



Gobierno de Navarra
Departamento de Obras Públicas,
Transportes y Comunicaciones

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE NAVARRA
ESCALA 1:25.000

HOJA 206-I
MIRANDA DE ARGA

MEMORIA

La cartografía geológica y geomorfológica de esta hoja y su correspondiente memoria han sido realizadas por la UTE "Informes y Proyectos, S.A.-Compañía General de Sondeos S.A." (**INYPSA-CGS**) durante los años 2000-2001, con normas, dirección y supervisión del Gobierno de Navarra, habiendo intervenido los siguientes técnicos:

Dirección y Supervisión (Gobierno de Navarra)

Faci Paricio, Esteban

Dirección del Proyecto

Autores y Colaboradores

Olivé Davó, Alfonso (CGS, S.A.)

Cartografía, Geomorfología y Memoria

Huerta Carmona, Julián (CGS, S.A.)

Cartografía Geológica

Ramirez Merino, Jose Ignacio (CGS, S.A.)

Cartografía Geológica

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ESTRATIGRAFÍA	5
2.1. Terciario.....	5
3. LITOESTRATIGRAFÍA.....	7
3.1.1.1. Yesos y margas (312). <i>Yesos de Falces</i> . Arverniense superior-Ageniense inferior.....	8
3.1.1.2. Margas y yesos. Yesos de Falces (315). Ageniense inferior.	10
3.1.1.3. Arcillas ocreas con algunas intercalaciones de areniscas y calizas (333). <i>Arcillas de Marcilla</i> . Ageniense inferior.	11
3.1.1.4. Yesos grises (338). <i>Nivel de Alcanadre</i> . Ageniense.	13
3.1.1.5. Arcillas ocreas, margas blancas, areniscas, calizas, dolomías y yesos (342). <i>Arcillas y yesos de Peralta</i> . Ageniense	14
3.1.1.6. Yesos y margas (349) <i>Yesos de Sesma</i> . Ageniense.	16
3.1.1.7. Arcillas ocreas, areniscas, margas y yesos (350) <i>Arcillas de Villafranca</i> . Ageniense....	17
3.1.1.8. Yesos (354) <i>Yesos de Los Arcos</i> . Ageniense.	18
3.1.1.9. Lutitas ocreas y areniscas (365) y Arcillas ocreas y rojizas con intercalaciones de areniscas (383). Arcillas rojas con intercalaciones de areniscas y calizas (384) y Calizas y margocalizas (385). <i>UNIDAD DE OLITE</i> . Orleaniense.	19
3.1.1.10. Arcillas rojas con algunas intercalaciones de areniscas y calizas (399). <i>Unidad de Artajona</i> . Orleaniense-Astaraciense.	24
3.2. CUATERNARIO	25
3.2.1. Pleistoceno	25
3.2.1.1. Conglomerados con encostramientos carbonatados a techo. Techo de piedemonte (515). Pleistoceno	25
3.2.1.2. Conglomerados, gravas, arenas y lutitas ocreas. Terrazas medias y bajas y llanuras aluviales del río Arga (521 y 524). Pleistoceno-Holoceno.....	26
3.2.1.3. Cantos y gravas con matriz limo-arcillosa y lutitas con cantos. Glacis (519 y 534). Holoceno	27
3.2.1.4. Limos y arcillas con cantos. Conos de deyección (536). Holoceno.	27
3.2.1.5. Gravas, arenas y lutitas. Cauces abandonados y Meandros (530) y Barras (529). Holoceno	28
3.2.1.6. Lutitas y arenas con cantos y bloques. Coluviones (543). Holoceno	28
3.2.1.7. Lutitas con cantos y arenas. Fondos de valle (527). Holoceno	29
3.2.1.8. Grandes bloques, arcillas y limos. Deslizamientos (545). Holoceno	29

4. TECTÓNICA.....	31
4.1. CONSIDERACIONES GENERALES	31
4.2. DESCRIPCIÓN DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS	33
4.2.1. Sinclinal de Miranda de Arga.....	34
5. GEOMORFOLOGÍA.....	36
5.1. DESCRIPCIÓN FISIAGRÁFICA	36
5.2. ANTECEDENTES	37
5.3. ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO.....	38
5.3.1. Estudio morfoestructural	38
5.3.2. Estudio del modelado	39
5.3.2.1. Formas de laderas	39
5.3.2.2. Formas fluviales	40
5.3.2.3. Formas poligénicas	41
5.4. FORMACIONES SUPERFICIALES	42
5.4.1.1. Lutitas y arenas con cantos y bloques. Coluviones (a). Holoceno	42
5.4.1.2. Conglomerados, gravas, arenas y lutitas. Terrazas y llanuras de inundación (d-k). Pleistoceno-Holoceno	43
5.4.1.3. Limos y arcillas con cantos. Conos de deyección (l). Holoceno.....	43
5.4.1.4. Gravas, arenas y lutitas. Barras (m). Meandros y cauces abandonados (n). Holoceno 44	
5.4.1.5. Lutitas con cantos, gravas y arenas. Fondos de valle (ñ). Holoceno	44
5.4.1.6. Conglomerados con encostramientos carbonatados a techo. Glacis de techo de piedemonte (o). Pleistoceno	45
5.4.1.7. Lutitas con cantos y gravas. Glacis (i). Pleistoceno-Holoceno	45
5.5. EVOLUCIÓN DINÁMICA	45
5.6. MORFOLOGÍA ACTUAL-SUBACTUAL Y TENDENCIAS FUTURAS.....	47
6. HISTORIA GEOLÓGICA.....	49
7. GEOLOGÍA ECONÓMICA	53
7.1. RECURSOS MINERALES.....	53
7.1.1. Minerales y Rocas Industriales.	53
7.1.1.1. Arcillas.....	53
7.1.1.2. Calizas	53
7.2. 5.2. HIDROGEOLOGÍA.....	54
7.2.1. Descripción de las formaciones	54

7.2.1.1.	Yesos y margas. Yesos de Falces. Oligoceno superior-Mioceno inferior	54
7.2.1.2.	Arcillas ocre y rojizas con intercalaciones de areniscas, margas, calizas, yesos y dolomías. Arcillas de Marcilla y Peralta. Oligoceno superior-Mioceno inferior	54
7.2.1.3.	Yesos y margas. Yesos de Sesma. Mioceno inferior	55
7.2.1.4.	Arcillas ocre, areniscas, margas y yesos. Arcillas de Villafranca. Mioceno inferior ...	56
7.2.1.5.	Yesos, margas y arcillas. Yesos de Los Arcos. Mioceno inferior	56
7.2.1.6.	Arcillas rojizas con intercalaciones de areniscas y calizas. Fm.. Tudela. Mioceno inferior a medio	57
7.2.1.7.	Gravas, arenas y lutitas. Formaciones cuaternarias de alta permeabilidad	57
7.2.1.8.	Fangos, arenas y lutitas con cantos. Formaciones cuaternarias de media y baja permeabilidad	58
7.2.2.	Unidades acuíferas.	58
7.2.2.1.	Unidad Hidrogeológica Sur.....	59
7.3.	GEOTECNIA.....	62
7.3.1.	Introducción	62
7.3.2.	Metodología.....	63
7.3.3.	Zonificación geotécnica	65
7.3.3.1.	Criterios de división	65
7.3.3.2.	División en Áreas y Zonas Geotécnicas.....	65
7.3.1.	<i>Características geotécnicas</i>	66
7.3.1.1.	<i>Introducción</i>	66
7.3.1.2.	Área I	71
7.3.1.3.	Área II	76
7.3.1.4.	Área III	81

1. INTRODUCCIÓN

La Hoja a escala 1:25.000 de Miranda de Arga (206-I), incluida en la hoja a escala 1:50.000, de Peralta, se localiza en el sector meridional de la Comunidad Foral. Forma parte de la denominada Ribera Navarra, región que se extiende a lo largo de la margen izquierda del Ebro en el límite con las Comunidades autónomas de La Rioja y Aragón

La Ribera Navarra constituye fisiográficamente una zona deprimida y algo alomada en consecuencia con su posición axial en el valle del Ebro. Hacia el N de la Hoja se desarrollan algunas elevaciones que superan los 400 m de altitud dando paso a la Navarra Media.

El río Arga representa la principal arteria hidrográfica de la Hoja, discurriendo en sentido N-S por la parte centro-occidental de la misma. A su paso por la localidad de Miranda de Arga, en el extremo NO de la hoja se encuentra a una cota de unos 300 m, descendiendo suavemente hasta los 290 m en Falces, ya en el cuadrante de Peralta (206-III) situado al Sur.

La localidad de Miranda de Arga es la única reseñable en todo el ámbito de la hoja. En la vega del Arga se encuentran algunos caseríos que alcanzan mayor entidad en las proximidades a las carreteras (Vergalijo). El resto del territorio se encuentra absolutamente despoblado,. La agricultura representa la principal actividad en la región y sus productos alcanzan un merecido prestigio a escala nacional. El desarrollo industrial se encuentra en buena medida subordinado a la producción agraria y se localiza principalmente en Peralta, al Sur de la hoja, que cuenta con un importante polígono industrial.

Salvando la Autopista A-15, que transcurre por la parte oriental de la Hoja en dirección N-S, las vías de comunicación más importantes corresponden a las carreteras autonómicas, NA-115 que se dirige hacia el NE y SO a Olite y Rincón de Soto respectivamente, y la que une Marcilla y Berbinzana atravesando la Hoja en sentido SSE-NNO.

En el aspecto geológico, la Hoja a escala 1:25.000 de Miranda de Arga se enmarca regionalmente en el sector occidental de la Cuenca Terciaria del Ebro, cuyo relleno se

realizó a lo largo del Oligoceno y Mioceno por depósitos continentales en condiciones endorreicas. Este sector actuó durante el Terciario como una subcuenca (Cuenca Navarro-Riojana en el sentido de SALVANY, 1989) con relativa independencia de los sectores vecinos, representados al E y O por el Sector Central o Aragonés y de La Bureba, respectivamente. Los márgenes septentrional y meridional de la Cuenca Navarro-Riojana están delimitados por los cabalgamientos de la Sierra de Cantabria y Cuenca de Pamplona (Pirineos) al Norte, y por la Sierra de Cameros (Cordillera Ibérica) al Sur.

En la Hoja de Miranda de Arga la serie terciaria está representada básicamente por una alternancia a gran escala entre unidades esencialmente arcillosas de origen aluvial y perilacustre y lacustre de naturaleza carbonatada, estructuradas en un suave sinclinal de dirección NO-SE (sinclinal de Miranda de Arga). En el ángulo suroccidental se reconocen una serie de niveles yesíferos que destacan como resaltes morfológicos constituyendo sierras de mediana altura. La estructuración del sustrato terciario sigue preferentemente la dirección ONO-ESE conforme a los grandes pliegues de la región

Las formaciones cuaternarias alcanzan una gran representación en el valle del Arga correspondiendo las zonas bajas a las ocupadas por distintos niveles de terrazas bajas y medias.

