

La cartografía geológica y geomorfológica de la Hoja 206-IV (Caparroso) 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

López Olmedo, Fabián (INYPSA)

Cartografía geológica, Geomorfología y Memoria

Solé Pont, Javier (INYPSA)

Sedimentología y Memoria

Díaz de Neira, Alberto (INYPSA)

Cartografía geológica, Geomorfología y Memoria

Martínez Arias, Alfredo (INYPSA)

Hidrogeología

ÍNDICE

0. INTRODUCCIÓN

1. ESTRATIGRAFÍA

1.1. Terciario

- 1.1.1 Yesos y margas (1). Yesos de Falces. Arverniense superior-Ageniense inferior.
- 1.1.2 Lutitas rojas y areniscas (2). Arverniense superior.
- 1.1.3 Arcillas ocreas con algunas intercalaciones de areniscas y calizas (4) *Arcillas de Marcilla*. Ageniense inferior.
- 1.1.4 Lutitas ocreas, margas blancas, areniscas, yesos y dolomías (5). *Arcillas de Marcilla*. Ageniense inferior.
- 1.1.5 Yesos (7). *Nivel de Alcanadre*. Ageniense.
- 1.1.6 Arcillas ocreas, areniscas, calizas, dolomías y yesos (8). *Arcillas y Yesos de Peralta*. Ageniense.
- 1.1.7 Yesos y margas (9). *Yesos de Cárcar*. Ageniense.
- 1.1.8 Yesos y margas (11) *Yesos de Sesma*. Ageniense.
- 1.1.9 Arcillas ocreas, areniscas, margas y yesos (12) *Arcillas de Villafranca*. Ageniense.
- 1.1.10 Yesos (13) *Yesos de Los Arcos*. Ageniense-Orleaniense.
- 1.1.11 Lutitas rojas y ocreas con algunas intercalaciones de areniscas (14) Unidad de San Zoilo-Santacara. Orleaniense
- 1.1.12 Lutitas ocreas y areniscas (16).y Arcillas ocreas y rojizas con algunas intercalaciones de areniscas (17) *Unidad de Olite*. Ageniense superior-Orleaniense.

1.1.13 Arcillas rojas y areniscas con intercalaciones de calizas (18) y calizas y margocalizas (19). *Unidad de Miranda de Arga*. Orleaniense.

1.2. CUATERNARIO

1.2.1 Conglomerados con encostramientos carbonatados a techo. Glacis de techo de piedemonte (24). Pleistoceno

1.2.2. Gravas y arenas. Terrazas altas medias y bajas y Llanuras aluviales de los ríos Aragón y Cidacos (25, 26 y 27). Pleistoceno-Holoceno

1.2.3. Cantos y gravas con matriz limo-arcillosa y lutitas con cantos. Glacis (28 y 30). Pleistoceno-Holoceno

1.2.4. Lutitas y limos. Fondos endorreicos (31). Pleistoceno-Holoceno

1.2.5. Limos y arcillas con cantos. Conos de deyección (33). Holoceno.

1.2.6. Gravas, arenas y lutitas. Cauces abandonados y Meandros (34) y Barras (35). Holoceno

1.2.7. Lutitas, cantos y arenas Aluvial-coluvial (36). Holoceno

1.2.8. Lutitas y arenas con cantos y bloques. Coluviones (37). Holoceno

1.2.9. Lutitas con cantos y arenas. Fondos de valle (38). Holoceno

1.2.10. Bloques y cantos. Desprendimientos (39). Holoceno

1.2.11. Grandes bloques, arcillas y limos. Deslizamientos (40). Holoceno

1.2.12 Escombros y vertidos. Depósitos antrópicos (41). Holoceno

2. TECTÓNICA

2.1. CONSIDERACIONES GENERALES

2.2. DESCRIPCIÓN DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS

3. GEOMORFOLOGÍA

3.1. DESCRIPCIÓN FISIOGRÁFICA

3.2. ANTECEDENTES

3.3. ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO

3.3.1. Estudio morfoestructural

3.3.1.1. Formas estructurales

3.3.1.2. Estructura de la red de drenaje

3.3.2. Estudio del modelado

3.3.2.1. Formas de laderas

3.3.2.2. Formas fluviales

3.3.2.4. Formas endorreicas

3.3.2.5. Formas antrópicas

3.4. FORMACIONES SUPERFICIALES

3.4.1. Bloques y cantos. Desprendimientos (a). Holoceno

3.4.2. Grandes bloques, arcillas y limos. Deslizamientos (b). Holoceno

3.4.3. Lutitas y arenas con cantos y bloques. Coluviones (c). Holoceno

3.4.4. Conglomerados, gravas, arenas y lutitas. Terrazas (d-k). Pleistoceno-Holoceno

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

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

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

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

3.4.9. Lutitas con cantos y gravas. Glacis (p, q). Pleistoceno-Holoceno

3.4.10. Lutitas, cantos y arenas. Aluvial-coluvial (r). Holoceno

3.4.11. Lutitas. Depósitos endorreicos (s). Pleistoceno-Holoceno

3.4.12. Escombros y vertidos. Escombreras, vertederos (t). Holoceno

3.5. EVOLUCIÓN DINÁMICA

3.6. MORFOLOGÍA ACTUAL-SUBACTUAL Y TENDENCIAS FUTURAS

4. HISTORIA GEOLÓGICA

5. GEOLOGÍA ECONÓMICA

5.1. RECURSOS MINERALES

5.1.1. Minerales metálicos.

5.1.1.1. Hierro

5.1.2. Minerales y Rocas Industriales.

5.1.2.1. Arcillas comunes

5.1.1.2. Arcillas especiales

5.1.1.3. Areniscas

5.1.1.4. Areniscas

5.1.1.5. Yesos

5.1.1.6. Sal común

5.1.1.7. Glauberita

5.2. HIDROGEOLOGÍA

5.2.1. Descripción de las formaciones

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

5.2.1.2. Arcillas ocre y rojizas con intercalaciones de areniscas, calizas yesos y dolomías. Arcillas de Marcilla y Peralta. Oligoceno superior-Mioceno inferior

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

5.2.1.4. Arcillas ocre y rojizas con intercalaciones de areniscas y yesos. Arcillas de Villafranca. Mioceno inferior

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

5.2.1.6. Arcillas rojizas con escasas intercalaciones de areniscas. Mioceno inferior

5.2.1.7. Arcillas rojizas con intercalaciones de areniscas y calizas. Unidades de Miranda de Arga y Artajona. Mioceno inferior a medio

5.2.1.8. Arcillas rojizas y areniscas Unidad de Olite. Mioceno inferior a medio

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

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

5.2.2. Unidades acuíferas.

5.2.2.1. Unidad Hidrogeológica Sur

5.2.2.2. Unidad Hidrogeológica del Aluvial del Ebro y Afluentes

5.3. GEOTECNIA

5.3.1. Introducción

5.3.2. Metodología

5.3.3. Zonificación geotécnica

5.3.3.1. Criterios de división

5.3.3.2. División en Áreas y Zonas Geotécnicas

5.3.4. Características geotécnicas

5.3.4.1. Introducción

5.3.4.2. Área I

5.3.4.3. Área II

5.3.4.4. Área III

6. BIBLIOGRAFÍA

0. INTRODUCCIÓN

La Hoja a escala 1:25.000 de Caparroso (206-IV), incluida en la Hoja a escala 1:50.000 de Peralta, se localiza en el sector meridional de la Comunidad Foral. Se enmarca una zona de transición entre la denominada Ribera Navarra y la Navarra Media, que se desarrolla más al Norte.

La Ribera Navarra constituye fisiográficamente una zona deprimida; se extiende a lo largo de la margen izquierda del Ebro en posición adyacente a la Comunidad de La Rioja y al Este con la de Aragón.

La Navarra Media representa un territorio algo más accidentado que se caracteriza por el desarrollo de relieves medios estructurados a favor de los niveles competentes de las formaciones terciarias.

El río Aragón cruza la Hoja en sentido ENE-OSO por su mitad meridional con un trazado muy sinuoso. Desciende desde los 320 m al NE de Mélida hasta menos de 300 m al E de Caparroso. El río Cidacos es el principal tributario del Aragón en la Hoja, al que confluye por margen derecha. Obviando su acusada configuración meandriforme, sigue una marcada trayectoria N-S.

Las mayores elevaciones de la Hoja superan locamente los 400 m y se desarrollan al N, dando paso a la Navarra Media.

En el borde septentrional se encuentra la Laguna de Pitillas. Con una extensión de 216 hectáreas y una profundidad inferior a 2 m, tiene su origen en una reducida laguna endorreica a la que posteriormente se añadió una pequeña presa para suministro de riegos. Declarada Reserva Natural en 1987, presenta una gran diversidad de plantas y aves acuáticas.

A lo largo del valle Aragón se concentran las tres principales localidades de la Hoja. Caparroso es la más importante y hacia al E se extienden, frente a frente, a ambos márgenes del río, Mélida y Santacara. Otros dos pequeños núcleos se disponen a orillas del Cidacos: Murillo el Cuende y Traibuenas. El resto del territorio está muy despoblado, a

excepción de la vega del Aragón, donde se encuentran numerosos caseríos y granjas, especialmente en los alrededores de Caparroso.

La agricultura constituye la principal actividad en la región y sus productos alcanzan un merecido renombre a escala nacional. El desarrollo industrial se encuentra subordinado a la producción agraria y se concentra en Caparroso, que cuenta con un pequeño polígono industrial y una importante planta industrial al norte, en la carretera nacional a Pamplona N-121.

Las principales vías de comunicación parten radialmente de Caparroso, destacando al N-121, que se dirige hacia la capital de la Comunidad Autónoma y las autonómicas NA-128 y NA-5500, que van a Marcilla y Mélida respectivamente. Por Santacara pasa la comarcal NA-124 que enlaza con la N-121 en las inmediaciones de Traibuenas siguiendo un trazado E-O.

La línea del ferrocarril Zaragoza-Alsasua cruza la Hoja por su tercio noroccidental en dirección NNE-SSO y tiene estación en Caparroso, al N de esta localidad.

En el aspecto geológico interesa destacar que, la Hoja a escala 1:25.000 de Caparroso 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 Caparroso la serie terciaria está representada en su parte inferior, que se observa únicamente en el borde SO, por una alternancia a gran escala entre unidades esencialmente arcillosas de origen aluvial y perilacustre, que dan lugar a zonas deprimidas, y formaciones lacustres yesíferas que destacan como resaltes morfológicos. La estructuración del sustrato terciario en esta zona sigue preferentemente la dirección NO-SE conforme a los grandes pliegues de la región.

El resto del Terciario corresponde a una potente serie lutítica rojiza (Fm. Tudela) con intercalaciones de calizas y areniscas, atribuida al Mioceno.

Las formaciones cuaternarias alcanzan una gran representación en la Hoja correspondiendo principalmente a distintos niveles de terrazas del río Aragón y, en menor medida, del Cidacos.

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), 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 década de los ochenta 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), e 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.

1 ESTRATIGRAFÍA

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

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

1.1. Terciario

El Terciario 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 en una serie de anticlinales y sinclinales cuyos ejes se disponen en dirección ONO-ESE. De Norte a Sur son. Anticlinal de Pitillas, Sinclinal de Miranda de Arga y Anticlinal de Falces.

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:

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		ARVERNIENSE
FM. YESOS DE FALCES		

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

De este modo, en la Hoja de Caparroso 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. 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).

1.1.1 Yesos y margas (1). 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 Desajo, 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 Caparroso se encuentran en el extremo SO de la misma, en la margen izquierda del río y circunscritos al núcleo del anticlinal de Falces, constituyendo parte del flanco septentrional de este y representando 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 (4), 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, que concretamente en la Hoja no llega a reconocerse bien por encontrarse el contacto entre ambas unidades por falla.

