dominio terciario, en el que aflora un conjunto sedimentario atribuido al Oligoceno-Mioceno, está caracterizado por una serie arcillosa con intercalaciones de yesos con algunos niveles de calizas. Dichas intercalaciones configuran diversos resaltes estructurales como consecuencia de su mayor resistencia a la erosión, siendo estos niveles los que permiten definir la geometría de la zona consistente en una sucesión de pliegues de orden kilométrico a decakilométrico orientados según una dirección NO-SE, cuya continuidad regional aparece solamente interrumpida por la red de drenaje.

Los resaltes poseen una continuidad importante, con frecuencia de varios kilómetros, pudiendo aparecer como simples líneas de capa, en el sector noroccidental, o acompañados de escarpes más o menos pronunciados, pero en todos los casos con desniveles inferiores a 50 metros. También se observan algunas superficies estructurales y una serie de cerros cónicos, resultado de la erosión selectiva.

4.3.1.2. Estructura de la red de drenaje

La red de drenaje de la hoja muestra un marcado carácter consecuente al seguir la línea de máxima pendiente regional. Sobre este patrón general, que en conjunto configura una geometría dendrítica, existe una excepción: los cursos del sector noroccidental que poseen un elevado grado de adaptación a la estructura, discurriendo de SE a NO y dando lugar a un patrón de tipo rectangular.

4.3.2. Estudio del modelado

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

4.3.2.1. Formas de laderas

No son muy abundantes en la superficie de la hoja por no existir grandes desniveles y están representadas exclusivamente por los coluviones. Por lo general se presentan al pie de las laderas de los principales valles, en relación con los depósitos aluviales, apareciendo también al pie de algunos escarpes estructurales. Son de formas alargadas y estrechas y se disponen paralelamente a los ríos o a los escarpes.

4.3.2.2. Formas fluviales

Constituyen uno de los grupos de mayor relevancia y están representadas por fondos de valle, llanuras de inundación, conos de deyección y terrazas. Como formas erosivas se han reconocido huellas de incisión lineal y de arroyada difusa, escarpes de terrazas y acaravamientos con sus cabeceras correspondientes.

Los fondos de valle aparecen con formas alargadas y estrechas y con una longitud que varía sensiblemente según zonas. En algunos casos, su geometría aparece perfectamente adaptada a la estructura, en tanto que en otras, según la pendiente

regional y en el sector septentrional. Esto mismo sucede con los depósitos aluviales-coluviales desarrollados sobre los yesos.

La única llanura de inundación que se reconoce en la hoja, es la situada en la esquina suroeste sobre la acequia Riajon. Es de forma rectilínea, con una dirección SE-NO, fondo muy plano y llega a superar 1 Km de anchura. Esta muy poco encajada y, localmente, se producen encharcamientos

El sistema de terrazas que aparece en esta hoja, pertenece al barranco del Salado, a excepción de un afloramiento que se encuentra en el sector noroeste y que corresponde al sistema del río Aragón (en la hoja de Caparroso, contigua por el norte). Los diferentes niveles cartografiados se sitúan a +10-12 m, +40-45 m, +60-65 m y +90-100 m. El nivel inferior se considera como terrazas “baja”, el de +40-45 m, como terraza “media” y los dos superiores, como terrazas “bajas”. Todas ellas poseen un dispositivo morfológico de terrazas colgadas y escarpes netos, sin degradar.

Uno de los rasgos de algunas terrazas de la región, es la deformación que presentan, relacionada con la naturaleza del sustrato yesífero. Entre los fenómenos observados, se encuentran colapsos, basculamientos y plegamientos que modifican localmente el aspecto típico de estos depósitos. Aunque en el ámbito de la hoja no son frecuentes, algunas manifestaciones se encuentran en el sector suroccidental.

Los conos de deyección son muy escasos. Se generan cuando la carga concentrada en barrancos estrechos alcanza áreas más amplias donde se expande, dando lugar a sus típicas formas en abanico. Por lo general se trata de formas aisladas, de pequeño tamaño, que se instalan en los principales valles como en el barranco del Salado.

