

La presente Hoja y Memoria (205-II), ha sido realizada por "Informes y Proyectos, S.A. (INYPSA)", durante el año 2000, con normas, dirección y supervisión del Gobierno de Navarra, habiendo intervenido los siguientes técnicos:

Dirección y Supervisión (Gobierno de Navarra)

Faci Paricio, Esteban Dirección del Proyecto

Autores y Colaboradores

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

Solé Pont, Javier (INYPSA) Cartografía y Memoria

Díaz de Neira, Alberto (INYPSA) Geomorfología

García de Domingo, Alfredo (INYPSA) Geología regional

Hernaiz Huerta, Pedro Pablo (INYPSA) Geotecnia

Martínez Arias, Alfredo (INYPSA) Hidrogeología

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

0. INTRODUCCIÓN

La Hoja a escala 1:25.000 de Lerín (205-II), incluida en la de Lodosa a escala 1:50.000, se localiza en la parte suroccidental de la Comunidad Foral.

Forma parte de la denominada Ribera Navarra, región deprimida que se extiende a lo largo de la margen izquierda del Ebro. Hacia el N de la Hoja se desarrollan algunas elevaciones de altitud próxima a los 500 m que dan paso a la Navarra Media.

La principal arteria hidrográfica es el río Ega, que cruza la hoja de N a S por su parte occidental, descendiendo en cota de 340 a 315 m.

La localidad de Lerín concentra la mayor parte de la población existente en la Hoja. El resto del territorio está muy despoblado, a excepción de la vega del Ega donde se disponen, de forma diseminada, algunas granjas y caseríos.

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

Las principales vías de comunicación parten radialmente de Lerín. La carretera más importante es la NA-122 que discurre paralela al río Ega dirigiéndose a Andosilla y Allo hacia el Sur y Norte de Lerín.

En el aspecto geológico, la Hoja a escala 1:25000 de Lerín 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 Lerín y su entorno la serie terciaria está representada por una alternancia a gran escala entre unidades esencialmente arcillosas de origen aluvial-perilacustre, que dan lugar a zonas deprimidas, y formaciones lacustres yesíferas que destacan como resaltes morfológicos constituyendo sierras de mediana altura. La estructuración del sustrato terciario sigue preferentemente la dirección ONO-ESE conforme a los grandes pliegues de la región

La vega del Ega, corresponde a una zona deprimida ocupada por distintos niveles de terrazas bajas y medias.

Los primeros estudios geológicos relevantes sobre los materiales terciarios de la Cuenca Navarro-Riojana datan de las décadas de los 50' y 60', son de carácter estratigráfico regional y están suscritos por Oriol Riba y diversos colaboradores (RIBA, 1955, 1964, RIBA y PÉREZ, 1962, CRUSAFONT et al., 1966, y más recientemente, RIBA et al., 1983, RIBA y JURADO, 1992 y RIBA, 1992). Paralelamente se inicia la prospección petrolera en el país, con la perforación, en las hojas vecinas de Peralta y Calahorra, de los sondeos Marcilla-1, (Valdebro, 1953) y Arnedo-1, (Amospain, 1962), cuyos resultados figuran de forma resumida en la publicación específica del IGME, (1987). En la década de 1970 se produce un nuevo avance en el conocimiento de la geología del Terciario de Navarra por parte de los geólogos de la Diputación Foral de Navarra Jaime Solé, Javier Castiella, Cayo Puigdefábregas, Joaquín Del Valle y otros colaboradores. Su trabajo culmina con la publicación del primer Mapa Geológico de Navarra (CASTIELLA et al., 1978) a escala 1:200.000, basado en cartografías previas a escala 1:25.000 de Navarra. De esta misma época son también los primeros mapas geológicos a escala 1:50.000 del Plan MAGNA editados por el IGME (Hojas de Sadaba, Lodosa, Logroño, Alfaro, Calahorra, Tudela y Sos del Rey Católico) y realizados por el mismo grupo de geólogos, con la asistencia del paleontólogo Ramírez del Pozo. Otro trabajo relevante de este período es la tesis de licenciatura de SOLÉ (1972) sobre el Terciario del margen NO de la Ribera de Navarra. A finales de la siguiente década SALVANY, (1989) presenta su tesis doctoral, centrada en el estudio de los depósitos lacustres evaporíticos del Terciario de Navarra y La Rioja. Esta tesis estuvo financiada por el Gobierno de Navarra, en un convenio con la Universidad Central de Barcelona, cuyo informe final fue realizado por ORTÍ y SALVANY, (1986). De los estudios de Salvany se derivan un buen número de publicaciones, entre las que destacan las de SALVANY (1989), MUÑOZ y SALVANY (1990), SALVANY et al. (1994), SALVANY y ORTÍ (1994), y INGLÉS et al (1994, 1998). A lo largo de la década de los 80' el IGME publica las Hojas MAGNA a escala 1:50.000 de Allo, Tafalla, Viana, Peralta y Sangüesa. Entre los estudios más recientes cabe

destacar la revisión y actualización del Mapa Geológico de Navarra, a escala 1:200.000 (GOBIERNO DE NAVARRA, 1997) y a escala 1:25.000, en cuyo marco se realiza el presente trabajo.

1.

ESTRATIGRAFÍA

En la cartografía geológica de la Hoja a escala 1: 25000 de Lerín se han aplicado técnicas modernas en el campo de la sedimentología y estratigrafía secuencial consistentes básicamente en el análisis sistemático de facies y cicloestratigráfico. En este sentido hay que hacer notar la dificultad de establecer unidades tectosedimentarias debido a la disposición paraconcordante de la mayor parte de las unidades estratigráficas de la sucesión terciaria y a la generalizada convergencia de facies como consecuencia de la situación central de la zona de estudio en la Cuenca. Por lo tanto la división estratigráfica planteada en el presente informe se basa, para buena parte de la serie terciaria, en criterios esencialmente litoestratigráficos.

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

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. Sinclinal de Miranda de Arga, Anticlinal de Falces y Sinclinal de Peralta.

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

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

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

De este modo, en la Hoja de Lerín se desarrollan de forma prácticamente exclusiva los términos del Dominio Septentrional, para el que se describen clásicamente (RIBA, 1964 y CASTIELLA, 1978) cuatro Formaciones litoestratigráficas: **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 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 Lerín se encuentran el núcleo del anticlinal de Falces, donde constituye los términos más antiguos de la sucesión terciaria aflorante. En consecuencia no se alcanza su base, que está definida hacia el N (Hojas de Viana, nº 171 y Allo, nº 172), por depósitos terrígenos (Areniscas de Mues y Facies de Espronceda). El techo de los Yesos de Falces está determinado por la entrada generalizada de los depósitos arcillosos aluviales de la Fm. Marcilla (6), si bien regionalmente se aprecia un evidente cambio de facies entre ambas formaciones marcado localmente por un intervalo de tránsito (4).

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. De forma bastante característica hay que hacer notar el desarrollo de niveles dolomíticos, laminados y carniolares, en el seno de los intervalos yesíferos. Los términos lutíticos adquieren un mayor desarrollo hacia el techo de la unidad. Muestran coloraciones grisáceas a rojizas y su espectro litológico varía de arcillas a margas dolomíticas, registrando en todos los casos, contenidos elevados en yesos.

La potencia deposicional de la Fm. Falces se cifra, a partir de los datos disponibles de subsuelo, en unos 1000 m, si bien 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.

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, únicamente se ha determinado la presencia de *Sphaerochara hirmeni var. longiscula* a techo de la unidad. 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 Margas y yesos, areniscas y calizas (4). Ageniense inferior.

Constituye una serie de alternancia de orden decamétrico entre facies arcillosas margosas grises y niveles de yesos, que representa el tránsito entre las Fms. Falces y Marcilla.

Se reconoce exclusivamente en el extremo SE de la Hoja, a ambos flancos del Anticlinal de Falces, registrando una potencia máxima superior a los 200 m.

Se acuña rápidamente hacia el Oeste por paso lateral a las dos Formaciones adyacentes.

Litológicamente la Unidad está representada mayoritariamente por margas arcillosas grises y yesos. Los términos lutíticos forman intervalos de potencia decamétrica y métrica de aspecto homogéneo o con intercalaciones eventuales de capas de areniscas grises,

carbonatos y arcillas ocreas. Los yesos constituyen paquetes de espesor comprendido entre 5 y más de 25 m, que registran un marcado predominio de litofacies nodulares, si bien muestran un aspecto bastante tableado como consecuencia de la alternancia rítmica con lechos de margas arcillosas grises y niveles dolomíticos laminados. Las intercalaciones de otras litologías son más abundantes en el flanco septentrional de la estructura apareciendo raramente en el meridional. Las areniscas constituyen niveles tabulares grises de potencia decimétrica y centimétrica con abundantes estructuras tractivas, granoclasificación positiva, huellas tractivas de base, laminación paralela, estratificación ondulada de tipo *hummocky*, convoluciones, *ripples* de oleaje y *cosets* de *climbing ripples*, correspondiendo a avenidas torrenciales turbulentas en zonas subacuáticas lacustres. Los carbonatos forman capas tabulares de escasa potencia y distribución irregular en la serie correspondiendo a calizas micríticas bastante detríticas (*wackestones* arcillosos con fósiles intraclastos y granos terrígenos) y a dolmicritas laminadas con moldes de cristales de yeso.

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

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

1.1.3 Arcillas ocreas areniscas y calizas (6). Arcillas de Marcilla. Intercalaciones de areniscas (9), calizas micríticas (10), yesos y margas (11). Ageniense inferior.

La Fm. Arcillas de Marcilla ha sido definida por CASTIELLA et al. (1978) como un potente conjunto arcilloso de tonos ocreos, 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 generalizado.

La Fm. Marcilla es característica del Dominio Septentrional y en la presente Hoja se reconoce a ambos flancos del Anticlinal del Falces, con buzamientos de unos 20-30° al N y del orden de los 35-50° al S.

Su contacto basal se encuentra con frecuencia cubierto por depósitos cuaternarios, y hacia el ESE presenta frecuentes mecanizaciones facilitadas 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 (12) fácilmente distinguible fotogeológicamente, que representa la base de la Unidad de Peralta de la Fm. Lerín.

Su potencia en la Hoja está comprendida entre unos 200 m y más de 250 m.

Litológicamente forma una potente y monótona serie arcillosa ocre, 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 corresponden a intervalos homogéneos y masivos de espesor métrico-decamétrico. Esporádicamente se distinguen horizontes rojizos de origen edáfico que pueden desarrollar costras ferruginosas y nódulos carbonatados diseminados. En algunos intervalos y especialmente a techo de la Fm., en el tránsito con la Unidad de Peralta, se encuentran 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 de modo que sólo en los casos que alcanzan suficiente expresión morfológica ha sido posible su individualización en la cartografía geológica.

Las areniscas (9) son las intercalaciones más comunes. No obstante, debido a su escaso espesor, raramente forman niveles diferenciables cartográficamente. Predominantemente corresponden a capas tabulares de potencia centi-decimétrica, excepcionalmente métrica, de tonos ocres y grises, que se interpretan como depósitos de *sheet-flood* aportados en avenidas periódicas a partir de flujos laminares. Presentan gradación positiva, con variaciones de tamaño de grano medio-fino a muy fino. Las estructuras tractivas son muy abundantes reconociéndose: huellas de base, laminación paralela, estratificación cruzada de mediana escala, *ripples* de corriente, de tipo *climbing* y de oscilación y laminaciones onduladas. Los procesos de deformación sedimentaria corresponden a pequeños colapsos, convoluciones, escapes de fluidos y huellas de desecación, y las estructuras de origen biológico consisten en pistas de escape y reptación de pequeños invertebrados. Asociados

lateralmente a las capas tabulares se desarrollan cuerpos lenticulares con morfologías de tipo *sand-wave*. Su potencia está comprendida entre 0,5 y 1,5 m y la extensión lateral es del orden de varios m. El tamaño de grano oscila entre medio y fino y se desarrolla una característica estratificación cruzada con láminas de trazado sigmoidal. Los niveles de morfología canalizada son muy poco frecuentes, si bien alcanzan las mayores potencias, superando ocasionalmente los 3 m. Muestran tamaños mayores de grano, con gradación de medio-groeso a fino-muy fino. Destacan por presentar superficies marcadas de progradación lateral con láminas cruzadas y *ripples* desarrollados en sentido contrapuesto o perpendicular al de la acreción. En la base de los niveles pueden observarse depósitos de carga residual formados por cantos blandos, y son relativamente frecuentes los fenómenos de deformación hidroplástica. Se interpretan como pequeños canales efímeros de configuración meandriforme.