Posee una reducida representación cartográfica en la Hoja, limitándose al vértice suroccidental. Los mejores puntos de observación se sitúan al Oeste de Caparroso, en la margen izquierda del río Aragón, a lo largo del cantil excavado en los yesos.

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

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

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

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

1.1.2 Lutitas rojas y areniscas (2). Arverniense superior

La presente unidad aparece exclusivamente en el núcleo del anticlinal de Falces como una intercalación en la Fm. Yesos de Falces, destacando por su naturaleza lutítica y, especialmente, por su tonalidad rojiza.

Su posición axial dentro de la estructura ha sugerido, a diversos autores que han trabajado en la zona, la posibilidad que se trate del sustrato de la formación yesífera, por lo que se ha atribuido a la Unidad de Mues.

No obstante la coloración rojiza intensa de los depósitos de la presente Unidad y su posición estratigráfica, claramente dentro de la Fm. Falces, argumentan una posible procedencia meridional (Cordillera Ibérica) de los materiales, relacionándose, en todo caso, con la Fm. Arnedo que constituye, en parte, un equivalente lateral de los Yesos de Falces.

En la Hoja se reconoce una intercalación arcillosa en los Yesos de Falces, de unos 15-20 m de potencia, que constituye una estrecha franja de dirección SE-NO, con buzamiento subvertical.

Litológicamente la Unidad se caracteriza por el predominio de lutitas rojizas y eventualmente violáceas con intercalaciones areniscosas de potencia centimétrica a decimétrica (5-50 cm). Éstas presentan morfologías tabulares y su tamaño de grano oscila entre fino-medio y muy fino. Muestran una variada gama de estructuras tractivas características de flujos laminares diluidos: Base neta, a veces con huellas tractivas, granoclasificación positiva, laminación paralela y trenes de *ripples*, con frecuencia de tipo *climbing*. Exhiben además otras estructuras sedimentarias: Escapes de fluidos, convoluciones, huellas de desecación y bioturbación. Los términos lutíticos asociados poseen un aspecto bastante homogéneo y constituyen horizontes de espesor decimétrico a métrico.

Pueden intercalar niveles con influencia evaporítica constituidos por margas grisáceas y yesos. Estos intervalos poseen potencias de orden métrico y los yesos aparecen en litofacies laminares o nodulares. Contienen horizontes dolomíticos subordinados de morfología irregular que pueden desarrollar laminaciones de origen algal o presentar un carácter carníolar.

Sedimentológicamente la Unidad constituye en la hoja una cuña terrígena originada por un episodio de propagación de las orlas distales de sistemas posiblemente procedentes del Sur hacia la zona lacustre salina central. Se enmarca por tanto en un medio de frente aluvial muy distal confluyendo a márgenes lacustres evaporíticos

La edad de Arverniense superior se establece exclusivamente por su posición estratigráfica, puesto que la Unidad está claramente integrada en el conjunto de los Yesos de Falces.

1.1.3 Arcillas ocreas, areniscas y calizas (4). *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 a regionalmente a un cambio lateral de facies, fenómeno que no se observa en la Hoja debido a los recubrimientos cuaternarios y la mecanización del contacto facilitada por el comportamiento extrusivo de los yesos.

El techo de la Fm. Marcilla está claramente marcado por el desarrollo de un nivel yesífero de poca potencia pero gran continuidad lateral (6, Yesos de Alcanadre) fácilmente distinguible fotogeológicamente, que representa la base de la Unidad de Peralta, de la Fm. Lerín.

En la presente Hoja la Fm. Marcilla se desarrolla en la esquina suroccidental, al Oeste de Caparroso. Forma parte del flanco NE del Anticlinal de Falces donde registra buzamientos de unos 20-30° estimándose su potencia en unos 100 m.

Los mejores puntos de observación se localizan en la margen izquierda del río Aragón, al Suroeste de Caparroso.

Litológicamente forma una potente y monótona serie arcillosa ocrea, con algunos horizontes rojizos, que contiene intercalaciones de areniscas, calizas y yesos, a veces con dolomías.

Los términos lutíticos representan más del 80% de la Fm. y dominan en el paisaje, 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 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, generalmente cm a 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 ocre 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 en las arenas 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 a veces depósitos de carga residual formados por cantos blandos, y son relativamente frecuentes los fenómenos de deformación hidroplástica. Se interpretan como pequeños canales efímeros de configuración meandriforme.

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

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

En IGME (1987) se cita el hallazgo de asociaciones de caráceas y ostrácodos que indican una edad próxima al techo del Oligoceno. La cronoestratigrafía de la Unidad se concreta por correlación hacia la Rioja Baja con la Fm. Arnedo. En ésta se localizan numerosos yacimientos de vertebrados que indican una edad de Ageniense inferior (Zona MN1).

1.1.4 Lutitas ocreas, margas blancas, areniscas, yesos y dolomias (5). Arcillas de Marcilla. Ageniense inferior.

La representación cartográfica de la Unidad en la Hoja se circunscribe al flanco septentrional del Anticlinal de Falces donde configura un intervalo de potencia comprendida entre 20 y 40 m, desarrollado a techo de la Fm. Marcilla, sobre la Unidad cartográfica 4, que representa el término general de la Fm.

Al igual que la Unidad anterior los mejores puntos de observación se localizan al Oeste de Caparroso, en la margen izquierda del Aragón.

Litológicamente se distingue por la incorporación al depósito de facies evaporíticas, representadas por yesos y margas grisáceas, resultando en consecuencia una alternancia de orden métrico a decamétrico entre horizontes aluviales arcillosos ocreos con

intercalaciones de areniscas e intervalos lacustres salinos margo-yesíferos distinguibles por su coloración gris y blanquecina.

Los términos de alternancia entre lutitas y areniscas son similares a los descritos para la Unidad 4 si bien pueden incluir trazas de yesos e intercalaciones margosas, especialmente en el tránsito a los intervalos evaporíticos.

Los niveles yesíferos alcanzan potencias de orden métrico, insuficiente para su diferenciación cartográfica. Se asocian con margas dolomíticas grises y pueden incluir dolomías en proporciones destacadas. Los yesos exhiben un aspecto tableado derivado de la alternancia en bajas proporciones con dolomías laminadas y con margas dolomíticas grises bastante arcillosas. Predomina la litofacies nodular, aunque la parte media de los niveles tiende a ser más laminada y puede contener yesoarenitas. Representan depósitos lacustres evaporíticos de carácter sulfatado.

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

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

La base de la Unidad de Peralta (SALVANY 1989) está perfectamente definida en toda la región por un nivel guía yesífero de potencia relativamente reducida pero de gran continuidad cartográfica, constituyendo un excelente nivel-guía fotogeológico que define perfectamente la estructura de la zona.

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) puesto que no existe conexión cartográfica hacia el Norte.

Su presencia en la Hoja se limita al SO de Caparroso donde define la base de la serie de la Fm. Lerín en el flanco NE del Anticlinal de Falces registrando un buzamiento de unos 20-25°.

La gran continuidad cartográfica de la Unidad contrasta con su moderada potencia, que en el Hoja es de unos 15-20 m.

Litológicamente está formada por yesos grises con intercalaciones en baja proporción de margas dolomíticas grises, más frecuentes hacia techo.

En referencia a los yesos hay que indicar que 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 exclusivamente en su posición estratigráfica.

1.1.6 Arcillas ocreas, margas blancas, areniscas, calizas, dolomías y yesos (8). *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 un paquete yesífero de gran potencia y extensión, correspondiente a los Yesos de Sesma.

En la Hoja se desarrolla en el flanco NE del Anticlinal de Falces, junto a la localidad de Caparroso, donde registra una potencia inferior a los 200 m. Hacia el Oeste, hacia el sector de Lodosa, presenta una correlación bastante razonable con la Unidades de Sartaguda y Lodosa descritas por SALVANY (1989).

Litológicamente constituye un conjunto arcilloso de tonos claros y ocre, con algunos horizontes rojizos, e intercalaciones de yesos, 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 horizontes de arcillas rojizas son más abundantes hacia techo de la Unidad y se relacionan probablemente con cuñas terrígenas de procedencia meridional.

Los yesos constituyen las principales intercalaciones y se concentran en la parte media y superior de la Unidad, donde alcanzan representación cartográfica (Unidad 9, Yesos de Cárcar). Aparecen comúnmente como niveles de potencia métrica constituyendo ciclos evaporíticos propios de medios lacustres salinos marginales (SALVANY, 1989) que se caracterizan por el escaso o nulo desarrollo de los términos medios laminados, por lo que son casi exclusivas las litofacies nodulares.

Los niveles de calizas son frecuentes aunque de muy poco espesor (inferior a 50 cm), por lo que 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, generalmente de cm a dm. 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. Por correlación con las formaciones de la Rioja Baja, ricas en yacimientos de vertebrados, se precisa una edad de Ageniense (Zonas MN1 y MN2).

1.1.7 Yesos y margas (9). Yesos de Cárcar. Ageniense

La Fm. Cárcar, (SOLE, 1972) agrupaba originalmente las unidades terrígenas de Peralta, Mendavia y Sartaguda. El término fue adaptado en el sector de Lodosa por SALVANY (1989) para el Nivel de Alcanadre en facies yesíferas al Sur del Sinclinal de Peralta

En la presente memoria se aplica la denominación litoestratigráfica de Yesos de Cárcar, definida en la vecina Hoja de Lodosa (205) en el marco del mismo plan de Actualización e Informatización de la Cartografía Geológica de Navarra a escala 1:25.000. Está referida a los términos yesíferos con entidad cartográfica comprendidos estratigráficamente entre el

Nivel de Alcanadre (7) y la Unidad de Yesos de Sesma (11) de modo que forman varias intercalaciones relacionadas con las facies terrígenas de Peralta (8).

De forma conjunta con la parte superior de la Unidad 8 e integrando también la Unidad 10, constituiría la denominada Unidad Arcillas y Yesos de Lodosa (SALVANY, 1989).

El desarrollo de la Unidad en la Hoja se circunscribe al flanco septentrional del Anticlinal de Falces donde constituye una única intercalación cartografiada, que se sitúa en la parte media de la Unidad de Peralta (8).

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

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

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

1.1.8 Yesos y margas (11) Yesos de Sesma. Ageniense.

La Unidad Yesos de Sesma (SALVANY, 1989) constituye un potente nivel yesífero de gran extensión en la Cuenca Navarro-Riojana, si bien en la Hoja registra un espesor bastante reducido.

Se superpone en la Hoja a la Unidad 8 mediante un tránsito bastante rápido. No obstante en la base se reconoce algún nivel algo arenoso de tonos claros y poco espesor así como algún tramo con tonalidades rojizas que recuerdan al tramo basal de esta unidad en otros sectores de la cuenca. Su techo en cambio registra una marcada heterocronía, correspondiendo a un complejo cambio lateral de facies con la Unidad terrígena suprayacente (12, Arcillas de Villafranca).

En la Hoja destaca como un pequeño resalte de mayor competencia entre los términos arcillosos de la Fm. Lerín (Unidades de Peralta y Villafranca), desarrollándose, al Sur de Caparroso, en el flanco septentrional del Anticlinal de Falces, siendo observable en la carretera nacional N-121, al Sur de la Hoja.

Su potencia es muy reducida en la Hoja, alrededor de 20-25 m, valores que contrastan con los grandes espesores registrados más al Oeste donde supera ampliamente los 100 m.