En cuanto a las formas erosivas, la incisión lineal suele tener un desarrollo transversal a los principales cursos de cada zona. En algunas áreas, su acción da lugar a un retroceso de las cabeceras. El desarrollo de cárcavas, con sus correspondientes cabeceras, es frecuente en los afloramientos arcillosos, cuyo carácter “blando” favorece el desarrollo de una profunda incisión. Los mejores ejemplos pueden observarse en el límite noroeste de la hoja.

4.3.2.3. Formas endorreicas

Se forman en áreas de topografía muy suave y de sustrato impermeable. Ambas condiciones se dan en la zona de estudio, sobre todo en los sectores centro-septentrional y suroccidental. En el primer sector dan lugar a grandes formas, alargadas en la dirección de las estructuras, mientras que en el segundo son algo más pequeñas. Son funcionales en la actualidad y en época de lluvias se ven cubiertas de agua.

4.3.2.4. Formas poligénicas

Están representadas por depósitos de origen aluvial-coluvial, glacis y glacis de techo de piedemonte.

Los glacis de techo de piedemonte configuran grandes plataformas elevadas que ocupan la mitad sureste de la hoja. Con una superficie muy plana, reflejan una pendiente deposicional hacia el SO y el O. Están disectados por la red de drenaje dando unos escarpes muy bien conservados. La litología conglomerática al superponerse sobre materiales más finos y blandos, produce un efecto similar a una superficie estructural. Los glacis de cobertera poseen una representación menor, pero son también importantes. Se pueden reconocer hasta tres generaciones, de las cuales, las dos más antiguas se sitúan paralelamente al borde distal del glacis de techo de piedemonte. En el cuadrante suroeste, en la margen norte de la acequia Riajon se instalan unos glacis muy recientes que se han denominado como glacis actuales-subactuales. Son muy planos, de perfil algo cóncavo y formados por materiales muy finos.

En el sector centro-septentrional existen valles muy poco encajados en los que resulta difícil delimitar los depósitos de origen fluvial y los procedentes de las laderas; son las formas de origen aluvial-coluvial. Son de pequeño tamaño, pero muy abundantes y rellenan valles perpendiculares a las estructuras de plegamiento.

4.4. FORMACIONES SUPERFICIALES

Se consideran como tales todas aquellas formas con depósito, consolidado o no, relacionadas con el modelado del relieve actual (GOY et al., 1981). Su principal

característica es su cartografiabilidad, definiéndose por una serie de atributos como geometría, textura, potencia, tamaño, génesis y cronología, abordándose a continuación los aspectos relacionados con litología, textura y potencia.

Las formaciones superficiales de ladera están representadas exclusivamente por los coluviones. Son depósitos de reducido espesor, en general inferior a 2 m. Su constitución litológica depende directamente de la naturaleza de su área madre, predominando los cantos y arenas procedentes de los depósitos de glaciares, así como lutitas, yesos, calizas y areniscas de los sedimentos terciarios. Por su posición con respecto a las vertientes actuales, así como por su relación con el resto de los depósitos cuaternarios se han asignado al Holoceno.

Las formaciones superficiales de origen fluvial están formadas por fondos de valle, llanura de inundación, conos de deyección y terrazas.

Los fondos de valle constituyen el depósito de los cursos que discurren a través de los principales valles. Tienen de forma alargada, adaptados a la estructura de la red de drenaje. Aunque en algunos casos alcanzan una longitud de orden kilométrico y una anchura moderada, no ofrecen un gran interés y poseen un espesor comprendido entre 3 y 5 m, aunque ocasionalmente puede ser superior. Predominan las lutitas de tonalidades rojas, grises u ocre, que incluyen cantos de tamaño variable y, en ocasiones, gravas y bloques. En menor medida, también se reconocen niveles de arenas. La litología de sus componentes es muy variable, predominando los fragmentos de yeso, caliza o arenisca, según las zonas. Por su íntima relación con la red fluvial actual se atribuyen al Holoceno.

La única llanura de inundación que se ha representado, en esta hoja, corresponde a la de la acequia Riajon, en la esquina suroeste. 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. Se considera de edad holocena.

Los conos de deyección están formados por limos y arcillas que engloban cantos dispuestos en delgadas hiladas. A veces presentan cementaciones, pero muy superficiales y de poca consistencia. Al disponerse a la salida de los barrancos, lógicamente su composición variará en función del área madre, predominando en cualquier caso los constituyentes de naturaleza yesífera, carbonatada y areniscosa.

