

La presente Hoja y Memoria (205-I), 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 Lodosa (205-I), incluida en la que a escala 1:50.000 recibe el mismo nombre, se localiza en la parte suroccidental de la Comunidad Foral. Forma parte de la denominada Ribera Navarra, región que se extiende a lo largo de la margen izquierda del Ebro en el límite con la Comunidad de La Rioja.

La Ribera Navarra constituye fisiográficamente una zona deprimida, en consecuencia con su posición axial en el valle del Ebro. A su paso por la localidad de Lodosa el río Ebro se encuentra a una cota de unos 300 m. Hacia el N de la Hoja se desarrollan algunas elevaciones de altitud próxima a los 500 m que dan paso a la Navarra Media

Lodosa y Sesma concentran la práctica totalidad de la población existente en la Hoja. El resto del territorio está muy despoblado, a excepción de la vega del Ebro 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 vías de comunicación más importantes parten radialmente de Lodosa, articulándose a partir de las carreteras autonómicas, NA-134 que se dirige hacia el ONO y ESE a Mendavia y Cárcar respectivamente, y NA-129, que une Lodosa y Sesma continuando en dirección NO hacia Los Arcos.

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

Hacia el SO se extiende la vega del Ebro, correspondiendo a una zona baja ocupada por distintos niveles de terrazas bajas y medias. Al Sur de Sesma, en el centro del sinclinal de Peralta, se desarrolla un área endorreica a la que converge radialmente un sistema de conos aluviales coalescentes.

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 Lodosa 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, más apretados cuanto más al S, cuyos ejes se disponen en dirección ONO-ESE. De Norte a Sur son. Anticlinal de Falces, Sinclinal de Peralta, Anticlinal de Cárcar, Sinclinal de Lodosa y

Anticlinal de Imaz, que se encuentra más norteado y constituye probablemente la prolongación hacia el N del Anticlinal de Alcanadre.

Estratigráficamente se distinguen dos dominios al NE y SO de la Hoja, estableciéndose el límite entre ambos en el eje del Sinclinal de Peralta (Cuadro 1.1).

En el Dominio Septentrional se describen clásicamente (RIBA, 1964 y CASTIELLA et al, 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).

En el Dominio Meridional la terminología previa es bastante más confusa y la correlación con las unidades del Septentrional presenta importantes imprecisiones. Fundamentalmente se ha empleado la litoestratigrafía indicada en SALVANY (1989), adaptada a los nuevos datos generados a partir del presente estudio. De muro a techo comprende las siguientes Unidades: **Yesos de Falces**, cuyo techo alcanza probablemente una situación estratigráfica más alta que su análogo en el Dominio norte, **Arcillas de Mendavia** que equivale posiblemente a la mitad superior de la Fm. Marcilla, **Yesos, Arcillas y Areniscas de Alcanadre**, nivel correlacionable con la base de la Unidad de Peralta, **Arcillas de Sartaguda** que presenta una correspondencia bastante razonable con la parte inferior a media de la Unidad de Peralta, **Yesos de Cárcar** que junto con la Unidad **Arcillas y Yesos de Lodosa** equivalen al resto de la Unidad de Peralta, **Yesos de Sesma**, y **Facies de Allo**, que en la Hoja separa, de forma semejante a la Unidad Arcillas de Villafranca del Dominio norte, a la anterior unidad evaporítica de los **Yesos de Los Arcos**.

DOMINIO SEPTENTRIONAL		DOMINIO MERIDIONAL	EDAD
FM. TUDELA		FM. ALFARO	ORLEANIENSE
			AGENIENSE
F M · L E R I 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).

#### 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).

El principal afloramiento de esta unidad en la Hoja de Lodosa (205-I) se encuentra en su extremo oriental, conformando el núcleo del anticlinal de Falces, donde constituye los

términos más antiguos de la sucesión terciaria aflorante del Dominio Septentrional. 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), no aflorante en la Hoja a escala 1.25.000 de Lodosa (205-I).

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.

En el núcleo del Anticlinal de Imaz, que se desarrolla en el extremo suroccidental de la Hoja, se reconoce un afloramiento de yesos bastante masivos que han sido asimilados, por su posición estratigráfica, a la Fm. Falces. No obstante hay que indicar, dada la evidente desconexión cartográfica, que no se dispone de información de subsuelo que permita asegurar su correlación con los yesos aflorantes en el núcleo del Anticlinal de Falces. Por



otra parte y de acuerdo con los cortes geológicos realizados se estima que el techo de la Fm. Falces alcanza una posición estratigráfica posiblemente más alta hacia el Sur (Dominio Meridional).

En este afloramiento la potencia observable de la Fm. Falces es de unos 50 m. Litológicamente corresponde a un conjunto muy deformado de yesos con escasas intercalaciones de margas dolomíticas grises y dolomías carniólicas. Los yesos muestran un aspecto sacaroideo, normalmente se encuentran muy recrystalizados, se registra un marcado predominio de la litofacies laminada frente a la nodular y está generalizado el desarrollo de pliegues fluidales. La presencia de sal en el subsuelo, a pocos metros de la superficie, es evidente debido a la salinización natural de las aguas del arroyo que disecta el afloramiento de yesos (Barranco Salado).

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 edad de la Fm. Falces debe establecerse, debido a su carácter azoico, 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 Yesos y arcillas rojas (5). Ageniense inferior.**

Se reconoce exclusivamente en el extremo SO de la Hoja, (afloramiento del Barranco Salado), en el núcleo del Anticlinal de Imaz, donde supera los 30 m de potencia.

Litológicamente constituye una alternancia cíclica, de frecuencia métrica, entre arcillas rojas y yesos. Los intervalos arcillosos son de carácter homogéneo e incluyen algunos nódulos de yeso diseminados. En los tramos de yesos predomina la litofacies nodular, especialmente a muro de los niveles, registrándose un progresivo incremento hacia techo de los términos laminados.

La Unidad presenta en afloramiento unos contactos bastante netos con las unidades adyacentes a muro y techo, si bien a escala del todo el Dominio Meridional se considera como un tramo de tránsito entre la Fm. Falces y las Arcillas de Mendavia.

Se enmarca ambientalmente en un contacto de tránsito entre las zonas más distales de sistemas aluviales de procedencia meridional y un área lacustre hipersalina estable. Esta situación dio lugar a llanuras fangosas evaporíticas de tipo *playa-lake* sujetas a expansiones intermitentes hacia el Sur del sistema lacustre salino.

Se atribuye, de acuerdo con la posición estratigráfica, 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 20-25° al N y de 40-50° al S.

Su contacto basal se encuentra cubierto por depósitos cuaternarios, y probablemente está algo mecanizado en el flanco meridional.

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

Su potencia en la Hoja está comprendida entre unos 200 y 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 ocre y grises, que se interpretan como depósitos de *sheet-flood* aportados en avenidas periódicas a partir de flujos laminares. Presentan gradación positiva, con variaciones de tamaño de grano medio-fino a muy fino. Las estructuras tractivas 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-grueso a fino-muy fino. Destacan por presentar superficies marcadas de progradación lateral con láminas cruzadas y *ripples* desarrollados en sentido contrapuesto o perpendicular al de la acreción. En la base de los niveles pueden observarse depósitos de carga residual formados por cantos blandos, y son relativamente frecuentes los fenómenos de deformación

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: *Rabdochara cf. stockmansi*, *Harrisichara cf. tuberculata*, y del ostrácodo *Darwinula 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 Arcillas rojas y areniscas (7). Arcillas de Mendavia. Ageniense inferior.**

La presente unidad se encuentra en el Dominio Meridional donde constituye una serie arcillosa de tonos rojos vivos, de potencia inferior a 100 m, desarrollada inmediatamente a muro del Nivel de Alcanadre (Yesos, Arcillas y Areniscas de Alcanadre, Unidades 12 y 13).