Litológicamente constituye una serie yesífera con algunas intercalaciones margosas y arcillosas progresivamente más frecuentes hacia techo. Los yesos presentan gran variedad de facies (laminada, lenticular, nodular, con marcado predominio de esta última) y texturas cristalinas (yesos alabastrinos, megacrystalinos, porfiroblásticos) que se distribuyen irregularmente en la serie o bien presentan un cierto orden cíclico.

La parte inferior a media de la unidad es más yesífera y masiva. Hacia techo se registra un aumento notable del contenido de margas y arcillas, bien como intercalaciones entre los yesos o como matriz en las capas de yeso, y también tienden a aumentar en proporción las facies nodulares. En subsuelo la Unidad incluye niveles de halita y posiblemente de glauberita. Aunque la halita no aflora en ningún punto, se pone de manifiesto por la existencia de manantiales salinos en la región. El carbonato está poco desarrollado.

Generalmente se limita a finas capas dolomíticas de potencia milimétrica o centimétrica entre los yesos laminados.

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

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

1.1.9 Arcillas ocre, areniscas, margas y yesos (12) *Arcillas de Villafranca. Ageniense.*

La Unidad Arcillas de Villafranca ha sido descrita por SALVANY (1989) como un tramo arcilloso terrígeno de tonos ocre, 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 rápido con los Yesos de Los Arcos, bastante neto a escala de afloramiento.

En la presente Hoja la Unidad de Villafranca aparece exclusivamente al Sur de Caparroso formando parte de la conocida serie de la Fm. Lerín en el flanco NE del Anticlinal de Falces, donde muestra un buzamiento de unos 20° y registra una potencia de unos 70-80 m.

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

Los términos lutíticos corresponden predominantemente a arcillas ocre bastante homogéneas que forman intervalos masivos de potencia métrica a decamétrica o bien alternan con otras 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 con marcado predominio de litofacies nodulares, eventuales desarrollos enterolíticos y contenidos variables en términos margodolomíticos grises, constituyendo delgados niveles interestratificados o formando parte de la matriz en los horizontes nodulares.

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

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.

1.1.10 Yesos (13) 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 Navarra-Riojana.

Su base está bien definida por las Arcillas de Villafranca (12). A techo se dispone la Fm. Tudela (14) en franca discordancia erosiva.

En la Hoja, la Unidad de Los Arcos se desarrolla exclusivamente en el flanco NE del Anticlinal de Falces donde culmina la serie de la Fm. Lerín en Caparroso. Presenta buzamientos que raramente superan los 25° y alcanza una potencia de unos 60-70 m.

En la región, los Yesos de Los Arcos conforman un potente paquete yesífero, bastante masivo, con intercalaciones poco relevantes de materiales lutíticos y dolomías laminadas. Sin embargo en el corte de Caparroso, que es el más suroriental de la Fm Lerín en la Cuenca Navarro-Riojana, la Unidad de los Arcos está integrada por una alternancia entre yesos y margas dolomíticas grises.

En afloramiento los niveles de yesos presentan un marcado predominio de las litofacies nodulares, limitándose los desarrollos laminados a la parte media de los niveles yesíferos más potentes. Los intervalos margosos alcanzan potencias de orden decamétrico y contienen intercalaciones menores de areniscas, yesoarenitas y dolomías.

En el subsuelo la Unidad incluye materiales solubles, halita y glauberita, alternando con anhidritas

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

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

1.1.11 Lutitas rojas y ocreas con algunas intercalaciones de areniscas (14). Unidad de San Zoilo-Santacara. Orleaniense

En el núcleo del Anticlinal de Pitillas y junto a la localidad de Santacara se desarrolla un conjunto lutítico de tonos rojizos y ocreas con delgadas intercalaciones de areniscas. Morfológicamente da lugar a una zona deprimida con abundantes recubrimientos cuaternarios.

Su representación en la Hoja se circunscribe por tanto al extremo nororiental de la misma, al N de Santacara, donde ofrece a veces unas deficientes condiciones de afloramiento debido al extenso recubrimiento de la Unidad por formaciones cuaternarias, si bien cuando lo hace las condiciones para la observación son excelentes.

Litoestratigráficamente estos depósitos ocupan una posición infrayacente a la Unidad de Olite, de la que se distingue por su reducido contenido en niveles de areniscas y aspecto algo más rojizo. Se la hace correlacionable con la Unidad de San Zoilo, aflorante más al Norte en el flanco meridional del anticlinal de Eslava. No obstante y aunque es un hecho por comprobar, pudiera también ocurrir que parte de estos depósitos, al menos los no aflorantes, resultasen equivalentes de los términos más altos de la Fm. Lerín aflorantes al otro lado del Aragón.

La potencia visible de la Unidad en la Hoja es de unos 50-60 m, no alcanzándose su base. El techo viene definido por la entrada brusca de niveles areniscosos de mayor entidad que marcan el muro de la unidad y está remarcado por la concentración generalizada de horizontes rojizos edáficos.

La principal característica litológica es el predominio de términos lutíticos. Éstos presentan un aspecto bastante masivo interrumpido únicamente por horizontes rojizos, más destacables a techo, y de probable origen edáfico y por finas intercalaciones de areniscas de tamaño centimétrico a decimétrico. Las capas areniscosas, por lo general poseen potencias de orden centimétrico, comprendidas normalmente entre 1 y 15 cm, muestran una marcada morfología tabular y exhiben una variada gama de estructuras sedimentarias características de depósitos diluidos de *sheet flood* en medios aluviales distales: Base neta, granoclasificación positiva de tamaño fino a muy fino, laminación paralela y convolucionada, escapes de fluidos y *ripples* de corriente a techo.

De forma muy ocasional pueden desarrollarse delgados horizontes carbonatados, a techo de niveles areniscosos, consistentes en calizas micríticas cargadas en terrígenos, con fuerte bioturbación pedogénica y nodulización sub-edáfica.

La atribución de la Unidad al Orleaniense se establece a partir de la correlación hipotética con los términos superiores de la Fm Lerín, dada la ausencia de restos paleontológicos determinantes.

1.1.12 Areniscas y lutitas ocreas (16) y Arcillas ocreas y rojizas con algunas intercalaciones de areniscas (17) U. de Olite. Ageniense superior-Orleaniense.

Las Facies de Tudela o Fm. Tudela (CASTIELLA et al. 1978) en este sector de la Cuenca del Ebro culminan con una serie constituida por un conjunto de materiales principalmente arcillosos con niveles intercalados de areniscas y de carbonatos. Se desarrolla ampliamente en la región de Tudela y Las Bardenas, al SE de la cuenca Navarro-Riojana, y 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 esta. Se correlacionan hacia el Sur con las Facies de Alfaro, características de la Rioja Baja, y hacia el Norte se sitúan por debajo de las Facies de Ujué. En IGME (1987) reciben el nombre de Unidad de Olite y presentan una dispersión litoestratigráfica más amplia que la adoptada en la leyenda geológica.

En la presente Hoja (Caparroso, 206-IV) se han distinguido cuatro unidades cartográficas pertenecientes a las Facies o Fm. Tudela: Unidades 16, 17, 18 y 19. En la Hoja a escala 1:50.000 de Peralta (IGME, 1987) se propone una serie de términos litoestratigráficos que tienen, respecto a las Unidades anteriormente referidas, las siguientes equivalencias:

- *Unidad de Olite*: 16 y 17.
- *Unidad de Miranda de Arga*: 18 y 19

Se describe a continuación la Unidad de Olite, puesto que constituye, en buena medida, la parte inferior de la Fm. Tudela. La U. de Olite está integrada a su vez por las unidades cartográficas 16 y 17, ambas en claro cambio lateral de facies entre sí.

Se desarrolla ampliamente en la mitad nororiental de la Hoja, al N del eje del Sinclinal de Miranda de Arga, donde registra una potencia de varios centenares de m. La ausencia de la Unidad en el flanco meridional de esta estructura se explica por el cambio lateral de facies hacia techo a las Unidades de Miranda y Portillo y adelgazamiento deposicional de la Fm. Tudela, acentuado por su disposición en *on-lap* sobre la Fm. Lerín y posibles equivalentes aluviales (U. de Artajona), hacia el Anticlinal de Falces, es decir, al SSO.

Los mejores afloramientos de la presente Unidad se encuentran en las laderas de los cerros-testigo culminados por depósitos cuaternarios, donde existen buenos cortes

parciales. Destacan entre ellos los existentes al Norte de Santacara y al Este de Murillo el Cuende.

Litológicamente constituye un conjunto detrítico de color ocre en el que alternan las areniscas con las lutitas y muy ocasionalmente calizas de espesor centimétrico.

La unidad 16 predomina en los sectores orientales y es la que presenta un carácter más detrítico y esta constituida por una alternancia de areniscas y lutitas de tonos ocres. Las areniscas son ocres, de grano fino, cemento calcáreo y base erosiva, presentando un espesor de decimétrico a métrico (0,5-1,5 m), configurando todo el conjunto buena parte del periclinal del anticlinal de Pitillas.

La unidad 17 por el contrario predomina en los sectores occidentales, entre Murillo el Cuende y Santa Cara, y esta en claro cambio lateral con la anterior, siendo mucho más arcillosa, aunque en afloramiento se reconocen cuerpos de areniscas de tamaño decimétrico a veces amalgamados y de forma dispersa de tamaño métrico. Constituyen las facies más características de la Unidad de Olite.

En general los niveles de areniscas constituyen las principales intercalaciones. Predominan las capas de morfología tabular sobre las de base erosiva y registran potencias centimétricas y decimétricas, presentan tamaños de grano fino a muy fino y exhiben abundantes estructuras características de depósitos originado por flujos laminares diluidos de tipo *sheet-flood*: Base neta, laminación paralela, huellas de base tractivas y de colapso, convoluciones, escapes de fluidos, *cosets* de *ripples* de corriente, con frecuencia de tipo *climbing*, grietas de desecación, burrows de escape, bioturbación pedogénica, huellas de reptación de pequeños organismos, e icnitas de vertebrados. Los niveles clásticos de mayor potencia (0,5 a 2-3 m) presentan un mayor grado de incisión tendiendo generalmente a formas canalizadas y registran un evidente incremento granulométrico, alcanzándose tamaños de grano gruesos y medios. Pueden presentar *sets* tabulares superpuestos de láminas cruzadas, *cosets* de estratificación cruzada de mediana escala, planar y en surco y trenes de *ripples* de corriente a techo, normalmente de tipo *climbing*.

Las facies fangosas corresponden básicamente a lutitas rojizas y ocres en intervalos de espesor métrico a decamétrico de aspecto homogéneo.

Las intercalaciones carbonatadas son escasas y se concentran principalmente en la parte superior de la Unidad evidenciando el tránsito al conjunto suprayacente (Unidades 16 y 17). Consisten en capas centimétricas de calizas micríticas generalmente arcillosas, bastante bioturbadas con diversos componentes aloquímicos: Intraclastos, peloides, ostrácodos, caráceas, otros restos bioclásticos y abundantes granos terrígenos. En algunas ocasiones presentan a muro un intervalo asociado de arcillas margosas grises, generalmente bioturbadas.

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

Debido al marcado carácter aluvial de estos depósitos, el contenido paleontológico es muy escaso y sin valor cronoestratigráfico. Se atribuye una edad de Orleaniense por correlación con otras unidades de la Fm Tudela.

1.1.13 Arcillas rojas y areniscas con intercalaciones de calizas (18) y calizas y margocalizas (19). U. *Miranda de Arga*. Orleaniense.

Se describen de forma conjunta en el presente epígrafe las unidades cartográficas 18 y 19 puesto que alternan entre sí en la serie, constituyendo los términos superiores de la Fm. Tudela en la Hoja y que se les conoce bajo el nombre de Unidad de Miranda de Arga.