Las intercalaciones de calizas (10) son relativamente frecuentes en la parte inferior y 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.

Los yesos (11) aparecen como intercalaciones de potencia métrica a decamétrica y tienden a concentrarse en la parte superior de la unidad. Exhiben un aspecto tableado derivado de la alternancia en bajas proporciones con margas dolomíticas grises bastante arcillosas. Predomina la litofacies nodular y brechoide a muro de los niveles, la parte media es más laminada e incorpora términos dolomíticos y yesoarenitas, y hacia techo se desarrollan ambas litofacies incrementándose el contenido en términos lutíticos. Representan depósitos lacustres evaporíticos de tipo sulfatado.

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

En IGME (1977) se cita el hallazgo de las siguientes caráceas: *Chara microcera*, *Tectochara meriani*, *Sphaerochara hirmeni* var. *longiuscula*, *Rhabdochara mayor*, *Psilochara acuta*, *Chara media*, *Sphaerochara* sp. y de los ostrácodos *Candona* sp., *Ostrácodo* sp G., *Limnocythere* sp. y *Eocytheropteron* sp., asociación próxima al techo del Oligoceno. La edad se determina por correlación hacia la Rioja Baja con la Fm. Arnedo. En ésta se localizan numerosos yacimientos de vertebrados que indican una edad de Ageniense inferior (Zona MN1).

1.1.4 Yesos (12). Nivel de Alcanadre. Ageniense.

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

Se ha correlacionado con el Nivel de Alcanadre, definido por SALVANY (1989) en el Dominio Meridional, equivalencia basada en su posición estratigráfica y otras analogías (gran continuidad, potencia, litología) puesto que no existe conexión cartográfica de un flanco a otro del Sinclinal de Sesma.

En la Hoja de Lerín (205-I) aflora a ambos flancos Anticlinal de Falces constituyendo un excelente nivel-guía fotogeológico que define perfectamente la estructura. La gran continuidad cartográfica contrasta con su reducida potencia, que se cifra en unos 15-30 m.

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 Ateniense, se basa en su posición estratigráfica.

1.1.5 Arcillas ocreas, areniscas, calizas, dolomías y yesos (14). Arcillas y Yesos de Peralta. Intercalaciones de calizas micríticas (16), areniscas (17) y dolomías laminadas con yesos (18). Ateniense

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 12) mientras que a techo se dispone un paquete yesífero de gran potencia y extensión, correspondiente a los Yesos de Sesma.

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

En la Hoja de Lerín se desarrolla ampliamente a ambos flancos del Anticlinal de Falces, donde registra una potencia en torno a los 200 m.

Litológicamente constituye un conjunto arcilloso de tonos ocreos, con algunos horizontes rojizos, e intercalaciones de yesos, 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, especialmente en la parte media y superior de la Unidad donde suelen alcanzar representación cartográfica (Unidad 20, 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. Se distinguen dos intercalaciones principales de yesos que se sitúan estratigráficamente la parte media y superior de la Unidad de Peralta y que presentan una buena correlación con los dos niveles principales de los Yesos de Cárcar en el Dominio Meridional.

Los niveles de calizas son bastante frecuentes aunque por su reducida potencia (inferior a 50 cm) sólo ocasionalmente son representables en la cartografía geológica (8). Presentan una marcada morfología tabular y adoptan tonalidades grises. Texturalmente se describen como *wackestones* micríticos, más o menos arcillosos, cuyos componentes aloquímicos consisten en fósiles, intraclastos y granos terrígenos. Ocasionalmente se preserva laminación paralela y *ripples* de oscilación. La bioturbación es bastante intensa y está originada por raíces de pequeñas plantas acuáticas o por la actividad de algunos invertebrados. Se atribuyen a depósitos palustres ligados a charcas carbonatadas.

Las areniscas alternan por tramos con las arcillas y raramente forman niveles diferenciables cartográficamente (9) debido a su reducido espesor. Predominan los depósitos de tipo *sheet-flood*, correspondientes a capas tabulares ocreas y grises, de potencia centi-decimétrica y grano medio-fino a muy fino, que exhiben abundantes estructuras sedimentarias: gradación positiva, huellas tractivas de base, laminación paralela, estratificación cruzada de mediana escala, *ripples* de corriente, de tipo *climbing* y de oscilación, laminaciones onduladas, pequeños colapsos, convoluciones, escapes de fluidos, huellas de desecación, *burrows* de escape y pistas de reptación de pequeños invertebrados. Los cuerpos de morfología lenticular (*sand-waves*) o canalizada son muy poco frecuentes y raramente alcanzan potencias superiores a 1 m.

Otras intercalaciones destacables son los niveles de dolomías (18). 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 han determinado (IGME, 1977) los ostrácodos *Candona sp.*, *Eocyropteron sp.*, *Limnocythere sp.*, *Elkocythereis aff. bramletti*, *Ostrácodo sp. G*, y las caráceas *Tectochara cf. meriani*, *Gyrogona cf. medicaginula*, *Rhabdochara cf. major*, *Chara cf. cylindrica*, *Chara microcera*, *Chara media*, *Psilochara acuta*, *Sphaerochara hirmeni var. longiuscula* y *Sphaerochara sp.* constituyendo una asociación próxima a la base del Mioceno. Por correlación con las formaciones de la Rioja Baja, ricas en yacimientos de vertebrados, se precisa una edad de Ageniense (Zonas MN1 y MN2).

1.1.6 Arcillas rojas y areniscas (21). Ageniense.

La presencia de un intervalo arcilloso rojizo (21) a muro de los Yesos de Sesma ya fue constatada en el Dominio Meridional por SALVANY (1989) quien lo describió como el tramo superior de la Unidad de Lodosa.

En la Hoja de Lerín la Unidad 21 se desarrolla en el flanco meridional del Anticlinal de Falces donde constituye un buen nivel guía que destaca en el terreno por su tonalidad rojiza.

Su potencia máxima en la Hoja es de unos 25 m acuñándose hacia el flanco norte.

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

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

El contenido paleontológico citado en IGME consiste en los siguientes ostrácodos y caráceas: *Eocyropteron sp.*, *Limnocythere sp.*, *Tectochara cf. meriani*, *Chara media*, *Chara cf. cylindrica*, *Psilochara acuta* y *Sphaerochara hirmeni var. longiuscula* constituyendo una

asociación próxima a la base del Mioceno. Se atribuye una edad de Ageniense por su situación estratigráfica.

1.1.7 Yesos y margas (23) Yesos de Sesma. Ageniense.

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

Se superpone a la Unidad 21 o directamente a la Unidad de Peralta (14) mediante un tránsito bastante rápido. Su techo en cambio registra una marcada heterocronía correspondiendo a un complejo cambio lateral de facies con las unidades terrígenas suprayacentes (Arcillas de Villafranca y Facies de Allo).

En la Hoja destaca como un resalte de mayor competencia entre los términos arcillosos de la Fm. Lerín (Unidades de Peralta y Villafranca), desarrollándose a ambos flancos del Anticlinal de Falces. Su potencia aumenta rápidamente hacia el S pasando de 40-60 m a más de 100 m del flanco norte al sur de la estructura.

Litológicamente constituye una serie yesífera con algunas intercalaciones margosas y arcillosas. Los yesos presentan gran variedad de facies (laminada, nodular, lenticular) 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, como por ejemplo el que alimentaba las salinas de Lerín, hoy en día desaparecidas. 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 muy escaso, en IGME (1977) se cita el hallazgo de *Limnocythere sp.*, *Gyrogona cf. medicaginula*, *Chara cf. cylindrica*, *Tectochara cf. meriani*, *Psilochara acuta* y *Sphaerochara hirmeni var. longiuscula*. La edad de Ageniense (Zonas MN1 y MN2) se asigna por su posición estratigráfica.

1.1.8 Arcillas ocreas, areniscas, margas y yesos (24) Arcillas de Villafranca. Intercalaciones de yesos (26). Ageniense.

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

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

Hacia el Sur y Oeste se correlaciona con términos estratigráficamente equivalentes de las Facies Allo, que se distinguen por tono más rojizo.

En la Hoja de Lerín la Unidad de Villafranca se desarrolla a ambos flancos del anticlinal de Falces con una potencia comprendida entre 150 y 175 m.

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

Los términos lutíticos corresponden predominantemente a arcillas ocreas bastante homogéneas que forman intervalos masivos de potencia métrica a decamétrica o bien alternan con otras litologías. Eventualmente y en mayor medida hacia techo se desarrollan horizontes de arcillas rojizas de origen edáfico o atribuibles a cuñas terrígenas de procedencia meridional. Intermitentemente se desarrollan tramos de tonalidad gris correspondientes a margas dolomíticas arcillosas que están ligadas a facies yesíferas. Son

relativamente frecuentes las trazas de yesos dispersas en forma de nódulos alabastrinos, cristales fibrosos y venas, tanto en las arcillas ocreas como en los términos margoarcillosos grises.

Los niveles de yesos constituyen las principales intercalaciones de la Unidad, alcanzando en algunos casos representación cartográfica (26). Forman intervalos de espesor métrico, a veces decamétrico, 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 y *ripples* de corriente y oleaje, con frecuencia colapsados.

Los carbonatos se presentan como delgados niveles de dolomías laminadas intercalados entre margas arcillosas grises o asociados a los términos yesíferos.

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 Navarro-Riojana, registrándose eventuales desarrollos lacustres salinos de poca persistencia.

La asociación de ostrácodos y caráceas determinada en IGME (1977) está representada por *Limnocythere sp.*, *Chara media*, *Gyrogona cf. medicaginula*, *Chara sp. 13* y *Psilochara acuta*, y sugiere una edad de Mioceno inferior coherente con la atribución al Ageniense por la posición de la Unidad en la serie.

1.1.9 Arcillas rojas, areniscas y yesos (25) Facies de Allo. Ageniense.

En el sentido de CASTIELLA et al. (1978) se agrupan bajo el término litoestratigráfico de Facies Allo los depósitos terrígenos de carácter aluvial relacionados lateralmente con las

Fms. Marcilla y Lerín, que se desarrollan entre los Yesos de Desojo y los Yesos de Los Arcos, en el sector noroccidental de la Cuenca Navarro-Riojana.

Posteriormente SALVANY (1989) reserva la denominación de Facies Allo en la Hoja a escala 1:50.000 de Lodosa (205), a los términos aluviales de procedencia oriental que aparecen en la parte superior de la Fm. Lerín (asociados a los Yesos de Sesma y de Los Arcos) restringiendo su representación al extremo NO.

En la presente memoria se aplica el término al intervalo arcilloso desarrollado en el Dominio Meridional entre los Yesos de Sesma y los Yesos de Los Arcos.

En consecuencia presenta una correlación evidente al Norte del Sinclinal de Sesma con la Unidad Arcillas de Villafranca de la que se diferencia por el tono predominantemente rojizo de los depósitos.

Los contactos a muro y techo presentan unas características semejantes a su homólogo en el Dominio norte, siendo muy transicional el de base y bastante más neto el límite con los Yesos de Los Arcos.

En la Hoja de Lerín aparece exclusivamente en la esquina SO, en el flanco sur del Sinclinal de Peralta, donde constituye un intervalo arcilloso rojizo de escasa potencia (20-25 m).

Litológicamente predominan las arcillas de tonos rojizos, con intercalaciones poco potentes de arenisca y carbonatos, sin posibilidades de representación cartográfica.

Los términos arcillosos se presentan en intervalos homogéneos de potencia métrica o como tramos de alternancias con otras litologías. En algunos horizontes se concentran desarrollos nodulares de yesos, especialmente a muro y techo de la Unidad, en tránsito con las formaciones yesíferas adyacentes.

Las areniscas representan las intercalaciones más comunes de la Unidad. Consisten en capas tabulares de potencia centimétrica a decimétrica, con tamaños de grano fino a muy fino y exhiben abundantes estructuras sedimentarias características de depósitos originados mediante fenómenos de *sheet flood* (avenidas de flujos arenosos laminares): laminación paralela, huellas de base, tractivas y de colapso, convoluciones, fluidificación y *ripples*,

generalmente de tipo *climbing*. Localmente se reconocen capas de yesoarenitas que presentan rasgos similares a las de areniscas.