Ha sido definida litoestratigráficamente por SALVANY (1989) como Unidad Arcillas y Yesos de Mendavia, con serie-tipo en el núcleo del anticlinal de Sartaguda, si bien este autor agrupa bajo el mismo término también el intervalo arcillosos-yesífero (5), de tránsito con la Fm. Falces.

En la Hoja de Lodosa (205-I), aflora en los núcleos de los anticlinales de Cárcar e Imaz. En este último muestra un contacto muy neto con la unidad infrayacente (5), a la que se superpone mediante una relación de *on-lap* poco apreciable.

Litológicamente la unidad está representada por arcillas rojas con intercalaciones de areniscas rojizas. Las arcillas constituyen con mucho la litología predominante y forman intervalos homogéneos de espesor métrico a decamétrico que en raras ocasiones contienen horizontes poco importantes con nódulos de yesos dispersos.

Las areniscas aparecen en capas tabulares de potencia centi-decimétrica aunque excepcionalmente pueden llegar a superar 1 m de espesor. Exhiben abundantes estructuras sedimentarias, *lag* de cantos blandos, huellas de base, laminación paralela, estratificación cruzada de mediana escala, *ripples* de corriente, de tipo *climbing* y de oscilación, colapsos, convoluciones, escapes de fluidos, huellas de desecación, *burrows* de escape y otras pistas.

La unidad se enmarca en un medio de frente aluvial muy distal que recibe aportes clásticos de procedencia meridional mediante flujos arenosos laminares movilizados en avenidas periódicas.

Se correlaciona, por lo menos en parte, con la Fm. Marcilla, del Dominio norte. La reducción de potencias de N a S puede deberse al carácter heterócrono del techo de la Fm. Falces, presuntamente más moderno cuanto más al S o bien a diferencias de subsidencia en la cuenca.

Por otra parte hay que hacer notar la expansión simultánea de los sistemas aluviales procedentes de los márgenes septentrional (Fm. Marcilla) y meridional (Arcillas de

Mendavia) de la cuenca Navarro-Riojana lo que implica una severa retracción del área lacustre evaporítica central.

Se han hallado restos de ostrácodos asimilables a *Limnocythere sp* y *Eocytheropteron sp.*, y de las caráceas *Rabdochara cf. stockmansi*, *Harrisichara cf. tuberculata* y *Chara sp. 11*, que indican una situación próxima a la base del Mioceno (IGME, 1977). Se precisa una edad de Ageniense inferior por correlación con otras formaciones.

#### **1.1.5. Yesos (12), Areniscas y calizas tableadas, margas y yesos (13). Nivel de Alcanadre. Ageniense.**

Ha sido definido en el Dominio Meridional por SALVANY (1989) como un tramo heterolítico de tonos grises que separa las unidades terrígenas arcillosas, de marcado color rojizo, de Mendavia y Sartaguda, desarrolladas a muro y a techo respectivamente.

Se ha correlacionado en el Dominio Septentrional con el nivel yesífero de base de la Unidad de Peralta, equivalencia basada en su posición estratigráfica y otras analogías (gran continuidad, litología, contenido paleontológico), puesto que no existe conexión cartográfica de un flanco a otro del Sinclinal de Sesma.

En la cartografía geológica se han distinguido dos unidades (12 y 13) que presentan entre sí marcadas diferencias litológicas.

La Unidad 12 está representada esencialmente por yesos.

En la Hoja de Lodosa (205-I) aflora exclusivamente en el Dominio Septentrional donde constituye un excelente nivel-guía fotogeológico que marca perfectamente la estructura del Anticlinal de Falces. La gran continuidad cartográfica contrasta con su reducida potencia, que se cifra en unos 20 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.

Los Yesos de Alcanadre constituyen 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.

La Unidad 13 es característica de la parte occidental del Dominio sur de la Hoja a escala 1: 50.000 de Lodosa.

Constituye un tramo de carácter heterolítico que destaca por su relativa competencia y por sus colores grisáceos entre las unidades rojizas arcillosas adyacentes registrando una potencia media de unos 50 m.

Los yesos se concentran en la parte inferior de la Unidad donde aparecen en litofacies predominantemente nodular entre arcillas rojizas y grises.

Al término yesífero basal se superpone una serie rítmica de areniscas y/o calizas detríticas en alternancia con arcillas margosas grises o formando tramos tableados, que puede intercalar algún horizonte yesífero nodular o de yesoarenitas. Las capas de areniscas y calizas presentan una marcada morfología tabular y su potencia es de orden centí-decimétrico. Petrográficamente pueden describirse de forma conjunta puesto que el contenido en carbonato es en todos los casos elevado, acompañando a la fracción clástica terrígena abundantes granos carbonatados (fósiles, peloides, intraclastos) inmersos en una matriz micrítica con desarrollo variable en cemento esparítico (SALVANY, 1989). Las estructuras sedimentarias son muy abundantes y reflejan la afinidad turbidítica de estos depósitos: granoclasificación positiva, base neta con huellas tractivas, laminación paralela, convoluciones, escapes de fluidos y *ripples*, ya sean de oscilación, con relaciones de interferencia, o de corriente, predominando los de tipo *climbing*. También se han reconocido estructuras de origen biológico, pistas de invertebrados, *burrows* de escape e icnitas (pisadas de aves y posibles huellas de plantígrados).

La Unidad 13 se enmarca en un contexto lacustre salino en el que la sedimentación evaporítica se encuentra inhibida por aportes terrígenos episódicos que alcanzan la zona subacuática estable.

En IGME (1977) se cita la presencia de *Limnocythere* sp., *Rabdochara* cf. *stockmansi* y *Harrisichara* cf. *tuberculata*, que constituye una asociación semejante a la descrita en la zona para las Unidades de Marcilla (6) y Mendavia (7). La edad, establecida en el Ageniense, se basa en la posición estratigráfica del Nivel.

#### **1.1.6 Arcillas ocreas, areniscas, calizas, dolomías y yesos (14). Arcillas y yesos de Peralta. Intercalaciones de calizas micríticas (16) y areniscas (17). Ageniense**

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

Su base se delimita con claridad merced al nivel yesífero al que se ha hecho referencia anteriormente (Unidad 12, Nivel de Alcanadre) mientras que a techo se dispone un paquete yesífero de gran potencia y extensión, correspondiente a los Yesos de Sesma.

En la Hoja de Lodosa su representación se restringe al extremo NE, desarrollándose a ambos flancos del Anticlinal de Falces, donde registra una potencia comprendida entre 150 y 300 m.

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

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

Las lutitas representan el término litológico predominante y se disponen en intervalos homogéneos de espesor métrico-decamétrico. Presentan un aspecto semejante a los depósitos lutíticos de la Fm. Marcilla si bien se registra un mayor contenido en yesos y en arcillas margosas yesíferas, que destacan en el terreno por su tonalidad más clara. Los horizontes de arcillas rojizas son más abundantes hacia techo de la Unidad, si bien parecen relacionarse con cuñas terrígenas de procedencia meridional.



Los yesos constituyen las principales intercalaciones, especialmente en la parte media y superior de la Unidad 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.

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 ocre y grises, de potencia centí-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, sin representación cartográfica en la Hoja a escala 1:25.000 de Lodosa (205-I) son los niveles de dolomías. Forman capas de potencia centí-decimétrica y corresponden a dolmicritas laminadas bastante arcillosas con frecuentes moldes de cristales de evaporitas, hasta el punto de adoptar en ocasiones un aspecto carniolar.