Por su parte, la litología de las terrazas es muy similar en todas ellas, si bien la granulometría y el grado de cementación por carbonatos, muestran ciertas variaciones. En general, están formadas por gravas polimícticas, con arenas y lutitas en proporción variable, predominando los clastos redondeados de naturaleza areniscosa y carbonatada; cuando aparecen cementadas constituyen auténticos conglomerados. En cuanto al tamaño de los cantos, es muy variable presentando en ocasiones dos modas; se encuentran clastos de hasta 40 cm de diámetro en las terrazas altas, aunque el tamaño medio fluctúa entre 10 y 20 cm; frente a estos valores, en las terrazas bajas predominan los diámetros de 6-8 cm, con máximos de 15 cm. Los espesores son muy irregulares, siendo habituales las potencias de 3-4 m, reconociéndose valores superiores en las terrazas "altas".

Las formaciones superficiales de origen endorreico están constituidas por depósitos finos asociados a áreas de drenaje deficiente, donde se producen encharcamientos de varios kilómetros de longitud. Se trata de arcillas grises y limos con un moderado contenido en materia orgánica y que en general poseen un espesor superior a 1 m. Ocasionalmente pueden intercalar depósitos más groseros suministrados por los barrancos que alcanzan la depresión. Por su disposición dentro del relieve actual se han atribuido al Holoceno, sin que se descarte que su génesis se iniciase en el Pleistoceno.

Finalmente, se tratan las formaciones superficiales de carácter poligénico, representadas por glacia de techo de piedemonte, glacia de cobertera, glacia actuales-subactuales y depósitos de aluvial-coluvial. Los glacia de techo de piedemonte corresponden al depósito de las plataformas más elevadas, que aparecen en la mitad suroriental de la hoja. Forman parte de un sistema de abanicos aluviales antiguos procedentes de los relieves septentrionales y orientales de la región. Están integrados por conglomerados de cantos redondeados de calizas y areniscas de 10 cm de diámetro, con valores máximos

de 15 cm. Aparecen fuertemente cementados por carbonatos, siendo su espesor de 6-8 m. Se trata de uno de los depósitos cuaternarios más antiguos de la Hoja, habiéndose asignado al Pleistoceno inferior.

Los glaciares de cobertera se desarrollan sobre depósitos neógenos, preferentemente arcillosos, contribuyendo a la morfología actual de las vertientes poco acusadas. Por lo general, su composición refleja la del sustrato sobre el que se desarrollan, así como la de los relieves al pie de los cuales se generan. Están constituidos por gravas y lutitas con cantos dispersos, a veces bloques, de carácter anguloso a subanguloso, de composición, areniscosa y calcárea. Los glaciares del sector septentrional, están constituidos por cantos redondeados de calizas y areniscas de diámetros de 6-10 cm. Su génesis está en relación con el desmantelamiento del relieve establecido en la zona tras el depósito de los abanicos aluviales antiguos, razón por la que se ha atribuido al Pleistoceno.

Por lo que se refiere a los glaciares más recientes, hay que señalar que son muy planos, de perfil cóncavo y con una textura mucho más fina que los glaciares de cobertera. Están muy relacionados con la red de drenaje actual por lo que se consideran de edad holocena.

Los aluviales-coluviales son depósitos de origen mixto, característicos de valles poco encajados, en los que resulta extremadamente difícil discriminar entre la parte derivada de un origen fluvial y la que posee un origen gravitacional. Ya que se trata de depósitos muy localizados, su composición presenta escasas variaciones, reflejando en cualquier caso la del sustrato donde se desarrollan; por ello predominan los términos lutíticos con delgadas hiladas de cantos de calizas y arenisca, así como niveles de arenas. Su espesor, difícil de establecer, debe oscilar entre 1 y 2 m. Lógicamente, se les ha asignado la misma edad que a los depósitos de fondo de valle y a los coluviones, es decir, Holoceno.

4.5. EVOLUCIÓN DINÁMICA

La evolución geomorfológica de una zona de reducidas dimensiones es difícil de establecer sin integrarla en un entorno regional más amplio, por lo que es preciso considerarla dentro del contexto de la Depresión del Ebro.