Las intercalaciones carbonatadas son poco frecuentes correspondiendo a niveles centimétricos de dolomías laminadas con moldes de cristales lenticulares de yesos que se asocian normalmente a los términos sulfatados.

La Unidad representa un episodio de expansión de los sistemas aluviales de procedencia meridional (Sistema Ibérico) y noroccidental (Sierra de Cantabria) coetánea con la propagación de los procedentes del margen pirenaico (Unidad de Villafranca). Su impacto en la zona se evidencia por la acusada retracción del sistema lacustre estable con la implantación extensiva de facies de frente aluvial muy distal y eventuales desarrollos lacustre-palustres de salinidad variable.

1.1.10 Yesos (27) Yesos de Los Arcos. Ageniense.

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

Su base está bien definida por las Arcillas de Villafranca en el Dominio norte y las Facies Allo en el Dominio sur.

En la presente memoria se reserva el término de Yesos de Los Arcos al paquete yesífero masivo (27) situado sobre las dos anteriores unidades terrígenas. A techo de éste se desarrolla una serie de carácter yesífero-lutítico (28) que se encuentra truncada por la superposición discordante de la Fm. Tudela (31).

En la Hoja de Lerín la presente se desarrolla en el flanco norte del Anticlinal de Falces y en el extremo SE ocupando el eje del Sinclinal de Peralta

La potencia oscila entre más de 150 y alrededor de 200 m, registrando escasas variaciones en corte N-S.

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

En el flanco norte del Anticlinal de Falces se controla la estratigrafía general de la Unidad distinguiéndose de muro a techo cuatro tramos principales: 1) tramo basal (unos 20 m) de alternancia entre margas grises y yesos nodulares, 2) tramo yesífero (30-40 m) en litofacies laminada y nodular, 3) tramo de alternancia margo-yesífera (30 m) y tramo superior yesífero con predominio alternante de litofacies laminada y nodular (hasta 100 m de potencia).

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

Su contenido paleontológico es muy pobre, de modo que su atribución al Ageniense se realiza por su posición estratigráfica.

1.1.11 Margas, yesos, areniscas y dolomías (28). Ageniense.

A techo del paquete masivo de Los Yesos de Los Arcos se desarrolla una serie margoyesífera, que alcanza varios cientos de metros de espesor, sobre la que se dispone discordantemente la Fm. Tudela.

La unidad 28 constituye el techo de la Fm Lerín en la Hoja y se desarrolla al N del Anticlinal de Falces.

Su potencia disminuye notablemente hacia el ESE por truncación en el contacto con la Fm. Tudela, que corresponde a una discordancia erosiva de amplio desarrollo regional.

Litológicamente predominan los yesos y las margas arcillosas grises. las intercalaciones reconocidas corresponden a areniscas, carbonatos y lutitas ocres.

Los yesos constituyen niveles de potencia decamétrica y métrica. Desarrollan litofacies nodulares y laminadas con frecuentes lechos margosos e intercalaciones de dolomías laminadas y carniólicas y se organizan en ciclos evaporíticos más o menos completos.

Los intervalos margoarcillosos presentan una potencia variable, de orden decimétrico a decamétrico. Están formados por margas dolomíticas grises, más o menos arcillosas, con crecimientos de yesos nodulares y lenticulares. Incluyen por tramos intercalaciones de diversas litologías en proporciones variables (areniscas, carbonatos, lutitas ocreas y carbonatos).

Las areniscas aparecen normalmente como capas tabulares aisladas de potencia centimétrica a decimétrica con estructuras propias de avenidas turbulentas no confinadas: granoclasificación positiva, huellas de base, tractivas y de colapso, laminación paralela, *convolute lamination*, escapes de fluidos, laminaciones onduladas y *ripples* de olas. Excepcionalmente se reconocen niveles de morfología lenticular de hasta 2 m de potencia, con superficies marcadas de progradación o acreción lateral, presentando además estratificación cruzada y trenes de *ripples*.

Las yesoarenitas son relativamente frecuentes como intercalaciones en el seno de las margas grises y también en los niveles de yesos constituyendo capas tabulares de rasgos semejantes a las de areniscas.

Los niveles de dolomías laminadas representan las principales intercalaciones carbonatadas, si bien registran valores reducidos de espesor, normalmente de orden centimétrico. Incluyen frecuentes moldes de cristales lenticulares de yesos llegando a adoptar en ocasiones un aspecto carniolar.

Los horizontes de arcillas ocreas son muy escasos y se encuentran confinados en los intervalos margoarcillosos más potentes. De aspecto bastante homogéneo, pueden incluir eventualmente alguna capa areniscosa de escasa potencia.

El conjunto de depósitos descrito caracteriza medios lacustres salinos marginales en los que la sedimentación evaporítica se ve interrumpida episódicamente por avenidas de materiales terrígenos aportados por los sistemas aluviales de procedencia septentrional.

Su contenido paleontológico es bastante pobre habiéndose hallado únicamente *Eocyropteron sp.* y *Chara sp. 13*, (IGME, 1977). De acuerdo con los datos regionales su edad se sitúa en la Zona MN2, del Ageniense superior.

1.1.12 Arcillas ocre y rojizas, areniscas y calizas (31) F. Tudela. Ageniense superior-Orleaniense.

Las Facies de Tudela o Fm. Tudela (CASTIELLA et al. 1978) culminan la serie terciaria en la zona. Constituyen un conjunto de materiales principalmente arcillosos, con niveles de carbonatos y areniscas, que se desarrolla ampliamente en la región de Tudela y Las Bárdenas, al SE de la cuenca Navarro-Riojana, y que se extiende hacia el Oeste por los sinclinales de Sesma y Miranda de Arga.

Se correlaciona hacia el Sur con las Facies de Alfaro, características de la Rioja Baja, y hacia el Norte pasan lateralmente a las Facies de Ujué.

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

La presente Unidad Cartográfica se desarrolla en la parte NE de la Hoja de Lerín situándose principalmente en el flanco meridional del Sinclinal de Miranda de Arga con buzamientos inferiores a los 10°.

Dibuja un abanico de capas que se abre hacia el NNO debido, en parte al carácter progresivo de la discordancia, y principalmente por su disposición en *on lap* sobre la Fm. Lerín. En consecuencia su espesor, que en la Hoja se cifra en varios centenares de metros, disminuye considerablemente hacia el S.

Litológicamente predominan 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.

Las areniscas representan las intercalaciones más comunes. 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. Hacia el NO 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.

Las calizas constituyen niveles tabulares de potencia centimétrica a decimétrica asociadas a las cuales se generan intervalos adyacentes de arcillas grises más o menos margosas. Texturalmente predominan los *wackestones* micríticos generalmente arcillosos que presentan ostrácodos y caráceas como principales aloquímicos y registran un contenido normalmente elevado en granos terrígenos. Eventualmente se desarrollan delgados niveles de *mudstones* micríticos con laminaciones discontinuas, onduladas y subhorizontales, de origen algal.

La Fm. Tudela se encuentra relacionada genéticamente hacia el N con sistemas aluviales de procedencia pirenaica (Facies Ujué) constituyendo sus equivalentes de frente distal. En este contexto son relativamente frecuentes los desarrollos de facies lacustre-palustres carbonatadas evidenciados por niveles de calizas micríticas de extensión kilométrica.

Los niveles carbonatados contienen gran cantidad de restos paleontológicos consistentes básicamente en ostrácodos, caráceas, gasterópodos acuáticos y peces. En IGME (1977) se han determinado las siguientes especies: *Limnocythere* sp., *Candona* sp., *Eocyropteron* sp., *Candona* cf. *praecox*, *Elkocythereis* cf. *minutidontis*, *Ciprydopsis kinkelini*, *Darwinula* sp., *Chara* cf. *microcera*, *Chara media*, *Chara* sp. 7, *Chara* sp. 8, *Rhabdochara* cf. *major*, *Psilochara* sp., *Gyrogona* cf. *medicaginula* y *Planorbis* sp. 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).

1.1.13 Calizas, areniscas, margas y lignitos. (32) Orleaniense.

La unidad 32 constituye el techo de la sucesión terciaria en la Hoja y representa la parte superior de la Fm. Tudela, que se distingue de la unidad precedente (31) por el predominio de facies lacustres carbonatadas.

Su representación cartográfica se limita al borde nororiental ocupando parte del eje del Sinclinal de Miranda de Arga, donde constituye las principales elevaciones de la Hoja (Peña Jenáriz 554 m).

El contacto con la unidad infrayacente es transicional y está marcado por la entrada de un nivel de calizas de mayor potencia.

Litológicamente constituye un variado conjunto en el que alternan las facies lacustres (calizas micríticas, margas y areniscas grises y lignitos) con las aluviales (arcillas rojizas y areniscas).

Las calizas constituyen niveles de potencia decimétrica y métrica, de hasta cerca de 10 m. 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 muy 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 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 términos de origen aluvial corresponden a intervalos de arcillas ocreas bastante homogéneas con intercalaciones areniscosas de escasa entidad. Estas últimas conforman capas tabulares originadas por avenidas torrenciales episódicas con transporte de sedimentos clásticos mediante flujos laminares no confinados (*sheet flood*).

La Unidad 32 constituye un episodio de relativa expansión de los sistemas lacustre-palustres de la Fm. Tudela facilitada por un descenso en la actividad diastrófica que se traduce en una menor actividad aluvial. Se desarrolla por tanto un área extensa con estancamientos de aguas dulces en charcas y lagos someros de márgenes muy vegetados, que recibe avenidas episódicas de materiales terrígenos aportados por los sistemas aluviales de procedencia septentrional.

A pesar de la profusión de restos paleontológicos no se dispone de datos relevantes bioestratigráficamente por falta de estudios específicos. En IGME (1977) se cita la presencia de *Ciprydopsis kinkelini*, *Elkocythereis aff. bramletti*, *Chara media*, *Chara sp. 7* y *Gyrogonia cf. medicaginula*. Se atribuye, de acuerdo con su posición somital en la serie, una edad de Orleaniense.

1.2. CUATERNARIO

1.2.1 Pleistoceno-Holoceno

1.2.1.1 Gravas y arenas. Terrazas altas medias y bajas (37,38,39). Pleistoceno- Holoceno

Dentro de este apartado se incluyen todos aquellos depósitos relacionados con la red fluvial actual articulada entorno al río Ega, tributario a su vez del Ebro.

Ocupan dentro de la Hoja una buena extensión superficial, habiéndose diferenciado 11 niveles de terrazas respecto a sus cauces actuales. Todos ellos por su disposición y cota han sido agrupados en tres niveles denominados: terrazas altas, media y bajas.

El sistema de terrazas del río Ega es el conjunto de formas más característico, habiéndose diferenciado 11 niveles a +6m, +12m, +15m, +20-25m, +35m, +40-45m, +55m, +80m, +90m, +100-105m y +120m. Los dos niveles inferiores se han considerado como terrazas “bajas” y poseen un dispositivo de terrazas encajadas o solapadas, en tanto que los cuatro superiores se han considerado terrazas “altas”, presentándose como terrazas colgadas; por lo que

respecta a los cinco niveles restantes, han sido considerados como terrazas “medias” y pueden aparecer encajadas o colgadas. Además del sistema del Ega, se han reconocido terrazas de +5m en el barranco de Sierras, así como un conjunto de difícil atribución, localizado en el paraje de Serrezuela.

Su litología es muy similar en casi todas ellas, si bien el grado de cementación, por carbonatos, parecen ser algo mayores en las superiores. En general, están formadas por gravas poligénicas, con arenas en proporción variable, 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 50cm de diámetro en las terrazas altas, aunque el tamaño medio fluctúa entre los 10-12 y 15-20cm.

Los espesores son muy irregulares, reconociéndose valores superiores a 10m en las terrazas “altas” habiéndose medido espesores anómalos de hasta 30m en sectores próximos, explicados en relación con fenómenos de subsidencia diferencial en áreas localizadas. En cuanto a las bajas, sus espesores pueden llegar a superar los 25 m, de acuerdo con los datos de sondeos (IGME 1977).