La Unidad de Peralta se caracteriza paleogeográficamente por la confluencia de los sistemas aluviales de procedencia pirenaica a márgenes lacustres salinos sulfatados, siendo alternante el predominio de ambos subambientes. La gran proporción en términos lutíticos

evidencia el predominio de los medios de frente aluvial muy distal y llanura fangosa perilacustre, con desarrollo estacional de depósitos de charcas carbonatadas.

El contenido paleontológico se concentra en los niveles de calizas micríticas y margas adyacentes, donde se han determinado (IGME, 1977) los ostrácodos *Candona sp.*, *Eocyropteron sp.*, *Limnocythere sp.*, *Ostrácodo sp. G*, y las caráceas *Tectochara cf. meriani*, *Gyrogona cf. medicaginula*, *Rhabdochara cf. major*, y *Chara sp. 11*, constituyendo una asociación próxima a la base del Mioceno. Por correlación con las formaciones de la Rioja Baja, ricas en yacimientos de vertebrados, se precisa una edad de Ageniense (Zonas MN1 y MN2).

#### **1.1.7. Arcillas rojas, areniscas y calizas micríticas (15). Arcillas de Sartaguda. Ageniense.**

La Unidad Arcillas de Sartaguda ha sido definida por SALVANY (1989) como un tramo terrígeno rojizo característico en el Dominio Meridional, que se sitúa por encima del Nivel de Alcanadre y que incluye algunas intercalaciones destacables de yesos.

Se adopta en la presente informe la misma denominación para todos los intervalos terrígenos rojizos existentes en el Dominio meridional que se relacionan lateralmente con los Yesos de Cárcar (20). Su techo está definido por el principal paquete de los Yesos de Cárcar.

En La Hoja a escala 1.25.000 de Lodosa (205-I) sus afloramientos se extienden ampliamente alrededor de los anticlinales de Cárcar e Imaz donde se intercala un nivel bastante persistente de yesos. Se distinguen por lo tanto dos intervalos principales, el basal, que se superpone al Nivel de Alcanadre y puede superar los 125 m de potencia, y el superior que incorpora una mayor proporción de facies lacustres y registra una potencia inferior a 100 m.

Hacia el Norte se correlaciona, por lo menos en parte, con la Unidad de Peralta.

Litológicamente constituye un conjunto arcilloso rojizo con intercalaciones de areniscas, calizas micríticas y yesos.

Los términos arcillosos se disponen en intervalos de potencia decimétrica a métrica, eventualmente decamétrica, de aspecto homogéneo. En situación próxima a niveles yesíferos pasan vertical y lateralmente a margas dolomíticas arcillosas, más o menos yesíferas y pueden incluir nódulos dispersos de yesos alabastrinos.

Los yesos constituyen las únicas intercalaciones que alcanzan expresión cartográfica (20) por lo que se describen en el epígrafe 1.2.9.

Las areniscas presentan unas características semejantes a las descritas para la Unidad Arcillas de Mendavia (7), de modo que predominan los niveles de morfología tabular asimilables a depósitos de tipo *sheet flood*. Su potencia es de orden centi-decimétrico, y presentan abundantes estructuras sedimentarias: huellas de base, tractivas y de colapso, laminación paralela, estratificación cruzada de mediana escala, *climbing ripples* y *ripples* de oscilación, *convolute lamination*, huellas de desecación, fluidificaciones y pistas de invertebrados. Los cuerpos canalizados se reconocen localmente por su potencia inusual (hasta más de 3 m). Exhiben superficies muy marcadas de acreción lateral y otras estructuras menores propias de barras de meandro.

Las calizas aparecen con frecuencia como capas tabulares de potencia centi-decimétrica que adquieren un tono gris bastante oscuro debido a su alto contenido en materia orgánica. Corresponden a *wackestones* micríticos, más o menos arcillosos, con abundantes granos terrígenos, hasta punto de registrar contenidos próximos a la clasificación de areniscas. El resto de aloquímicos corresponde a fósiles (ostrácodos, caráceas y fragmentos de gasterópodos), intraclastos y peloides. Las estructuras sedimentarias observadas consisten en laminación paralela y *ripples* de oscilación, y la bioturbación es en ocasiones bastante intensa. Representan depósitos típicamente palustres propios de charcas carbonatadas.

La Unidad de Sartaguda se enmarca en un medio de frente aluvial muy distal ligado a sistemas de procedencia meridional con frecuentes episodios lacustres y palustres de distinta salinidad como consecuencia de posición perilacustre.

En IGME (1977) se cita la presencia de los ostrácodos *Candona sp.*, *Eocyropteron sp.*, *Limnocythere sp.*, *Ostrácodo sp. G*, y de las caráceas *Harrisichara cf. tuberculata*, *Tectochara cf. meriani*, y *Chara sp. 11*, que representan una asociación próxima a la base del Mioceno. La edad se establece, por correlación con otras formaciones, en el Ageniense.

#### **1.1.8. Margas y yesos (19). Ageniense**

Esta Unidad integra los intervalos margoso-yesíferos relacionados con los Yesos de Cárcar (20).

En la Hoja a escala 1:25.000 de Lodosa (205-I) se ha distinguido en el Dominio meridional en disposición adyacente al paquete principales de los yesos de Cárcar.

Constituye tramos de potencia decamétrica (hasta 50 m) compuestos por margas dolomíticas grises, más o menos arcillosas, y yesos, aunque también pueden intercalar localmente niveles arcillosos rojizos.

Los términos de margas grises forman intervalos de espesor decimétrico-métrico con cristales y nódulos dispersos de yesos. En vertical tienden a pasar a horizontes yesíferos de potencia métrica que exhiben litofacies nodulares y enterolíticas a muro y techo, y pueden desarrollar términos laminados con horizontes dolomíticos en la parte media. Se enmarcan en un medio lacustre salino somero sometido a frecuentes variaciones del nivel de agua reflejadas por la alternancia episódica de facies lacustres estables y marginales.

Los intervalos de arcillas rojas son poco frecuentes y forman tramos de potencia métrica intercalados entre facies margosas. Están representados por arcillas más o menos yesíferas con intercalaciones de areniscas y yesoarenitas. Las capas clásticas poseen potencias de orden centi-decimétrico y presentan una marcada morfología tabular. Exhiben abundantes estructuras tractivas de pequeña escala destacando por su desarrollo los *cosets* de *climbing ripples*. En las yesoarenitas son más frecuentes los fenómenos de fluidificación. Constituyen cuñas terrígenas originadas por propagaciones eventuales de las orlas distales de los sistemas aluviales de procedencia ibérica hacia la zona lacustre central.

#### **1.1.9. Yesos y margas (20). Yesos de Cárcar.**

La Fm. Cárcar, (SOLÉ, 1972) agrupaba originalmente las unidades terrígenas de Peralta, Mendavia y Sartaguda. El término fue adaptado por SALVANY (1989) para el Nivel de Alcanadre en facies yesíferas dentro del Dominio Meridional.

Se redefine en la presente memoria la denominación litoestratigráfica de Yesos de Cárcar, aplicándose a los términos yesíferos con entidad cartográfica comprendidos

estratigráficamente entre el Nivel de Alcanadre y la Unidad de Yesos de Sesma, de modo que forman varias intercalaciones relacionadas con las facies terrígenas de Peralta (14) y Sartaguda (15).

De forma conjunta con las Unidades 19 y 21 constituiría la denominada Unidad Arcillas y Yesos de Lodosa (SALVANY, 1989).