El episodio sedimentario más antiguo está representado por los depósitos de abanicos aluviales procedentes de los relieves del sector septentrional y oriental, probablemente aún en el Pleistoceno inferior, que dio como resultado una superficie ligeramente inclinada hacia el suroeste. Esta superficie constituyó el punto de partida del encajamiento de la red fluvial, principal agente modelador de la zona, que llevó aparejados una serie de procesos denudativos y sedimentarios, entre los que destacan la erosión de los relieves por parte de los ríos y arroyos y la acumulación de los depósitos transportados, en terrazas. La erosión vertical de la red fue acompañada por un retroceso de las laderas, favorecido por los procesos gravitacionales.

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

En el Holoceno, la dinámica fluvial ha seguido gozando de una gran preponderancia en el modelado de la región, tanto por la acción llevada a cabo en los fondos de los valles, como por la ejercida mediante los conos de deyección. Los depósitos de las laderas ahora sí permanecen “momentáneamente” conservados en forma de coluviones, deslizamientos y desprendimientos, comenzando a adquirir cierta relevancia los procesos endorreicos, favorecidos por una clara disminución de las pendientes regionales y la existencia de un sustrato arcilloso-yesífero.

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

4.6. MORFOLOGÍA ACTUAL-SUBACTUAL Y TENDENCIAS FUTURAS

La fisonomía actual de la hoja de Rada es debida fundamentalmente a dos factores, la estructura del sustrato y el encajamiento de la red fluvial.

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

La previsible evolución del relieve a corto plazo no sugiere modificaciones importantes en relación con los procesos actuales, siendo de esperar una tendencia general de aproximación del relieve al nivel de base local, marcado por el río Aragón, tendente a su vez a alcanzar el del río Ebro. Si bien en las áreas de afloramiento de materiales blandos se suavizarán las formas, incluso con un aumento del carácter endorreico, la superior resistencia a la erosión de algunos niveles podría exagerar los desniveles asociados con algunas formas estructurales. Otro probable efecto futuro es la captura de algunos cursos del sector septentrional, que discurren hacia el Norte, por parte de los del meridional, adaptándose así a la pendiente regional. Por último, resulta imposible predecir todas aquéllas modificaciones relacionadas con las deformaciones de los materiales yesíferos.

5. 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 monoclinial, en clara discordancia progresiva de dirección NNO-SSE y vergencia al Suroeste y Sur como resultado de la última etapa importante de compresión pirenaica.

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

6. GEOLOGÍA ECONOMICA

6.1. RECURSOS MINERALES

En la Hoja a escala 1:25.000 de Rada (244-II) solamente se ha inventariado 1 indicio mineros, de yesos. Se trata de una cantera abandonada situada en la esquina noroccidental de la Hoja.

6.1.1. Minerales y Rocas Industriales.

6.1.1.1. Yesos

Los yesos de la Fm Falces y de la Unidad de Los Arcos se presentan 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.

La cantera de yesos de las Hoja es de dimensiones moderadas y se encuentran en la actualidad abandonadas.

6.1.1.2. Arcillas comunes

Aunque no existen indicios de arcillas en la Hoja, la importante extenación de las arcillas de la Fm. Tudela y el hecho de que se exploten en numerosos puntos de la región hace que la incluyamos en este apartado. Especialmente por sus favorables propiedades (50-60% en illita y 5-10% en clorita) para la fabricación de ladrillos (*ladrillos de Tudela*).

6.1.1.3. 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.

6.1.1.4. 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 Peralta 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.

6.1.1.5. 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 Peralta (206-III) no se ha inventariado ningún indicio de esta sustancia, cuya cita en el presente epígrafe se debe únicamente a su potencial minero.

6.1.1.6. 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.

6.2. HIDROGEOLOGIA

6.2.1. Introducción

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

6.2.2. 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 el núcleo del Anticlinal de Falces.

La Unidad 1 esta fuertemente replegada, mientras que la Unidades Superior (315) 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 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 unidades anteriores, los Yesos y Arcillas de Sesma (11 y 12) se desarrollan en la hoja a ambos flancos del Anticlinal de Falces. 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 ocre 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 (350). Se ha diferenciado también un tramo arenoso (351) 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 Falces. En profundidad contiene niveles de halita en proporciones destacadas, que alternan de forma más 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 (378), en las que se intercalan niveles de areniscas y calizas margosas que cuando alcanzan suficiente expresión cartográfica se han diferenciado (379). 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.