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

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

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

1.2.1.2 .Lutitas con cantos. Glacis (41). Pleistoceno-Holoceno

Se trata de depósitos que se desarrollan sobre los depósitos neógenos generalmente arcillosos y en ocasiones sobre materiales yesíferos, contribuyendo a la morfología actual de las laderas. Se han reconocido en el cuadrante noroccidental de la Hoja, al Oeste de Lerín en el paraje de la Esparteta

Por lo general presentan una composición similar al sustrato sobre el que se desarrollan, por lo que los materiales suelen ser lutitas con cantos dispersos e incluso a veces bloques de pequeño tamaño, angulosos y subangulosos generalmente de areniscas y/o yesos.

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

1.2.1.3 Limos y arcillas ocres con cantos. Conos de deyección (43 y 45). Pleistoceno-Holoceno

Se describe en este apartado una serie de depósitos que han sido incluidos en dos generaciones en función de su disposición relativa.

El primer grupo el más antiguo (unidad 43) se localiza en el sector occidental de la Hoja, en el sinclinal de Peralta, en la margen derecha del Ega. Litológicamente están formados por limos y arenas ocres y se encuentra bastante disectado por los que constituyen el segundo grupo (unidad 45)

El segundo grupo, es el más moderno y extendido por la Hoja. A su vez y más en detalle pueden diferenciarse dos tipos: los asociados a valles y zonas de cierto relieve y los de zonas de confluencia de la red.

Se localizan también en grandes valles como el que se construye en el entorno del anticlinal de Falces o en las proximidades de Peña Jenáriz, en el cuadrante nororiental. Están formados por limos y arenas de tonalidades ocres que tapizan el sustrato y a veces presentan una morfología bastante difícil de reconocer. A veces se solapan, dando lugar a formas coalescentes de mayor desarrollo

En ocasiones y cuando se encuentran disectados, como p.e. ocurre en el valle del Ega se disponen sobre niveles de gravas correspondientes a terrazas medias y bajas de dicho río.

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

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

1.2.1.4 Gravas, arenas y lutitas. Meandros y/o cursos abandonados (46). Pleistoceno-Holoceno.

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

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

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

1.2.2 Holoceno

1.2.2.1 Gravas, arenas y lutitas. Barras fluviales (47). Holoceno

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

1.2.2.2 Lutitas con cantos y arenas. Fondos de valle (48). Holoceno.

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

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

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

Se asigna estos depósitos al Holoceno por su relación con la red fluvial actual

1.2.2.3 Lutitas y arenas con cantos y bloques. Coluviones (49). Holoceno.

Se trata de depósitos por lo general de muy poco espesor, aunque a veces con amplia representación superficial. Se encuentran repartidos de forma irregular a lo largo de toda la Hoja. Se localizan al pie de las laderas de los principales valles, asociados a veces a los distintos niveles de terrazas, así como a pequeños relieves, tratándose en todo caso de depósitos de poca entidad, al menos en cuanto a espesor se refiere.

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

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

1.2.2.4 Grandes bloques, arcillas y limos. Deslizamientos (51). Holoceno.

Al igual que los depósitos del epígrafe anterior se describen someramente en este apartado un conjunto litológico, aunque de pequeña entidad, heterogéneo y caótico formado por grandes bloques de yesos con arcillas y limos que se localizan en la margen derecha del río

Ega, al sur de la Hoja y cuyo origen esta en un proceso de deslizamiento rotacional que motiva el desprendimiento y lento deslizamiento de importantes masas y bloques de yesos y limos que a veces impactan en el paisaje de la región.

Constituyen sin duda alguna uno de los mayores riesgos geológicos de la región, si bien en esta Hoja apenas se encuentran desarrollados. Dado que están asociados procesos actuales o subactuales quedan incluidos en el Holoceno.

1.2.2.5 Lutitas grises y limos. Depósitos endorreicos y semiendorreicos. (52). Holoceno

Se trata de unos depósitos finos que aparecen asociados áreas de carácter endorreico o semiendorreicos, es decir zonas con un drenaje deficiente y en la que son frecuentes los encharcamientos superficiales.

Litológicamente se trata de lutitas grises y limos, a veces yesíferos, por lo general de poco espesor con un bajo contenido en materia orgánica

Este tipo de materiales se localiza al Norte de la Hoja, en su límite septentrional, cerca del paraje de Cuesta Sardosa en la carretera de Lerín a Berbinzana

Por su origen y/o procedencia estos depósitos se atribuyen al Holoceno

2. TECTÓNICA

2.1. CONSIDERACIONES GENERALES

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

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

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

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

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

De estas dos grandes unidades sólo la primera de ellas aflora en la Hoja de Lerín, mientras que la segunda lo hace más al Sur entre Pradejón y Alcanadre.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

La estructura alpina de la zona estudiada es función de la orientación e intensidad de las distintas fases compresivas y la naturaleza y disposición de los materiales que configuran la cobertera sedimentaria. No hay que olvidar la importancia de los procesos halocinéticos, es decir del movimiento y migración de las sales responsables de la geometría y disposición de algunas de las estructuras. En el marco de la Hoja no obstante, la estructura es el resultado por un lado de los cabalgamientos de Cameros sobre la cuenca del Ebro y por otro del desplazamiento hacia el Sur y Suroeste de los cabalgamientos, que a veces ponen límite a las grandes estructuras que en la región presentan una dirección general NO-SE con ligeras inflexiones hacia el Oeste, por lo que adoptarían posiciones O.NO-E.SE.

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

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

2.2. DESCRIPCIÓN DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS

La Hoja 205-I Lerín se caracteriza por presentar un sector plegado constituido por yesos y lutitas rojas y ocres estructurado según pliegues de dirección NO-SE y N.NO-S.SE., conocido como dominio plegado del Ebro, dominio formado por una sucesión de anticlinales y sinclinales de gran longitud de eje y flancos relativamente bastante cortos. Dentro de este dominio y para su descripción, a su vez se pueden diferenciar dos sectores o subdominios dentro de la Hoja: el del anticlinal de Falces y el del sinclinal de Miranda de Arga.

El anticlinal de Falces atraviesa toda la Hoja de Este a Oeste por su sector central prolongándose además por las vecinas hojas 206, 205-I y 205-IV. Presenta una dirección N.NO-S.SE y una longitud de eje kilométrica. Se trata de una gran estructura cuyo núcleo del pliegue lo constituyen los yesos de Falces, unidad estratigráfica más baja aflorante en la Hoja. El núcleo aparece replegado dando lugar a una serie de anticlinales y sinclinales en la misma dirección. Una parte del núcleo de esta estructura aparece recubierta por materiales cuaternarios, generalmente terrazas fluviales asociadas al curso del río Ega. Ambos flancos del pliegue, preferentemente el septentrional, presentan buenos cortes con continuidad de afloramientos. La vergencia del mismo es hacia el Sur formando el flanco meridional a su vez parte del sinclinal de Peralta-Sesma estructura que se desarrolla de forma parcial por el cuadrante suroccidental de la Hoja. Este sinclinal tiene un eje de gran longitud, paralelo al de Falces y se extiende según una dirección O.NO-E.SE transcurriendo su eje a lo largo de un amplio valle. La estructura se desarrolla sobre depósitos evaporíticos en su mayor parte,

con su núcleo formado por los yesos de Los Arcos y se extiende ampliamente por las hojas 205-I y 205-IV San Adrián.

El sinclinal de Miranda de Arga, constituye el otro subdominio estructural de la Hoja. Se localiza en el cuadrante nororiental de la misma. Se trata de una estructura formada por depósitos detrítico-carbonatados de la Fm. Tudela, que se disponen en discordancia progresiva sobre las series evaporíticas infrayacentes, marcando un claro "*on-lap*" hacia el Sur. Todo el conjunto adopta una disposición sinclinal de dirección N.NO-S.SE. que se extiende hacia el Oeste por la vecina Hoja 206. Su eje tiene una longitud kilométrica, al igual que las otras descritas, tratándose de una estructura sinsedimentaria que se desarrolla a medida que se levantan o migran lentamente por procesos halocínicos, las sales de los núcleos anticlinales próximos como el de Falces

En cuanto a accidentes tipo fallas destacan un conjunto de ellas con dirección N.NE-S.SO a escala kilométrica que cortan los flancos del anticlinal de Falces. Estas se localizan a ambos flancos de la estructura y suelen presentar asociadas unas conjugadas bastante norteadas así como otras más pequeñas, de menor entidad de dirección NE-SO.

Destacan entre este tipo de accidentes, las del flanco más septentrional, ya que se trata de fallas que afectan a los términos inferiores del sinclinal de Miranda de Arga y a su vez quedan fosilizadas por los términos superiores a medida que progradan y se van sedimentando los depósitos más modernos.

Es de destacar en el valle del Ega, los movimientos de bloques y la actividad neotectónica que en este sector tiene lugar, observándose deformaciones y fenómenos de inyección tanto en las terrazas altas como en las medias y bajas así como algunos basculamientos y fallas. Este sector desde el punto de vista neotectónico y geomorfológico fueron ya estudiados por MENSUA y BIELZA (1974).

3. GEOMORFOLOGÍA

3.1. DESCRIPCIÓN FISIOGRÁFICA

La Hoja a escala 1:25.000 de Lerín (205-II) está incluida en la Hoja a escala 1:50.000 de Lodosa (205), encontrándose situada en el sector suroccidental de la Comunidad Autónoma de Navarra.

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

A grandes rasgos, el relieve de la Hoja se caracteriza por una sucesión de alineaciones de elevación moderada, entre las que se intercalan valles poco acusados, orientados según bandas de dirección ESE-ONO, excepto en el sector nororiental, donde se observa un arqueamiento de ambos, hasta adoptar una orientación submeridiana. Esta estructura general de bandas estrechas se ve truncada en el sector occidental, donde el discurrir del río Ega ha dado lugar a un amplio valle de orientación Norte-Sur. Es precisamente en el valle del Ega donde se encuentra la altitud mínima (320m) en tanto que la máxima se localiza en Peña Jenáriz (554m).

El principal curso fluvial es el río Ega, afluente destacado del Ebro, que con una configuración meandriforme discurre de Norte a Sur, articulándose en torno a él la red de drenaje del sector occidental, integrada por diversos barrancos de pequeña entidad. A su vez, los arroyos y barrancos del sector oriental vierten sus aguas al río Arga, fuera ya de los límites de la Hoja.

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

Se trata de una zona escasamente poblada, distribuyéndose una pequeña parte de sus habitantes entre los diversos caseríos y casas de campo diseminadas por la zona, siendo Lerín el único núcleo de población existente, si bien se deja sentir la influencia de otros núcleos próximos como Lodosa, Cárcar, Andosilla y Allo. La red de comunicaciones se basa en una serie de carreteras, densamente distribuidas por el sector occidental, de entre las que destaca la N-122, así como en numerosos caminos y pistas que permiten el acceso a la práctica totalidad de la Hoja.

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

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

También es preciso destacar las aportaciones de las Hojas geológicas a escala 1:50.000 correspondientes al Plan MAGNA de las áreas vecinas, fundamentalmente las más recientes (Viana, 171; Allo, 172; y Tafalla, 173), que incluyen un capítulo de geomorfología, así como un esquema geomorfológico a escala 1:100.000. Por último, mención aparte merecen las Hojas geológicas y geomorfológicas a escala 1:25.000 realizadas dentro del

presente proyecto de actualización e informatización de la cartografía geológica de Navarra (GOBIERNO DE NAVARRA, 1998) en las zonas limítrofes (Hojas 172-III, Azcona, y 172-IV, Allo), 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 Lerín (205-II) se localiza en la Cuenca de La Rioja-Navarra, localizada en el 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 principales rasgos regionales, los afloramientos terciarios integran el dominio de mayor entidad, en tanto que el valle del río Ega, tapizado por depósitos cuaternarios, constituye un dominio menor que secciona al anterior en el sector occidental.