Los primeros estudios geológicos relevantes sobre los materiales terciarios de la Cuenca Navarro-Riojana datan de las décadas de los 50' y 60', son de carácter estratigráfico regional y están suscritos por Oriol Riba y diversos colaboradores (RIBA, 1955, 1964, RIBA y PÉREZ, 1962, CRUSAFONT et al., 1966, y más recientemente, RIBA et al., 1983, RIBA y JURADO, 1992 y RIBA, 1992). Paralelamente se inicia la prospección petrolera en el país con la perforación, en las hojas 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).

En la década de 1970 se produce un nuevo avance en el conocimiento de la geología del Terciario de Navarra por parte de los geólogos de la Diputación Foral de Navarra: Jaime Solé, Javier Castiella, Cayo Puigdefábregas, Joaquín Del Valle y otros colaboradores. Su trabajo culmina con la publicación del primer Mapa Geológico de

Navarra (CASTIELLA et al., 1978) a escala 1:200.000, basado en cartografías previas a escala 1:25.000 de Navarra. De esta misma época son también los primeros mapas geológicos a escala 1:50.000 del Plan MAGNA editados por el IGME (Hojas de Sadaba, Lodosa, Logroño, Alfaro, Calahorra, Tudela y Sos del Rey Católico) y realizados por el mismo grupo de geólogos, con la asistencia del paleontólogo Ramírez del Pozo. Otro trabajo relevante de este período es la tesis de licenciatura de SOLÉ (1972) sobre el Terciario del margen NO de la Ribera de Navarra. A finales de la siguiente década SALVANY, (1989) presenta su tesis doctoral, centrada en el estudio de los depósitos lacustres evaporíticos del Terciario de Navarra y La Rioja. Esta tesis estuvo financiada por el Gobierno de Navarra, en un convenio con la Universidad Central de Barcelona, cuyo informe final fue realizado por ORTÍ y SALVANY, (1986). 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.

2. ESTRATIGRAFÍA

En la cartografía geológica de la Hoja a escala 1: 25.000 de Miranda de Arga se han aplicado técnicas modernas en el campo de la sedimentología y estratigrafía secuencial consistentes básicamente en el análisis sistemático de facies y cicloestratigráfico. En este sentido hay que hacer notar la dificultad de establecer unidades tectosedimentarias debido a la disposición paraconcordante de la mayor parte de las unidades estratigráficas de la sucesión terciaria y a la generalizada convergencia de facies como consecuencia de la situación central de la zona de estudio en la Cuenca. Por lo tanto la división estratigráfica planteada en el presente informe se basa, para buena parte de la serie terciaria, en criterios esencialmente litoestratigráficos.

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

2.1. Terciario

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

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

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

La sucesión terciaria se estructura regionalmente en una serie de anticlinales y sinclinales cuyos ejes se disponen en dirección ONO-ESE, de los que en la presente hoja se reconoce el sinclinal de Miranda de Arga citado anteriormente.

La terminología litoestratigráfica adoptada para la sucesión terciaria de la Hoja está basada en el trabajo de SALVANY (1989) y se resume en el siguiente cuadro:

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

Litoestratigráfica del Terciario en la Hoja de Peralta (206).

De este modo, en la Hoja de Miranda de Arga la serie terciaria se divide a grandes rasgos en cuatro Formaciones litoestratigráficas (RIBA, 1964 y CASTIELLA, 1978): **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, que culmina en calizas lacustres dominantes. 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).

3.1.1.1. Yesos y margas (312). Yesos de Falces. Arverniense superior-Ageniense inferior.

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).

Los afloramientos de esta Unidad en la Hoja de Miranda de Arga, se encuentran circunscritos al núcleo del anticlinal de Falces, donde constituye los términos más antiguos de la sucesión terciaria aflorante. En consecuencia no se alcanza su base, que está definida hacia el N y NO (Hojas de Tafalla, nº 173, Allo, nº 172 y Viana, nº 171), por depósitos terrígenos (Areniscas de Mues y Facies de Espronceda). El techo de los Yesos de Falces está determinado regionalmente por la entrada generalizada de los depósitos arcillosos aluviales de la Fm. Marcilla (333), 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 (315).

Se localiza, exclusivamente, en el ángulo suroccidental de la Hoja, desarrollándose con más amplitud en la vecina Hoja de Peralta, al Sur, donde aflora a ambos lados del Arga, si bien hacia el Oeste se registra una mayor extensión que hacia el Este, donde la unidad se encuentra muy recubierta por depósitos cuaternarios. Los mejores puntos de observación se sitúan en la margen derecha del río, muy cerca del borde Sur de la Hoja de Miranda de Arga, existiendo un corte prácticamente continuo a lo largo del cantil excavado en los yesos, desde el N de Falces hasta las proximidades de Peralta. Por esta razón, la descripción detallada de la unidad se hará en base a datos obtenidos en esa zona.

En superficie la Fm. Falces 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 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.

3.1.1.2. Margas y yesos. Yesos de Falces (315). Ageniense inferior.

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 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. Se reconoce en la misma zona suroccidental que la unidad anterior, sobre la que reposa en concordancia, registrando una potencia superior a los 200 m.

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

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.

3.1.1.3. Arcillas ocreas con algunas intercalaciones de areniscas y calizas (333). Arcillas de Marcilla. Ageniense inferior.

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

Entre ambas formaciones media un contacto concordante que corresponde 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 (Unidad 7, Yesos de Alcanadre) fácilmente distinguible fotogeológicamente, que representa la base de la Unidad de Peralta, de la Fm. Lerín. La Fm. Marcilla se reconoce en la misma zona suroccidental, correspondiente al flanco Norte del anticlinal de Falces, con buzamientos de unos 20-30° al N .

Su potencia en la Hoja se cifra normalmente en unos 100 m, y 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 intercalaciones en las arcillas son por lo general de escaso espesor (dm), de modo que no ha sido posible su individualización en la cartografía geológica.

Las areniscas son las intercalaciones más comunes. Predominantemente corresponden a capas tabulares de potencia centi-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-grueso a fino-muy fino. Destacan por presentar superficies marcadas de progradación lateral con láminas cruzadas y *ripples* desarrollados en sentido contrapuesto o perpendicular al de la acreción. En la base de los niveles pueden observarse depósitos de carga residual formados por cantos blandos, y son relativamente frecuentes los fenómenos de deformación hidrolástica. Se interpretan como pequeños canales efímeros de configuración meandriforme.

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

La Fm. 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 (5 y 6).

En IGME (1987) 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).

3.1.1.4. Yesos grises (338). Nivel de Alcanadre. Ageniense.

La base de la Unidad de Peralta (SALVANY 1989) está perfectamente definida por un nivel guía yesífero, de potencia relativamente reducida, pero de gran continuidad cartográfica.

Se ha correlacionado con el Nivel de Alcanadre, definido por SALVANY (1989) en el sector de Lodosa, equivalencia basada en su posición estratigráfica y otras analogías (gran continuidad, potencia, litología).

En la Hoja de Miranda de Arga, aflora en su zona SO, (flanco Norte del Anticlinal de Falces), constituyendo un excelente nivel-guía fotogeológico que define perfectamente la estructura. La gran continuidad cartográfica contrasta con su moderada potencia, que se cifra en unos 15-35 m.

Los mejores puntos de observación se localizan, al igual que las Unidades adyacentes, a favor de la red de caminos que discurren por la margen derecha del Arga

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

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.

3.1.1.5. Arcillas ocreas, margas blancas, areniscas, calizas, dolomías y yesos (342). Arcillas y yesos de Peralta. Ageniense

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

Su base se delimita con claridad merced al nivel yesífero al que se ha hecho referencia anteriormente (Unidad 7) mientras que a techo se dispone otro paquete yesífero de gran potencia y extensión, correspondiente a los Yesos de Sesma.

Hacia el Suroeste, fuera de la Hoja, presenta una correlación bastante razonable con la Unidades de Sartaguda y Lodosa descritas por SALVANY (1989).

En la Hoja de Mitanda (206-I) se desarrolla en la misma zona de las unidades anteriores, en la margen derecha del Arga (flanco N del Anticlinal de Falces), donde registra una potencia en torno a los 200 m.

Litológicamente constituye un conjunto arcilloso de tonos ocreos, con algunos horizontes rojizos, e intercalaciones de yesos, margas, areniscas y carbonatos.

Las lutitas representan el término litológico predominante y se disponen en intervalos homogéneos de espesor métrico-decamétrico. Muestran 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 niveles de calizas son bastante frecuentes aunque por su reducida potencia (inferior a 50 cm) no son representables en la cartografía geológica. Muestran 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 siendo más frecuentes en la parte inferior y media de la Unidad de Peralta. En la Hoja no resultan diferenciables cartográficamente debido a su reducido espesor. Predominan los depósitos de tipo *sheet-flood*, correspondientes a capas tabulares ocre 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 son los niveles de dolomías, que suelen asociarse a los tramos con yesos. Forman capas de potencia centi-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 margas y de calizas micríticas, donde se ha determinado (IGME, 1987) una asociación cronoestratigráficamente próxima a la base del Mioceno. Las muestras recogidas en los cortes de la Hoja han ofrecido unos pobres resultados reconociéndose únicamente *Chara 7*, *Chara 3* y microfauna resedimentada del Eoceno y Cretácico superior. Por correlación con las

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

3.1.1.6. 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.

En la Hoja destaca como un resalte de mayor competencia entre los términos arcillosos de la Fm. Lerín (Unidades de Peralta y Villafranca), desarrollándose en la zona correspondiente al flanco norte del Anticlinal de Falces.

Su potencia puede estimarse en unos 20-25 m., aumentando de forma acusada hacia el S, donde puede alcanzar los 75-100 m en el flanco sur de la estructura.

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.

3.1.1.7. Arcillas ocreas, areniscas, margas y yesos (350) Arcillas de Villafranca. Ageniense.

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

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

En la Hoja de Miranda de Arga la Unidad de Villafranca se desarrolla, al igual que las anteriores, en el área correspondiente al flanco septentrional del anticlinal de Falces.

El mejor punto de observación se encuentra en el camino que transcurre cercano al río, por la margen derecha del Arga.

Su potencia media en la Hoja es de unos 70-80 m, si bien tiende a disminuir progresivamente hacia el E.

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

Los términos 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 ocre de potencia centimétrica, eventualmente decimétrica. Presentan abundantes estructuras sedimentarias: Granoclasificación positiva, laminación paralela, escapes de fluidos de pequeña envergadura, convoluciones de las láminas, *ripples* de corriente y oleaje, con frecuencia colapsados, grietas de desecación, bioturbación y ocasionales icnitas de vertebrados.

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

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.

3.1.1.8. Yesos (354) Yesos de Los Arcos. Ageniense.

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

Su base está bien definida por las Arcillas de Villafranca (350). A techo se dispone la Fm. Tudela (363) en franca discordancia erosiva.