- Unidad de Olite. Mioceno inferior a medio

La Unidad de Olite (383) aparece en la esquina nororiental de la Hoja, disponiéndose discordantemente sobre la Fm. Tudela. Se diferencia de esta por su mayor contenido en areniscas, constituyendo un conjunto sedimentario de marcado carácter aluvial, representado litológicamente por arcillas ocres y rojizas con abundantes intercalaciones de areniscas. En éstas se pueden desarrollar acuíferos locales de poca entidad.

- Unidades de Miranda de Arga. Mioceno inferior a medio

Ocupa la zona septentrional de la Hoja, siendo la parte superior de la serie terciaria en esta zona. Registra buzamientos medios y moderados y su potencia en la Hoja alcanza los 500 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 lutílicos 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.

6.2.3. 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

6.2.3.1. 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.

6.2.3.2. 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, (Rada, 244-II), comprende los acuíferos cuaternarios ligados al curso bajo del Aragón, que si bien no aparece en la Hoja, está próximo. Los niveles de mayor interés se encuentran en las terrazas bajas y medias ambos ríos, incluyéndose también en la Unidad Hidrogeológica las terrazas altas y parte del sistema de abanicos aluviales.

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.

6.2.3.3. 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 hojas 244 algunos de los puntos de descarga más significativos, dichos puntos 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 DEL TRUJAL	Manantial	EBRO	ARGA	FUNES
744	DELALTO	Manantial	EBRO	ARGA	FUNES

697 LA QUEMADA Manantial EBRO EBRO VALTIERRA

6.3. GEOTECNIA

6.3.1. Introducción

En este apartado se describe la cartografía geotécnica de la Hoja a escala 1:25.000 nº 244-II correspondiente a Rada, 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.

6.3.2. Metodología

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

1. 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
2. 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).
3. 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.

6.3.3. Zonificación geotécnica

6.3.3.1. 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.

6.3.3.2. 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
511, 42, 43, 527, 530, 526, 541 y 529	III ₄	Lutitas y limos con cantos
543 y 549	III ₃	Bloques y lutitas con cantos
517, 518, 536, 534, 537 y 512	III ₂	Lutitas y arenas con cantos
27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 515	III ₁	Conglomerados, gravas, arenas y lutitas
379 y 385	II ₃	Conglomerados y calizas
369, 383 y 376	II ₂	Arcillas rojas y areniscas
378, 384, 386 y 387	II ₁	Arcillas rojas con intercalaciones de areniscas y calizas
314, 333, 332, 348 y 356	I ₃	Arcillas con intercalaciones de areniscas y carbonatos
342, 347, 350 y 351	I ₂	Margas, arcillas, yesos e intercalaciones de areniscas y carbonatos
312, 315, 334, 338, 341, 349, 354 y 355	I ₁	Yesos con algunas intercalaciones de margas

Cuadro 1.- Correlación entre las unidades geológicas y zonas geotécnicas

6.3.3.3. Características geotécnicas

6.3.3.3.1. 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^o 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