Los diversos niveles de yesos adquieren una mayor potencia y continuidad cartográfica hacia el Sur, lo que puede provocar confusiones en el Dominio Meridional con la Unidad de Yesos de Sesma.

En SALVANY (1989) se cita la existencia de dos intercalaciones principales de yesos en el seno de la Unidad de Peralta, que se sitúan estratigráficamente en su parte media y superior.

Estas dos intercalaciones yesíferas en Peralta presentan una buena correlación con los dos niveles principales de los Yesos de Cárcar en el Dominio Meridional. El primero constituye una intercalación en las Arcillas de Sartaguda y el segundo se dispone a techo de esta unidad terrígena.

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

Los Yesos de Cárcar representan los primeros episodios salinos con una producción de evaporitas volumétricamente importante de la Fm. Lerín. La variedad de facies y complejas

relaciones laterales con otras unidades indican que la zona lacustre salina central experimentó frecuentes variaciones de nivel y expansión facilitando la propagación episódica de las orlas distales aluviales de procedencia norte y sur.

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

#### **1.1.10 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.

La Unidad 21 constituye un buen nivel guía en toda la Hoja que destaca en el terreno por su tonalidad rojiza.

Su potencia varía de unos 20 m en el Dominio Meridional hasta menos de 5 m en el Septentrional, acunándose hacia el NE en el flanco norte del Anticlinal de Falces.

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.

#### **1.1.11 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 el Dominio Septentrional de 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 50-60 a más de 100 del flanco norte al sur de la estructura debido a la indentación con la Unidad de Villafranca, fenómeno que se evidencia claramente en las cercanías de la localidad de Sesma.

En el Dominio Meridional los Yesos de Sesma constituyen una franja de afloramientos de escasa calidad al Norte del Anticlinal de Cárcar y se desarrollan también en el núcleo del Sinclinal de Lodosa registrando una potencia superior a los 100 m.

La Unidad de Sesma aparece también en la esquina NO de la Hoja (205-I) en un afloramiento ligado a un núcleo anticlinal desarrollado al NE de Lazagurría que constituye en cierto modo la prolongación hacia el NO de la estructura de Falces, si bien la serie presenta características afines al Dominio Meridional.

Litológicamente constituye una potente serie yesífera con algunas intercalaciones margosas y arcillosas. Los yesos presentan gran variedad de facies (laminada, nodular, lenticular) y texturas cristalinas (yesos alabastrinos, megacristalinos, porfiroblásticos) que se distribuyen irregularmente en la serie o bien presentan un cierto orden cíclico. La parte inferior a media de la unidad es más yesífera y masiva. Hacia techo se registra un aumento notable del contenido de margas y arcillas, bien como intercalaciones entre los yesos o como matriz en las capas de yeso, y también tienden a aumentar en proporción las facies nodulares. En subsuelo la Unidad incluye niveles de halita y posiblemente de glauberita. Aunque la halita no aflora en ningún punto, se pone de manifiesto por la existencia de manantiales salinos en la región. El carbonato está poco desarrollado. Generalmente se limita a finas capas dolomíticas de potencia milimétrica o centimétrica entre los yesos laminados.

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

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

#### **1.1.12 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 ocreas, 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 Lodosa (205-I) la Unidad de Villafranca se desarrolla a ambos flancos del anticlinal de Falces con una potencia de unos 150 m.

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

Los términos lutíticos corresponden predominantemente a arcillas ocreas bastante homogéneas que forman intervalos masivos de potencia métrica a decamétrica o bien alternan con otras litologías. Eventualmente y en mayor medida hacia techo se desarrollan horizontes de arcillas rojizas de origen edáfico o atribuibles a cuñas terrígenas de procedencia meridional. Intermitentemente se desarrollan tramos de tonalidad gris correspondientes a margas dolomíticas arcillosas que están ligadas a facies yesíferas. Son relativamente frecuentes las trazas de yesos dispersas en forma de nódulos alabastrinos, cristales fibrosos y venas, tanto en la 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 ocre 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 Navarra-Riojana, registrándose eventuales desarrollos lacustres salinos de poca persistencia.

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

#### **1.1.13 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 a escala 1:25000 de Lodosa constituye un intervalo arcilloso que se desarrolla en el flanco norte del Anticlinal de Cárcar, ofreciendo unas deficientes condiciones de exposición, y se extiende también en la esquina NO, donde presenta afloramientos de mayor calidad.

Su potencia aumenta considerablemente hacia el Oeste pasando en este sentido de unos 20 m a más de 50 m.

Litológicamente constituye una serie arcillosa, en la que alternan las tonalidades rojizas y ocre, e incluye intercalaciones poco potentes de arenisca y carbonatos, sin posibilidades de representación cartográfica.

Los términos arcillosos se presentan en intervalos masivos de potencia métrica-decamétrica o como tramos de alternancias con otras litologías. Su principal característica distintiva es la alternancia de orden métrico entre horizontes rojizos, de probable procedencia meridional e intervalos ocre, relacionados posiblemente con el margen nororiental de la Cuenca (Sierra de Cantabria). En consecuencia la Unidad presenta una tonalidad más rojiza en los afloramientos surorientales de la Hoja, mientras hacia el NO incorpora un mayor número de intervalos ocre. En algunos horizontes se concentran desarrollos nodulares de yesos, especialmente a muro y techo de la Unidad, en tránsito con las formaciones yesíferas adyacentes. Asociados a facies de afinidad lacustre (carbonatadas o sulfatadas), se desarrollan tramos de margas arcillosas grises.

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, distinguiéndose, por un lado, niveles centimétricos de dolomías laminadas con moldes de cristales lenticulares de yesos que se asocian normalmente a los términos sulfatados, y por otro, calizas micríticas. Estas últimas se reconocen exclusivamente en el extremo noroccidental de la Hoja formando capas de potencia centi-decimétrica entre arcillas margosas grises. Texturalmente corresponden a *wackestones* micríticos bastante arcillosos cuyos componentes aloquímicos son fósiles (ostrácodos y caráceas, mayoritariamente), intraclastos, peloides y granos terrígenos. De forma característica se reconocen abundantes moldes de gasterópodos acuáticos dulceacuícolas.

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.

#### **1.1.14 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 y 29) que se encuentra truncada por la superposición discordante de la Fm. Tudela (31) al Norte y de la Fm. Alfaro al Sur.

En la Hoja a escala 1:25.000 de Lodosa (205-I) la unidad de Los Arcos se desarrolla ampliamente en el eje del Sinclinal de Peralta y aflora también en la esquina NE, al N del Anticlinal de Falces.

No se reconoce la serie yesífero lutítica a techo, disponiéndose en cambio la Fm. Tudela (31) en franca discordancia erosiva.

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 ambos flancos 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 prácticamente nulo, de modo que su atribución al Ageniense se realiza por su posición estratigráfica.

#### **1.1.15 Yesos, margas, lutitas y areniscas (30). Ageniense.**

La presente Unidad agrupa a los Yesos de Sesma, Facies Allo y Yesos de Los Arcos, a efectos de facilitar el correcto ajuste con la Hojas colindantes de Azcona (172-III), Allo (172-IV) y Los Arcos (171-IV), actualmente en vías de edición por el Gobierno de Navarra.

En estas Hojas adyacentes no se han diferenciado cartográficamente los Yesos de Sesma (23) de los de Los Arcos (27 a 29) integrándose además en la Unidad Cartográfica que agrupa a ambos, buena parte de las facies Allo (25).