En la Hoja la Unidad de Los Arcos se desarrolla también en el flanco norte del Anticlinal de Falces, con un espesor de unos 20-25 m., si bien en zonas situadas al Sur puede alcanzar espesores superiores a los 100 m.

Desde un punto de vista litológico, los Yesos de Los Arcos presentan unas características similares a los de la Unidad de Sesma (349). 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 el flanco septentrional de la estructura de Falces hay que hacer notar, con respecto a zonas más meridionales, el aumento en términos pelíticos correspondientes a margas grisáceas yesíferas que alternan con niveles más o menos masivos de yesos.

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.

3.1.1.9. Lutitas ocre y areniscas (365) y Arcillas ocre y rojizas con intercalaciones de areniscas (383). Arcillas rojas con intercalaciones de areniscas y calizas (384) y Calizas y margocalizas (385). UNIDAD DE OLITE. Orleaniense.

Las Facies de Tudela o Fm. Tudela (CASTIELLA et al. 1978) constituyen un conjunto de materiales principalmente arcillosos, con niveles de carbonatos y areniscas, que se desarrolla ampliamente en la región de Tudela y Las Bárdenas, al SE de la cuenca Navarro-Riojana, y que se extiende hacia el Oeste por los sinclinales de Sesma y Miranda de Arga. Se disponen de forma discordante sobre la Fm. Lerín, truncando los términos superiores de ésta. Se correlacionan hacia el Sur con las Facies de Alfaro, características de la Rioja Baja y hacia el Norte pasan lateralmente a las Facies de Olite.

En la presente Hoja (Miranda de Arga, 206-I) se han distinguido cinco unidades cartográficas pertenecientes o atribuibles todas ellas en terminos generales a las Facies o Fm. Tudela: Unidades 16, 17, 18 ,19 y 22. En la Hoja a escala 1:50.000 de Peralta (IGME, 1987) y posteriormente en algunas de las Hojas a escala 1:25.000 (Gobierno de Navarra) realizadas en otras zonas se propone una asignación de unidades litoestratigráficas a Ciclos que tienen, respecto a las unidades anteriormente referidas, las siguientes equivalencias:

- *Ciclo de Olite*: Unidades cartográficas: 16, 17, 18 y 19.
- *Ciclo de Artajona*: Unidad cartográfica 22.

Se describen en el presente epígrafe las Unidades cartográficas 16 y 17, y 18 y 19 puesto que se encuentran en relación lateral en la serie, constituyendo los términos inferiores de la Fm. Tudela en la Hoja., y quedando integradas en el *Ciclo de Olite* , mientras que en apartado siguiente se hará lo propio con los materiales del *Ciclo de Artajona*.

Los materiales atribuidos a la **unidad cartográfica 16 (Lutitas ocre y areniscas)** afloran exclusivamente en una pequeña zona localizada en el ángulo noroccidental de la hoja, en su límite con la de Tafalla, mientras los de la **unidad 17 (Arcillas ocre y rojizas con intercalaciones de areniscas)**, ocupan buena parte del límite oriental de la Hoja.

La primera de ellas (**unidad 16**), está formada por arcillas y limos amarillentos, rojizos en ocasiones, en los que se intercalan capas de areniscas correspondientes a rellenos de paleocanales, de sección transversal lenticular y escasa relación anchura/altura. Tienen megaestratificación cruzada, y son frecuentes las estructuras de acreción lateral. Además de los canales, se intercalan numerosos bancos de arenisca fina, casi siempre con ripples de corriente, a veces agrupados en pequeños haces en forma de canales. En los fangos es frecuente la presencia de huellas de bioturbación debida a raíces, que conservan la posición de vida. Las secuencias son marcadamente granodecrecientes.

El espesor de la unidad puede superar los 300 m., y representa el paso de unos depósitos formados en un ambiente fluvial de gran energía, con cursos de agua anastomosados y regímenes de sheet flood, en un ambiente de abanicos aluviales, a

unos depósitos de régimen fluvial meandriforme de energía decreciente, donde predominan los sedimentos de llanura aluvial.

La unidad cartográfica 17 (arcillas ocre y rojizas con intercalaciones de areniscas), es conocida regionalmente como Arcillas de Olite y aflora ampliamente en la hoja de Miranda en su parte oriental. Corresponde a una transición distal de la unidad anterior, con la que se encuentra en cambio lateral de facies.

Está constituida por arcillas y limos de tonos anaranjados y amarillentos, localmente rojizos, que incluyen capas de 10 a 50 cm. De areniscas de grano fino.

Las estructuras predominantes son la laminación paralela y laminación cruzada de pequeña escala, con bioturbación de baja a moderada. Hacia el techo de la unidad, pueden contener niveles de escasa potencia de calizas.

Las características sedimentológicas mencionadas indican, para estas zonas distales y de llanura lutítica, el predominio de la deposición de lutitas, a menudo como resultado de inundaciones generalizadas, originadas por fenómenos de arroyada en manto (*sheet-floods*), con esporádicos flujos canalizados. En estas zonas se formarían esporádicas charcas efímeras, con depósitos de carbonatos.

Los materiales correspondientes a las **unidades cartográficas 18 y 19** se localizan en la zona central de la hoja, ocupando más de las dos terceras partes de la misma correspondiente al ámbito del sinclinal de Miranda de Arga.

Ambas unidades configuran un conjunto de lutitas (384) con delgadas intercalaciones de areniscas, margas y calizas, estas últimas distinguidas cartográficamente (385) cuando alcanzan suficiente entidad.

El conjunto puede alcanzar una potencia próxima a los 500 m.

La **Unidad 18** se caracteriza litológicamente por el predominio de los términos lutíticos, 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 aunque en menor proporción (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 junto a las calizas, de la Unidad 18. Aparecen en escasa proporción, 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.

La **Unidad 19** contiene los términos carbonatados del conjunto y se caracteriza por el predominio de facies lacustres (calizas micríticas, margas y areniscas grises y a veces delgados niveles lignitíferos) frente a los depósitos terrígenos (arcillas rojizas y areniscas) claramente aluviales característicos de la Unidad 18. Aparecen en secuencias métricas estratocrecientes de espesor métrico en el que las calizas grises representan el techo de la secuencia.

Las calizas constituyen niveles de potencia centimétrica y decimétrica, excepcionalmente métrica, asociados a los cuales se generan intervalos adyacentes de arcillas grises más o menos margosas. Dan lugar a relieves tipo cuestras y destacan claramente en el paisaje. Texturalmente corresponden a *wackestones* micríticos con fósiles, (ostrácodos, caráceas y fragmentos de gasterópodos), intraclastos y peloides, que registran contenidos variables en terrígenos (matriz arcillosa y granos). En afloramiento exhiben laminaciones onduladas y *ripples* de oleaje y en algunos tramos se observan desarrollos estromatolíticos de escasa envergadura.

Los términos margosos registran una mayor variedad litológica. Por un lado se reconocen niveles decimétricos de arcillas margosas grises de aspecto bastante homogéneo que se asocian a las capas de calizas. Son relativamente frecuentes los

horizontes ferruginosos asociados a niveles centi-decimétricos margosos. Además de su carácter ferruginoso destacan por el elevado contenido en fósiles constituyendo en ocasiones verdaderas lumaquelas de gasterópodos de los géneros *Limnea* y *Planorbis*.

Los niveles carbonosos, aunque bastante escasos, suelen estar relacionados lateralmente con las margas ferruginosas fosilíferas. Registran espesores comprendidos entre 5 y 25 cm y corresponden a lignitos sucios muy ferruginosos.

Las areniscas subordinadas a la Unidad aparecen en capas tabulares de potencia centimétrica a decimétrica. Predominan los niveles de tonos grises originados en condiciones subacuáticas, que constituyen composicionalmente una mezcla de elementos terrígenos, aportados por los sistemas aluviales, y de materiales lacustres resedimentados. En consecuencia presentan un contenido apreciable en componentes carbonatados (matriz micrítica, intraclastos, cantos blandos) y carbonosos siendo muy frecuentes los restos macerados de plantas. Las estructuras sedimentarias corresponden a laminación paralela y *ripples* de oleaje. La bioturbación es intensa borrando con frecuencia otras estructuras sedimentarias, son bastante abundantes los *burrows* de escape y las pistas de reptación de pequeños invertebrados.

Los niveles carbonatados contienen gran cantidad de restos paleontológicos consistentes básicamente en ostrácodos, caráceas, gasterópodos acuáticos y peces. En IGME (1987) se han determinado una larga lista de ostrácodos y caráceas constituyendo asociaciones propias del Mioceno inferior a medio: *Chara 1*, *Chara 3*, *Elkocythereis aff. bramletti*, *Cypria curvata*, *Candona praecox*, *Candona recta*, *Candona sp.*, *Limnocythere aff. pterigoventrata*, *Planorbis* e *Hydrobia*. 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), si bien en la Hoja por su posición estratigráfica se les ha asignado a este último piso.

La Unidad 18 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 carbonatadas evidenciados por niveles de calizas micríticas de extensión kilométrica.

Las diversas intercalaciones de la Unidad 19 se relacionan con sucesivos episodios de expansión relativa de los sistemas lacustre-palustres de la Fm. Tudela facilitada por un descenso en la actividad diastrófica, lo que se traduce en una menor actividad aluvial. Se desarrollan por tanto áreas extensas con estancamientos de aguas dulces en charcas y lagos someros de márgenes muy vegetados, que reciben avenidas episódicas de materiales terrígenos aportados por los sistemas aluviales de procedencia septentrional.

3.1.1.10. Arcillas rojas con algunas intercalaciones de areniscas y calizas (399). *Unidad de Artajona. Orleaniense-Astaraciense.*

La Unidad 22 constituye el techo de la sucesión terciaria en la Hoja y representa la parte superior de las F. Tudela, correspondiendo a la Unidad del Portillo y más recientemente a la denominada Unidad de Artajona (Gobierno de Navarra 1993).

Aunque de litología algo similar a la Unidad 18 se distingue por situarse por encima de esta y por la presencia de niveles de areniscas y abundante arcilla y escasez de términos carbonatados importantes.

Su representación cartográfica se limita al núcleo del Sinclinal de Miranda de Arga, donde aflora y alcanza una potencia de unos 50-60 m.

Los mejores puntos de observación se localizan en el flanco meridional de la citada estructura por las pistas que parten desde la carretera de Falces a Miranda de Arga hacia el NE a una serie de granjas.

Litológicamente la Unidad está formada por fangos rojizos, a veces ocreos con delgadas intercalaciones de areniscas y calizas micríticas. Con frecuencia los depósitos se encuentran enmascarados por coluvionamientos o acción antrópica.

Los términos lutíticos constituyen intervalos más o menos masivos de potencia métrica y decamétrica con eventuales decoloraciones edáficas rojizas y horizontes con trazas de yesos de aparición esporádica.