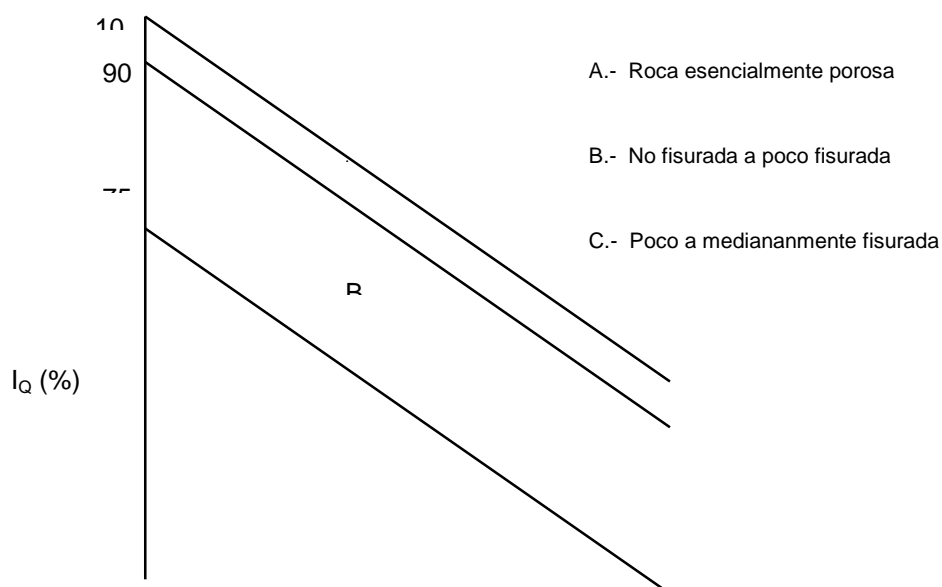
- Índice de calidad (I_Q). Se define como la relación porcentual entre la velocidad de propagación de ondas longitudinales (V_L) en testigos cilíndricos de roca y en roca sana (sin fisuras ni huecos). La Figura 6.1 muestra valores medios de V_L en diferentes tipos de roca en estado sano.

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, tal y como muestra la Figura 6.2



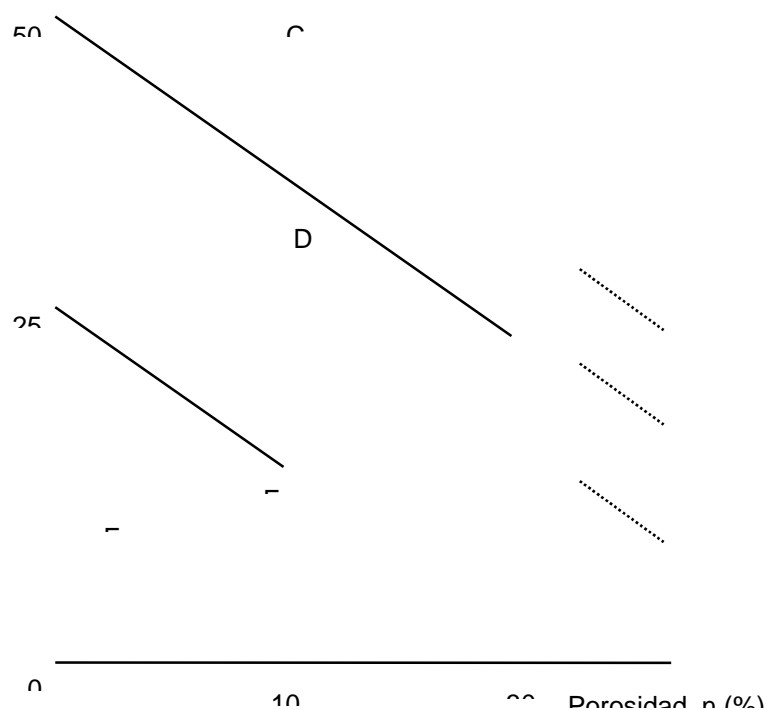


Fig. 6.2. Descripción de la densidad de fisuración de una muestra de roca con ayuda del índice de calidad y la porosidad total. (modificado de FOURMAINTREUX, 1976; en OTEO MAZO, 1978).

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

ROCA		ENSAYO DE CAMPO	
Descripción	Co (MPa)	Navaja	Martillo geológico
Ext. Resistente	> 250	No corta	El golpe arranca pequeños trozos
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 (Q_u) y la resistencia a tracción (σ_{tb}) en el ensayo brasileño (Q_u/σ_{tb}) aumenta al hacerlo Q_u , pudiendo variar de 10 a 15 para $Q_u < 500$ 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 (C_u) en la correlación $E = 130 \times C_u$ 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.