De este modo la presente Unidad (30) comprendería materiales yesíferos en alternancia por tramos con margas grises y lutitas (Yesos de Sesma y de Los Arcos) y arcillas rojas con intercalaciones de areniscas (Facies de Allo).

En la Hoja de Lodosa a escala 1:25.000 (205-I) su representación se limita al borde NO constituyendo un equivalente de los Yesos de Sesma.

#### **1.1.16 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 Bardenas, al SE de la cuenca Navarra-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.

En la Hoja a escala 1:25.000 de Lodosa (205-I) la Fm. Tudela se desarrolla únicamente al SE de Sesma, en el centro y flanco norte del Sinclinal de Peralta. Aparece en afloramientos de reducida extensión bajo materiales del Cuaternario.

En el eje del Sinclinal presenta una disposición prácticamente horizontal, hacia los flancos se incrementan moderadamente los valores de buzamiento y en situación próxima al contacto con los Yesos de Los Arcos se desarrollan frecuentes pliegues menores con flancos largos verticalizados.

Litológicamente predominan los términos lutíticos, representados por arcillas rojizas (color ladrillo característico) en tramos homogéneos de potencia métrica a decamétrica, a veces con trazas de yesos, o alternando con otras litologías.

Las areniscas representan las intercalaciones más comunes. Aparecen 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.

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 potencia de la Fm Tudela en la Hoja es difícil de estimar debido al carácter puntual de los afloramientos, aunque debe ser inferior a 100 m por restitución en los cortes geológicos.

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.

No se dispone de datos paleontológicos recogidos en la Unidad dentro de la Hoja a escala 1:25.000 de Lodosa (205-I) cuyos afloramientos pasaron inadvertidos por lo diversos autores que trabajaron anteriormente en la zona. Se cuenta no obstante con la referencia de los yacimientos de vertebrados de las Fms. Tudela y Alfaro en la región, donde se indica una edad de Ageniense superior (MN2) a Orleaniense medio (MN4).

## 1.2. 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 en torno al río Ebro. Ocupan dentro de la Hoja una buena extensión superficial, habiéndose diferenciado hasta 10 niveles de terrazas en el río Ebro respecto a su cauce actual. 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 Ebro es el conjunto de formas más característico, habiéndose diferenciado ocho niveles a +5m, +10m, +25-35m, +45-50m, +70m, +90m, +105-125m y +140m. Los dos niveles inferiores se han considerado como terrazas “bajas” y poseen un dispositivo de terrazas encajadas o a veces solapadas, en tanto que los cuatro superiores se han considerado terrazas “altas”, presentándose como terrazas colgadas; por lo que respecta a los dos 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.

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.

La litología de los materiales que conforman las terrazas es muy similar en casi todas ellas, si bien la granulometría a veces resulta algo mayor en las superiores que en las inferiores así como el grado de cementación de los materiales. En general están formadas por gravas poligénicas y arenas y arcillas en proporciones variables. Los clastos son de calizas, cuarcitas, areniscas y microconglomerados y se encuentran por lo general redondeados. En ocasiones se encuentran cementadas por carbonatos, siendo más frecuente este proceso de cementación en las terrazas altas.

El tamaño de los cantos es muy variable, presentando en ocasiones dos modas. No obstante se llegan a reconocer clastos de hasta 50 cm de diámetro en las terrazas altas, si bien el tamaño medio fluctúa entre los 10-12 cm y los 15-20 cm. Los espesores son muy irregulares justificándose estos con fenómenos de subsidencia diferencial en determinadas áreas.

Las terrazas bajas son las mas 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 ocre 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 a lo largo del curso han sido y son objeto de explotación intensiva.

La edad asignada para los distintos niveles es similar, atribuyéndolos todos al Pleistoceno, excepción hecha de la terraza mas baja que correspondería ya al Holoceno.

#### 1.2.1.2 Limos yesíferos. Fondos de dolina.(40). Pleistoceno-Holoceno

Se trata de unos depósitos que apenas tiene representación en la Hoja de Lodosa. Concretamente se localizan al NE de dicha localidad, rellenando una pequeña depresión tipo dolina que se formado en los yesos que constituyen el sustrato en esa zona.

Su litología corresponde a limos yesíferos ocre y grises procedentes de la alteración del sustrato.

#### 1.2.1.3 Lutitas con cantos. Glacis. (41). Pleistoceno-Holoceno

Se trata de depósitos que se desarrollan sobre los materiales neógenos generalmente arcillosos y en ocasiones sobre términos yesíferos, contribuyendo a la morfología actual de las laderas.

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, angulosos y subangulosos generalmente de areniscas y/o yesos así como redondeados



procedentes de gravas de zonas de cabecera o de áreas próximas correspondientes a algún nivel de terraza.

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.

#### 1.2.1.4 Limos y arcillas ocreas 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 mas antiguo (unidad 43) se localiza en el sector central de la Hoja, en el sinclinal de Sesma. Litológicamente esta formado por limos y arenas ocreas 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 mas en detalle pueden diferenciarse dos tipos: los asociados a valles y zonas de cierto relieve y los de zonas de confluencia de la red fluvial.

Se localizan también en grandes valles, tapizando ciertas estructuras, como la del núcleo del anticlinal de Falces en el cuadrante nororiental de la Hoja. Están formados por limos y arenas de tonalidades ocreas que tapizan el sustrato y a veces presentan una morfología bastante difícil de reconocer. En ocasiones y cuando se encuentran disectados, como p.e como ocurre en la margen izquierda del valle del Ebro se disponen sobre niveles de gravas correspondientes a las terrazas medias de dicho río.

Suelen ser bastantes frecuentes y se localizan en las salidas de los arroyos y los de pequeños valles que acceden a otros de rango superior o a las terrazas mas bajas de la red fluvial, es decir del río Ebro. En ocasiones se solapan, dando lugar a formas coalescentes de mayor desarrollo

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.

#### 1.2.1.5 Limos ocre, lutitas y arenas con cantos. Aluvial-Coluvial (44). Pleistoceno

En este epígrafe se describen un conjunto de depósitos de origen fluvial que por su morfología en planta, difieren de la de los fondos de valle y ponen en evidencia un aporte lateral difícil de separar de los propiamente fluviales.

Por lo general se localizan en áreas de topografía muy suave y en zonas de cursos de carácter ligeramente divagante y bastantes efímeros. En la Hoja de Lodosa, apenas tienen representación, excepción hecha de una pequeña mancha al Sureste, que tiene su continuidad por la vecina Hoja de Pradejón (205-III).

Su litología por regla general corresponde a materiales finos, generalmente limos ocre a veces yesíferos y arenas procedentes de zonas laterales o arrastrados por el propio cursos de los arroyos. Su espesor puede llegar a ser considerable, del orden de varios metros.

Por su posición respecto al resto de los depósitos cuaternarios se les atribuye al Pleistoceno-Holoceno

### **1.2.2. Holoceno**

#### 1.2.2.1 Gravas, arenas y lutitas. Llanura aluvial y 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 la terrazas bajas o bien a barras fluviales en zonas próximas a los márgenes del río con una marcada acreción lateral o bien a los sectores centrales del mismo y cuya morfología es perfectamente apreciable en fotografía aérea a lo largo del curso del Ebro.

#### 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 ocre 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.

Estos depósitos se asignan 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 de 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 mas 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 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 heterogéneo y caótico de grandes bloques con arcillas y limos. Se localizan dos afloramientos, el mas espectacular se encuentra en la margen izquierda del río Ebro, en la carretera de Lodosa a Mendavia. El segundo junto a un pequeño barranco, inmediatamente al Norte de la localidad de Lodosa y de menores proporciones que el anterior. El origen de ambos esta en un proceso de deslizamiento rotacional que motiva el desprendimiento y lento deslizamiento de importantes masas y bloques de yesos y areniscas mezclados con arcillas y limos y que impactan en el paisaje de la región y en particular en el de la carretera a Mendavia.