Las intercalaciones más comunes corresponden a niveles areniscosos de potencia centí-decimétrica. Normalmente se presentan bien como cuerpos canalizados o con morfologías tabulares y exhiben estructuras sedimentarias propias de flujos laminares (sheet flood): Base neta, laminación paralela, convoluciones, escapes de fluidos y cosets de *ripples*, con frecuencia de tipo *climbing*.

Las capas de calizas son relativamente escasas y de poca potencia (normalmente centimétrica), no destacando en el paisaje. Corresponden a *wackestones* y *mudstones* micríticos, generalmente arcillosos, con ostrácodos, caráceas, intraclastos y granos terrígenos como principales aloquímicos. Con frecuencia presentan bioturbación ocasionada por raíces de plantas acuáticas o por la actividad de pequeños invertebrados.

En el aspecto bioestratigráfico no se dispone de datos relevantes por falta de estudios específicos. Se atribuye, de acuerdo con su posición somital en la serie, una edad de Orleaniense-¿Astaraciense?.

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.

3.2. CUATERNARIO

3.2.1. Pleistoceno

3.2.1.1. Conglomerados con encostramientos carbonatados a techo. Techo de piedemonte (515). Pleistoceno

Corresponde esta unidad a los depósitos relacionados con las plataformas más elevadas del sector nororiental de la Hoja. Hay que relacionarlos con sistemas de abanicos aluviales antiguos procedentes de los relieves septentrionales de la región. Se sitúan a +140-170 m sobre el cauce actual del río Arga. En cualquier caso, esta ubicación altimétrica es subjetiva, puesto que, posiblemente deba considerarse como nivel de base de referencia el río Aragón, colector principal, al Sur o, incluso el río Ebro.

Morfológicamente dan lugar a extensas y vastas plataformas de canturrales que destacan en el paisaje de la región. Concretamente en todo el borde oriental de la Hoja se reconocen una serie de mesas relacionadas con este tipo de depósitos

Litológicamente esta unidad esta formada por conglomerados constituidos por cantos redondeados de calizas y areniscas de 10 cm de diámetro, con valores máximos de 15-20 cm. Aparecen a techo fuertemente cementados por carbonatos, siendo su espesor de 6-8 m.

Se trata quizás de los depósitos cuaternarios más antiguos de la Hoja, previos al encajamiento de la red fluvial del sistema Arga-Aragón. Por su posición, al tratarse del piedemonte más antiguo y por la relación con el resto de los depósitos fluviales se les ha asignado al Pleistoceno inferior.

3.2.1.2. Conglomerados, gravas, arenas y lutitas ocre. Terrazas medias y bajas y llanuras aluviales del río Arga (521 y 524). Pleistoceno-Holoceno.

En su práctica totalidad los distintos niveles de terrazas diferenciados en la hoja de Miranda de Arga, pertenecen al sistema fluvial del río Arga que ha dejado a lo largo de la zona un cortejo escalonado de niveles. Estos, de forma convencional, han sido agrupados en dos: “medias” (+17-20 m, +30-45 m y +45-50 m) y “bajas” (+2-3 m, +4-8 m y +9-12 m), incluyéndose en algunos casos dentro de éstas los depósitos correspondientes a la llanura de inundación. No obstante algunas de estas cotas pueden haber sido modificadas debido a las deformaciones neotectónicas cuando los yesos constituyen su sustrato.

El río Arga muestra un desarrollo de terrazas preferentemente en su margen izquierda. La litología es muy similar en casi todas ellas, si bien la granulometría y el grado de cementación, por carbonatos, muestran ciertas variaciones. En general, están formadas por gravas polimícticas, con arenas en proporción variable, aunque mas bien escasa, predominando los clastos redondeados de naturaleza areniscosa y carbonatada. En cuanto al tamaño de los cantos, es muy variable, presentando en ocasiones dos modas; el tamaño máximo en las terrazas altas 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 a 10 m en las terrazas “altas”, si bien se han medido espesores anómalos de hasta 30 m en sectores próximos, explicados en relación con fenómenos de subsidencia diferencial en áreas localizadas.

Por su relación con respecto a la red fluvial actual se han atribuido todas al Pleistoceno, excepción hecha de los niveles inferiores, que se consideran ya del Holoceno.

3.2.1.3. Cantos y gravas con matriz limo-arcillosa y lutitas con cantos. Glacis (519 y 534). Holoceno

Se localizan y desarrollan sobre depósitos neógenos preferentemente arcillosos, contribuyendo a la morfología actual de las vertientes. El espesor suele ser decimétrico y su composición refleja la del sustrato sobre el que se desarrollan y la de los relieves al pie de los cuales se generan.

Litológicamente están constituidos por lutitas con cantos dispersos, a veces bloques angulosos y subangulosos de composición areniscosa y calcárea, así como a veces por clastos redondeados reheredados de los sistemas de terrazas más antiguos. Ocasionalmente se pueden llegar a reconocer niveles de gravas.

Su génesis está en relación con el dismantelamiento del relieve establecido en la zona tras el depósito de los abanicos aluviales antiguos. Se han reconocido dos niveles: el más alto (519) localizado en la margen izquierda del Arga, en la zona noroccidental de la hoja se ha atribuido al Pleistoceno, mientras que el resto (534), reconocidos sobre todo en las vertientes del tercio oriental de la hoja, son más recientes y se han atribuido al Holoceno.

3.2.1.4. Limos y arcillas con cantos. Conos de deyección (536). Holoceno.

Se trata de un depósito cuaternarios bastante representado dentro de la Hoja. Se localizan a la salida de los barrancos a valles más amplios y su composición de detalle varía en función del área madre, predominando en cualquier caso los constituyentes de naturaleza yesífera o los de cantos y arcillas procedentes de los niveles de terrazas

más altas. Es bastante frecuente el solapamiento o la coalescencia de varios aparatos, dando lugar a formas de desarrollo lateral de orden kilométrico.

Litológicamente están formados por limos y arcillas que ocasionalmente engloban cantos dispuestos en delgadas hiladas; también pueden apreciarse cementaciones, pero siempre muy superficiales y de poca consistencia.

Por su relación con el relieve actual y la red fluvial, se han enmarcado en el Holoceno.

3.2.1.5. Gravas, arenas y lutitas. Cauces abandonados y Meandros (530) y Barras (529). Holoceno

En relación con el valle reciente del Arga, se han diferenciado en la cartografía una serie de depósitos constituidos por gravas, arenas y lutitas ocreas, bajo dos contextos diferentes: por un lado, como depósitos de reducida extensión adyacentes al cauce activo y ligeramente encajados en la terraza más baja y que corresponden a barras fluviales y por otro lado, a una serie de formas estrechas y alargadas, en ocasiones fuertemente curvadas, ligeramente encajadas en las terrazas “bajas”, que corresponden a cauces abandonados, a veces de carácter meandriforme.

En general se trata de gravas con una proporción pequeña o variable de arcillas. El tamaño de los cantos es variable, así como su litología, si bien predominan los constituyentes carbonatados y areniscosos. Con frecuencia desarrollan suelos que, por sus características, son frecuentemente utilizados para el cultivo.

Por su posición con respecto a las terrazas “bajas”, ambos tipos de depósito se han atribuido al Holoceno.

3.2.1.6. Lutitas y arenas con cantos y bloques. Coluviones (543). Holoceno

Son depósitos de reducido espesor, en general inferior a 2 m, y moderada representación superficial, distribuidos irregularmente generalmente al pie de los escarpes de las terrazas “.

Aparecen litológicamente caracterizados por la naturaleza de su área madre, predominando los cantos y arenas procedentes de los depósitos de las terrazas, así como las lutitas con cantos y bloques angulosos y subangulosos de yesos y areniscas de tamaño muy variable, con frecuencia de orden decimétrico, procedentes de las propias vertientes.

Por su posición y relación con el resto de los depósitos cuaternarios se han asignado al Holoceno.

3.2.1.7. Lutitas con cantos y arenas. Fondos de valle (527). Holoceno

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

Se trata de depósitos en planta de forma alargada, adaptados a la estructura de la red de drenaje. Aunque en algunos casos poseen una longitud de orden kilométrico y una anchura moderada, en general carecen de interés; poseen un espesor comprendido entre 3 y 5m, aunque ocasionalmente puede ser superior.

La litología es muy variada, estando formado por lo general por lutitas con cantos de naturaleza muy variable (arenisca, calizas, yesos,etc).

Por su relación con la red fluvial se asigna estos depósitos al Holoceno.

3.2.1.8. Grandes bloques, arcillas y limos. Deslizamientos (545). Holoceno

Aunque en el ámbito de la hoja de Miranda de Arga son relativamente frecuentes los fenómenos de deslizamiento de las vertientes, éstos son de escasa magnitud y muy superficiales. Solamente se ha cartografiado un deslizamiento, de magnitud hectométrica, localizado en el paraje de El Alto Hundido (denominación con clara referencia al proceso), ubicado en la margen derecha del Arga, inmediatamente al Sur de la localidad de Miranda de Arga.

Se trata de un conjunto litológico de aspecto caótico, constituidos por grande bloques, arcillas y limos todos ellos procedentes de la Unidad Miranda de Arga (384).

Está relacionado con un mecanismo rotacional que motiva el desprendimiento y lento deslizamiento gravitatorio de importantes bloques y lutitas. El espesor de este depósito es muy variable como consecuencia de la propia geometría de las masas deslizadas. Dado que se trata de un proceso bastante reciente, actual o subactual, se les asigna en el Holoceno.

4. TECTÓNICA

4.1. CONSIDERACIONES GENERALES

La Hoja de Miranda de Arga (206-I) se localiza en el sector central de la Depresión del Ebro, también denominada estructuralmente Dominio del Ebro. Constituye un área de geometría triangular que se comporta como cuenca de antepaís respecto el orógeno pirenaico a lo largo del Terciario.

La estructuración de la Cuenca del Ebro y de las cadenas alpinas que la limitan (Pirineos al N, Cordillera Ibérica al S y Catalánides al E) es el resultado de la convergencia de las placas Ibérica y Europea. Da lugar, en la vertiente surpirenaica, a un conjunto de láminas cabalgantes hacia el S y provoca, en el margen contrapuesto, el cabalgamiento de la Sierra de la Demanda, con un desplazamiento de 20-30 km hacia N.

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

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

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

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

A partir del Eoceno superior y durante el Oligoceno inferior emergen los cabalgamientos de basamento de la zona axial pirenaica sobre las rocas de la

cobertera deformada, lo que motiva el principal desplazamiento de las láminas cabalgantes surpirenaicas sobre la Cuenca de Ebro.

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

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

El plegamiento principal de la Cuenca Navarro-Riojana, en cuya parte oriental se enmarca la zona de estudio, se produjo en el Mioceno inferior a medio. Como respuesta más evidente se origina un conjunto de pliegues de gran longitud de eje y flancos comparativamente cortos, dispuestos en dirección NO-SE y vergentes al Sur. La principal estructura en la Hoja es el Sinclinal de Miranda de Arga.