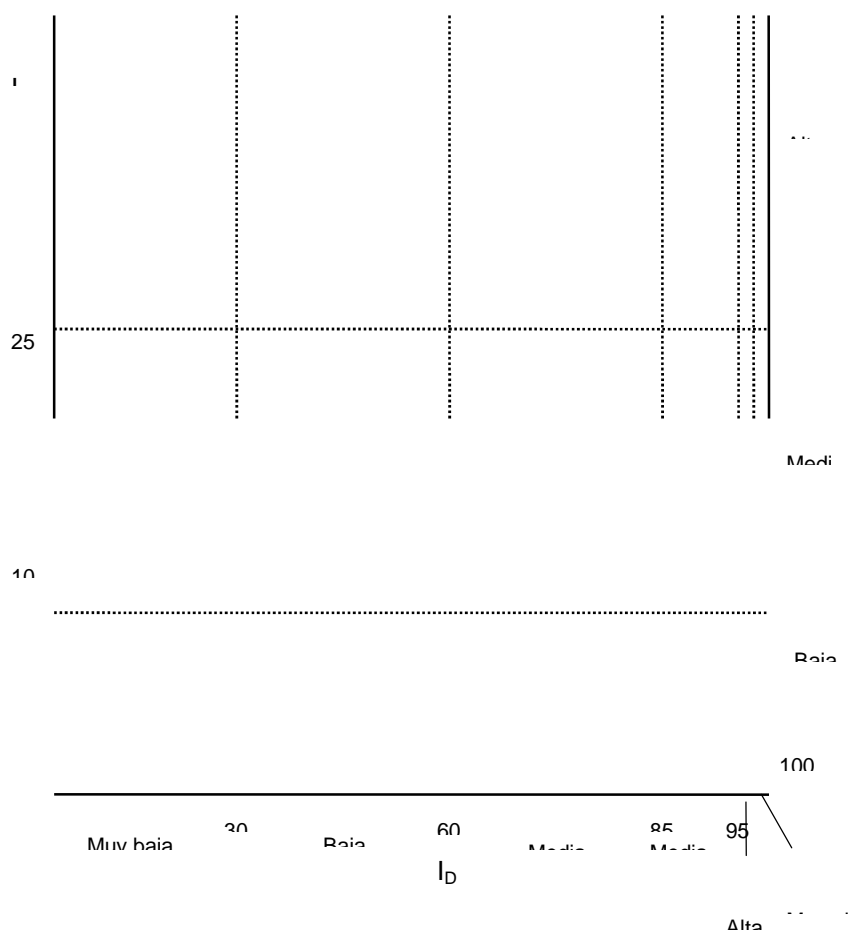


Fig. 6.3. Clasificación de durabilidad-plasticidad en rocas arcillosas propuesta por GAMBLE (ISRM, 1972).

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/cm^2 y de 30 Kp/cm^2 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

6.3.3.3.2. Área I

6.3.3.3.2..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, para 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.

6.3.3.3.2.2 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 asientos 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).

6.3.3.3.2..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).

6.3.3.3.3. Área II

6.3.3.3.3.1 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).

6.3.3.3.3..2 ZONA II₂

- Características Geológico-Geotécnicas

La Zona II₂ aparece en la Hoja representada por las unidades cartográficas 18 (Lutitas rojas y ocres), 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 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 (□)		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.

6.3.3.3.4. Área III

6.3.3.3.4.1 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.

6.3.3.3.4..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 riesgo de avenidas), que será necesario encontrar niveles profundos más resistentes (incluso el sustrato). En estos casos, el tipo de cimentación será semiprofunda.

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

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

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

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

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

Aptitud para préstamos. En general constituyen Terrenos Aptos, ocasionalmente marginales. Los tramos de gravas se consideran Aptos, si bien precisan una clasificación que elimine 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.

6.3.3.3.4..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 glaciares) 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.

6.3.3.3.4.4 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
Humedad Óptima Proctor Normal	15-12,7 %
Ángulo de Rozamiento Interno (ϕ)	30,5-38 ⁰⁰

Cohesión (C')	1,0
Contenido en sulfatos	0,01%

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

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

- Características Constructivas

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN.

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

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

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

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

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

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

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

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

6.3.3.3.4..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 consideraran 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 ($<30^\circ$) 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.

6.3.3.3.4..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".

7. 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., POCIVI, 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-IIIIV). 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 nº 3: Villafranchien de Villarroja. V Congr. Int. INQUA, 7-10. Madrid-Barcelona.

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

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

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

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 sedimentarios y diagenéticos (Mioceno inferior, Cuenca del Ebro). In: Recursos Minerales de España (GARCÍA GUINEA, J. y MARTÍNEZ FRÍAS, J., Eds.). CSIC-Madrid, pp 1251-1274.

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

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

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