

La presente Hoja y Memoria (204-II), ha sido realizada por "Informes y Proyectos, S.A. (INYPSA)", durante el año 2000, con normas, dirección y supervisión del Gobierno de Navarra, habiendo intervenido los siguientes técnicos:

### **Dirección y Supervisión (Gobierno de Navarra)**

Faci Paricio, Esteban Dirección del Proyecto

### **Autores y Colaboradores**

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

Solé Pont, Javier (INYPSA) Cartografía y Memoria

Díaz de Neira, Alberto (INYPSA) Geomorfología

García de Domingo, Alfredo (INYPSA) Geología regional

Hernaiz Huerta, Pedro Pablo (INYPSA) Geotecnia

Martínez Arias, Alfredo (INYPSA) Hidrogeología

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

## **0. INTRODUCCIÓN**

La Hoja a escala 1:25.000 de Mendavia (204-II), incluida en la de escala 1:50.000 de Logroño (204), se encuentra al SO de la Comunidad Foral.

El río Ebro cruza la Hoja en sentido ONO a ESE y la divide administrativamente en dos partes extendiéndose Navarra al N y La Rioja al Sur, de modo que al Norte se encuentra la región de la Ribera Navarra y al S la denominada Rioja Baja.

La vega del Ebro constituye el principal elemento fisiográfico en la Hoja. Constituye una zona deprimida y bastante llana desarrollada entre los 325 y 350 m de altitud. A ambos márgenes del valle se elevan relieves de mediana altura con cotas máximas de unos 500 m.

El afluente más importante en la Hoja es el río Leza que discurre hacia el N por La Rioja Baja y confluye al Ebro en las cercanías de Agoncillo.

El río Linares es el único tributario destacado en la Hoja por la margen izquierda del Ebro y desarrolla un valle en nava que se extiende en dirección NO-SE por la esquina NE.

Mendavia y, en menor medida, Lazagurría concentran la práctica totalidad de la población de la Hoja en territorio navarro. Las poblaciones de La Rioja se disponen a lo largo del Ebro, de ESE a ONO se encuentran Arrúbal, Agoncillo y Recajo. El resto de la población se encuentra muy diseminado en granjas y caseríos existentes a ambas orillas del Ebro.

La agricultura representa la principal actividad en territorio navarro y sus productos alcanzan un merecido renombre a escala nacional. En Mendavia se reúnen tres denominaciones de origen y su desarrollo industrial se encuentra subordinado a la producción agraria, destacando por su profusión las empresas de conservas vegetales y las bodegas de vinos. En la parte riojana de la Hoja predomina la actividad industrial destacando por su importancia y extensión el polígono de El Sequero que se extiende entre Arrúbal y Agoncillo.

Al N del Ebro las principales vías de comunicación parten radialmente de Mendavia y corresponden a las carreteras NA-6310 y NA-134. Al S la autopista A-68, la N-232 y la vía del ferrocarril presentan trazado casi paralelos al del Ebro. Además en Recajo se encuentra un aeródromo que completa las posibilidades de transporte en la zona.

En el aspecto geológico, la Hoja a escala 1:25000 de Mendavia 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 Mendavia los materiales terciarios dan lugar a los relieves principales. La serie terciaria está representada al Este por una alternancia a gran escala entre unidades esencialmente arcillosas de origen aluvial-perilacustre y formaciones lacustres yesíferas (Fm Lerín). Los términos superiores del Terciario se encuentran al O de la Hoja y constituyen una monótona sucesión arcillosa rojiza (Fms. Alfaro y Nájera) de gran extensión en la Rioja Baja. La estructuración del sustrato terciario es poco evidente, debido al suave plegamiento que presentan los materiales, aunque sigue preferentemente la dirección ONO-ESE conforme a los grandes pliegues de la región

La vega del Ebro está ocupada por distintos niveles de terrazas bajas y medias. Al SE, en la Rioja Baja, las terrazas altas y los glaciares forman rellanos más o menos aislados en lo alto de los cerros existentes.

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). En concordancia con estos estudios cabe destacar los trabajos de carácter académico de MUÑOZ (tesis de licenciatura, 1985 y tesis doctoral, 1991 y 1992) centrados en la estratigrafía de Terciario en la Rioja Baja. De los estudios de Salvany y Muñoz se derivan un buen número de publicaciones, entre las que destacan las de MUÑOZ et al (1986-87), SALVANY (1989), MUÑOZ y SALVANY (1990), SALVANY et al. (1994), SALVANY y ORTÍ (1994), MUÑOZ y CASAS (1997) 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 Mendavia 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 buena parte de la serie pertenece al Ageniense.