La información de subsuelo consultada, entre la que destacan diversas líneas sísmicas próximas y especialmente el sondeo Marcilla-1, emplazado dentro de la Hoja, indica que los principales anticlinales del sector 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. Igualmente se evidencian los efectos de la actividad halocinética observándose desplazamientos de material salino de los ejes sinclinales a los núcleos anticlinales, donde se registran acumulaciones de varios miles de metros de espesor (unos 3000 m en el sondeo Marcilla-1).

El carácter sinsedimentario de la deformación en la zona permite diferenciar dos conjuntos estratigráficos principales. El conjunto inferior contiene diversas unidades evaporíticas, está integrado por las Fms. Falces, Marcilla, Lerín y posibles equivalentes de la última en facies aluviales hacia el N, y se encuentra claramente involucrado en la deformación. El superior corresponde a la Fm. Tudela, representada

básicamente por facies aluviales distales y, en menor medida, lacustres carbonatadas. Está suavemente plegada y se desarrolla exclusivamente en los núcleos sinclinales, disponiéndose mediante un contacto truncacional sobre la Fm Lerín y en relación de *on lap* hacia las estructuras anticlinales, en cuyos flancos puede configurar discordancias progresivas. La distribución de los afloramientos y facies de la Fm. Tudela sugiere una compartimentación incipiente en la Cuenca a favor de los surcos sinclinales, y evidencia el desplazamiento de los cuerpos lacustres evaporíticos, propios de los sectores centrales de la Cuenca, hacia el sector Aragonés.

La estratigrafía del Terciario y su estructura en la Cuenca Navarro-Riojana ha sido objeto de estudio por numerosos autores. Las primeras referencias de interés se remontan a principios de los 70' con la elaboración de la Cartografía Geológica de Navarra a escala 1:25.000 emprendida por la Diputación Foral, que sirvió de base en la región para las Hojas MAGNA a escala 1:50.000 (IGME, 1977, 1987). Otros trabajos importantes han destacado en el ámbito académico: GONZÁLEZ (1982), PÉREZ (1983), GONZÁLEZ et al. (1988), SALVANY (1989) y MUÑOZ (1992).

Finalmente interesa destacar la actividad neotectónica, que es más patente sobre sustratos evaporíticos y afecta, a veces de forma espectacular (inyecciones de yesos, verticalización de la estratificación, incrementos anómalos de espesor, pliegues, fallas, etc.), a los depósitos cuaternarios (principalmente terrazas) en los valles del Arga y Aragón.

La existencia de esos procesos es de antaño conocida, siendo numerosos los trabajos que hacen referencia a las deformaciones recientes en los valles del Ega, Arga, Aragón y Ebro. Cabe citar al respecto: BOMER y RIBA (1965), GONZALO (1968), MENSUA y BIELZA (1974), ATARÉS et al. (1983) y CASAS y BENITO (1988).

4.2. DESCRIPCIÓN DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS

La Hoja de Miranda de Arga (206-I) se enmarca en el denominado Dominio Plegado del Ebro. 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 Sinclinal de Miranda de Arga constituye la principal estructura de la Hoja y se encuentra limitado al Sur, ya fuera del ámbito de la hoja, por el Anticlinal de Falces, cuyo flanco Norte sí se extiende por parte de la zona suroccidental de la hoja.

4.2.1. Sinclinal de Miranda de Arga

El Sinclinal de Miranda de Arga se extiende en dirección ONO-ESE ocupando en su práctica totalidad la zona central de la hoja de Miranda. Registra un gran desarrollo longitudinal, de orden kilométrico y se prolonga por las Hojas vecinas 206-III, 205-II, 172-III y IV, 206-IV y 244-II.

Está ocupado por diversas unidades de la Fm. Tudela que se disponen con buzamientos moderados (10-15º) a ambos flancos. 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.

Se trata de una estructura laxa y suave, al menos en esta hoja, y cuyo eje se localiza en toda la mitad occidental de la hoja encontrándose en parte fosilizado por sedimentos cuaternarios y vertientes regularizadas.

5. GEOMORFOLOGÍA

5.1. DESCRIPCIÓN FISIOGRÁFICA

La Hoja a escala 1:25.000 de Miranda de Arga (206-I) está incluida en la Hoja a escala 1:50.000 de Peralta, encontrándose situada en el sector centro-meridional de la Comunidad Autónoma de Navarra.

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

El relieve de la Hoja presenta diversos dominios con peculiaridades propias. Así, el sector occidental se caracteriza por la presencia del valle del río Arga con sus depósitos asociados, la zona central presenta zonas elevadas correspondientes a los depósitos del sinclinal de Miranda de Arga, y la zona oriental se encuentra caracterizada por la presencia de los relieves tabulares de los depósitos de piedemonte.

Las máximas elevaciones de la Hoja (ligeramente por encima de los 500 m.) se encuentran asociadas a los relieves serranos provocados por los niveles yesíferos de Los Arcos, en el borde occidental de la hoja. Cotas próximas se encuentran en la zona central (vértice Moncayuelo, 501 m.), y en el extremo nororiental, donde la parte culminante de las mesas del glacis de piedemonte se localizan por encima de los 470 m.

El valle del río Arga trunca de forma la serie estratigráfica, atravesando la hoja de Norte a Sur por su parte occidental camino de su desembocadura en el río Aragón, al Sur.

El principal curso fluvial es el citado río Arga, que discurre hacia el Sur con trazado sinuoso, siendo el afluente principal del Aragón que, a su vez, vierte sus aguas al río Ebro. La red de drenaje se articula en torno al Arga, estando constituida en su margen derecha por una red de barrancos fuertemente encajados. Por el contrario, la red de la margen izquierda aparece mucho menos definida, lo mismo que ocurre con la zona mas suroriental de la hoja, cuya red es directamente tributaria a la cuenca del Aragón.

Climatológicamente, la región pertenece al tipo Mediterráneo Templado, con precipitaciones medias anuales comprendidas entre 400 y 500 mm y temperaturas medias anuales de 13 a 14°C.

Se trata de una zona escasamente poblada, distribuyéndose una pequeña parte de sus habitantes entre los diversos caseríos y casas de campo diseminados por la zona, siendo Miranda de Arga el único núcleo de población reseñable. La agricultura constituye la principal ocupación de la población, especialmente en el valle del río Arga.

La red de comunicaciones se reduce, prácticamente, a la carretera local de Peralta a Berbinzana, en la parte occidental de la hoja, y a la N-115 y un pequeño tramo de la A-6 en la esquina suroriental.

5.2. 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 glaciais del río Ebro, destacando los de RIBA y BOMER (1957) y LERÁNOZ (1989), mereciendo la pena señalar el de LERÁNOZ (1990 a) que aborda el endorreísmo del sector meridional navarro. Por su relación directa con la zona de estudio, cabe señalar los trabajos de MENSUA y

BIELZA (1974) y LERÁNOZ (1990 b) centrados en el curso bajo del río Ega, así como el de JUARISTI (1979) que aborda las terrazas y glaciares del sector meridional del valle del Arga.

También es preciso destacar las aportaciones de las Hojas geológicas a escala 1:50.000 correspondientes al Plan MAGNA de la región, especialmente las de Tafalla (173) y Peralta (206), que incluyen un capítulo de geomorfología con su correspondiente esquema a escala 1:100.000. Por último, menciono 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 las zonas limítrofes (Hojas 205-II, Lerín, y 173-III, Larraga; GOBIERNO DE NAVARRA) por la gran cantidad de datos aportados y la puesta al día llevada a cabo en cuanto al conocimiento geológico de la región.

5.3. ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO

5.3.1. Estudio morfoestructural

El sustrato geológico del territorio de estudio consta de los siguientes conjuntos litológicos:

El ángulo suroccidental está ocupado por series evaporíticas y lutíticas dominantes. Los niveles yesíferos, que alcanzan un gran desarrollo lineal marcan claramente el estilo del paisaje en esa área.

La parte central de la hoja se encuentra ocupada por las series culminantes del sinclinal de Miranda de Arga, cuya característica principal es la presencia de niveles de calizas, más resistentes a la erosión.

En el resto de la hoja, el sustrato geológico está constituido por términos fangosos con intercalaciones resistentes esporádicas que generan un paisaje suavemente alomado.

Sobre los materiales más consistentes (yesos en el ángulo suroccidental y calizas en la zona central de la hoja, fundamentalmente), se han generado los rasgos

morfoestructurales más sobresalientes, que quedan reflejados en la cartografía geomorfológica.

- a) **superficies estructurales** en series monoclinales. Desarrolladas, sobre todo, a favor de los niveles calizos de la unidad de Miranda de Arga que constituye el relleno del sinclinal de Miranda. Pueden alcanzar dimensiones hectométricas y, en ocasiones, se ha hecho **indicación de su buzamiento**.
- b) Escarpes estructurales en series monoclinales. **Frentes de cuesta**. Se desarrollan, con extensión kilométrica, predominantemente asociados a los niveles de yesos intercalados en la serie en la zona suroccidental de la hoja, aunque también algún nivel calizo en la zona del sinclinal de Miranda presenta estas morfologías.
- c) **Crestas**. En algunos niveles de yesos de la zona citada, se localizan morfologías de crestas cuando el buzamiento de la serie es más acusado.
- d) **Líneas de capa** y líneas de capa **con indicación de buzamiento**. Representadas en todo el ámbito de la hoja.

5.3.2. Estudio del modelado

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

5.3.2.1. Formas de laderas

Como consecuencia de los abundantes desniveles existentes, derivados de la profusión de escarpes, cuestas, crestas, cerros cónicos y terrazas colgadas, entre otros elementos de relieve positivo, son frecuentes los procesos relacionados con la dinámica de las laderas. No obstante, la representación cartográfica de las formas de ladera es moderada, estando restringida a un pequeño número de coluviones y deslizamientos.

Los **deslizamientos** que son frecuentes en el ámbito de la hoja, no han sido representados dada su escasa extensión y profundidad. Unicamente se ha representado en el mapa un deslizamiento, de dimensiones hectométricas, localizado al sur de Miranda de Arga, junto al río Arga, en el paraje de El Alto Hundido (denominación en clara referencia al proceso citado).

Por lo que respecta a los **coluviones**, que también son frecuentes como tapices de escasa espesor en muchas vertientes, se han representado solo cuando alcanzan espesor y extensión mayores, sobre todo relacionados con los cresteríos de la zona suroccidental.

5.3.2.2. Formas fluviales

Se encuentran representadas fundamentalmente en el valle del río Arga, y en algunos otros cursos de carácter permanente, estacional o esporádico.

En el río Arga, han sido reconocidos 5 niveles de **terrazas** , situadas a +4-8 m., +9-12 m., +17-20 m., +30-45 m. y +45-50 m. sobre el talweg actual. Las dos primeras han sido englobadas en la cartografía geológica como “terrazas bajas”, en tanto que las siguientes lo han sido como “terrazas altas”. En el mismo entorno, se han diferenciado depósitos de **meandro abandonado**, así como **barras** asociadas al cauce principal del Arga.