Ambas unidades configuran un conjunto de lutitas rojas (18) con delgadas intercalaciones de areniscas, margas y calizas, estas últimas distinguidas cartográficamente (19) cuando alcanzan suficiente entidad.

El conjunto se desarrolla a ambos flancos del Sinclinal de Miranda de Arga donde registra buzamientos moderados en torno a los 10-15° alcanzando una potencia próxima a los 100 m. En el valle del río Aragón, entre Caparroso y Mélida, en el sector central de la Hoja, se insinúa el periclinal de dicha estructura. Buenos afloramientos se presentan en las proximidades del castillo de Rada, concretamente en la pista que asciende a dicha fortaleza, Sobre las calizas de la unidad 19 se ubica la ermita de San Nicolás situada dentro de ella.

En el flanco norte del sinclinal esta unidad presenta un contacto transicional con la Unidad de Olite (17) de la que se distingue por la disminución en proporción y potencia de los

términos areniscosos y por la incorporación destacada de intercalaciones carbonatadas lacustres.

En el flanco meridional se dispone, en relación de *on lap*, directamente sobre el Fm. Lerín mediante una discordancia erosiva que trunca los términos superiores de la anterior.

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 (areniscas y calizas). En consecuencia, es evidente el predominio de facies aluviales enmarcándose en un contexto de frente aluvial muy distal con desarrollo de charcas palustres carbonatadas de carácter efímero.

Las areniscas representan las intercalaciones más comunes, aunque escasas, de la Unidad 18. Aparecen predominantemente como capas tabulares de potencia centimétrica a decimétrica que adquieren tonos ocre-rojizos a grises. Su morfología y estructuras sedimentarias (granoclasificación positiva, huellas de base, laminación paralela, estratificación cruzada de mediana escala, escapes de fluidos y *ripples* a techo) indican su depósito bajo mecanismos de tipo *sheet flood* en avenidas episódicas, que en ocasiones pueden afectar a zonas lacustre-palustres, generándose capas de tonos grises con *ripples* de oleaje y laminaciones onduladas. Localmente los niveles de areniscas adquieren mayor desarrollo y potencia incorporando cuerpos canalizados de potencia métrica. Estos presentan *sets* tabulares superpuestos de láminas cruzadas y *cosets* de *ripples* de corriente a techo indicando configuraciones de baja sinuosidad.

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. 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 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 18 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. Se cuenta además con la referencia de los yacimientos de vertebrados de las Fms. Tudela y Alfaro en la región, donde se indica una edad de Ageniense superior (MN2) a Orleaniense medio (MN4), por lo que la edad de la unidad debe corresponder a este último piso.

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 carbonatadas correspondientes a la Unidad 18 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.

1.2. CUATERNARIO

1.2.1. Conglomerados con encostramientos carbonatados a techo. Glacis de techo de piedemonte. (24). Pleistoceno

Corresponde esta unidad a los depósitos relacionados con las plataformas más elevadas del sector nororiental de la Hoja. Hay que relacionarlos con los sistemas de abanicos aluviales más antiguos procedentes de los relieves septentrionales de la región. Se sitúan en la Hoja a +145-100 m sobre el cauce actual del río Aragón.

Morfológicamente dan lugar a una serie de plataformas elevadas formadas por canturrales, que destacan en el paisaje de la región. Concretamente en el sector central de la Hoja se reconocen una serie de mesas relacionadas con este tipo de depósitos.

Litológicamente esta unidad está 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

pedemonte más antiguo y por la relación con el resto de los depósitos fluviales se les ha asignado al Pleistoceno inferior.

1.2.2. Gravas y arenas. Terrazas altas medias y bajas y llanuras aluviales de los ríos Aragón y Cidacos (25, 26 y 27). Pleistoceno-Holoceno

En su práctica totalidad los distintos niveles de terrazas diferenciadas, pertenecen al sistema fluvial de los ríos Aragón y Cidacos, que ha dejado a lo largo de la zona un cortejo escalonado de siete niveles. Estos, de forma convencional, han sido agrupados en tres: terrazas “altas” (+70-85 m), “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 Aragón muestra un importante desarrollo de terrazas bajas y medias así como altas preferentemente en su margen derecha dando lugar a extensos sediplanos de canturrales. El río Cidacos, que confluye con este en el sector central también por la margen izquierda de aquel, desarrolla terrazas bajas, que aguas arriba, fuera de esta Hoja se convierten en u extensas y vastas llanuras aluviales.

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 más 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; se encuentran clastos de hasta 50 cm de diámetro en las terrazas altas, aunque el tamaño medio fluctúa entre 10 y 20 cm; frente a estos valores, en las terrazas bajas predominan los diámetros de 6-8 cm, con máximos de 15 cm. Los espesores son 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.

Además del sistema de terrazas señalado, en el sector suroccidental aparece un pequeño retazo algo deformado de origen fluvial aunque dudosa su asignación a los cursos actuales, probablemente correspondiente al río Ega. Está constituida por 6-10 m de gravas, arenas y lutitas, con cantos redondeados a subredondeados de calizas, ofitas y calcarenitas de diámetros comprendidos entre 8 y 10 cm, con máximos de 15 cm.

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.

1.2.3. Cantos y gravas con matriz limo-arcillosa y lutitas con cantos. Glacis (28 y 30). Pleistoceno-Holoceno

Se localizan y desarrollan estos depósitos sobre los materiales neógenos preferentemente arcillosos, contribuyendo a la morfología actual de las vertientes. El espesor suele ser de decimétrico a métrico y su composición refleja la del sustrato sobre el que se desarrollan y la de los relieves al pie de los cuales se generan. Son de destacar los depósitos de glacis aflorantes en los alrededores de la laguna de Pitillas (unidad 28) en el límite septentrional de la Hoja y que se extienden de forma considerable por la vecina Hoja 206-II, Olite. El resto (unidad 30). contribuyen al modelado reciente de las laderas y se desarrollan sobre materiales arcillosos neógenos

Litológicamente están constituidos por gravas en una matriz acillo-limosa (unidad 28) y lutitas con cantos dispersos (unidad 30), a veces bloques angulosos y subangulos de composición areniscosa y calcárea, así como a veces por clastos redondeados reheredados de los sistemas de terrazas más antiguos. En la laguna de Pitillas los depósitos de glacis están constituidos por gravas poligénicas de tonos ocres y de casi un metro de espesor.

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

1.2.4. Lutitas y limos. Fondos endorreicos (31). Pleistoceno-Holoceno

Se trata de depósitos finos, generalmente arcillas y limos yesíferos asociados a áreas de drenaje deficiente o divagante, cuyo carácter endorreico-semiendorreico llega a producir encharcamientos superficiales.

Se localizan en el sector septentrional de la Hoja, concretamente en el entorno y los alrededores de la Laguna de Pitillas

Litológicamente se trata de arcillas y limos ocreos y a veces grises, con un bajo contenido en materia orgánica, que en general poseen un reducido espesor. Ocasionalmente pueden intercalar depósitos más groseros suministrados por los aportes de los barrancos que alcanzan la depresión.

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

1.2.5. Limos y arcillas con cantos. Conos de deyección (33). Holoceno.

Se trata de uno de los depósitos cuaternarios más característicos y con mayor representatividad 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 cantos de areniscas y arcillas procedentes de los relieves circundantes o de los niveles de terrazas próximos. 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.

1.2.6. Gravas, arenas y lutitas. Cauces abandonados y Meandros (34) y Barras (35). Holoceno

En relación con el río Aragón 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 a veces con arenas, 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.

1.2.7 Lutitas, cantos y arenas. Aluvial-coluvial (36). Holoceno

Se incluyen dentro de este apartado unos depósitos diferenciados al norte de la Hoja, concretamente en las proximidades de la laguna de Pitillas. Se trata de depósitos de escasa relevancia desarrollados a favor de cursos efímeros que drenan o desaguan dicho paraje y que se extienden por valles amplios y poco encajados.

Litológicamente se trata de lutitas de color ocreas a veces con cantos y algún nivel algo arenosos muy disperso con cantos de areniscas y de calizas. La composición refleja el sustrato sobre el que se desarrollan y en cualquier caso no se sobrepasa el metro de espesor.

La edad difícil de precisar se sitúa entre el Pleistoceno y el Holoceno.

1.2.8. Lutitas con cantos y arenas. Fondos de valle (38). Holoceno

Constituyen el depósito de los cursos que discurren a través de los principales valles o barrancos, excepción hecha de los dos ríos principales de esta Hoja (Aragón y Cidacos), reflejando además 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 presentan una longitud de orden kilométrico y una anchura moderada, en general carecen de interés; poseen un espesor comprendido entre 3 y 5m, aunque ocasionalmente este valor puede ser inferior o superior.

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

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

1.2.9. Bloques y cantos. Desprendimientos (39). Holoceno

Esta unidad diferenciada en la cartografía, esta formada por un conjunto heterométrico de fragmentos procedentes de desprendimientos en zonas de cantiles de yesos. Se localizan en las proximidades de Caparroso, al pie de los escarpes de yesos y sobre las terrazas del río Aragón.

En su mayor parte están constituidos por fragmentos angulosos de diámetros que pueden alcanzar hasta varios metros de clastos de yesos de tamaño bloque así como de cantos aunque estos últimos en menor proporción.

Por su relación con la dinámica actual se asignan al Holoceno

1.2.10. Lutitas y arenas con cantos y bloques. Coluviones (37). 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.

1.2.11. Grandes bloques, arcillas y limos. Deslizamientos (40). Holoceno

Se trata de un conjunto litológico de aspecto caótico, reconocibles en las proximidades de Caparroso en la margen izquierda del río Aragón. También se han observado depósitos similares aunque con predominio de finos en las proximidades de Murillo el Cuende. Poseen cierta homogeneidad litológica y principalmente están constituidos por grandes bloques así como por arcillas y limos todos ellos procedentes de la Fm. Falces.

Están relacionados con un mecanismo rotacional que motiva el desprendimiento y lento deslizamiento gravitatorio de importantes masas lutíticas y bloques de areniscas. 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 al Holoceno.

1.2.12. Escombros y vertidos. Depósitos antrópicos (41). Holoceno

Se trata depósitos de origen antrópico, consistentes en acumulaciones de bloques y fragmentos sólidos de origen diverso, constituyentes de escombreras y vertederos,

materiales groseros que junto con materiales arenosos compactados configuran superficies y modifican la topografía original.

Se han diferenciado este tipo de materiales artificiales en la localidad de Santacara.

En cualquier caso al tratarse de depósitos actuales se les asigna al Holoceno.

2. TECTÓNICA

2.1 CONSIDERACIONES GENERALES

La Hoja de Caparroso (206-IV) se localiza en el sector central de la Depresión del Ebro. Ésta constituye un área de geometría triangular que se comporta a lo largo del Terciario como cuenca de antepaís respecto el orógeno pirenaico.

La estructuración de la Cuenca del Ebro y de las cadenas alpinas que la limitan (Pirineos al N, Cordillera Ibérica al S y Catalánides al E) es el resultado de la convergencia de las placas Ibérica y Europea. 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 una flecha de desplazamiento de 20-30 km hacia N.

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

Estructuralmente 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. Las estructuras anticlinales, tradicionalmente consideradas como estructuras halocinéticas, con importantes variaciones de espesor en sus flancos, se deben probablemente, al deslizamiento hacia el Sur de la parte superior de la serie terciaria sobre una superficie de cabalgamiento que hacia el Norte enraizaría con el cabalgamiento frontal surpirenaico. Hacia el Oeste estas estructuras parecen prolongarse hasta la Banda Diapírica de Estella.