Constituyen sin duda alguna uno de los mayores riesgos geológicos de la región y dado que también se trata de un proceso actual o subactual 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

Se localizan este tipo de materiales al Norte de Lodosa, en el sector central de la Hoja, concretamente en el eje del sinclinal de Sesma-Peralta, desarrollándose una amplia zona de clara entidad cartográfica orlada de abanicos y conos que en antaño se encargaron de drenarla y que en la actualidad tiene un claro carácter endorreico.

Estos depósitos se atribuyen, por su origen y/o procedencia, al Holoceno

#### 1.2.2.6 Escombreras y vertederos. Depósitos antrópicos (53). Holoceno

En la cartografía y por su extensión superficial se han diferenciado un conjunto de depósitos heterogéneos y artificiales, de claro origen antrópico. Corresponden estos a escombreras de materiales o a vertederos que se sitúan próximos a las poblaciones de la Hoja.

Se han localizado en la Hoja en las proximidades de Sesma y consisten en un acúmulo importante de residuos urbanos, con varios metros de espesor que destaca en el paisaje.

## **2      TECTÓNICA**

### **2.1.    CONSIDERACIONES GENERALES**

La presente Hoja de Lodoso 205-I 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 aloctonia 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 otro 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 Lodosa, mientras que la segunda lo hace mas al Sur, al otro lado del Ebro entre Pradejón y Alcanadre.

Estructuralmente el área objeto de estudio esta 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, mas al Sur, como ya se ha expuesto, 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 cuencal (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 "laminas 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 general 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, la estructura es no obstante 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 limite 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, 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-II Lodosa se caracteriza por presentar un sector plegado constituido por yesos y lutitas rojas y ocreas estructurado según pliegues de dirección general 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 la Hoja destacan, según las direcciones expuestas un conjunto de pliegues anticlinales y sinclinales, todos ellos de ejes con continuidad por las vecinas hojas 205-II, 205-III y 205-IV que integran la Hoja a escala 1:50.000 Lodosa. Estos pliegues son de Norte a Sur: el anticlinal de Falces, el sinclinal de Peralta-Sesma, el anticlinal de Carcar, el sinclinal de Lodosa, el anticlinal de Alcanadre y el sinclinal de Los Cabezos.

El anticlinal de Falces discurre por el cuadrante nororiental de la Hoja, dibujándose claramente el periclinal de dicha estructura dentro por prolongándose además por las vecinas hojas 206, 205-I y 205-IV. Presenta el eje una dirección en la Hoja NO-SE y una longitud de eje deca kilométrico. 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 conos y depósitos de fondos de valle. 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 o de Peralta-Sesma

El sinclinal de Peralta, es una estructura de dirección general NO-SE que se desarrolla ampliamente por el sector central de la Hoja. Presenta un eje de gran longitud, paralelo al de Falces y se extiende diagonalmente a lo largo de la misma. La estructura se desarrolla sobre depósitos evaporíticos en su mayor parte, con su núcleo formado por los yesos de Los Arcos, extendiéndose ampliamente además por las hojas 205-II y 205-IV. Su eje transcurre a lo largo de un amplio valle donde abundan los depósitos cuaternarios entre los que destacan los depósitos endorreicos del paraje de los “Lagonazos” depresión endorreica formada por materiales lutíticos y salinos desarrollada sobre yesos de Los Arcos.

El anticlinal de Carcar se trata de una estructura algo apretada que se desarrolla entre el sinclinal de Peralta y el sinclinal de Lodosa. El núcleo de esta formado por las arcillas de Mendavia. La estructura se desarrolla según dirección NO-SE y presenta una inflexión hasta adoptar una disposición E-O cerca de la zona periclinal, al Norte de Lodosa. En detalle se puede decir que es un pliegue apretado cuyo eje transcurre paralelo a la carretera que une dicha localidad con la de Carcar. El flanco norte forma parte a su vez de otra estructura de las que ya se ha descrito, el sinclinal de Peralta, mientras que su flanco sur forma parte a su vez del sinclinal de Lodosa.

El sinclinal de Lodosa en la Hoja 205-I se trata de una estructura laxa y suave que hacia el Sureste se resuelve, ya fuera de Hoja en una estructura sinclinorial. Presenta aquí una dirección N.NO-S.SE y en una gran parte esta estructurada sobre materiales evaporíticos, quedando su núcleo enmascarado por depósitos cuaternarios. El flanco más meridional conforma parte de los escarpes sobre el Ebro y en concreto sobre la localidad de Lodosa a su paso por la Hoja, por lo que la calidad de los afloramientos es muy buena tanto para observaciones estratigráficas como estructurales. El flanco más septentrional también mas presenta buenos afloramientos. Este sinclinal tiene su continuidad por las vecinas Hoja 205-III Pradejón y 205-IV San Adrián.

El anticlinal de Alcanadre tiene su continuidad en esta Hoja al Oeste de Lodosa en el paraje denominado “barranco Salado”, al Norte de la Granja de Imaz. A diferencia de la dirección

NO-SE, que presenta en la Hoja 205-II Pradejón, su eje de longitud kilométrica, adopta una dirección submeridiana, volviéndose a arquear en su núcleo para volver a adoptar la dirección general NO-SE que presentan el resto de los pliegues de la Hoja.

Finalmente el denominado sinclinal de Los Cabezos delimita el anticlinal anteriormente descrito con el periclinal o final del eje del anticlinal de Carcar. Se trata de una estructura muy laxa tipo sinclinal que dibujan e integran una serie de cerros aislados, que en forma de pequeñas muelas, destacan en el paisaje al Oeste de la localidad de Lodosa. Su eje se soterra bajo los sedimentos cuaternarios del río Ebro.

En cuanto a accidentes tipo fallas se puede decir que estas apenas se observan. Solo se reconoce alguna de dirección NE-SO a escala hectométrica que cortan los flancos del anticlinal de Falces.

Finalmente es de destacar en el valle del Ebro, al sur de la Hoja y en una zona muy próxima aunque fuera de ella, concretamente en Alcanadre, los movimientos de bloques y actividad neotectónica que en este sector tuvieron lugar durante el Cuaternario, observándose deformaciones en las terrazas altas, basculamientos y contactos por fallas entre distintos depósitos. Esta zona fue estudiada por ATARÉS et al. (1983).

#### 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 materiales aluviales son depósitos procedentes de sistemas aluviales o fluviales que se expanden hacia la parte más interna de la cuenca. Las facies lacustres son principalmente evaporíticas y se sitúan en la parte central de la cuenca, pero también tienen desarrollo los términos 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. 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, enlazando 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-medio*: 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-riojana 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 Aeniense 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. 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 Lodosa (205-I) se han reconocido 18 indicios correspondientes a canteras abandonadas de diversa consideración. Las canteras más importantes se encuentran sobre gravas de las terrazas bajas y medias de la margen izquierda del Ebro. Las antiguas explotaciones de yesos se concentraron alrededor de Sesma y las formaciones arcillosas del Terciario han sido objeto de explotación en la cercanías de Lodosa. Se describen además algunas sustancias que si bien no cuentan con indicios inventariados en la Hoja, presentan posibilidades de aprovechamiento minero.

#### **5.1.1. Minerales y Rocas Industriales.**

Las gravas constituyen la sustancia con más indicios registrados en la Hoja. Se han inventariado 6 indicios de gravas, 5 de yesos, 4 de arcillas y 1 de arenas. Se describen también otras sustancias, sal común y glauberita, por sus posibilidades de aprovechamiento en el futuro.