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 lutítico-yesífera en la que se intercalan frecuentes niveles de calizas, dolomías, areniscas y yesos, cuya mayor resistencia a la erosión les confiere el papel de resaltes estructurales. Son estos niveles los que permiten establecer la geometría de la zona, consistente en una sucesión de pliegues de orden decakilométrico orientados según ESE-ONO: el anticlinal de Falces y el sinclinal de Miranda de Arga. Éstos aparecen interrumpidos únicamente por la red de drenaje y por nítidas fallas con expresión morfológica como las de Dehesa Las Planas y Sierra; en todos los casos poseen una

orientación NNE-SSO, excepto una de las del segundo paraje, de directriz NNO-SSE. Los resaltes poseen una continuidad muy variable, con frecuencia de decenas de kilómetros, pudiendo aparecer como simples líneas de capa o acompañados de escarpes más o menos pronunciados, en todos los casos con desniveles inferiores a 100m; ocasionalmente, la serie estratigráfica aparece verticalizada, dando lugar apareciendo los resaltes a modo de crestas. Es frecuente, especialmente en el sector nororiental, la conservación de superficies estructurales, que pueden aparecer como cuestas, hog backs o mesas. Entre estas formas derivadas de la estructura es preciso señalar también los cerros cónicos, como resultado de procesos de erosión selectiva.

3.3.1.2. Estructura de la red de drenaje

A excepción del río Ega, que discurre de Norte a Sur siguiendo la línea de máxima pendiente regional, con un marcado carácter consecuente, la red de drenaje presenta una geometría claramente condicionada por la estructura. Así, una buena parte de la red posee carácter subsecuente, de tal manera que se adapta a las depresiones paralelas a los principales resaltes, de directriz predominante ESE-ONO, en tanto que los barrancos y arroyos del sector nororiental muestran carácter obsecuente, discuriendo en contra de la pendiente regional; completando este esquema, en la mitad meridional abundan los cursos resecuentes, en general de escasa entidad.

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 culminar la sedimentación terciaria. Dichos procesos tienen un origen gravitacional (de laderas), fluvial, poligénico, endorreico y antrópico.

3.3.2.1. Formas de laderas

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

Los deslizamientos están representados exclusivamente por dos masas de reducidas dimensiones, localizadas en la margen derecha del río Ega, concretamente en el paraje de la Recueja Alta. Allí, la elevada pendiente, unida a la naturaleza arcillosa del sustrato, ha favorecido la génesis de estas masas deslizadas.

Los coluviones poseen una representación mucho mayor, apareciendo como bandas delgadas, en general en la parte baja de las laderas de pendientes acusadas.

3.3.2.2. Formas fluviales

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

Los fondos de valle tienen una notable representación, apareciendo con formas alargadas y, en general, estrechas, cuya longitud varía sensiblemente. En general, su geometría aparece perfectamente adaptada a la estructura, excepto en algunas zonas arcillosas en las que el drenaje se hace difuso e incluso pueden producirse procesos de tipo endorreico. Por sus dimensiones destacan los del arroyo de la Sarda y los barrancos de la Barranca, de la Sarda y de la Yasa.

La llanura de inundación del Ega aparece mínimamente representada, a modo de retazos adyacentes al cauce activo, con su típica morfología plana y ligeramente encajada en la terraza más baja.

El sistema de terrazas del río Ega es el conjunto de formas más característico, habiéndose diferenciado 11 niveles a +6m, +12m, +15m, +20-25m, +35m, +40-45m, +55m, +80m, +90m, +100-105m y +120m. Los dos niveles inferiores se han considerado como terrazas “bajas” y poseen un dispositivo de terrazas encajadas o solapadas, en tanto que los cuatro superiores se han considerado terrazas “altas”, presentándose como terrazas colgadas; por lo que respecta a los cinco niveles restantes, han sido considerados como terrazas “medias” y pueden aparecer encajadas o colgadas. En conjunto, confieren al valle un aspecto escalonado, con netos escarpes entre los distintos niveles; de entre éstos, son los inferiores

los que poseen una mayor continuidad superficial, en tanto que los superiores aparecen a modo de retazos aislados. Además del sistema del Ega, se han reconocido terrazas de +5m en el barranco de Sierras, así como un conjunto de difícil atribución, localizado en el ámbito de Serrezuela.

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.

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

También los conos de deyección son frecuentes. Se generan cuando la carga concentrada en estrechos barrancos alcanza áreas más amplias, en las cuales se expande, dando lugar a sus típicas morfologías en abanico. Aunque existen formas aisladas, la proximidad entre los barrancos hace que predominen los dispositivos coalescentes, de forma que aparecen como bandas que orlan los principales relieves. En algunas zonas se presentan disectados por la red de incisión reciente, perdiendo su morfología característica.

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

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

En los tramos donde el río Ega muestra trazados sinuosos, se registran fenómenos de erosión lateral del cauce, también identificados en las curvas del barranco de la Yasa en las proximidades del paraje de Las Navas.

3.3.2.3. Formas poligénicas

Están exiguamente representadas por glaciares, como única forma con depósito, así como por superficies de erosión y escarpes.

Los glaciares aparecen en el sector noroccidental, al pie de escarpes estructurales de orientación ESE-OSO, caracterizándose por sus perfiles longitudinales plano-cóncavos, con aumento de la concavidad hacia la cabecera. En general se trata de sistemas de escasa entidad, ligeramente disectados por la red de drenaje actual.

En algunos sectores parecen reconocerse restos de superficies de erosión degradadas que, en la mayor parte de los casos, no guardan relación entre sí. La más evidente parece la del paraje de El Raso, probablemente relacionada con el encajamiento del río Ebro. Un significado equivalente debe poseer la superficie de Dehesas Planas, localizada al pie de la alineación de Pinillo, en este caso en relación con el encajamiento de la red secundaria del río Arga. Lógicamente, su interpretación en el contexto del encajamiento de la red fluvial actual, hace que se atribuyan al Cuaternario.

Por lo que respecta a los escarpes, se localizan en la parte alta de numerosos valles, pese a lo cual se han interpretado como formas poligénicas porque pese a su evidente influencia fluvial, se supone que los procesos de ladera también han tenido incidencia en su génesis. Lógicamente, su envergadura es muy variable, destacando el del paraje de Recueja, en la margen derecha del Ega, con un desnivel superior a 50m.

3.3.2.4. Formas endorreicas

Se encuentran representadas de forma exclusiva por un reducido número de áreas endorreicas. Las más destacadas se localizan en el paraje de Fuente de los Prados, en relación con un área sinclinal de sustrato arcilloso, a la cual afluyen diversos barrancos procedentes del Sur y del Oeste. Igualmente, algunos barrancos parecen haber capturado estas depresiones por lo que, al menos temporalmente, parecen perder su funcionalidad endorreica. Además de estos fondos del sector septentrional, se ha reconocido uno de muy pequeñas dimensiones en el paraje de Las Navas, en un área de drenaje deficiente.

3.3.2.5. Formas antrópicas

La actividad antrópica se concentra casi exclusivamente en el sector oriental, donde se localizan las redes principales de comunicación, así como Lerín, único núcleo de población de la Hoja. Dentro de este grupo tan sólo se han representado los frentes de dos canteras de escasa relevancia.

3.4. FORMACIONES SUPERFICIALES

3.4.1. Grandes bloques, arcillas y limos. Deslizamientos (a). Holoceno

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

Estos depósitos, observables en el valle del Ega, muestran numerosas grietas paralelas y constituyen sin duda alguna uno de los mayores riesgos geológicos de la región. Ya que se trata de un proceso actual o subactual quedan incluidos en el Holoceno.

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

Se trata de depósitos de reducido espesor, en general inferior a 2m, y moderada representación superficial, distribuidos irregularmente al pie de las laderas de los principales relieves. Su constitución litológica es muy variable, dependiendo de la naturaleza de su área madre. Predominan las lutitas ocres que engloban cantos y bloques angulosos y subangulosos de areniscas, yesos o calizas de tamaño muy variable, con frecuencia de orden decimétrico.

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

3.4.3. Lutitas con cantos y arenas. Fondos de valle (c). Holoceno

Constituyen el depósito de cursos de escorrentía superficial efímera o actualmente nula, que discurren intermitentemente a través de los principales valles, excepción hecha del río Ega; reflejan, pues, la sedimentación de la red fluvial secundaria.

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

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

3.4.4. Gravas, arenas y lutitas. Llanuras de inundación (d). Meandros o cauces abandonados (h). Pleistoceno- Holoceno

En relación con el sistema fluvial del río Ega, 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, correspondiendo a la llanura de inundación; por otra, con formas estrechas, en ocasiones fuertemente curvadas, ligeramente encajados en las terrazas “bajas”, correspondiendo a meandros o cauces abandonados.

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

Por su posición respecto a las terrazas “bajas”, la llanura de inundación se ha atribuido al Holoceno, en tanto que los meandros y cauces abandonados se han asignado al Pleistoceno-Holoceno.

3.4.5. Gravas y arenas. Terrazas (e). Pleistoceno

En su mayor parte pertenecen al sistema fluvial del río Ega, que ha dejado a lo largo de su valle un cortejo escalonado de 11 niveles, agrupados en terrazas “altas”, los cuatro superiores (+80, +90, +100-105 y +120m), “medias”, los cinco intermedios (+15, +20-25, +35 y +40-45m), y “bajas”, los dos inferiores (+6 y +12m). Es preciso recordar que algunas de estas cotas pueden haber sido modificadas debido a las deformaciones neotectónicas de los yesos que constituyen su sustrato.

Su litología es muy similar en casi todas ellas, si bien el grado de cementación, por carbonatos, parecen ser algo mayores en las superiores. En general, están formadas por gravas poligénicas, con arenas en proporción variable, 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 50cm de diámetro en las terrazas altas, aunque el tamaño medio fluctúa entre los 10-12 y 15-20cm. Los espesores son muy irregulares, reconociéndose valores superiores a 10m en las terrazas “altas” habiéndose medido espesores anómalos de hasta 30m en sectores próximos, explicados en relación con fenómenos de subsidencia diferencial en áreas localizadas. En cuanto a las bajas, sus espesores pueden llegar a superar los 25m, de acuerdo con los datos de sondeos (IGME 1977).

Por su relación con respecto a la red fluvial actual se han atribuido al Pleistoceno, sin descartar que los niveles inferiores puedan pertenecer al Holoceno.

3.4.6. Limos y arcillas ocreas, en ocasiones con cantos. Conos de deyección (f,g). Pleistoceno-Holoceno

Se han reconocido dos grupos de conos de deyección en función de su disposición relativa. Los más antiguos (g) están mínimamente representados, alcanzando una extensión muy superior en la vecina Hoja de Lodosa (205-I). En ellos se encaja una generación más moderna (f), que posee una representación muy superior y un mayor grado de conservación, pese a lo cual pueden aparecer disectados por la red fluvial actual.

Generalmente, están formados por limos y arcillas de tonalidades ocreas, que ocasionalmente engloban cantos o gravas dispuestas en delgadas hiladas; también pueden apreciarse cementaciones, pero siempre muy superficiales y de poca consistencia. Se

disponen a la salida de los barrancos estrechos hacia valles más amplios y lógicamente su composición de detalle varía en función del área madre. 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, los más antiguos se han enmarcado en el Pleistoceno y los más modernos, en el Holoceno.

3.4.7. Lutitas con cantos. Glacis. (i). Pleistoceno

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

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

3.4.8. Lutitas grises y limos. Depósitos endorreicos (j). Holoceno

Se trata de depósitos finos asociados a áreas de drenaje deficiente, cuyo carácter endorreico llega a producir encharcamientos superficiales. Se trata de lutitas grises y limos, a veces yesíferos, con un bajo contenido en materia orgánica; que en general poseen un reducido espesor. 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.

3.5. EVOLUCIÓN DINÁMICA

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

En cualquier caso, las superficies de erosión degradadas reconocidas en la Hoja, parecen claramente encajadas en las principales superficies de los sistemas montañosos que bordean la cuenca y, aunque poco puede precisarse sobre el modelado finineógeno en la zona debido a la ausencia de depósitos del intervalo Mioceno superior-Plioceno, parece probable su pertenencia al Cuaternario.

La superficie más elevada, desarrollada en el sector suroccidental, parece relacionarse con los niveles de terraza superiores de los ríos Ega y Ebro, pudiendo considerarse, por tanto, como la superficie de la cual arrancó el encajamiento de la red fluvial en la zona, estimándose generalmente que este proceso tuvo lugar a comienzos del Cuaternario. A partir de este momento se produjo la evolución encaminada a configurar el relieve actual, sin que deba olvidarse la influencia ejercida por la estructura del sustrato durante este periodo.