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, pese a su reducida representación en la Hoja, es el Anticlinal de Falces, que se encuentra flanqueado al N y S por los Sinclinales de Miranda de Arga y Peralta, respectivamente. Más al N se desarrolla el Anticlinal de Pitillas que constituye una estructura bastante más laxa que la de Falces.

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).

En la zona de estudio en concreto la base del Terciario parece encontrarse sobre los 3500-4000 m.

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 principales estructuras anticlinales de la zona, 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.

Los primeros depósitos, es decir el conjunto inferior, se encuentran en clara relación con la tectogénesis alpina mientras que los segundos, es decir la Fm Tudela corresponden claramente a una etapa distensiva de relleno de la cuenca

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 el valle del río 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).

La estructuración que afecta a los depósitos cuaternarios (pliegues y fallas de dirección E-O y NO-SE, obedecen a un campo regional de esfuerzos distensivos con un esfuerzo mínimo σ_3 según una dirección Norte-Sur. Estas deformaciones se habrían manifestado durante el Mioceno y prolongado hasta tiempos relativamente bastante recientes

2.2 DESCRIPCIÓN DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS

La Hoja de Caparroso (206-III) 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 Anticlinal de Falces constituye la principal estructura de la Hoja. Al Norte de éste se encuentra en primer lugar el Sinclinal de Miranda de Arga y posteriormente el Anticlinal de Pitillas.

2.2.1. Anticlinal de Falces

El Anticlinal de Falces posee una escasa representación cartográfica en la Hoja de Caparroso, limitándose al vértice suroccidental de la misma. Se extiende en dirección NO a SE a las vecinas hojas 205, 206-III y 244 y presenta una marcada vergencia hacia el SO.

El núcleo del pliegue está formado por los Yesos de Falces, constituyendo un conjunto intensamente replegado. En el interior de la estructura se desarrollan pliegues menores de dirección subparalela que registran distintas vergencias, evidenciando la actividad halocinética y la posible generación de retrocabalgamientos.

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

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

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

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

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

2.2.2. Sinclinal de Miranda de Arga

El Sinclinal de Miranda de Arga se extiende en dirección ONO-ESE por la parte central de la Hoja. Al igual que las anteriores estructuras registra un gran desarrollo longitudinal prolongándose hacia las Hojas vecinas 206-I y III, 205-II, 172-III y IV, y 244-II.

El núcleo está ocupado por diversas unidades de la Fm. Tudela, que se disponen con buzamientos moderados (10-15°) a ambos flancos, si bien el meridional presentan buzamientos más fuertes, indicadores de una vergencia hacia el Sur y Suroeste. La principal característica distintiva de esta estructura consiste en la marcada disposición en *on lap* hacia el Anticlinal de

Falces de la Fm. Tudela sobre la Fm. Lerín, lo que se traduce en un acusado incremento de espesores para la primera hacia el N. Este fenómeno se hace patente en la Hoja por el desarrollo de la Unidad de Olite, integrada por facies aluviales de procedencia pirenaica, en el flanco norte de la estructura, donde presenta una potencia superior a los 500 m. Se acuña en el flanco sur, en parte por su disposición en *on lap* hacia el Anticlinal de Falces y también por paso lateral y en vertical a las Unidades de Miranda y Portillo, que contienen niveles lacustres carbonatados.

2.2.3. Anticlinal de Pitillas

El Anticlinal de Pitillas constituye una estructura laxa que se desarrolla en el ángulo NE de la Hoja extendiéndose en dirección ONO-ESE a las Hojas vecinas nº 206-II y 207-III.

Debido a los moderados buzamientos que registra a ambos flancos y a los recubrimientos cuaternarios, su presencia ha pasado inadvertida para los diversos autores que han trabajado previamente en la zona. A esta escasez de información hay que añadir la ausencia de datos de subsuelo referentes a la estructura por lo que su descripción hace mención únicamente a los rasgos más superficiales.

En el núcleo del pliegue aparecen depósitos lutíticos,. Estos materiales representan facies aluviales distales muy lutíticas posiblemente correlativos con la Unidad de San Zoilo aflorantes mas la Norte en el flanco sur del anticlinal de Eslava. También pudiera ocurrir que parte de la serie no aflorante de esta unidad resultase equivalente detrítico de la Fm. Lerín.

De forma neta y francamente paraconcordante se superpone la Unidad de Olite, integrada dentro del conjunto de la Fm. Tudela. Registra buzamientos moderados ambos flancos, de unos 10° al SSO y 5° al NNE, por lo que resulta muy poco marcada la vergencia sur. Más al ESE se generan algunos pliegues menores, también muy suaves, de dirección subparalela a la estructura principal.

En contacto basal de la Fm. Tudela (Unidad de Olite) se evidencia por la entrada neta de materiales detríticos más groseros. La disposición paraconcordante de la Fm. Tudela en el núcleo del Anticlinal de Pitillas se explica por laxitud de la flexión, no obstante pone de manifiesto un impulso diastrófico generalizado que provoca una importante reestructuración de la cuenca Navarro-Riojana marcada por la propagación de los sistemas aluviales, tanto

de procedencia pirenaica como ibérica, con el consecuente desplazamiento de las áreas lacustres evaporíticas centrales hacia el Este (Sector Aragonés).

3. GEOMORFOLOGÍA

3.1. DESCRIPCIÓN FISIAGRÁFICA

La Hoja a escala 1:25.000 de Caparroso (206-IV) 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 principal rasgo fisiográfico de la Hoja es la presencia del río Aragón que, con un trazado meandriforme, la atraviesa de Este a Oeste por el sector meridional; sus vertientes se caracterizan por una serie de plataformas escalonadas que en el caso del margen septentrional aparecen truncadas por el río Cidacos que discurre de Norte a Sur, con acusada sinuosidad igualmente. La fisonomía del sector nororiental es mucho menos definida, destacando en ella la presencia de la laguna de Pitillas, elemento característico del paisaje de la zona. La máxima elevación corresponde al alto de Arasa (444 m), en tanto que la mínima se localiza en el extremo suroccidental del río Aragón (292 m).

Excepción hecha del sector de la laguna de Pitillas, que actúa como centro endorreico del sector septentrional, la red fluvial se articula en torno a los cursos citados, Aragón y Cidacos, afluente de aquél por la derecha, que vierten sus aguas en última instancia al río Ebro. La red secundaria está integrada por diversos arroyos y barrancos de escasa entidad de entre los que destacan los barrancos Vallacuera y Raguela.

Climatológicamente, la región pertenece al tipo Mediterráneo Templado, con precipitaciones medias anuales comprendidas entre 400 y 600 mm y temperaturas medias anuales de 13 a 14°C.

Se trata de una zona moderadamente poblada, distribuyéndose una pequeña parte de sus habitantes entre los diversos caseríos y casas de campo diseminados por la zona, y concentrándose su mayor parte en los núcleos de población de Caparroso, Mélida, Santacara, Murillo el Cuende y Traibuenas. La agricultura constituye la principal ocupación de sus habitantes, especialmente en el valle del río Aragón; al margen de los regadíos, la vegetación muestra un fuerte contraste entre los reducidos bosques existentes en las zonas más abruptas, frente a los extensos viñedos y terrenos claros.

Las vías de comunicación se basan en una densa red de carreteras de entre las que destaca la N-121, sin olvidar la presencia del ferrocarril Zaragoza-Alsasua ni de los numerosos caminos y pistas que permiten el acceso a la práctica totalidad de la Hoja.

3.2. ANTECEDENTES

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

Por lo que respecta a estudios más concretos efectuados en la región, en su mayor parte se centran en los depósitos de terrazas y glaciares del río Ebro, destacando los de RIBA y BOMER (1957) y LERÁNOZ (1989), mereciendo la pena señalar el de LERÁNOZ (1990 a) que aborda el endorreísmo del sector meridional navarro. Por su proximidad a la zona de estudio, 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 zonas próximas (Hojas 205-II, Lerín, y 205-IV, San

Adrián; GOBIERNO DE NAVARRA, 2000) por la gran cantidad de datos aportados y la puesta al día llevada a cabo en cuanto al conocimiento geológico de la región.

3.3. ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO

El estudio morfológico se aborda desde dos puntos de vista:

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

3.3.1. Estudio morfoestructural

La Hoja de Caparroso (206-IV) se localiza en la Cuenca de La Rioja-Navarra, perteneciente al sector noroccidental de la Depresión del Ebro, caracterizado por una clara influencia de la estructura en el relieve, derivada a su vez de la acción de la tectónica sobre los diferentes conjuntos litológicos.

De acuerdo con los rasgos geológicos regionales básicos, los afloramientos terciarios integran el sustrato, que aparece modelado fundamentalmente por la dinámica de los ríos Aragón y Cidacos, que tapizan la mayor parte de la zona.

3.3.1.1. Formas estructurales

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

Los resaltes poseen una continuidad muy variable, con frecuencia de varios kilómetros, pudiendo aparecer como simples líneas de capa o acompañados de escarpes más o menos pronunciados, pero en todos los casos con desniveles inferiores a 100 m. Es frecuente,

especialmente en el sector occidental, la conservación de superficies estructurales, degradadas o no, que aparecen como cuestas. Entre estas formas derivadas de la estructura es preciso señalar también los cerros cónicos, como resultado de procesos de erosión selectiva, así como los basculamientos, probablemente como resultado de los procesos de disolución de los yesos del sustrato.

3.3.1.2. Estructura de la red de drenaje

Excepción hecha del río Aragón, en general la red de drenaje de la zona muestra un marcado carácter consecuente, siguiendo la línea de máxima pendiente regional. Sobre este patrón general, que en conjunto configura una geometría dendrítica, existen dos claras excepciones; por una parte, los cursos del sector suroccidental poseen un elevado grado de adaptación a la estructura, discurriendo de SE a NO y dando lugar a un patrón de tipo rectangular, en tanto que en el sector septentrional convergen en la laguna de Pitillas siguiendo un patrón de tipo radial.

3.3.2. Estudio del modelado

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

3.3.2.1. Formas de laderas

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

Los deslizamientos están representados por una serie de masas de reducidas dimensiones, localizadas al pie de los escarpes de la margen izquierda de los ríos Aragón y Cidacos, donde las elevadas pendientes, unidas a la naturaleza arcillosa del sustrato, han favorecido la génesis de estas masas deslizadas. En el caso de los niveles más competentes, principalmente de composición yesífera, los pronunciados escarpes de las márgenes del valle del Aragón en el paraje de Sotillo han dado lugar a procesos de inestabilidad cuyo resultado es la génesis de vertientes de bloques.

Por lo que respecta a los coluviones, poseen una representación mucho mayor, apareciendo como bandas que orlan parcialmente diversas laderas, especialmente al pie de algunas terrazas “medias” y “altas”.

3.3.2.2. Formas fluviales

Constituyen, sin duda alguna, el grupo de mayor relevancia, merced principalmente al cortejo de terrazas que escalonan los valles de los ríos Aragón y Cidacos, junto con las que también están representados diversos glacis-terrazas y la llanura de inundación, así como abundantes barras con cicatrices de acreción lateral, meandros y cauces abandonados. Las formas sedimentarias se completan con los numerosos fondos de valle y conos de deyección repartidos por todo el territorio. Como formas erosivas se han reconocido aristas, huellas de incisión lineal, escarpes de terrazas, acarcavamientos y, de forma ocasional, erosiones laterales del cauce.

Los fondos de valle tienen una notable representación, apareciendo con formas alargadas y, en general, estrechas, cuya longitud varía sensiblemente. En algunas zonas, su geometría aparece perfectamente adaptada a la estructura, en tanto que en otras lo hace a la pendiente regional y en el sector septentrional, a la laguna de Pitillas.