Las formas sedimentarias se completan con los numerosos **fondos de valle** y **conos de deyección** repartidos por todo el territorio. Como formas erosivas, se han reconocido **barrancos de incisión lineal**, **escarpes de terrazas** y **acarcavamientos**.

Los **fondos de valle** tienen una notable representación, apareciendo con formas alargadas y, en general, estrechas, cuya longitud varía sensiblemente; En general, su geometría aparece perfectamente adaptada a la estructura, excepto en algunas zonas arcillosas en las que el drenaje se hace difuso e incluso pueden producirse procesos de **pérdida de drenaje**.

Ante su difícil definición, la **llanura de inundación** del Arga se ha representado juntamente con la terraza más baja, apareciendo en cualquier caso mínimamente representada, a modo de retazos adyacentes al cauce activo o a las barras laterales, con su típica morfología plana y ligeramente encajada.

Además del sistema de terrazas señalado, se ha reconocido un enigmático nivel generalizado en la zona oriental de la hoja, de difícil atribución, y que probablemente corresponda a techo de piedemonte antiguo o a un nivel “alto” de los ríos Arga, Aragón o, incluso, Ebro.

También los **conos de deyección** son frecuentes. Se generan cuando la carga concentrada en barrancos estrechos alcanza áreas más amplias, en las cuales se expande, dando lugar a sus típicas morfologías en abanico. Aunque existen formas aisladas, la proximidad entre los barrancos hace que predominen los dispositivos coalescentes, de forma que aparecen como bandas que orlan los principales relieves. Su principal expresión se encuentra al pie de las vertientes asociadas a los relieves yesíferos del borde suroccidental, así como a algunos barrancos vertientes a niveles de terrazas de la margen izquierda del Arga.

En cuanto a las formas erosivas de origen fluvial, también poseen una amplia distribución, destacando entre ellas la **incisión lineal**, generalmente con desarrollo transversal a los principales cursos en cada zona.

El desarrollo de **cárcavas** es frecuente en los afloramientos arcillosos, cuyo carácter “blando” favorece el desarrollo de una profunda incisión; no obstante, debido a sus reducidas dimensiones, con frecuencia carecen de representación cartográfica

5.3.2.3. Formas poligénicas

Están representadas por depósitos de glacia y glacia de techo de piedemonte, así como por superficies de erosión degradadas y escarpes.

Los **glacia de techo de piedemonte** aparecen en todo el sector oriental de la hoja, configurando plataformas elevadas y con una ligera pendiente que hace que su cota

descienda progresivamente desde los 470 m de Monte Plano, al Norte, hasta los 430 m al Sur de la hoja. Al pie de estas plataformas se disponen algunos **glacis**, caracterizándose por sus perfiles longitudinales plano-cóncavos, con aumento de la concavidad hacia la cabecera; pese a su moderada representación, se trata de sistemas de escasa entidad, ligeramente disectados por la red de drenaje actual. En la zona noroccidental de la hoja, al este de Miranda de Arga, se ha cartografiado también un nivel de glacis más antiguo y de considerable extensión.

Por lo que respecta a los escarpes, los más destacados se localizan en la margen izquierda del valle del río Arga, donde la erosión lateral del cauce ha dado lugar a la generación de verdaderos acantilados fluviales. Se han interpretado como formas poligénicas, aunque no han sido representadas en la cartografía, porque junto a su evidente influencia fluvial, se supone que los procesos de ladera también han tenido incidencia en su génesis. Lógicamente, su envergadura es muy variable, existiendo ejemplares con un desnivel superior a 50 m.

Se han representado también en la cartografía algunas morfologías de rocas aisladas (**pináculos rocosos**) y zonas con recubrimiento de materiales de génesis mixta fluvial y de ladera señalados como **depósitos aluvial-coluvial**.

5.4. FORMACIONES SUPERFICIALES

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

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

Son depósitos de reducido espesor, en general inferior a 2 m, y moderada representación en la hoja, generalmente ubicados en relación con los relieves en cresta y cuesta de las facies yesíferas y carbonatadas.

Su composición litológica depende directamente de la naturaleza de la de su área madre, predominando los cantos yesíferos o carbonatados englobados en una matriz arcillosa y limosa.

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.

5.4.1.2. Conglomerados, gravas, arenas y lutitas. Terrazas y llanuras de inundación (d-k). Pleistoceno-Holoceno

En su práctica totalidad pertenecen al sistema fluvial del río Arga. La litología es muy similar en casi todas ellas, si bien la granulometría y el grado de cementación, por carbonatos, muestran ciertas variaciones. En general, están formadas por gravas polimícticas, con arenas y lutitas en proporción variable, predominando los clastos redondeados de naturaleza areniscosa y carbonatada; cuando la cementación es acusada constituyen auténticos conglomerados.

En cuanto al tamaño de los cantos, es muy variable. En los niveles más altos el tamaño medio fluctúa entre 10 y 20 cm; 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,

Por su relación con respecto a la red fluvial actual se han atribuido al Pleistoceno, excepción hecha de los niveles inferiores, pertenecientes al Holoceno.

5.4.1.3. Limos y arcillas con cantos. Conos de deyección (l). Holoceno

Los conos de deyección de la zona están formados por limos y arcillas que ocasionalmente engloban cantos dispuestos en delgadas hiladas; también pueden apreciarse cementaciones, pero siempre muy superficiales y de poca consistencia. Se disponen a la salida de los barrancos estrechos hacia valles más amplios y lógicamente su composición de detalle varía en función del área madre, predominando en cualquier caso los constituyentes de naturaleza yesífera. Es bastante frecuente el

solapamiento o la coalescencia de varios aparatos, dando lugar a formas de desarrollo lateral de orden kilométrico.

Por su relación con el relieve actual y en particular con la red fluvial, se han enmarcado en el Holoceno.

5.4.1.4. Gravas, arenas y lutitas. Barras (m). Meandros y cauces abandonados (n). Holoceno

En relación con el sistema fluvial del río Arga se reconocen depósitos de gravas, arenas y lutitas, bajo dos contextos diferentes: por una parte, como depósitos de reducida extensión adyacentes al cauce activo y ligeramente encajados en la terraza más baja, correspondientes a barras; por otra, con formas estrechas, en ocasiones fuertemente curvadas, ligeramente encajados en las terrazas “bajas”, correspondiendo a meandros o cauces abandonados.

El tamaño de los cantos es variable, con ocasionales clastos de tamaño bloque, siendo su litología muy variada, si bien predominan los constituyentes carbonatados y areniscosos. Con frecuencia desarrollan suelos que, por sus características, son frecuentemente utilizados para el cultivo.

Por su posición con respecto a las terrazas “bajas”, ambos tipos de depósito se han atribuido al Holoceno.

5.4.1.5. Lutitas con cantos, gravas y arenas. Fondos de valle (ñ). Holoceno

Constituyen el depósito de los cursos que discurren a través de los principales valles, excepción hecha del correspondiente al Arga., reflejando la sedimentación de la red fluvial secundaria. Son depósitos de forma alargada, adaptados a la estructura de la red de drenaje. Aunque en algunos casos poseen una longitud de orden kilométrico y una anchura moderada, en general carecen de interés; poseen un espesor comprendido entre 3 y 5m, 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 o arenisca, según las zonas. Por su íntima relación con la red fluvial actual se atribuyen al Holoceno.

5.4.1.6. Conglomerados con encostramientos carbonatados a techo. Glacis de techo de piedemonte (o). Pleistoceno

Corresponden al depósito somital de las plataformas más elevadas del sector oriental, habiéndose depositado en relación con sistemas de abanicos aluviales antiguos procedentes de los relieves septentrionales de la región. Están integrados por conglomerados constituidos por cantos redondeados de caliza y arenisca 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, encontrándose encajados en ellos todos los depósitos del sistema Arga-Cidacos, habiéndose asignado al Pleistoceno.

5.4.1.7. Lutitas con cantos y gravas. Glacis (i). Pleistoceno-Holoceno

Su desarrollo se produce sobre depósitos neógenos preferentemente arcillosos, contribuyendo a la morfología actual de las vertientes del sector oriental, así como una amplia zona en el borde noroccidental. 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 lutitas con cantos dispersos, a veces gravas y bloques, con carácter anguloso a subanguloso, de composición areniscosa y calcárea.

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-Holoceno.

5.5. EVOLUCIÓN DINÁMICA

Lógicamente, es difícil establecer la evolución geomorfológica de una zona de reducidas dimensiones sin integrarla dentro de un ámbito regional más amplio, por lo

que es preciso el tratamiento de esta hoja dentro del contexto de la Depresión del Ebro.

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

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

Una vez esbozada la red principal, representada aquí por los ríos Arga y Cidacos, con valles aún poco pronunciados, posiblemente a finales del Pleistoceno 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, cuestas, hog backs, crestas, cerros cónicos, anticlinales, sinclinales y alineaciones con control estructural que la erosión ha modelado y que constituyen elementos inseparables del paisaje actual en la región.

5.6. MORFOLOGÍA ACTUAL-SUBACTUAL Y TENDENCIAS FUTURAS

La fisonomía actual de la hoja 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 abruptas; estos procesos van acompañados por retrocesos de las laderas y, en algunas zonas, erosión lateral de los cauces y acarcavamientos.

En la actualidad, puede considerarse que existe un neto predominio de los procesos de erosión sobre los de acumulación, con pérdidas de la cobertera de suelo, acción de la arroyada, incisión y ahondamiento de los cauces, etc.

Por otro lado, las actividades antrópicas (deforestación, sobrepastoreo, labores agrícolas, vertederos, canteras, etc.), pueden incidir negativamente en el equilibrio dinámico del territorio, con imprevisibles consecuencias futuras, por lo que es necesaria la aplicación de una adecuada política de conservación del medio natural.

6. HISTORIA GEOLÓGICA

La Hoja a escala 1:25.000 de Miranda de Arga se sitúa en el sector central de la Depresión del Ebro. De forma más concreta se enmarca en la denominada Cuenca Navarro-Riojana (SALVANY, 1989) que constituye una subcuenca de la del Ebro.

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

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

En la Cuenca Navarro-Riojana la sedimentación se articula a partir de sistemas aluviales procedentes de los relieves pirenaico e ibérico, que pasan a distancia creciente de los márgenes a contextos lacustres salinos. El predominio de ambos ambientes es alternante a lo largo del Terciario 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 característicamente en los sectores centrales de la Cuenca, han experimentado una migración mantenida hacia el Sur como consecuencia del levantamiento del Pirineo.

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

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

En el Oligoceno superior se instala en el sector central de la Cuenca Navarro-Riojana un cuerpo evaporítico de gran extensión correspondiente a la Fm Yesos de Falces. Los depósitos aluviales correlativos están integrados por las facies de Sangüesa, Cáseda y Mués en la vertiente pirenaica y por la Fm. Arnedo en el margen meridional.