##### **5.1.1.1. Gravas**

Se cuenta con 6 indicios de esta sustancia listados en el territorio navarro de la Hoja.

Corresponden a canteras de dimensiones variables que se concentran a lo largo de la carretera NA-134.

Benefician depósitos clásticos de las terrazas medias y bajas del Ebro y las plantas de selección se encuentran emplazadas en las propias canteras o en puntos próximos.

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

#### 5.1.1.2. Yesos

Se han reconocido 6 canteras de yesos en la Hoja.

Cuatro de ellas se encuentran en los alrededores de Sesma, una en Lodosa y la restante a medio camino entre estas dos poblaciones.

Son de dimensiones pequeñas, y aunque normalmente presentan un solo frente, éste puede alcanzar alturas considerables (>25 m), o bien presentar varios bancos.

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

se encuentran sobre los Yesos de Los Arcos

En su mayor parte se emplazan sobre los Yesos de Los Arcos (Unidad Cartográfica 3) a excepción de la cantera de Lodosa que se encuentra sobre los Yesos de Sesma.

#### 5.1.1.3. Arcillas

En los alrededores de Lodosa se localizan cuatro indicios de arcillas comunes.

Corresponden a pequeñas canteras actualmente abandonadas que aportaron materiales para las fábricas de ladrillos existentes en el ámbito local.

Se encuentran sobre las Formaciones arcillosas de Mendavia y sobre todo de Sartaguda (Unidades cartográficas 7 y 15 respectivamente).

Mineralógicamente se caracterizan 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. Arenas y areniscas

Los términos arenosos de los niveles de terrazas y otras formaciones cuaternarias 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, extensamente empleados en el pasado para la construcción.

En la Hoja de Lodosa (205-I) se ha inventariado un indicio correspondiente a una pequeña explotación de arenas situada entre Lodosa y Sesma.

Se emplaza sobre términos arenoso-limosos del sistema de conos aluviales desarrollado al Sur de Sesma en disposición radial respecto la cuenca endorreica de Lagonazos.

#### 5.1.1.5. Sal común

Se ha constatado por sondeos la presencia de grandes volúmenes de halita en el subsuelo de la región.

Los niveles yesíferos de las Fms. Falces y Lerín 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 Lodosa se desarrollan varios niveles evaporíticos destacables por su potencia y extensión. De muro a techo son: Yesos de Falces, Yesos de Cárcar, Yesos de Sesma y Yesos de Los Arcos.

En los cuatro casos cabe destacar las posibilidades de aprovechamiento de la sal, que podría destinarse a demandas locales (curtidos y alimentación, esencialmente).

#### 5.1.1.6. Glauberita

Aunque no se ha inventariado ningún indicio de esta sustancia en la Hoja a escala 1:25.000 de Lodosa, 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-eudrales 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) aflora, dentro de la Hoja de Lodosa (205-I), en los núcleos de los anticlinales de Falces e Imaz, al NE y SO respectivamente.

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, Mendavia, Peralta y Sartaguda. 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) y las Unidades de Mendavia y Sartaguda del Dominio sur (7 y 15).

En el Dominio Septentrional el conjunto arcilloso se desarrolla a ambos flancos del Anticlinal de Falces con buzamientos de  $25^{\circ}$ - $55^{\circ}$  mientras que en el Dominio Meridional se extiende alrededor de los anticlinales de Cárcar y Lodosa con valores de buzamiento muy variables.

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

En ambos dominios se distinguen dos tramos principales separados por un intervalo yesífero-heterolítico (Nivel de Alcanadre, Unidades 12 y 13). El intervalo inferior corresponde a las Arcillas de Marcilla y de Mendavia y se caracteriza por la práctica ausencia de niveles de yesos. El intervalo superior está representado por las Unidades de Peralta y Sartaguda y contiene varias intercalaciones mayores de yesos que se han agrupado bajo el término de Yesos de Cárcar (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 Cárcar y de Sesma. Mioceno inferior

Se agrupan los Yesos de Sesma (23) y los de Cárcar (20) por su situación intermedia dentro de la Fm. Lerín y por sus analogías litológicas. Cabe hacer notar, no obstante que entre las dos unidades media un intervalo arcilloso rojizo muy continuo que constituye un buen nivel guía en la zona (21).

Los Yesos de Sesma se reconocen en los dos dominios apareciendo a ambos flancos del Anticlinal de Falces, en el extremo NO de la Hoja, en el flanco sur del Sinclinal de Peralta y en el núcleo del Sinclinal de Lodosa. Su potencia aumenta de N a S pasando de menos de 100 m a cerca de 200 m.

Los Yesos de Cárcar se desarrollan en el Dominio Meridional donde constituyen tres intercalaciones de potencia creciente (hasta más de 100 m) en las Arcillas de Sartaguda.

Las dos Unidades aparecen 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 formaciones salinas 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 ocre y rojizas con intercalaciones de areniscas y yesos. Arcillas de Villafranca y Facies de Allo. Mioceno inferior

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

En el Dominio norte corresponde a la Unidad Arcillas de Villafranca (24) y en el Meridional a las Facies de Allo (25).

La potencia de la Unidad de Villafranca es de unos 100 m mientras que en las Facies de Allo aumenta hacia el Oeste pasando de unos 20 a más de 50 m

Litológicamente se distinguen por el tono ocre de las Arcillas de Villafranca frente al color rojo vivo de las Facies de Allo.

Ambas unidades 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.

Regionalmente aparece como un potente paquete yesífero de aspecto masivo o tableado.

En la presente Hoja constituye el techo de la Fm Lerín y ocupa el centro del Sinclinal de Peralta, donde alcanza una potencia de unos 200 m

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

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

#### 5.2.1.6. Arcillas 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.

Corresponde a la unidad cartográfica 31 que 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 al SE de Sesma en el eje del Sinclinal de Peralta donde aparece en afloramientos aislados bajo depósitos cuaternarios.

En los flancos la Fm. Tudela se encuentra bastante deformada constituyendo pliegues menores vergentes hacia el centro de la estructura. Hacia el eje sin embargo registra buzamientos muy bajos y subhorizontales.

Su potencia en la Hoja se estima en unos 100 m.

La permeabilidad del conjunto es muy baja dado el marcado predominio de los términos arcillosos y la escasa potencia de las intercalaciones.

#### 5.2.1.7. Gravas, arenas y lutitas. Formaciones cuaternarias de alta permeabilidad

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

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

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

Al Sur de Sesma se encuentra una zona endorreica en la que se desarrollan depósitos de naturaleza lutítica que ocupan una superficie considerable.

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 Alcanadre, Cárcar, Sesma y de Los Arcos), 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 km<sup>2</sup>, de los que 735 km<sup>2</sup> pertenecen a Navarra.

En el valle del Ebro la Unidad posee una anchura de unos 4-6 km, por término medio.

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, con valores medios de unos 20 m. Sobre sustratos yesíferos pueden alcanzarse espesores de hasta más de 30 m 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 hm<sup>3</sup>/año) y de los excedentes de los riegos (unos 90 hm<sup>3</sup>/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 m<sup>2</sup>/día, siendo muy frecuentes los registros de 1000-2000 m<sup>2</sup>/día. La porosidad eficaz es de un 10-30 %.

Las reservas evaluadas para el acuífero de aluvial del Ebro se reflejan en el siguiente Cuadro, habiéndose estimado un espesor saturado medio y una porosidad eficaz del 10%.