Las barras están asociadas exclusivamente al cauce del río Aragón, preferentemente en posición lateral, con una continuidad que puede alcanzar varios kilómetros, pero también a modo de isleos de menores dimensiones, siendo frecuentes las cicatrices de acreción lateral.

Ante su difícil delimitación, la llanura de inundación del Aragón y del Cidacos 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.

El sistema de terrazas de los ríos Aragón y Cidacos es el conjunto de formas más característico, habiéndose diferenciado ocho niveles a +2-5 m, +6-9 m, +10-12 m, +16 m, +18-25 m, +30-40 m, +40-45 m y +80-95 m. Los tres niveles inferiores se han considerado como terrazas “bajas” y poseen un dispositivo de terrazas solapadas, en tanto que los cuatro siguientes han sido considerados como terrazas “medias”, pudiendo aparecer como terrazas colgadas o solapadas, y el nivel superior se ha considerado como “terrazza alta”, presentándose como una terraza colgada.

En conjunto, confieren a los valles un aspecto groseramente escalonado, con escarpes entre los distintos niveles; de entre éstos, son los inferiores los que poseen una mayor continuidad superficial y una menor definición, en tanto que los superiores aparecen nítidamente delimitados y a modo de retazos aislados. En el caso de la terraza “alta” del Aragón, hacia el Norte adquiere insensiblemente cierta pendiente, habiéndose diferenciado en parte como un glacis-terrazza.

Uno de los rasgos más llamativos de las terrazas de la región es la espectacular deformación que presentan a menudo, relacionada con los procesos de deformación del sustrato yesífero; entre los fenómenos observados se encuentran colapsos, basculamientos y plegamientos que, en cualquier caso, modifican el aspecto típico de estos depósitos. Aunque en el ámbito de la Hoja no son excesivamente frecuentes, sus principales manifestaciones se encuentran en el sector suroccidental.

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

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 diversos relieves de la zona. Su principal expresión se encuentra al pie de las vertientes de la Plana de Olite y El Romeral, así como en el sector de Piedra Larga y Huertos de Colonización.

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

El desarrollo de cárcavas, con sus correspondientes cabeceras, 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. Por último, en los tramos donde los ríos Aragón y Cidacos muestran trazados sinuosos, se registran fenómenos de erosión lateral del cauce.

3.3.2.3. Formas poligénicas

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

Los glacis de techo de piedemonte configuran pequeñas plataformas elevadas, apareciendo a modo de retazos diseminados que, en conjunto, reflejan una pendiente deposicional hacia el SO; unida a ella, el afloramiento de Cuarto Coseras muestra un ligero basculamiento. Los glacis poseen una representación más amplia, destacando entre ellos los del sector septentrional, si bien se trata en general de depósitos de menor entidad, ligeramente disectados por la red de drenaje actual, que tapizan diversas vertientes de pendientes bajas; se caracterizan por sus perfiles longitudinales plano-cóncavos, con aumento de la concavidad hacia la cabecera.

En el sector septentrional existen valles muy poco encajados en los que resulta difícil delimitar los depósitos de origen fluvial con relación a los procedentes de las vertientes, habiendo sido preciso diferenciarlos cartográficamente como depósitos de origen aluvial-coluvial. Son formas de escasa relevancia que se adaptan groseramente a la forma de los valles.

Por lo que respecta a los escarpes, los más destacados se localizan en la margen izquierda del valle del río Aragón, al Oeste de Caparroso, pese a lo cual se han interpretado como formas poligénicas porque junto a la 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 70 m.

3.3.2.4. Formas endorreicas

Se encuentran representadas de forma exclusiva en el ámbito de la laguna de Pitillas, área endorreica generada sobre las litologías arcillosas del sector septentrional, probablemente como consecuencia de procesos de disolución de los yesos del sustrato y en la que convergen radialmente diversos arroyos de pequeña entidad.

3.3.2.5. Formas antrópicas

La actividad antrópica constituye una importante característica en diversas zonas, especialmente en torno a los núcleos urbanos de Caparroso y Santacara. Está relacionada principalmente con la modificación del paisaje debida a los usos del suelo para actividades

agropecuarias, extractivas, de redes de transporte y de nuevos asentamientos urbanos o industriales; la remoción de materiales y la modificación de la topografía original, bien allanando, rellenando o ahuecando es intensa.

Entre las formas antrópicas susceptibles de ser representadas cartográficamente cabe destacar los frentes de las canteras, así como las escombreras y vertederos. Otras formas de menor entidad corresponden a establecimientos puntuales ligados al aprovechamiento agropecuario e industrial, que se hallan diseminados por todo el territorio. Por último, la apertura de nuevas vías de comunicación (carreteras, caminos...) y las labores de cultivo son factores que completan el registro de intervención antrópica.

3.4. FORMACIONES SUPERFICIALES

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

3.4.1. Bloques y cantos. Desprendimientos (a). Holoceno

Integran un conjunto litológico de gran uniformidad para cada una de las formas diferenciadas, al estar integradas por fragmentos procedentes de un área fuente común, correspondiendo al depósito de las vertientes de bloques. En su mayor parte están constituidos por fragmentos angulosos de diámetros que pueden alcanzar 1 m y poseen composición yesífera, emplazados gravitacionalmente cuando adquieren una posición inestable en la parte alta de escarpes pronunciados. Debido a su geometría intrínseca, el espesor es muy variable, pero generalmente con valores de orden métrico. Por su relación con la dinámica actual se asignan al Holoceno.

3.4.2. Grandes bloques, arcillas y limos. Deslizamientos (b). Holoceno

Se trata de un conjunto litológico de aspecto caótico, aflorante exclusivamente en el valle de los ríos Aragón y Cidacos; posee cierta homogeneidad ya que sus integrantes proceden de un mismo área madre constituido por yesos y arcillas de la Fm. Falces. Su génesis se relaciona con un mecanismo rotacional que motiva el desprendimiento y lento deslizamiento gravitatorio de importantes masas lutíticas y bloques de yesos y lutitas. Obviamente, el

espesor de este depósito es muy variable como consecuencia de la propia geometría de las masas deslizadas. Ya que su génesis se asocia a un proceso actual o subactual, se incluyen en el Holoceno.

3.4.3. Lutitas y arenas con cantos y bloques. Coluviones (c). Holoceno

Son depósitos de reducido espesor, en general inferior a 2 m, y moderada representación superficial, distribuidos irregularmente, pero abundando al pie de los escarpes de diversas terrazas “medias” y “altas”. Su constitución litológica depende directamente de 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, calizas y areniscas de tamaño muy variable, con frecuencia de orden decimétrico, procedentes de las propias vertientes. 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.

3.4.4. Conglomerados, gravas, arenas y lutitas. Terrazas (d-k). Pleistoceno-Holoceno

Pertencen en su totalidad al sistema fluvial de los ríos Aragón y Cidacos, que han dejado a lo largo de la zona un cortejo escalonado de ocho niveles, agrupados en terrazas “altas” (+80-95 m), “medias” (+16 m, +18-25 m, +30-40 m y +40-45 m) y “bajas” (+2-5 m, +6-9 m y +10-12 m), incluyéndose en algunos casos dentro de éstas los depósitos correspondientes a la llanura de inundación. En cualquier caso, es preciso recordar que algunas de estas cotas pueden haber sido modificadas debido a las deformaciones neotectónicas de los yesos que constituyen su sustrato.

La litología es muy similar en casi todas ellas, si bien la granulometría y el grado de cementación, por carbonatos, muestran ciertas variaciones. En general, están formadas por gravas polimícticas, con arenas y lutitas en proporción variable, predominando los clastos redondeados de naturaleza areniscosa y carbonatada; cuando aparecen cementadas constituyen auténticos conglomerados. En cuanto al tamaño de los cantos, es muy variable, presentando en ocasiones dos modas; se encuentran clastos de hasta 50 cm de diámetro en las terrazas altas, aunque el tamaño medio fluctúa entre 10 y 20 cm; frente a estos valores, en las terrazas bajas predominan los diámetros de 6-8 cm, con máximos de 15 cm. Los espesores son 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 al Pleistoceno, excepción hecha de los niveles inferiores, pertenecientes al Holoceno.

3.4.5. 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, carbonatada y areniscosa. 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.

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

En relación con el sistema fluvial de los ríos Aragón y Cidacos 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 generalmente utilizados para el cultivo.

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

3.4.7. 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 de los dos ríos principales, 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 tienen una longitud de orden kilométrico y una anchura moderada, en general carecen de interés; poseen un espesor comprendido entre 3 y 5 m, aunque ocasionalmente puede ser superior.

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

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

Corresponden al depósito somital de las plataformas más elevadas, que aparecen dispersas por la zona, 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-Aragón, habiéndose asignado al Pleistoceno.

3.4.9. Lutitas con cantos y gravas. Glacis (p, q). Pleistoceno-Holoceno

Su desarrollo se produce sobre depósitos neógenos preferentemente arcillosos, contribuyendo a la morfología actual de las vertientes poco acusadas. Por lo general, su composición refleja la del sustrato sobre el que se desarrollan, así como la de los relieves al pie de los cuales se generan. Están constituidos por gravas y lutitas con cantos dispersos, a veces bloques, de carácter anguloso a subanguloso, de composición, areniscosa y calcárea. Los glacis del sector septentrional, están constituidos por cantos redondeados de calizas y areniscas de diámetros de 6-10 cm.

Su génesis está en relación con el dismantelamiento del relieve establecido en la zona tras el depósito de los abanicos aluviales antiguos, razón por la que se ha atribuido al Pleistoceno.

3.4.10. Lutitas, cantos y arenas. Aluvial-coluvial (r). Holoceno

Se trata del depósito de origen mixto característico de valles poco encajados en los que resulta extremadamente difícil discriminar entre la fracción derivada de un origen fluvial y la que posee un origen gravitacional, relacionado en cualquier caso con vertientes de pendientes bajas. Ya que se trata de depósitos muy localizados, su composición presenta escasas variaciones, reflejando en cualquier caso la del sustrato donde se desarrollan. Así, predominan los términos lutíticos que intercalan delgadas hiladas de cantos de calizas y arenisca, así como niveles de arenas. Su espesor, difícil de establecer, debe oscilar entre 1 y 2 m.

Lógicamente, se les ha asignado la misma edad que a los depósitos de fondo de valle y a los coluviones, es decir, al Holoceno.

3.4.11. Lutitas. Depósitos endorreicos (s). Pleistoceno-Holoceno

Son depósitos finos asociados a áreas de drenaje deficiente, cuyo carácter endorreico produce encharcamientos de varios kilómetros cuadrados. Se trata de arcillas grises y limos con un moderado contenido en materia orgánica, que en general poseen un espesor superior a 1 m. Ocasionalmente pueden intercalar depósitos más groseros suministrados por los barrancos que alcanzan la depresión.

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

3.4.12. Escombros y vertidos. Escombreras, vertederos (t). Holoceno

Integran los depósitos de origen antrópico de la zona, consistentes en acumulaciones de materiales groseros, generalmente bloques y fragmentos sólidos de origen diverso, constituyentes de escombreras y vertederos. Evidentemente, su génesis se ha producido durante el Holoceno.

3.5. EVOLUCIÓN DINÁMICA

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

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

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 agente modelador de la zona, que ha llevado aparejados una serie de procesos denudativos y sedimentarios entre los cuales destacan la erosión de los relieves por parte de los cauces principales y la acumulación de depósitos fluviales, que en sucesivos encajamientos se han configurado como terrazas. La erosión vertical de la red fue acompañada por un retroceso de las laderas, favorecido por los procesos gravitacionales.