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

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

Ya en el Holoceno, la dinámica fluvial ha seguido gozando de una gran preponderancia en el modelado de la región, tanto por la acción llevada a cabo en los fondos de los valles como por la ejercida por los conos de deyección. Los procesos de las laderas ahora sí permanecen “momentáneamente” conservados en forma de coluviones y deslizamientos, comenzando a adquirir cierta relevancia los procesos endorreicos, favorecidos por una clara disminución de las pendientes regionales y de un sustrato arcilloso-yesífero. La influencia del sustrato se pone de manifiesto por la profusión de escarpes, hog backs, crestas 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 Lerín es debida fundamentalmente a dos factores, la estructura del sustrato y el encajamiento de la red fluvial, cuya preponderancia se plasma en la existencia de dos dominios morfológicos principales.

La estructura está condicionada por la existencia de un sustrato arcilloso en el que se intercalan niveles yesíferos y carbonatados, de mayor competencia, estructurado en grandes pliegues de orientación ESE-ONO. Por su parte, la red fluvial se encaja mediante procesos de incisión vertical, más acusados en la red secundaria de las zonas más abruptas; estos procesos van acompañados por retrocesos de las laderas y, en algunas zonas, erosión lateral de los cauces y acarcavamientos; en el valle del Ega, también se producen fenómenos de aluvionamiento y abandono de cauces.

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

4 HISTORIA GEOLÓGICA

La síntesis descriptiva de la evolución geológica realizada en este capítulo es válida para el ámbito de la Hoja a escala 1:50.000 de Lodosa (205), a la que pertenece este cuadrante.

En el presente capítulo se describe la evolución geológica regional a lo largo del Terciario, si bien cabe indicar que buena parte del Paleógeno está representada únicamente en el subsuelo iniciándose el registro estratigráfico aflorante en el Oligoceno superior.

Los depósitos aflorantes pertenecen a la Depresión del Ebro y son todos ellos cenozoicos. En particular el Terciario navarro-riojano, en el que quedan incluidos estos materiales está compuesto por formaciones aluviales y lacustres continentales depositadas desde el Eoceno medio hasta el Mioceno superior, con una potencia que localmente alcanza los 5000 m. Los depósitos aluviales son depósitos de aluvial o fluviales hacia la parte más interna de la cuenca. Los depósitos lacustres son principalmente evaporíticos y se sitúan en la parte central de la misma, pero también tienen desarrollo los depósitos lacustres carbonatados, especialmente durante el Mioceno medio-superior. La posición de estos depósitos en la cuenca es muy variable, reflejo de una paleogeografía muy cambiante en el transcurso del tiempo.

La evolución de la cuenca sedimentaria ha estado directamente controlada por el levantamiento de las cordilleras limítrofes, principalmente por el Pirineo, que cabalgan los depósitos terciarios. Según esta influencia en el ámbito regional pueden diferenciarse varias etapas principales de sedimentación:

La primera etapa acontece en el Eoceno medio-superior: durante este periodo la cuenca navarro-riojana estuvo abierta al mar por su parte septentrional (cuenca de Pamplona). En el margen ibérico se depositaron los materiales aluviales de la Fm. Turruncún (700 m de potencia), mientras que en la zona pirenaica de influencia marina se depositó la Fm. Guendolain, compuesta por una potente unidad margosa de más de 1000 m de potencia (Margas de Pamplona) y un nivel evaporítico a techo (Potasas de Navarra). La zona de enlace entre ambos dominios es desconocida al no aflorar en ningún lugar y no disponerse de datos de subsuelo. A finales del Eoceno el levantamiento del Pirineo produjo la regresión del mar y la cuenca adquiere un carácter continental endorreico que perdurará hasta el Mioceno superior.

La segunda etapa tiene lugar durante el Oligoceno y Mioceno inferior basal: Constituye la etapa principal de relleno sedimentario de la cuenca, con una acumulación de 2000 m de depósitos aluviales proximales en el margen ibérico y más de 4500 m de depósitos aluviales distales, fluviales y lacustres evaporíticos en la zona central.

Durante el Oligoceno inferior la sedimentación lacustre estuvo localizada sobre el actual margen septentrional de la Cuenca del Ebro (estos depósitos en la actualidad están cabalgados por la Sierra de Cantabria y Cuenca de Pamplona). Se trata de las evaporitas de la Fm. Puente La Reina, de 400 m de espesor en el anticlinal de Añorbe. Entonces, toda la zona central y meridional de la cuenca estuvo ocupada por depósitos aluviales y fluviales procedentes de la Cordillera Ibérica, cuyas facies proximales constituyen la parte inferior de la Fm. Arnedo y las distales la Fm. Mués (más de 2000 m de potencia). Los depósitos aluviales y fluviales de procedencia pirenaica formaron una estrecha franja en la zona de enlace de las evaporitas de Puente La Reina con la cuenca surpirenaica de Jaca, representados por la parte inferior de la Fm. Sangüesa.

Durante el Oligoceno superior y el Mioceno inferior, como resultado del continuo levantamiento del Pirineo, el depocentro de la cuenca migró hacia el Sur, y con él la sedimentación lacustre, representada por las formaciones Falces (1000 m) y Lerín (600 m). Este desplazamiento lacustre estuvo acompañado de una regresión de los sistemas aluviales de procedencia ibérica (parte superior de la Fm. Arnedo) y a la vez la expansión de los de procedencia pirenaica (parte superior de la Fm. Sangüesa y parte inferior de la Fm. Ujué).

Desde el punto de vista paleogeográfico, los materiales más antiguos representados en las hojas son los Yesos de Falces del Oligoceno superior. Estos yesos representan un periodo con gran desarrollo de un sistema evaporítico de centro de cuenca que ocupó la mayor parte de la cuenca navarro-riojana (fig.). Por el sur, este sistema lacustre enlazó lateralmente con una estrecha franja de abanicos aluviales (parte inferior de la Fm. Arnedo), actualmente cobijados bajo los mantos de la Sierra de Cameros. Por el norte, el sistema lacustres enlazó lateralmente con los depósitos fluvio-lacustres representados por la parte inferiores de la Fm. Sangüesa, que formaron la zona de enlace de la cuenca navarro-riojana con la cuenca surpirenaica de Jaca-Pamplona

Las Arcillas de Marcilla corresponden a una etapa de reactivación de los sistemas aluviales por causa tectónicas, ocurrida durante el tránsito Oligoceno-Mioceno. Durante su desarrollo

el sistema evaporítico de Falces se desplaza hacia el NO de la cuenca, situándose en el actual sector NO de la Ribera de Navarra y por debajo de la Sierra de Cantabria. Las Arcillas de Marcilla representan el desarrollo de una extensa llanura aluvial en la parte central de la cuenca, enlazada lateralmente con los abanicos aluviales representados por la Fm. Arnedo al sur, y con las facies fluvio-lacustres de Sangüesa al Noreste.

La Fm. Lerín representa el desarrollo de un nuevo sistema evaporítico que se inicia por la parte suroriental de la cuenca y progresivamente se expande hacia el NO, siendo su nivel más expansivo los Yesos de Los Arcos. A diferencia del sistema evaporítico de Falces, el de Lerín formó un surco evaporítico alargado, de dirección SE-NO, localizado sobre una franja centro-meridional de la cuenca, y relacionado lateralmente con amplios sistemas aluviales que en diferentes momentos invadieron el dominio evaporítico (desarrollo de ciclos y megaciclos evaporíticos). Por el Norte y Noreste este sistema evaporítico enlazó con una extensa llanura aluvial pirenaica representada por las facies de Allo, Sos y San Martín de la Fm. Ujué. Por el Sur, enlaza con los abanicos aluviales ibéricos representados por el techo de la Fm. Arnedo, y por el oeste (sector de la Bureba), con los depósitos aluviales distales y fluviales de la Fm. Nájera.

La tercera etapa de evolución sedimentaria tuvo durante el Mioceno inferior-superior: Durante el Mioceno inferior se produjo el plegamiento de la cuenca navarro-riojana como resultado de una etapa principal de compresión pirenaica. Se desarrollaron extensos pliegues de dirección NO-SE, que compartimentaron la cuenca en diferentes dominios sedimentarios, situados en los surcos sinclinales, más o menos independientes entre sí. El rasgo sedimentológico más relevante fue el hecho del desplazamiento de los grandes sistemas lacustres evaporíticos de centro de cuenca, característicos de la etapa anterior, hacia el sector aragonés (Fm. Zaragoza), convirtiéndose el sector navarro-riojano en una zona de sedimentación principalmente detrítica (Fms. Fitero y parte superior de la de Ujué, respectivamente en margen ibérico y pirenaico), con algunos sistemas lacustres carbonatados localizados en los núcleos de los sinclinales mayores y en la zona de enlace con el sector aragonés (Fm. Tudela).

Así pues, los depósitos situados estratigráficamente, por encima de la Fm. Lerín son sincrónicos o posteriores al plegamiento de la cuenca navarro-riojana, ocurrido durante el Ateniense superior. Así, las Facies de Alfaro representan un sistema fluvial desarrollado en el sinclinal de La Rioja Baja, que fue colector de los depósitos aluviales con área fuente en la Sierra de Cameros, y con drenaje hacia el SO. Las Facies de Tudela representan

depósitos aluviales distales y lacustres carbonatados desarrollados en dos diferentes ámbitos paleogeográficos: por un lado, están las Facies de Tudela localizadas en la región de Tudela-Las Bardenas. En este caso se trata de los depósitos de tránsito entre el sistema fluvial Alfaro y el sistema evaporítico representado en Aragón por la Fm. Zaragoza (figs.). Por otro lado, están las Facies de Tudela localizadas en los surcos sinclinales de Sesma y Miranda de Arga, que representan los depósitos de dos subcuencas de carácter principalmente lacustre carbonatado, aisladas de las áreas fuentes ibérica y pirenaica, cuyos depósitos detríticos proceden del reciclaje de los depósitos terciarios más antiguos erosionados en las crestas de los anticlinales contiguos.

El plegamiento de la cuenca navarro-riojana duró buena parte del Mioceno inferior, de forma sinsedimentaria a las facies de Alfaro y Tudela. Por este motivo, se reconocen frecuentes discordancias progresivas en ellas y desplazamientos de los ejes de las cubetas sinclinales durante su sedimentación.

La última etapa se puede decir que transcurre desde el Mioceno superior hasta la actualidad: A finales del Mioceno la cuenca del Ebro pierde su carácter endorreico y se abre al Mediterráneo comenzando un ciclo exorreico con un vaciado erosional importante de la cuenca, con encajamiento de la red de drenaje y desarrollo de todo el conjunto de formas de erosión y depósitos plio-cuaternarios y cuaternarios que recubren de forma discontinua la serie terciaria.

5. GEOLOGÍA ECONÓMICA

5.1. RECURSOS MINERALES

En la Hoja a escala 1:25.000 de Lerín (205-II) se han reconocido 9 indicios que en su mayor parte corresponden a canteras abandonadas de diversa consideración. Las canteras más importantes se encuentran sobre gravas de las terrazas bajas y medias del río Ega. Antiguas explotaciones de yesos se emplazan sobre distintas formaciones evaporíticas y las formaciones arcillosas del Terciario se han explotado localmente. Las salinas de Lerín se encuentran en la actualidad parcialmente cubiertas por construcciones modernas. Se describen además otras sustancias que si bien no cuentan con indicios inventariados en la Hoja, presentan posibilidades de aprovechamiento minero.

5.1.1. Minerales y Rocas Industriales.

5.1.1.1. Lignitos

En el borde oriental de la Hoja, al E de Peña Jenáriz, se han reconocido algunas capas aisladas de lignitos.

Forman parte de la Unidad Cartográfica 32 que representa el techo de la serie terciaria en la Hoja.

Los niveles carbonosos se encuentran en relación con las facies lacustres superiores de la Fm. Tudela en el Sinclinal de Miranda de Arga de modo que se intercalan normalmente entre margas y calizas micríticas.

La potencia de los niveles de lignitos en superficie oscila entre 3 y 12 cm.

Se trata de lignitos sucios con un alto contenido en arcillas y son de carácter ferruginoso por lo que se deduce un elevado contenido en azufre. Contienen además abundantes restos de gasterópodos dulceacuícolas y fragmentos macerados de plantas.

5.1.2. Minerales y Rocas Industriales.

Las gravas constituyen la sustancia con más indicios registrados en la Hoja. Se han inventariado 4 indicios de gravas, 3 de yesos, 1 de arcillas y 1 de sal común. Se describen también otras sustancias, arenas y glauberita, por sus posibilidades de aprovechamiento en el futuro.