La etapa subsiguiente de propagación aluvial se evidencia en la zona por el desarrollo de la Fm. Marcilla, que enlaza hacia el N con los términos superiores de las Facies de Sangüesa y hacia el Sur con los de la Fm. Arnedo.

A finales del Oligoceno y principios del Mioceno se registran variaciones sucesivas en la configuración de la paleogeografía de la Cuenca Navarro-Riojana que se traducen estratigráficamente en una alternancia entre unidades detríticas y evaporíticas de gran continuidad, (SALVANY, 1989), configurando en conjunto la Fm. Lerín. Los episodios evaporíticos principales responden, de muro a techo, a las siguientes denominaciones litoestratigráficas: Yesos de Alcanadre, Yesos de Sesma y Yesos de Los Arcos. La Unidad de los Arcos constituye el principal nivel evaporítico de la Fm. y ocupa la posición más meridional, extendiéndose al otro lado del actual eje de Ebro. Los episodios de propagación aluvial corresponden a la Unidad de Peralta, que incluye desarrollos evaporíticos importantes diferenciados como Yesos de Cárcar, y a la Unidad de Villafranca. Los equivalentes de la Fm. Lerín hacia el Norte están representados por las Facies de Allo, Sos y San Martín.

La estructuración del Dominio Plegado del Ebro, en el que se sitúa la zona de estudio, se articula en pliegues de dirección NO-SE y vergencia al Sur, formados esencialmente en el Mioceno inferior-medio como resultado de la última etapa importante de compresión pirenaica.

Se produce en consecuencia una marcada reestructuración paleogeográfica en la Cuenca Navarro-Riojana que queda cubierta por facies aluviales con el desplazamiento de la sedimentación evaporítica lacustre (Yesos de Zaragoza) hacia el Este (Sector Aragón). Las facies aluviales de procedencia pirenaica corresponden a

la Fm. Ujué y pasan hacia el S a la Fm. Tudela. Por el Sur los depósitos de atribución correlativa están integrados por las Fms. de Fitero y Alfaro.

El plegamiento sinsedimentario es responsable de la marcada discordancia basal de la Fm. Tudela en la zona, de su carácter erosivo y progresivo, de la disposición en *on lap* hacia las principales estructuras anticlinales, de las marcadas diferencias de espesor de un flanco a otro del Sinclinal de Miranda de Arga y en definitiva de una compartimentación incipiente en la zona a favor de los surcos sinclinales.

La sedimentación de la Fm Tudela en la zona se concentra básicamente en el Sinclinal de Miranda de Arga, siendo su presencia testimonial en el Sinclinal de Peralta. Al Norte de la estructura de Miranda de Arga se expande la Unidad de Olite, representada por facies aluviales distales. Se acuña hacia el Sur por su disposición en *on lap* y por tránsito en vertical a las Unidades de Miranda y Portillo, que incluyen niveles lacustres carbonatados.

A finales del Mioceno medio se verifica la apertura de la Depresión del Ebro al Mediterráneo, por lo que 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.

7. GEOLOGÍA ECONÓMICA

7.1. RECURSOS MINERALES

En la Hoja a escala 1:25.000 de Miranda de Arga (206-I) se han inventariado 6 indicios mineros, representados exclusivamente por rocas y minerales industriales. En su mayor parte se trata de canteras abandonadas de diversa consideración que se distribuyen de forma bastante diseminada por toda la Hoja. Corresponden a las siguientes sustancias: Arcillas comunes y calizas.

Los indicios de arcillas se encuentran en la parte oriental de la Hoja sobre formaciones lutíticas miocenas (Unidades de Olite y Miranda de Arga). Los indicios de calizas se sitúan en la zona central en relación con la unidad carbonatada de Miranda de Arga.

7.1.1. Minerales y Rocas Industriales.

Las arcillas constituyen la sustancia con más indicios registrados en la Hoja. Se han inventariado 4 indicios de arcillas y 2 de calizas.

7.1.1.1. Arcillas

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

7.1.1.2. Calizas

Se han reconocido 2 pequeñas canteras de calizas en la Hoja. Ambas se encuentran en la zona centro meridional de la hoja y se encuentran sobre los materiales carbonatados de la parte alta de la unidad de Miranda de Arga. En la actualidad se encuentran abandonadas, aunque no debe descartarse su uso ocasional para cubrir necesidades locales.

7.2. 5.2. HIDROGEOLOGÍA

7.2.1. Descripción de las formaciones

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

7.2.1.1. Yesos y margas. Yesos de Falces. Oligoceno superior-Mioceno inferior

La Fm. Falces (Unidades Cartográficas 1 a 3) aflora, dentro de la Hoja de Miranda (206-I), en el sector suroccidental.

En superficie se presenta como un conjunto de yesos con intercalaciones menores de margas, dolomías y eventualmente arcillas con intercalaciones de areniscas.

En subsuelo 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.

Constituye 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 karstificación. Ello da lugar a algunos de los manantiales salinos de la zona.

7.2.1.2. Arcillas ocreas y rojizas con intercalaciones de areniscas, margas, calizas, yesos y dolomías. Arcillas de Marcilla y Peralta. Oligoceno superior-Mioceno inferior

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

Litoestratigráficamente comprende, de muro a techo, la Fm. Marcilla y la Unidad de Peralta (4 a 10).

La potencia media del conjunto es de unos 500 m y su techo está definido por los Yesos de Sesma.

Se distinguen dos tramos principales separados por un nivel-guía yesífero (Unidad 7). El intervalo inferior corresponde a las Arcillas de Marcilla y se caracteriza por su tonalidad ocre siendo bastante escasos los términos yesíferos. El intervalo superior está representado por la Unidad de Peralta, exhibe en conjunto una tonalidad más clara debido a la incorporación de frecuentes niveles margosos, y contiene intercalaciones destacables de yesos

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

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

7.2.1.3. Yesos y margas. Yesos de Sesma. Mioceno inferior

Los Yesos de Sesma (349) se desarrollan en la misma zona que las unidades anteriores.

Su potencia aumenta de N a S pasando de unos de 50-60 m a cerca de 100 m.

La Unidad 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).

Se considera una formación 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.

7.2.1.4. Arcillas ocreas, areniscas, margas y yesos. Arcillas de Villafranca. Mioceno inferior

Forma un intervalo arcilloso que separa los Yesos de Sesma de los de Los Arcos.

Litoestratigráficamente responde al término de Unidad Arcillas de Villafranca (350) y su potencia media en la Hoja es de 75-80 m

Litológicamente predominan ampliamente las arcillas de tonos ocreos 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.

7.2.1.5. Yesos, margas y arcillas. Yesos de Los Arcos. Mioceno inferior

Los Yesos de Los Arcos (354) 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 puede alcanzar, en zonas próximas, una potencia de unos 200 m.

En la presente Hoja aflora también en la zona suroccidental y forma un nivel continuo en el flanco septentrional 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). Localmente registra cierta circulación de agua por karstificación de los yesos lo que puede dar lugar a manantiales salinos.

7.2.1.6. Arcillas rojizas con intercalaciones de areniscas y calizas. Fm.. Tudela. Mioceno inferior a medio

La parte superior de la serie terciaria de la Hoja está representada por arcillas rojizas que intercalan areniscas y calizas en bajas proporciones (18 y 22) si bien las segundas pueden diferenciarse cartográficamente (385) cuando alcanzan suficiente expresión morfológica.

Corresponden a las Unidades de Miranda de Arga y Artajona. No obstante en la literatura geológica también se conoce a este conjunto bajo la denominación litoestratigráfica de Fm. Tudela y se dispone de forma discordante sobre la Fm. Lerín mediante un contacto truncacional y erosivo.

Constituye el conjunto más ampliamente representado en la hoja, como constitutivo del sinclinal de Miranda de Arga, registrando buzamientos medios y moderados.

La potencia máxima del conjunto en la Hoja se cifra en unos 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.

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

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

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

Su origen está ligado principalmente a la dinámica fluvial del río 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 .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.

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

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

Corresponden principalmente a depósitos de ladera 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.

7.2.2. Unidades acuíferas.

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

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

Por orden cronoestratigráfico son:

- Unidad Hidrogeológica Sur

- Unidad Hidrogeológica del Aluvial del Ebro y Afluentes

7.2.2.1. Unidad Hidrogeológica Sur

Geometría.

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

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

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

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

Las principales unidades evaporíticas pueden presentar potencias de hasta cerca de 1000 m (Fm. Falces) 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 profundidades máximas del orden de varias decenas de m.

Funcionamiento hidrogeológico

Los niveles más potentes de areniscas pueden formar pequeños acuíferos confinados que permiten cierta circulación de agua en zonas con desarrollo de fracturación y/o diaclasado, y especialmente en situación próxima a la superficie, donde presentan

procesos de descalcificación. A mayor profundidad disminuye la porosidad por una mayor cementación, aumentando la mineralización de las aguas.

Los horizontes de calizas de mayor potencia (2-3 m de espesor máximo) 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.

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.

Geometría

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

Cortes y ocupa una superficie de unos 900 km², de los que 735 km² pertenecen a Navarra.

En la presente Hoja, (Miranda de Arga, 206-I), comprende los acuíferos cuaternarios ligados al Arga. Los niveles de mayor interés se encuentran en las terrazas bajas y medias.

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

De acuerdo con los perfiles geofísicos referidos en D.F.N (1975-77), en el Arga, con un aluvial de unos 2-3 km de anchura, se pone de manifiesto el desarrollo de niveles detríticos de unos 10-15 m de potencia que constituyen acuíferos de evidente interés.

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 Arga unos valores de transmisividad comprendidos en unos 100-500 m²/día. La porosidad eficaz es de un 10-30 %.

Las reservas evaluadas para los acuíferos aluviales del Arga, se reflejan en el siguiente Cuadro, habiéndose estimado un espesor saturado medio para cada caso y una porosidad eficaz del 10%.

RESERVAS ESTIMADAS DEL ACUÍFERO ALUVIAL DEL RÍO ARGÁ

Acuífero	Superficie(km ²)	Espesor saturado medio (m)	Porosidad %	Reservas (hm ³)
Arga	95	10	10	95

La composición del agua en el Arga indica que se trata de aguas bastante duras y mineralizadas, de carácter clorurado sódico.

7.3. GEOTECNIA

7.3.1. Introducción

En este apartado se describe la cartografía geotécnica de la Hoja a escala 1:25.000 de Miranda de Arga (206-I) y se establecen las características geomecánicas de los materiales que la componen.

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

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

7.3.2. Metodología

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

- **Recopilación de los datos existentes.** En el ámbito de esta Hoja no hay datos geotécnicos procedentes de obras u otro tipo de trabajos similares, por lo que, las descripciones de este apartado se completan con la procedente de unidades equivalentes en sectores próximos de la Comunidad Navarra.