Una vez esbozada la red principal, representada aquí por los ríos Aragón 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, cuevas y cerros cónicos que la erosión ha modelado y que constituyen elementos inseparables del paisaje actual en la región.

3.6. MORFOLOGÍA ACTUAL-SUBACTUAL Y TENDENCIAS FUTURAS

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

La estructura del sector nororiental está condicionada por la existencia de un sustrato arcilloso en el que se intercalan niveles areniscosos y carbonatados, en general poco competentes, en tanto que en el occidental predominan las intercalaciones de yesos, que confieren una mayor resistencia a la erosión; en ambos casos, la deformación se resuelve según grandes pliegues de orientación NO-SE. El tercer dominio, correspondiente a los valles de los ríos Aragón y Cidacos, se caracteriza por un modelado típicamente 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.

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

4. HISTORIA GEOLÓGICA

La Hoja a escala 1:50.000 de Peralta, de la que forma parte el cuadrante 206-IV, Caparroso, 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 las cordilleras limítrofes, que cabalgan a los depósitos terciarios. La mayor influencia ha sido ejercida por la cadena pirenaica, respecto a la cual la Depresión del Ebro se comporta como cuenca de antepaís meridional a lo largo del Terciario.

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

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 Hoja de Peralta a escala 1:50.000 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 un a cuenca exorreica. Empieza la etapa de vaciado erosional con la instalación de sistemas aluviales y el progresivo encajamiento de la red hidrográfica. Estos procesos, unidos al desarrollo de las diversas formas de erosión, dan lugar a la actual configuración del relieve de la Cuenca del Ebro.

5. GEOLOGÍA ECONÓMICA

5.1. RECURSOS MINERALES

En la Hoja a escala 1:25.000 de Caparroso (206-IV) se cuenta únicamente con 4 indicios mineros registrados.

En su mayor parte corresponden a pequeñas canteras de arcillas que se concentran en las cercanías de Caparroso. También en las proximidades de esta localidad se ha inventariado un indicio de hierro ligado a areniscas de la serie terciaria.

Se describen además otras sustancias que si bien no cuentan con indicios inventariados en la Hoja, presentan posibilidades evidentes de aprovechamiento minero.

5.1.1. Minerales metálicos.

5.1.1.1. Hierro

Al SO de Caparroso se ha registrado un indicio de esta sustancia.

Corresponde a una mineralización de óxidos de hierro diseminada o en costras dentro de un nivel de areniscas de la Fm Marcilla.

5.1.2. Minerales y Rocas Industriales.

Las arcillas constituyen la sustancia con más indicios registrados en la Hoja. habiéndose inventariado 3 canteras de reducidas dimensiones. Se describen también otras sustancias, arcillas especiales, áridos naturales, areniscas, yeso, sal común y glauberita, por sus posibilidades de aprovechamiento en el futuro.

5.1.2.1. Arcillas comunes

Los indicios de arcillas comunes de la Hoja de Caparroso (206-IV) se encuentran sobre intervalos lutíticos rojizos de la Fm. Tudela.

Se han inventariado 3 indicios, que se concentran al E de Caparroso, correspondiendo a canteras de pequeñas dimensiones. Dos de ellas se encuentran abandonadas y en un caso se registra actividad intermitente.

Las arcillas de la Fm. Tudela se explotan en numerosos punto de la región dadas sus favorables propiedades (50-60% en illita y 5-10% en clorita) para la fabricación de ladrillos (*ladrillos de Tudela*).

5.1.2.2. Arcillas especiales

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

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

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

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

5.1.2.3. Áridos naturales

Las gravas y arenas de los niveles de terrazas son objeto de explotación en la región para la obtención de áridos.

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

En la Hoja de Caparroso (206-IV) no se ha inventariado ningún indicio de esta sustancia, cuya cita en el presente epígrafe se debe únicamente a su potencial minero.

5.1.2.4. Areniscas

Los niveles de areniscas de la Fm. Tudela se explotan en numerosos puntos de la región para la obtención de bloques de mampostería, recibiendo la denominación popular de *Piedra de Pitillas*. La disposición en bancos tabulares tableados de potencia idónea facilita las posibilidades de extracción de la areniscas en bloques y losas, lo que ha condicionado su explotación intensiva en el pasado.

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

No figura en los inventarios ninguna labor de esta sustancia dentro de la Hoja, sin embargo se tiene constancia de numerosas labores circunstanciales no controladas de la *Piedra de Pitillas*, por lo que debe considerarse su potencial minero.

5.1.2.5. Yeso

En el extremo SO de la Hoja de Caparroso afloran diversas unidades evaporíticas de gran continuidad que contienen grandes reservas de yeso (Yesos de Falces, Sesma y Los Arcos)

Los yesos de las Fms. Falces y Lerín se presentan en variedades alabastrinas, megacrystalinas y porfiroblásticas. Las litofacies nodulares contienen más arcilla y exhiben un aspecto tableado mientras que las litofacies laminadas son más puras y aparecen en capas más masivas.

5.1.2.6. Sal común

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

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

5.1.2.7. Glauberita

Aunque no se ha inventariado ningún indicio de esta sustancia en la Hoja, cabe señalar que las Fms. Falces y Lerín contienen niveles de glauberita dentro de sus principales tramos yesíferos.

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

Excepcionalmente la glauberita se reconoce en algunos afloramientos recientes de la región (antiguas labores mineras de Alcanadre-Arrúbal y San Adrián) en los que no ha llegado a ser disuelta aunque está parcialmente transformada en yeso secundario.

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

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

La polihalita aparece en finas capas de algunos mm o cm de espesor, de aspecto masivo y color gris oscuro, emplazadas en niveles laminados de carbonatos (generalmente de magnesita), glauberita o halita. Texturalmente estas capas de polihalita forman agregados

de esferulitos con un tamaño máximo de 2 mm. Cada esferulito es de microestructura interna fibroso-radiada. Los esferulitos pueden ser de origen primario o bien originados por reemplazamiento de glauberita durante la diagénesis temprana.

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

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

5.2. HIDROGEOLOGÍA

5.2.1. Descripción de las formaciones

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

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

La Fm. Falces (Unidades Cartográficas 1 y 2) aflora, dentro de la Hoja de Caparroso (206-IV), en el núcleo del Anticlinal de Falces.

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.

5.2.1.2. Arcillas ocre y rojizas con intercalaciones de areniscas, calizas yesos y dolomías.
Arcillas de Marcilla y Peralta. Oligoceno superior-Mioceno inferior

Sobre la Fm Falces y mediando un contacto transicional, que en la Hoja está mecanizado, se dispone un potente conjunto esencialmente arcilloso.

Litoestratigráficamente comprende, de muro a techo, la Fm. Marcilla (4, 5) y la Unidad de Peralta (8).

El conjunto arcilloso se desarrolla, dentro de la Hoja, en el flanco norte del Anticlinal de Falces con buzamientos de 25° - 55° .

La potencia del conjunto es de unos 400 m en la Hoja 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 (9, Yesos de Cárcar).

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

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

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

Los Yesos de Sesma (11) se desarrollan en la Hoja en el flanco septentrional del Anticlinal de Falces donde registran una potencia bastante reducida, del orden de unos 30 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.

5.2.1.4. Arcillas ocreas y rojizas con intercalaciones de areniscas 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 (12) y su potencia en la Hoja es de unos 100 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.

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

Los Yesos de Los Arcos (13) representan el nivel evaporítico más importante de la Fm. Lerín, por su potencia y continuidad.

En la presente Hoja forma un nivel continuo en el flanco septentrional del Anticlinal de Falces, representado litológicamente por yesos y margas, de potencia próxima a los 100 m.

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.

5.2.1.6. Arcillas ocre con escasas intercalaciones de arenisca. Mioceno inferior

En el eje núcleo del Anticlinal de Pitillas, al NE de la Hoja, se distingue una unidad esencialmente arcillosa de tonos ocre (14) que puede corresponder a un equivalente hacia el N, en facies aluviales distales, de los términos superiores de la Fm. Lerín.

Con una potencia observable de unos 50 m, constituye una formación francamente impermeable dado su carácter eminentemente lutítico.

5.2.1.7. Arcillas ocre-rojizas y areniscas. Unidad de Olite. Mioceno inferior a medio

La Unidad de Olite (16) se desarrolla al N del Sinclinal de Miranda de Arga donde constituye una serie de varios cientos de m que se dispone de forma neta sobre la Unidad de Artajona. Al Sur pasa transicionalmente hacia techo a las Unidades de Miranda y Portillo, junto con las que integra la Fm. Tudela, y de las que se diferencia básicamente por su mayor contenido en areniscas.

Constituye un conjunto sedimentario de marcado carácter aluvial, representado litológicamente por arcillas ocre y rojizas con abundantes intercalaciones de areniscas. En éstas se pueden desarrollar acuíferos locales de poca entidad.

5.2.1.8. Arcillas rojizas con intercalaciones de areniscas y calizas. Unidades de Miranda de Arga y Artajona. Mioceno inferior a medio

En el Sinclinal de Miranda de Arga, la parte superior de la serie terciaria de la Hoja está representada por arcillas rojizas que intercalan areniscas y calizas en bajas proporciones (18) si bien las segundas pueden diferenciarse cartográficamente (19) cuando alcanzan suficiente expresión morfológica. A techo se sitúa la unidad 22 de carácter también arcilloso-rojizo.

Todo el conjunto recibe la denominación litoestratigráfica de Fm. Tudela y se dispone de forma discordante sobre la Fm. Lerín mediante un contacto truncacional y erosivo

Registra buzamientos medios y moderados y su potencia en la Hoja alcanza los 500 m.

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

5.2.1.7. 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 (unidades 24 a 29).

Su origen está ligado principalmente a la dinámica fluvial de los principales ríos de la Hoja, Aragón y Cidacos. 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, se encuentran desconectadas parcialmente del cauce actual.

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

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

5.2.1.8. 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, endorreicos y conos aluviales.

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

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

5.2.2. Unidades acuíferas.

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

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

Por orden cronoestratigráfico son:

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

5.2.2.1. Unidad Hidrogeológica Sur

Geometría.

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

La Hoja se emplaza en el sector central de la Cuenca por lo que predominan las facies lutíticas de origen aluvial y, a muro de la serie, 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 30 a 100 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, (Caparroso, 206-III), comprende los acuíferos cuaternarios ligados al curso bajo del Cidacos en confluencia al río Aragón. Los niveles de mayor interés se encuentran en las terrazas bajas y medias ambos ríos, si bien se integran también en la Unidad Hidrogeológica las terrazas altas y parte de los sistemas de abanicos aluviales de Olite.

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), los principales niveles de interés en el aluvial del Aragón, para el que se considera una anchura media de unos 5-6 km, raramente superan los 20 m de espesor si bien registran una notable continuidad y valores altos de resistividad, lo que indica el predominio de arenas limpias. Cabe indicar que pueden alcanzarse potencias de hasta más de 30 m sobre sustratos yesíferos debido a fenómenos de disolución y colapso de las evaporitas

En el Cidacos, con un aluvial de 1 km de anchura máxima, los perfiles geofísicos realizados indican bajas resistividades para el conjunto, lo que limita su interés hidrogeológico.

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

Funcionamiento hidrogeológico.

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

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

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

La piezometría del sistema está predominantemente influida por los ríos, presentando oscilaciones de nivel del orden de unos 4 m. En general se establece una buena conexión río-

acuífero, con niveles altos en primavera-invierno y bajos en verano. Localmente se distinguen zonas de conexión hidráulica deficiente, con oscilaciones de nivel de unos 2 m. La piezometría está directamente condicionada en estos casos por los retornos de los riegos, observándose un comportamiento inverso al general, con niveles altos en verano y bajos en primavera-invierno. El gradiente hidráulico oscila entre 2 y 0,05 %.