La sucesión terciaria se encuentra poco plegada en la Hoja si bien en la región se estructura en una serie de anticlinales y sinclinales cuyos ejes se disponen en dirección ONO-ESE. En

la Hoja se reconoce un sinclinal bastante laxo que se extiende en dirección casi E-O al Sur de Lazagurría y constituye en cierto modo la prolongación hacia el Oeste del gran sinclinal de Peralta. Se deduce la existencia de un eje anticlinal centrado en el valle del Ebro, de acuerdo con los buzamientos generalizados hacia el S de la serie terciaria en la Rioja Baja.

Regionalmente se distinguen dos dominios estratigráficos desarrollados al NE y SO del Sinclinal de Peralta cuyas relaciones litoestratigráficas se exponen en el siguiente cuadro.

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

Cuadro 1.1. Correlación de la unidades litoestratigráficas terciarias en el sector central de la Cuenca Navarro-Riojana.

La Hoja de Mendavia se encuentra situada en el Dominio Meridional si bien hay que indicar que los términos aflorantes más bajos corresponden a los Yesos de Sesma, por lo que sólo se encuentran representadas las unidades superiores de la Fm. Lerín. La Fm. Alfaro se desarrolla ampliamente en la parte riojana constituyendo una potente sucesión monótona arcillosa de origen aluvial.

### **1.1.1 Yesos y margas (1) Yesos de Sesma. Ageniense.**

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

En la presente Hoja tiene una representación muy reducida, en el vértice NE de la misma.

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.

### **1.1.2 Arcillas rojas, areniscas y yesos (2) 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 el sector de Mendavia y Lodosa, 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 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.

Se superpone a los Yesos de Sesma mediante un contacto muy transicional mientras que a techo es bastante más neto el límite con los Yesos de Los Arcos.

En la Hoja a escala 1:25000 de Mendavia constituye un intervalo arcilloso que se desarrolla a ambos flancos del Sinclinal de Lazagurría.

Su potencia aumenta ligeramente hacia el Oeste pasando en este sentido de unos 50 m a cerca de 75 m.

Litológicamente constituye una serie arcillosa, en la que alternan las tonalidades rojizas y ocre, e incluye intercalaciones poco potentes de areniscas, carbonatos y yesos, 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 ocres. Asociados a facies de afinidad lacustre (carbonatadas o sulfatadas), se desarrollan tramos de margas arcillosas grises.

Las intercalaciones de yesos se concentran a muro y techo de la Unidad, en tránsito con las formaciones yesíferas adyacentes. Aparecen en tramos de potencia métrica y predominan las litofacies nodulares.

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.

### **1.1.3 Yesos (3) Yesos de Los Arcos. Ageniense.**

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

Su base está bien definida en la Hoja por las Facies Allo.

En la presente memoria se reserva el término de Yesos de Los Arcos al paquete yesífero masivo (3) situado sobre la anterior unidad terrígena (2). A techo de éste se desarrolla una serie de carácter yesífero-lutítico (4 y 5) que se encuentra truncada por la superposición discordante de la Fm. Alfaro.

En la Hoja de Mendavia la unidad 3 se desarrolla ampliamente en la parte NE de la misma a ambos flancos del Sinclinal de Lazagurría.

La potencia media en la Hoja es de unos 100-150 m disminuyendo progresivamente hacia el S, donde se registran valores de menos de 100 m.

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 frecuentes intercalaciones de materiales lutíticos y, en menor medida, de dolomías laminadas. Las litofacies nodulares son predominantes a lo largo de toda la Unidad si bien los términos laminados presentan un mayor desarrollo en los tramos medios. En el subsuelo incluye materiales solubles, halita y glauberita, alternando con anhidritas.

Hacia el S la Unidad incorpora una mayor proporción de intercalaciones lutíticas hasta el punto de dificultar su delimitación con la unidades terrígenas adyacentes a muro y techo.

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.

#### **1.1.4 Arcillas rojas, margas, yesos y areniscas (4). Ageniense.**

A techo de la Unidad anterior se desarrolla un intervalo lutítico-yesífero que destaca por su tonalidad rojiza.

Aflora en la parte nororiental de la Hoja donde constituye un tramo arcilloso de unos 50-75 m reconocible a ambos flancos del Sinclinal de Lazagurría que separa los dos tramos yesíferos principales del complejo de los Yesos de Los Arcos (3 y 5). Se ha individualizado también en el borde meridional al S de Arrúbal donde presenta un mayor contenido en yesos si bien mantiene su característico tono rojizo.