#### RESERVAS ESTIMADAS DEL ACUÍFERO DEL ALUVIAL DEL RÍO EBRO

Acuífero	<b><i>Superficie(km<sup>2</sup>)</i></b>	<b><i>Espesor saturado medio (m)</i></b>	Porosidad %	<b><i>Reservas (hm<sup>3</sup>)</i></b>
<i>Ebro</i>	<i>530 (370*)</i>	<i>16</i>	<i>10</i>	<i>848 (592*)</i>

( \* : Superficie comprendida dentro del territorio navarro)

Las aguas del acuífero del Ebro muestran una calidad química variable, aunque en la zona son duras, bastante mineralizadas, bicarbonatadas y 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 Lodosa (205-I) correspondiente al Mapa 1:50.000 con el mismo nombre 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.

### **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 I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>, I<sub>3</sub> y I<sub>4</sub>

ÁREA II: ZONA II<sub>1</sub>

ÁREA III: ZONA III<sub>1</sub>, III<sub>2</sub>, III<sub>3</sub>, III<sub>4</sub>.

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 Lodosa (205-I)



UNIDAD CARTOGRÁFICA	ZONACIÓN GEOTÉCNICA	DESCRIPCIÓN
53	III <sub>4</sub>	Escombreras y vertederos
52, 40	III <sub>3</sub>	Lutitas grises y limos
49, 51	III <sub>2</sub>	Grandes bloques, arcillas y limos a veces con cantos
37 a 39, 41, 43 a 48	III <sub>1</sub>	Gravas y arenas, arenas con cantos, lutitas y limos ocre
31	II <sub>1</sub>	Arcillas rojas con intercalaciones de areniscas y calizas
6, 7, 9 a 11, 14 a 17, 21, 24 a 26	I <sub>4</sub>	Lutitas rojas. Areniscas, calizas, dolomías, margas y yesos
5	I <sub>2</sub>	Arcillas, margas y yesos
1, 12, 20, 23, 27, 30	I <sub>1</sub>	Yesos con intercalaciones de margas

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

### **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	
<i>Descripción</i>	<i>Co (MPa)</i>	<i>Navaja</i>	<i>Martillo geológico</i>
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 ( $\phi$ ) 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/cm<sup>2</sup> y de 30 Kp/cm<sup>2</sup> 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/cm<sup>2</sup></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 asientos diferenciales, presencia de agua subterránea, presencia de

sulfatos en el sustrato, debido a la alta reactividad de los mismos con el hormigón, y riesgos de colapsos en aquellas unidades con presencia potencial de cavidades subterráneas.

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

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

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

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

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

Se ha tomado como referencia la Instrucción de Carreteras, Normas de Firmes Flexibles y Firmes Rígidos. Se entiende por suelo No Apto, aquel que no puede constituir un desmonte ni un terraplén explanada tipo E-1 (Suelos tolerables al menos estabilizado en sus 15 cm superiores, con CBR de 5 a 10). Marginales son aquellos que cumplen a veces dicha

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

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

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 I<sub>1</sub>

##### 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 los núcleos de los anticlinales de Falces y de Alcanadre, 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  $\text{kp/cm}^2$ , valores estos que deben reducirse a la mitad cuando el espesor de los tramos lutíticos aumenta o la disposición de la estratificación y grado de diaclasado son desfavorables. Se estima que la capacidad portante de estos materiales se sitúa entonces entre 5 y 10  $\text{kp/cm}^2$ , valores suficientes para el caso de edificios habituales en los que las cargas proyectadas son inferiores a 3 - 4  $\text{kp/cm}^2$ .

El tipo de cimentación será en general superficial, previa eliminación del horizonte de alteración. Es de esperar la presencia de asientos diferenciales y fenómenos de punzonamiento debido a la 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 pseudovericales 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 I<sub>2</sub>

### 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 esta Hoja sólo está representada la unidad N° 5 que corresponde a un tramo de yesos y arcillas rojas que aflora en el núcleo del anticlinal de Alcanadre.

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/cm<sup>2</sup>, 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 I<sub>4</sub>

##### 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 de los núcleos de los anticlinales de Falces y Alcanadre, y en el núcleo del sinclinal de Peralta.

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 I<sub>1</sub> y I<sub>2</sub>. 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/cm<sup>2</sup> para las arcillas y de 6 a 8 kp/cm<sup>2</sup> 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 II<sub>1</sub>

##### 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 monoclinal 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.

En esta Hoja la zona está representada exclusivamente por la unidad cartográfica N° 31 que aflora, con dificultad por estar cubierta por materiales cuaternarios, en el núcleo del sinclinal de Peralta.

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.

No se dispone de ensayos de laboratorio.

### Características constructivas:

#### a. Condiciones de cimentación

Se consideran cargas admisibles de 1,3 a 3 kp/cm<sup>2</sup> 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

#### b. Condiciones para obras de tierra.

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

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

*Empuje sobre contenciones.* Moderados en arcillas

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

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

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

#### 5.3.4.4. Área III

##### Zona III<sub>1</sub>

##### 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 glaciares. 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 Ebro. 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 Hoja de Sangüesa (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<sup>3</sup>

Humedad Óptima Proctor Normal 15/7 %

Ángulo de Rozamiento Interno ( $\phi$ ) 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 (detríticos gruesos) y baja (áreas con alto contenido en finos), y un nivel freático continuo y somero.

### Características constructivas

Condiciones de cimentación.

Para el conjunto de los materiales que definen la Zona, se estima una capacidad portante variable entre 1 y 3,5 Kp/cm<sup>2</sup>, 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 III<sub>2</sub>

#### 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 <sup>3</sup>
Humedad PROCTOR	12,7 %
CBR 100 % Densidad PROCTOR	14
Clasificación de Casagrande GC-CL	
Contenido en Sulfatos	0,01 %
Ángulo de Rozamiento interno ( $\phi$ )	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

Condiciones de cimentación.

Se consideran cargas admisibles entre 1,5-2,5 Kp/cm<sup>2</sup>. 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 III<sub>3</sub>

#### Características Geológico-Geotécnicas

Esta zona está definida por depósitos de naturaleza limo-arcillosa con contenidos variables de materia orgánica y fragmentos de rocas carbonatadas. Se localizan principalmente en zonas deprimidas de drenaje deficiente correspondientes a antiguas lagunas y, más localmente, al

relleno del fondo de dolinas, uvalas y formas menores del carst. Presentan una potencia variable, que en el caso de las arcillas de descalcificación, está en función de la intensidad del proceso de carstificación y del tamaño de la forma que rellena.

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.

En el caso de las dolinas, por su estrecha relación con procesos de carstificación, un aspecto importante a considerar y que deberá completarse en cualquier reconocimiento geotécnico de detalle es la intensidad de los procesos de cársticos que presentan los materiales carbonatados subyacentes, y por consiguiente, se analizarán en las situaciones más desfavorables los posibles hundimientos en cimentaciones.

#### 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/cm<sup>2</sup>, 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/cm<sup>2</sup>, 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".

#### Zona III<sub>4</sub>

##### Características Geológico-Geotécnicas

Se trata de depósitos artificiales de escombreras o vertederos, acumulados durante la realización de obras civiles. Están formados bien por margas o por una acumulación caótica de bloques, cantos y lutitas. La naturaleza de los bloques es muy dispar aunque predominan los de areniscas.

Son materiales poco o nada consolidados con gran número de problemas geotécnicos

##### Características constructivas

a. Condiciones de cimentación.

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

b Condiciones para obras de tierra.

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

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

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

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

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

## 6. BIBLIOGRAFÍA

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. Muncher 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 tectonosedimentario 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 nº 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.