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

Parámetros hidráulicos.

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

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

RESERVAS ESTIMADAS DE LOS ACUÍFEROS ALUVIALES DE LOS RÍOS ARAGÓN Y CIDACOS

Acuífero	Superficie (km²)	Espesor saturado medio (m)	Porosidad %	Reservas (hm³)
<i>Aragón</i>	135	13	10	175
<i>Cidacos</i>	35	6	10	21

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

5.3. GEOTECNIA

5.3.1. Introducción

En este apartado se describe la cartografía geotécnica de la Hoja a escala 1:25.000 de Caparroso (206-IV) correspondiente al Mapa a escala 1:50.000 de Peralta 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.

5.3.2. Metodología

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

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

- **Realización de la base de datos.** Ante la ausencia de datos no se ha elaborado ficha geotécnica de recopilación de ensayos de laboratorio. 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.

5.3.3. Zonificación geotécnica

5.3.3.1. 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.

5.3.3.2 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 Caparroso (206-IV).

UNIDAD CARTOGRÁFICA	ZONACIÓN GEOTÉCNICA	DESCRIPCIÓN
41	III ₅	Escombros y vertidos antrópicos
31, 35, 36 y 38	III ₄	Lutitas y limos con cantos
37, 39 y 40	III ₃	Bloques y lutitas con cantos
30 y 33	III ₂	Lutitas y arenas con cantos
24, 25, 26, 27, 28, 29 y 34	III ₁	Conglomerados, gravas, arenas y lutitas
14, 15, 16,17 y 20	II ₂	Arcillas ocre y rojas y areniscas
18 y 19	II ₁	Arcillas rojas con intercalaciones de areniscas y calizas
2, 4 y 10	I ₃	Arcillas con intercalaciones de areniscas y carbonatos
5, 8 y 12	I ₂	Margas, arcillas, yesos e intercalaciones de areniscas y carbonatos
1, 3, 6, 7, 9, 11 y 13	I ₁	Yesos con algunas intercalaciones de margas

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

5.3.4. Características geotécnicas

5.3.4.1. Introducción

La escasez o falta de datos geotécnicos puntuales ha condicionado la caracterización geotécnica de cada una de las Zonas. En algunos casos se ha realizado esta 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 N° 200 (0.08 mm) de la serie ASTM. Estos datos son utilizados posteriormente en diversas clasificaciones.

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

Resistencia a compresión simple (Q_u , kp/cm^2). Determina las características de resistencia y deformación de una muestra seca. Respecto a la resistencia de suelos y rocas, existen

numerosas clasificaciones; una de la más utilizada, es la descrita por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas:

ROCA		ENSAYO DE CAMPO	
Descripción	Co (MPa)	Navaja	Martillo geológico
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 ofrece un material 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 Difícil" para suelos muy blandos por debajo del nivel freático o suelos potencialmente expansivos; "Difícil" designa terrenos blandos o arenosos limpios bajo el nivel freático; y "Medio", suelos firmes, casi rocas blandas, que sólo a veces presentan problemas de nivel freático, con cierta capacidad de autoaporte y sin empujes fuertes.

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

Clase I Roca muy buena: RMR = 81-100

Clase II Roca buena: RMR = 61-80

Clase III Roca media: RMR = 41-60

Clase IV Roca mala: RMR = 21-40

Clase V Roca muy mala: RMR < 20

5.3.4.2. Área I

ZONA I₁

Características Geológico-Geotécnicas

Esta Zona agrupa todas las unidades predominantemente yesíferas de la Hoja (Yesos de Falces, de Alcanadre, Sesma y Los Arcos). Litológicamente corresponden a yesos masivos o alternantes con margas, en proporciones variables. Ocupan grandes extensiones en los núcleos de las principales estructuras (especialmente la Fm. Falces, en el anticlinal del mismo nombre) o 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, salvo en 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 asientos diferenciales y fenómenos de punzonamiento debido a la intercalación de niveles margosos blandos entre los paquetes de yesos.

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

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

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

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

En la Hoja de Caparroso (206-IV) esta Zona agrupa las unidades cartográficas X, Y y Z, correspondiendo a la parte superior de la Fm. Marcilla y a la denominada Unidad de Peralta (SALVANY, 1989).

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

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 asentamientos 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 de 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.

Los afloramientos de la Zona I₃ se distribuyen, dentro de la Hoja de Caparroso (206-IV) a lo largo del flanco norte de la estructura anticlinal de Falces, correspondiendo a la Unidad Arcillas de Villafranca, Fm. Marcilla e intercalaciones lutíticas en los Yesos de Falces, integrando también la Unidad de Artajona, que se desarrolla en el núcleo del Anticlinal de Pitillas, al NE de la Hoja.

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 los términos lutíticos. La profundidad mínima de cimentación se estima en 1,5 a 2 m

Entre los problemas de cimentación pueden preverse los siguientes: a) variación del horizonte alterado, que puede provocar 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 lo 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 taludes con buzamientos favorables la presencia de intercalaciones puede facilitar el diseño en bancos de los desmontes.

Empuje sobre contenciones. Bajos en margas, moderados en arcillas

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

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

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

5.3.4.3. Área II

ZONA II₁

Características Geológico-Geotécnicas

La presente Zona comprende las unidades esencialmente arcillosas de la Fm. Tudela, que constituyen el sustrato terciario de la mayor parte de la mitad suroccidental de la Hoja. Litoestratigráficamente corresponden a las Unidades de Miranda y Portillo (X y Y)

Litológicamente se trata de un conjunto de materiales 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 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 X) debido a la existencia de intercalaciones de lignitos

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 asentamientos diferenciales; b) intercalaciones de materiales competente, calizas y areniscas, que producen variaciones en las condiciones geotécnicas, entre ellas la facilidad de excavación, y c) presencia ocasional de materia orgánica

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

Excavabilidad. 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 la Unidad de Olite (Unidades cartográficas 14 a 17).

Se distingue de la Zona anterior (II₁) desde el punto vista litológico por el incremento apreciable en intercalaciones de areniscas.

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, aunque tienden a predominar en el conjunto, raramente conforman intervalos masivos, de modo que intercalan abundantes 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 más potentes de areniscas pueden desarrollarse pequeños acuíferos locales por fracturación.

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

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

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

Características constructivas:

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN

La Norma DIN 1054 y el Código Británico establecen presiones admisibles del orden 20 kp/cm², valores estos que deben reducirse a la mitad cuando el espesor de los tramos lutíticos aumenta o la disposición de la estratificación y grado de diaclasado son desfavorables. Se estima que la capacidad portante de estos materiales se sitúa entonces entre 6 y 10 kp/cm², valores suficientes para el caso de edificios habituales en los que las cargas proyectadas son inferiores a 3-4 kp/cm².

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

c. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

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

Estabilidad de taludes. 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.

5.3.4.4. 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 (conglomerados, 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 río Aragón y, en menor medida por su afluente, el Cidacos, correspondiendo mayoritariamente a depósitos de terrazas que cubren buena parte de la mitad meridional de la Hoja. Cabe mencionar también los materiales pertenecientes a los depósitos de glacia de techo de piedemonte, que se preservan en los rellanos morfológicos más elevados y que constituyen el denominado glacia de techo de piedemonte.

Litológicamente es patente el predominio de gravas y arenas, constituyendo depósitos generalmente algo consolidados, si bien y en algunos casos es apreciable el contenido en finos (meandros abandonados, terrazas bajas, etc.)

Características geotécnicas

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

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

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

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

Características constructivas

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN.

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

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

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

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

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

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

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

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

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

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

ZONA III₂

Características Geológicas

Se integran en esta Zona las formaciones cuaternarias desarrolladas característicamente en laderas (conos de deyección y glaciares) y que están formados por depósitos lutíticos 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 %
Ángulo de Rozamiento Interno (ϕ)	30,5-38 ^{oo}
Cohesión (c')	1,0
Contenido en sulfatos	0,01%

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

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

Características constructivas

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN.

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

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

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

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

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

Aptitud para préstamos. Previa eliminación de la cubierta vegetal, constituye 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 y en general relacionados con procesos de gravedad (coluviones, desprendimientos y deslizamientos).

En la Hoja su desarrollo se localiza en laderas (coluviones), a veces como formas de enlace entre distintos niveles de terrazas o al pie de los cantiles de los Yesos de Falces y Arcillas de Marcilla existentes en la margen izquierda del Aragón al Oeste de Caparroso. Los materiales movilizados en los desprendimientos proceden de la Fm Falces, por lo que están constituidos por bloques y masas de yesos con matriz lutítica o limo-yesífera en proporciones variables. Los deslizamientos proceden de terrenos ocupados por la Fm Marcilla de modo que movilizan materiales esencialmente arcillosos.

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 del 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 arcillosa. No se dispone de ensayos geotécnicos específicos para este tipo de materiales.

Características constructivas

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN.

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

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

Excavabilidad. Se prevén graves dificultades de excavación en los desprendimientos dada la presencia de bloques y grandes masas de yesos para cuya retirada deberán emplearse consideraran medios especiales. Los deslizamientos movilizan términos arcillosos fácilmente excavables.

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

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

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

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

Obras subterráneas. Sólo pueden verse afectadas obras de pequeña envergadura, desarrolladas a escasa profundidad, para las que deben considerarse como 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). También se han incluido aquellos que constituyen una orla periférica alrededor de la laguna de Pitillas (unidad 31). Todos ellos presentan un cierto grado de inundabilidad, en función de las fluctuaciones del nivel de agua.

Litológicamente se trata de depósitos lutíticos, a veces con cantos, que se localizan a favor de los cursos, barrancos y valles actuales, por lo que su distribución por la Hoja se hace de forma irregular. Ocasionalmente pueden llegar a registrar cierto contenido en materia orgánica, como los desarrollados en los litorales vegetados de la laguna. En esta caso su representación en la Hoja es muy localizada restringiéndose a dos pequeñas áreas situadas en la esquina SO, donde corresponden a materiales limosos, y en la parte central, punto en el que se desarrollan hundimientos sobre terrazas por disolución y colapso de los yesos del sustrato. La potencia es variable y difícil de establecer aunque se estima que no sobrepasa los 5 m.

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

Características constructivas

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN

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

No obstante aunque presenten una capacidad portante suficiente en algunos casos para determinados tipos de edificios, se localizan en emplazamientos muy desfavorables (áreas

endorreicas, etc.) para proyectar sobre ellos cargas concentradas. Por este motivo, y a falta de estudios detallados, se aconseja no utilizar estos materiales como terrenos de cimentación.

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA

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

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

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

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

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

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

ZONA III₅

Características Geológico-Geotécnicas

Se trata de depósitos antrópicos correspondientes a escombreras y vertederos. Los productos vertidos corresponden a residuos sólidos y tierras de distinta procedencia.

Se trata materiales poco o nada consolidados con gran número de problemas geotécnicos, derivados, en buena parte, de su gran heterogeneidad.

Características constructivas

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN.

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

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

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

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

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

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

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

6. **BIBLIOGRAFÍA**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

IGME (HERNÁNDEZ, A.; RAMÍREZ DEL POZO, J.; OLIVÉ, A. y ÁLVARO, M.) (1987). Mapa Geológico de España a E. 1:50.000, 2ª serie, 1ª edición, Peralta (206).

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

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

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

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

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

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

LERÁNOZ, B.(1990 a). El endorreísmo en el S. de Navarra. I Reunión Nac. de Geomorfología, 289-298. Teruel.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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