5.1.2.1. Gravas

Se han inventariado 4 canteras de gravas que se sitúan a lo largo de la carretera NA-122.

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

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

La potencia de los niveles de terrazas es de orden métrico a decamétrico por lo que las canteras presentan frentes de explotación con alturas comprendidas entre 3 y 10.

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

5.1.2.2. Yesos

Se han reconocido 3 canteras de yesos en la Hoja.

Dos de ellas se encuentran en los alrededores de Lerín, y la restante se localiza en el extremo SE de la Hoja.

Son de dimensiones pequeñas, y normalmente presentan un solo frente, a veces con varios bancos.

Se encuentran en la actualidad abandonadas si bien han registrado, en las últimas décadas, actividades extractivas intermitentes.

Las dos canteras existentes en las inmediaciones de Lerín se emplazan sobre los Yesos de Los Arcos (Unidades Cartográficas 27 y 28). La otra cantera se encuentra sobre los Yesos de Falces (Unidad 1).

5.1.2.3. Arcillas

En los alrededores de Lerín se localiza un indicio de arcillas comunes.

Corresponde a una pequeña explotación actualmente abandonada que aportó materiales para las fábricas de ladrillos existentes en el ámbito local.

Se sitúa sobre las Arcillas de Villafranca (Unidad Cartográfica 24).

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

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

5.1.1.4. Sal común

Al Sur de Lerín se localiza una antigua explotación salinera que en la actualidad está parcialmente cubierta por una nave de reciente construcción.

Las salinas se mantuvieron activas hasta 1985 año en el se decidió su cierre definitivo.

Se aprovechaba el agua procedente de un manantial salino próximo, situado algo más al E, que drena los Yesos de Sesma.

Hay que hacer notar el evidente potencial minero de esta sustancia en las Fms. de Falces y Lerín, 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 Lerín 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.

5.1.2.5. Arenas y areniscas

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

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

En la Hoja de Lerín (205-I) no se ha inventariado ningún indicio de esta sustancia, cuya cita en el presente epígrafe se debe únicamente a su potencial minero.

5.1.1.6. Glauberita

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

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

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

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

La glauberita se presenta en capas individuales de 10 a 30 cm, que pueden estar aisladas entre sí o bien agruparse para formar capas mayores de hasta varios metros de potencia. Se emplazan facies anhidríticas laminado-nodulares. Las capas individuales de glauberita pueden ser masivas, bandeadas, nodulares o enterolíticas. Texturalmente, el tamaño de los cristales de glauberita puede variar desde grano fino (cristales de <0.5 mm de tamaño) a

grueso (cristales de hasta varios centímetros de tamaño). Forman generalmente agregados cristalinos sub-euedrales romboédricos, de tamaño relativamente uniforme, o bien con claras tendencias granocrecientes hacia los bordes de las capas. Estos agregados cristalinos suelen ser puros, pero en las capas tabulares de textura gruesa la glauberita suele estar acompañada de abundante matriz arcillosa o carbonatada. En los afloramientos, la glauberita se presenta siempre con diferentes grados de meteorización y recubierta por eflorescencias que le dan un aparente color blanco que resalta del color grisáceo del yeso encajante. En subsuelo se muestra como un material halocristalino gris, que se puede confundir fácilmente con el yeso o anhidrita, especialmente cuando su tamaño es fino. La glauberita es generalmente de origen primario, aunque también puede proceder del reemplazamiento de anhidrita durante la diagénesis temprana.

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

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

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

5.2. HIDROGEOLOGÍA

5.2.1. Descripción de las formaciones

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

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

La Fm. Falces (Unidad Cartográfica 1) afloran, dentro de la Hoja de Lerín (205-II), en el núcleo del Anticlinal de Falces.

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

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 (Barranco Salado p.e.).

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 se dispone un potente conjunto esencialmente arcilloso.

Litoestratigráficamente comprende, de muro a techo, la Fm. Marcilla y la Unidad de Peralta del Dominio norte (6 y 14).

El conjunto arcilloso se desarrolla a ambos flancos del Anticlinal de Falces con buzamientos de 25°-55°.

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

Se distinguen dos tramos principales separados por un nivel-guía yesífero (Unidad 12). El intervalo inferior corresponde a las Arcillas de se caracteriza por la práctica ausencia de

niveles de yesos. El intervalo superior está representado por la Unidad de Peralta y contiene algunas intercalaciones destacables de yesos (20).

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 (23) se desarrollan en la hoja a ambos flancos del Anticlinal de Falces.

Su potencia aumenta de N a S pasando de menos de 100 m a cerca de 200 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 consideran 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.

En el Dominio norte corresponde a la Unidad Arcillas de Villafranca (24).

La potencia media de la Unidad de Villafranca es de unos 100 m

Litológicamente predominan ampliamente las arcillas de tonos ocre y éstas contienen intercalaciones de areniscas de escasa potencia e intervalos yesíferos de diversa consideración, más importantes 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 representan el nivel evaporítico más importante de la Fm. Lerín, por su potencia y continuidad.

Aparece como un potente paquete yesífero de aspecto masivo o tableado que alcanza una potencia de unos 200 m.

En la presente Hoja ocupa el centro del Sinclinal de Peralta y forma un cantil continuo en el flanco septentrional del Anticlinal de Falces.

En profundidad contiene niveles de halita en proporciones destacadas, que alternan de forma más menos rítmica con anhidritas, dolomías y lutitas.

Constituye una formación salina de muy baja permeabilidad, ($<10^{-8}$ m/s). Localmente registra cierta circulación de agua por karstificación de los yesos lo que puede dar lugar a manantiales salinos.

5.2.1.6. Margas, yesos, areniscas y dolomías. Mioceno inferior

A Techo de los Yesos de Los Arcos se desarrolla un potente conjunto lutítico-yesífero (28) que constituye el techo de la Fm. Lerín.

En la Hoja se desarrolla al N del Anticlinal de Falces donde alcanza una potencia superior a los 250 m y el techo está definido por el contacto discordante con la Fm Tudela (31).

Litológicamente está constituido por una alternancia entre yesos y margas dolomíticas grises con intercalaciones menores de areniscas grises y dolomías.

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

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

La parte superior de la serie terciaria de la Hoja está representada por arcillas rojizas que intercalan areniscas y calizas en bajas proporciones (31) salvo a techo donde aumenta la proporción en facies carbonatadas (32).

El conjunto recibe la denominación litoestratigráfica de Fm. Tudela.

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

Su presencia en la Hoja se circunscribe a la esquina NE donde forma parte del Sinclinal de Miranda de Arga registrando buzamientos medios y moderados.

Presenta una gran potencia en la Hoja alcanzando valores próximos a los 600 m.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Corresponden principalmente a depósitos de ladera, conos aluviales, y glaciares

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

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

5.2.2. Unidades acuíferas.

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

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

Por orden cronoestratigráfico son:

- Unidad Hidrogeológica Sur

- Unidad Hidrogeológica del Aluvial del Ebro y Afluentes

5.2.2.1. Unidad Hidrogeológica Sur

Geometría.

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

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

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

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

Las principales unidades evaporíticas pueden presentar potencias de hasta cerca de 1000 m (Fm. Falces) aunque normalmente forman en superficie intervalos yesíferos muy expansivos de unos 50 a 300 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.

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

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

Parámetros hidráulicos:

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

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

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

5.2.2.2. Unidad Hidrogeológica del Aluvial del Ebro y Afluentes

Geometría

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

Se extiende desde Logroño hasta Cortes y ocupa una superficie de unos 900 km², de los que 735 km² pertenecen a Navarra.

En el valle del Ebro la Unidad posee una anchura de unos 4-6 km, por término medio, mientras que en el Ega es de unos 2-2,5 km.

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

La potencia de los niveles acuíferos es bastante uniforme en el Ebro, con valores medios de unos 20 m. En el Ega presentan una distribución más irregular, registrando espesores medios menores, si bien se alcanzan hasta más de 30 m sobre sustratos yesíferos debido a fenómenos de disolución y colapso de las evaporitas.

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

Funcionamiento hidrogeológico.

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

La recarga se realiza esencialmente por infiltración del agua de lluvia (estimada para la Unidad en unos 45 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 Ebro unos valores de transmisividad comprendidos entre 10.000 y 200 m²/día, siendo muy frecuentes los registros de 1000-2000 m²/día, mientras que para el Ega se cifra en unos 50-500 m²/día. La porosidad eficaz es de un 10-30 %.

Las reservas evaluadas para los acuíferos aluviales del Ebro y del Ega, 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 EBRO Y EGA

Acuífero	Superficie(km²)	Espesor saturado medio (m)	Porosidad %	Reservas (hm³)
<i>Ebro</i>	530 (370*)	16	10	848 (592*)
<i>Ega</i>	50	7	10	35

(* : Superficie comprendida dentro del territorio navarro)

Las aguas del acuífero del Ebro muestran una calidad química variable, aunque en la zona son aguas duras, bastante mineralizadas, bicarbonatadas y sulfatadas cálcicas. En el Ega se trata de aguas muy duras y mineralizadas, generalmente sulfatadas cálcicas.

5.3. GEOTECNIA

5.3.1. Introducción

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

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

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

5.3.2. Metodología

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

- Recopilación de los datos existentes. En todo el ámbito de esta Hoja no hay datos geotécnicos disponibles procedentes de obras u otro tipo de trabajos. Para solventar esta deficiencia, la información se completa con la procedente de unidades equivalentes en Hojas próximas
- Realización de la base de datos. Ante la ausencia de datos no se ha elaborado ficha geotécnica de recopilación de ensayos de laboratorio. Estos ensayos tratan de establecer, de la manera más adecuada la posible la naturaleza actual de la roca, su comportamiento mecánico y/o hidráulico y, la evolución y propiedades de la misma bajo los procesos de meteorización. Cuando existen, los ensayos de laboratorio se puede clasificar en los siguientes grupos:
 - . Identificación; establecen la naturaleza de la roca y su estado natural aparente (granulometría, límites de Atterberg, densidad y humedad, absorción, grado de meteorización).

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

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

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

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

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

5.3.3. Zonificación geotécnica

5.3.3.1. Criterios de división

La superficie de la Hoja 1:50.000 de Lodosa (205) se ha dividido, en función de la intensidad del plegamiento y de la edad de los materiales, en tres Áreas que presentan una entidad propia y cierta homogeneidad. Posteriormente, estas áreas han sido divididas a su vez en un total de diez Zonas, siguiendo criterios básicamente litológicos y morfológicos, ya que son estos los que permiten diferenciar desde un punto de vista geotécnico los materiales de cada área.

5.3.3.2 División en Áreas y Zonas Geotécnicas

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

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

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

ÁREA III: Agrupa todos los depósitos cuaternarios

Estas áreas se han dividido en las siguientes zonas:

ÁREA I: ZONAS I₁, I₂, I₃ y I₄

ÁREA II: ZONA II₁

ÁREA III: ZONA III₁, III₂, III₃, III₄.

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 Lerín (205-II)

UNIDAD CARTOGRÁFICA	ZONACIÓN GEOTÉCNICA	DESCRIPCIÓN
52	III ₃	Lutitas grises y limos
49, 51	III ₂	Grandes bloques, arcillas y limos a veces con cantos
37 a 39, 41, 43, 45 a 48	III ₁	Gravas y arenas, arenas con cantos, lutitas y limos ocres
31, 32	II ₁	Arcillas rojas con intercalaciones de areniscas y calizas
6, 9 a 11, 14, 16, 17, 21, 24 a 26	I ₄	Lutitas rojas. Areniscas, calizas, dolomías, margas y yesos
13	I ₃	Areniscas, calizas tableadas, margas y yesos
4	I ₂	Margas, yesos, areniscas y calizas
1, 12, 19, 20, 23, 27, 28	I ₁	Yesos con intercalaciones de margas

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

5.3.4. Características geotécnicas

5.3.4.1. Introducción

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Análisis químico. Sirven para obtener el contenido en Materia Orgánica, Carbonatos y Sulfatos. Estos últimos permiten determinar la agresividad del terreno mediante el contenido en sulfatos, valorado según la normativa que se expone a continuación:

<i>En las aguas</i>	<i>En el terreno</i>	<i>Agresividad</i>
< 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.