- **Realización de la base de datos.** Ante la ausencia de datos no se ha elaborado ficha geotécnica de recopilación de ensayos de laboratorio. Estos ensayos tratan de establecer, de la manera más adecuada, la posible la naturaleza actual de la roca, su comportamiento mecánico y/o hidráulico y la evolución y propiedades de la misma bajo los procesos de meteorización. Los ensayos de laboratorio se puede clasificar en los siguientes grupos:

. IDENTIFICACIÓN; establecen la naturaleza de la roca y su estado natural aparente (granulometría, límites de Atterberg, densidad y humedad, absorción, grado de meteorización).

. CLASIFICACIÓN; intentan establecer una idea general del comportamiento de la roca con relación a criterios previamente establecidos. (Índice de Calidad, resistencia a compresión simple, point load test).

. RESISTENCIA, compactación y deformación; determinan parámetros resistivos y relaciones tensión-deformación. Algunos de estos ensayos se utilizan como base para múltiples clasificaciones (CBR, Proctor Normal, Corte Directo).

. ALTERABILIDAD; evalúa el comportamiento del macizo rocoso frente a los procesos de meteorización, una vez modificados sus condiciones originales de estabilidad (análisis químicos, hinchamiento, durabilidad).

Igualmente, se suelen consultar datos referentes a sondeos y penetrómetros, en este caso también inexistentes, reseñando, cuando es posible, el índice de calidad de la roca (R.Q.D.)

- **Zonificación en áreas de iguales características.** A partir de los datos anteriormente comentados e interpretando las unidades geológicas cartografiadas, se procede a la zonificación de la superficie de la Hoja en áreas de iguales características (geotécnicas y litológicas). En este caso, ante la ausencia de ensayos, los criterios seguidos para establecer esta zonificación han sido las características litológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas de los materiales, observadas durante los reconocimientos de campo.

7.3.3. Zonificación geotécnica

7.3.3.1. Criterios de división

La superficie de la Hoja 1:50.000 de Peralta (206) se ha dividido, en función de la intensidad del plegamiento y de la edad de los materiales, en tres Áreas que presentan una entidad propia y cierta homogeneidad. Posteriormente, estas Áreas han sido divididas a su vez en un total de once 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.

7.3.3.2. División en Áreas y Zonas Geotécnicas

Las Áreas geotécnicas consideradas en el conjunto de los 4 cuadrantes de la Hoja 206 a escala 1:50.000 (Peralta) 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 Miranda (206-I).

UNIDAD CARTOGRAFICA	ZONACION GEOTECNICA	DESCRIPCION
529, 537 y 527	III ₄	Lutitas y limos con cantos
543	III ₃	Bloques y lutitas con cantos
534 y 536	III ₂	Lutitas y arenas con cantos
515, 521, 524, 519 y 530	III ₁	Conglomerados, gravas, arenas y lutitas
363, 365, 383, 399	II ₂	Arcillas rojas y areniscas
384, 385	II ₁	Arcillas rojas con intercalaciones de areniscas y calizas
333	I ₃	Arcillas con intercalaciones de areniscas y carbonatos
342 y 350	I ₂	Margas, arcillas, yesos e intercalaciones de areniscas y carbonatos
312, 315, 338, 349 y 354	I ₁	Yesos con algunas intercalaciones de margas

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

7.3.1. Características geotécnicas**7.3.1.1. Introducción**

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

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

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

Granulometría. Del análisis granulométrico se obtiene el contenido de finos que presenta el suelo, es decir, el porcentaje que pasa por el tamiz Nº 200 (0.08 mm) de la serie ASTM. Estos datos son utilizados posteriormente en diversas clasificaciones.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Lutitas arcillosas	11
--------------------	----

Cargas admisibles según el código de práctica británico nº 4, para diferentes tipos de roca.

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

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

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

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

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

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

En obras subterráneas. Se utiliza el término "Muy Díficil" para suelos muy blandos por debajo del nivel freático o suelos potencialmente expansivos; "Díficil" 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 autosoporte y sin empujes fuertes.

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

Clase I Roca muy buena: RMR = 81-100

Clase II Roca buena: RMR = 61-80

Clase III Roca media: RMR = 41-60

Clase IV Roca mala: RMR = 21-40

Clase V Roca muy mala: RMR < 20

7.3.1.2. Área I

ZONA I₁

Características Geológico-Geotécnicas

Esta Zona agrupa todas las unidades predominantemente yesíferas de la Hoja (Yesos de Falces, Alcanadre, Sesma y Los Arcos). Litológicamente corresponden a yesos masivos o alternantes con margas, en proporciones variables. Constituyen resaltes morfológicos de gran continuidad cartográfica en los flancos.

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

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

Las características fundamentales de los materiales que constituyen esta Zona son las siguientes: a) la presencia de intercalaciones de margas confiere en muchos casos una acusada heterogeneidad al conjunto, lo que se traduce en un comportamiento mecánico no uniforme; b) la constante presencia de yesos presupone un alto contenido en sulfatos tanto en los suelos como, eventualmente, en las aguas que los drenan y por tanto es de esperar una fuerte agresividad a hormigones; y c) Los fenómenos de disolución y carstificación 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 asentamientos diferenciales y fenómenos de punzonamiento debido a la intercalación de niveles margosos blandos entre los paquetes de yesos.

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

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

Estabilidad de taludes. No se registran fenómenos destacables de inestabilidad en taludes muy inclinados de escasa altura o en cortes naturales de baja a media pendiente. El riesgo de caída de bloques y deslizamientos es muy elevado en taludes subverticales de cierta altura, especialmente en las zonas de voladizo por descalce de los niveles lutíticos inferiores, tal como se observa en el cantil labrado en la margen derecha del Arga, al Sur de Falces.

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

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

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

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

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

ZONA I₂

Características Geológico-Geotécnicas

Se agrupan en esta Zona varias unidades suprayacentes a la Fm. Yesos de Falces que se caracterizan por constituir alternancias entre términos lutíticos y yesíferos.

Litológicamente se trata de materiales esencialmente 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 carstificación.

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

No se dispone de ensayos de laboratorio

Características constructivas:

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN.

Aplicando los diferentes Códigos y Normas, se puede considerar cargas admisibles entre 1,5 y 5 Kp/cm², esperándose asientos de consolidación a largo plazo.

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

Excavabilidad. Los intervalos lutítico-margosos son materiales fácilmente excavables. Las intercalaciones que contienen son, en términos generales, de escaso espesor y su excavación puede afrontarse, alternativamente, con escarificador o martillo. Los horizontes yesíferos pueden presentar dificultades de excavación puesto que alcanzan en muchos casos potencias considerables, de orden métrico a decamétrico, requiriendo el uso martillo o explosivos.

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

Empuje sobre contenciones. Bajos en margas, moderados en arcillas, a considerar en yesos.

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

Aptitud para explanada en carreteras. En general deben constituir suelos poco aptos o marginales para explanadas de tipo E3.

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

ZONA I₃

Características Geológico-Geotécnicas

Esta zona agrupa varias 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 2), los afloramientos de la Zona I₃ corresponden a la mayor parte de Fm Marcilla 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 carstificación 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

Se consideran cargas admisibles de 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

Entre los problemas de cimentación pueden preverse los siguientes: a) variación del horizonte alterado, que puede provocar asientos 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 fácilmente excavables, especialmente los niveles someros de alteración. A mayor profundidad pueden variar de excavables a ripables en función de su grado de cementación. Las intercalaciones de areniscas 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. Se pueden dar problemas de deslizamientos en tramos potentes con predominio de arcillas y orientación desfavorable respecto al talud. Por otra parte puede haber un deterioro progresivo del talud por la alteración y pérdida de cementación de los términos lutíticos y margosos. En cualquier caso y para áreas de bajo buzamiento la presencia de intercalaciones puede facilitar el diseño en bancos de los taludes de desmonte.

Empuje sobre contenciones. Bajos en margas, moderados en arcillas

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

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

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

7.3.1.3. Área II

ZONA II₁

Características Geológico-Geotécnicas

La presente Zona comprende las tres unidades de la Fm. Tudela desarrolladas en la Hoja, y ocupa la mayor parte de la zona central de la misma.

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, de marcado predominio en el conjunto, conforman intervalos masivos, a veces con trazas dispersas de yesos, o alternan con delgados niveles de areniscas y calizas que aparecen en bajas proporciones. Asociados a los niveles carbonatados pueden aparecer muy locamente horizontes lignitíferos de escaso espesor y reducida continuidad lateral.

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.

La permeabilidad es muy baja para toda la Zona de acuerdo con marcado predominio de arcillas. 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

No se dispone de ensayos de laboratorio.

Características constructivas:

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN

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

Entre los problemas de cimentación se pueden prever los siguientes: a) variación del horizonte alterado, que puede provocar asientos 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

CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

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

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

Empuje sobre contenciones. Moderados en arcillas

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

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

Obras subterráneas. Se encuadran en la Clase IV (calidad Mala) de la Clasificación de BIENIAWSKI (1979).

ZONA II₂

Características Geológico-Geotécnicas

La Zona II₂ está caracterizada en la presente Hoja por las Unidades cartográficas 16,17 y 22

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 (ϕ)		30°
Cohesión (c')		0,15

Características constructivas:

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN

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

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

b. 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. No se observa 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. Moderado en arcillas, nulo en arcillas.

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 por el contrario, 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.

7.3.1.4. Área III

ZONA III₁

Características Geológicas

Comprende el conjunto de formaciones cuaternarias de génesis aluvial-fluvial. 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 el río Arga correspondiendo mayoritariamente a terrazas. Cabe mencionar también los materiales pertenecientes al sistema de abanicos de Olite que se preservan en los rellanos morfológicos más elevados y que constituyen el denominado “glacis de techo de piedemonte”.

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.

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 %
Angulo de Rozamiento Interno (ϕ)	40 °
Cohesión (C')	2,20

En las áreas bajas hay que evaluar el riesgo potencial de inundaciones y avenidas ligadas a precipitaciones importantes concentradas, dada la proximidad del los cauces del los ríos Arga y Aragón.

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

Características Constructivas

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 asentamientos diferenciales no admisibles y sobre sustrato yesífero es elevado el riesgo de hundimientos del terreno por colapso.

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

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

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

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

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

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

Obras subterráneas. La mayoría de las obras subterráneas de envergadura afectan al sustrato. Sin embargo en obras de menor diámetro (conducciones subterráneas)

encontrarán Terrenos Difíciles, según lo establecido en la metodología, que precisarán entibación total.

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.

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 %

Angulo de Rozamiento Interno (ϕ)	30,5-38°
Cohesión (C')	1,0
Contenido en sulfatos	0,01%

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

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

Características Constructivas

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN.

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

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

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

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

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

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

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

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

ZONA 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

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 consideren 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 (<30º) 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.

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 35, 36 y 38). Todos ellos presentan un cierto grado de inundabilidad, en función de las fluctuaciones del nivel de agua..

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".