<i>Descripción de la roca</i>	<i>Kp/cm²</i>
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 asentamientos diferenciales, presencia de agua subterránea, presencia de sulfatos en el sustrato, debido a la alta reactividad de los mismos con el hormigón, y riesgos de colapsos en aquellas unidades con presencia potencial de cavidades subterráneas.

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

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

- Empujes sobre contenciones. Hacen referencia a contenciones del terreno natural, no de rellenos realizados con los materiales de cada zona.

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

- Aptitud para explanada en carreteras. Se evalúa la capacidad de soporte de los materiales para constituir una explanada, es decir, la resistencia que ofrecen a la deformación bajo cargas.

Se ha tomado como referencia la Instrucción de Carreteras, Normas de Firmes Flexibles y Firmes Rígidos. Se entiende por suelo No Apto, aquel que no puede constituir un desmonte ni un terraplén explanada tipo E-1 (Suelos tolerables al menos estabilizado en sus 15 cm

superiores, con CBR de 5 a 10). Marginales son aquellos que cumplen a veces dicha condición; en especial suele referirse a terrenos tolerables, que no conviene que sean explanada directamente (CBR de 10 a 20). Aptos, son terrenos frecuentemente adecuados y seleccionados; constituyen explanadas tipo E-3 (CBR > 20).

En terraplenes y pedraplenes, la categoría de la explanada dependerá del material utilizado en su coronación.

En obras subterráneas. Se utiliza el término "Muy Difícil" para suelos muy blandos por debajo del nivel freático o suelos potencialmente expansivos; "Difícil" designa terrenos blandos o arenosos limpios bajo el nivel freático; y "Medio", suelos firmes, casi rocas blandas, que sólo a veces presentan problemas de nivel freático, con cierta capacidad de 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 que, en términos generales, coinciden con resaltes morfológicos. Son yesos masivos o alternantes con margas que se disponen en niveles de entidad cartográfica aflorantes en los flancos de las estructuras o en grandes extensiones que ocupan sus núcleos. Estos materiales son mayoritarios en el núcleo del anticlinal de Falces y en el del sinclinal de Peralta.

En los yesos la meteorización produce una carstificación por disolución que suele ser somera aunque en paquetes masivos y de cierto espesor puede ser algo penetrativa. Sin embargo, en las intercalaciones margosas se producen cambios de color y pérdida del cemento calcáreo que disminuyen su compacidad natural, y aumentan su erosionabilidad. El tránsito entre roca sana y alterada es transicional.

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

No se dispone de ensayos de laboratorio:

Las características fundamentales de los materiales que constituyen esta zona son las siguientes: a) es una alternancia de materiales de diferente litología (y por tanto, diferente comportamiento mecánico) en estratos y capas de espesor variable, factores estos que condicionan decisivamente el comportamiento geomecánico del conjunto; b) la constante presencia de yesos presupone un alto contenido en sulfatos tanto en los suelos como, eventualmente, en las aguas que los drenan y por tanto es de esperar una fuerte agresividad a hormigones.

Características constructivas

a. Condiciones de cimentación.

La Norma DIN 1054 y el Código Británico establecen presiones admisibles del orden 10-20 kp/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 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 asentos diferenciales y fenómenos de punzonamiento debido a la intercalación de niveles margosos blandos entre los paquetes de yesos.

b. Condiciones para obras de tierra.

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

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

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

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

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

Obras subterráneas. Se encuadran entre la Clase III (Calidad Media) y Clase IV (Calidad Mala) de la Clasificación de Bieniawski (1979), jugando un papel importante la orientación de la estratificación y el grado de diaclasado. Se destaca de nuevo la prevención respecto a la utilización de hormigones por el alto contenido en sulfatos

Zona I₂

Características Geológico-Geotécnicas

Esta zona agrupa una serie de unidades cartográficas con escasa representatividad puesto que forman niveles de poco espesor y continuidad dispuestos generalmente a techo de los yesos de Falces. En la Hoja de Lerín la zona está representada exclusivamente por la unidad cartográfica N° 4

Se trata de materiales esencialmente arcillosos y margosos que intercalan delgados niveles de yesos, calizas y areniscas. El afloramiento más importante se reconoce a techo de los yesos de Falces en el anticlinal con este mismo nombre

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

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

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

No se dispone de ensayos de laboratorio.

Características constructivas:

a. Condiciones de cimentación

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

b. Condiciones para obras de tierra.

Excavabilidad. Son materiales fácilmente excavables

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

Empuje sobre contenciones. Bajos en margas, moderados en arcillas

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

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

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

Zona I₃

Características Geológico-Geotécnicas

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

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

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

No se dispone de ensayos de Laboratorio:

Características constructivas

a. Condiciones de cimentación.

La Norma DIN 1054 y el Código Británico establecen presiones admisibles entre 20 y 40 kp/cm^2 , valores estos que deben reducirse a la mitad cuando el espesor de los tramos lutíticos aumenta o la disposición de la estratificación y grado de diaclasado son desfavorables.

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

b. Condiciones para obras de tierra.

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

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

Empuje sobre contenciones. Nulos

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

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

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

Zona I₄

Características Geológico-Geotécnicas

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

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

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

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

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

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

Características constructivas:

a. Condiciones de cimentación

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

Entre los problemas de cimentación pueden preverse los siguientes: a) variación del horizonte alterado, que puede provocar asentamientos diferenciales; b) intercalaciones de materiales detríticos y calcáreos, que producen variaciones en las condiciones geotécnicas, entre ellas la facilidad de excavación, y c) presencia ocasional de sulfatos que obliga a la utilización de hormigones especiales.

b. Condiciones para obras de tierra.

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

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

Empuje sobre contenciones. Bajos en margas, moderados en arcillas

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

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

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

5.3.4.3. Área II

Zona II₁

Características Geológico-Geotécnicas

Esta zona es, desde el punto de vista geotécnico, muy similar a la anterior y, si cabe, aún menos competente puesto que las intercalaciones de niveles duros (calizas y areniscas) son más esporádicas y raramente superan los 10 cm. También se diferencia de la zona anterior por la actitud subhorizontal o ligeramente monoclinas de sus materiales, por la ausencia de yesos y por la eventual presencia de niveles lignitíferos, y por tanto con un alto contenido en materia orgánica, alternantes con los tramos calcáreos que existen a techo de la serie.

Esta zona se distribuye en un amplio afloramiento al NE del anticlinal de Falces.

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

La permeabilidad es muy baja para toda la zona.

El contenido en yesos es muy bajo o inexistente. El contenido en materia orgánica puede ser elevado en los tramos calcáreos de techo de la serie donde hay intercalaciones de lignitos

No se dispone de ensayos de laboratorio.

Características constructivas:

a. Condiciones de cimentación

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

Entre los problemas de cimentación pueden preverse los siguientes: a) variación del horizonte alterado, que puede provocar asentamientos diferenciales; b) intercalaciones de materiales detríticos y

calcáreos, que producen variaciones en las condiciones geotécnicas, entre ellas la facilidad de excavación, y c) presencia ocasional de materia orgánica

Condiciones para obras de tierra.

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

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

Empuje sobre contenciones. Moderados en arcillas

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

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

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

5.3.4.4. Área III

Zona III₁

Características Geológico-Geotécnicas

Constituyen los depósitos fluviales y aluviales de los principales valles y barrancos, y depósitos poligénicos, representados por conos de deyección, depósitos de fondo de valle, cauces abandonados y activos, terrazas y glacis. Están formados por gravas y cantos de naturaleza calcárea y cuarcítica, arenas, limos y arcillas. Su proporción y distribución son muy variables, aumentando la proporción de finos en los depósitos poligénicos y en los de fondo de valle mientras que en las terrazas dominan las gravas. Estas últimas ocupan una extensión importante con relación al cauce del río Ega La naturaleza de la fracción gruesa depende del área de procedencia.

Características geotécnicas

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

Cuadro Resumen de Características Geotécnicas

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

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

Características constructivas

a) Condiciones de cimentación.

Para el conjunto de los materiales que definen la Zona, se estima una capacidad portante variable entre 1 y 3,5 Kp/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 de intercalaciones de arcillas blandas puede provocar asentamientos diferenciales no admisibles.

b. Condiciones para obras de tierra.

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

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

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

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

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

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

Zona III₂

Características Geológico-Geotécnicas

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

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

Características geotécnicas

Se trata de depósitos escasamente consolidados, donde los problemas geotécnicos están condicionados con la disposición geomorfológica y estratigráfica de los materiales. Tampoco se dispone de ensayos geotécnicos, pero, dada la homogeneidad de estos materiales, se pueden extrapolar para esta zona los parámetros geotécnicos obtenidos en unidades equivalentes de Hojas próximas. En esta ocasión se dispone de ensayos geotécnicos procedentes de catas realizadas en depósitos coluvionares de la Hoja de Sangüesa (174). A continuación se describen los valores más significativos.

Cuadro Resumen de Características Geotécnicas

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

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

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

Características constructivas

a) Condiciones de cimentación.

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

b. Condiciones para obras de tierra.

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

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

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

Aptitud para préstamos. Previa eliminación de la cubierta vegetal, constituyen suelos Marginales, o incluso Adecuados.

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

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

Zona III₃

Características Geológico-Geotécnicas

Esta zona está definida por depósitos de naturaleza limo-arcillosa con contenidos variables de materia orgánica. Se localizan principalmente en zonas deprimidas de drenaje deficiente correspondientes a antiguas lagunas. Presentan una potencia variable, que generalmente no es superior a los 5 m.

Desde el punto de vista hidrogeológico presentan una permeabilidad baja a muy baja, debido a su carácter predominantemente arcilloso. Se trata de depósitos arcillosos de extensión reducida y 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 en este tipo de arcillas son del orden de 2,5 - 3 kp/cm², esperándose asientos en torno a 4 cm.

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

b. Condiciones para obras de tierra

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

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

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

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

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

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

6. BIBLIOGRAFÍA

ATARES, A.; ORTEGA, A. y PÉREZ, F. (1983): Fallas cuaternarias en las proximidades de Alcanadre y en la Rioja Baja. Cuad. Inv. Geogr., 9, 29-39. Logroño.

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

ALVAREZ, M.A.; DAAMS, R.; LACOMBA, J.I.; LOPEZ, N. y SACRISTAN, N.A. (1987). Succession of micromammal faunas in the Oligocene of Spain. Munchen Geowiss, Abh (A), 10, pp 43-48.

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

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

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

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

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

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

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

FACI, E.; CASTIELLA, J.; DEL VALLE, J.; GARCIA, A.; DIAZ, A.; SALVANY, J.M.; CABRA, P.; RAMIREZ, J. y MELENDEZ, A. (1997). Memoria y Mapa Geológico de Navarra, 1:200.000, Publ. Gobierno de Navarra. 142 pp.

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

GOBIERNO DE NAVARRA (1998): Mapa Geológico de Navarra a E. 1:25.000, Viana (171-III). Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.

GOBIERNO DE NAVARRA (1998): Mapa Geológico de Navarra a E. 1:25.000, Los Arcos (171-IV). Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.

GOBIERNO DE NAVARRA (1998): Mapa Geomorfológico de Navarra a E. 1:25.000, Viana (171-III). Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.

GOBIERNO DE NAVARRA (1998): Mapa Geomorfológico de Navarra a E. 1:25.000, Los Arcos (171-IV). Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.

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

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

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

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

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

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

IGME (CASTIELLA, J.)(1975): Mapa Geológico de España a E. 1:50.000, 2ª serie, 1ª edición, Logroño (204).

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

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

IGME (OLIVÉ, A.; RAMÍREZ, J.I.; CARBAYO, A.; CASTIELLA, J. y SOLÉ, J.)(1987): Mapa Geológico de España a E. 1:50.000, 2ª serie, 1ª edición, Viana (171).

IGME (HERNÁNDEZ, A.; RAMÍREZ DEL POZO, J.; CARBAYO, A.; CASTIELLA, J. y SOLÉ, J.)(1987): Mapa Geológico de España a E. 1:50.000, 2ª serie, 1ª edición, Allo (172).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

RIBA, O. y BOMER, B. (1957): Les terrasses et glacis du Bassin de l'Ebre dans la Ribera de Navarre et la Baja Rioja. Livret-guide de l'excursion n° 3: Villafranchien de Villarroya. V congr. Int. INQUA, 7-10. Madrid-Barcelona.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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