En el sector nororiental de la Hoja la presente unidad está formada por arcillas rojas con intercalaciones de areniscas y yesos, mientras que al Sur consiste en una serie heterogénea de yesos, arcillas rojizas y margas arcillosas grises con intercalaciones menores de dolomías y yesoarenitas.

Los términos arcillosos rojizos registran potencias de orden métrico-decamétrico. Presentan un aspecto bastante homogéneo y contienen abundantes nódulos dispersos de yesos.

Las areniscas parecen como capas tabulares de potencia centi-decimétrica intercaladas en las arcillas. Su tamaño de grano oscila entre medio-fino a muy fino y exhiben numerosos estructuras tractivas: granoclasificación positiva, base neta, con huellas tractivas y de colapso, laminación paralela, *ripples*, escapes de fluidos deformación hidrolástica y *convolute lamination*. Se interpretan como depósitos aluviales distales movilizados mediante mecanismos de *sheet flood*.

Los yesos constituyen niveles de espesor generalmente métrico a decamétrico. Predominan las litofacies nodulares siendo infrecuentes los términos laminados. Incluyen intercalaciones subordinadas de margas dolomíticas grises y de dolomías laminadas o carniolares.

Los intervalos margosos están formados por margas dolomíticas grises, más o menos arcillosas, con crecimientos de yesos nodulares y lenticulares. Incluyen intercalaciones de diversas litologías en proporciones variables.

Las yesoarenitas son relativamente frecuentes como intercalaciones en el seno de las margas grises y también en los niveles de yesos, constituyendo capas tabulares de potencia centimétrica y decimétrica. Muestran muy abundantes estructuras sedimentarias consistentes en: granoclasificación positiva incipientes, huellas de base, tractivas y de

colapso, laminación paralela, *convolute lamination*, escapes de fluidos, deformación hidroplástica y *ripples* de oleaje.

Ambientalmente la sedimentación se realiza en un medio llanura evaporítica fangosa, periférica de un área lacustre salina conectada hacia el Sur con sistemas aluviales procedentes de la Cordillera Ibérica.

Se asigna una edad de Ageniense superior, atribución basada exclusivamente en la posición estratigráfica de la unidad, dada la ausencia de fósiles.

#### **1.1.5 Margas, yesos, areniscas y dolomías (5). Ageniense.**

La presente unidad constituye el techo deposicional de la Fm. Lerín y está representada por una serie margoyesífera sobre la que se dispone discordantemente la Fm. Alfaro.

En la Hoja ocupa el eje del Sinclinal de Lazagurría alcanzando una potencia superior a los 100 m.

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

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

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

Las areniscas aparecen normalmente como capas tabulares aisladas de potencia centimétrica a decimétrica con estructuras propias de avenidas turbulentas no confinadas: granoclasificación positiva, huellas de base, tractivas y de colapso, laminación paralela, *convolute lamination*, escapes de fluidos, laminaciones onduladas y *ripples* de olas.

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

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

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

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

Su contenido paleontológico es prácticamente nulo. De acuerdo con los datos regionales su edad se sitúa en la Zona MN2, del Ageniense superior.

#### **1.1.6 Yesos, margas, lutitas y areniscas (6). Ageniense.**

La presente Unidad constituye un conjunto evaporítico que 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), 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 (1) de los de Los Arcos (3 a 5) integrándose además en la Unidad Cartográfica que agrupa a ambos, buena parte de las facies Allo (2).

De este modo la presente Unidad (6) 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).

El contenido paleontológico es prácticamente nulo, de modo que la atribución al Ageniense se realiza por la situación estratigráfica de la Unidad.

#### **1.1.7 Arcillas rojas, calizas y areniscas (7). Fm. Alfaro. Ageniense superior-Orleaniense.**

La Unidad 7 caracteriza en la Hoja la parte inferior de la Fm. Alfaro.

Se dispone mediante una discordancia erosiva a escala regional sobre la Fm. Lerín, de manera que trunca parcialmente los términos superiores ésta.

El techo es transicional con las unidades 8 y 9 y está definido por la práctica desaparición de los niveles carbonatados y por un incremento en intercalaciones de areniscas.

La potencia máxima registrada en la Hoja es de unos 90 m.

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

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.

Las areniscas 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.

Se encuentra relacionada genéticamente con sistemas aluviales de diversa procedencia (Sierra de Cantabria y Cordillera Ibérica) constituyendo sus equivalentes de frente distal. En este contexto son relativamente frecuentes los desarrollos de facies lacustre-palustres carbonatadas evidenciados por niveles de calizas micríticas de extensión kilométrica.

Los niveles de calizas presentan un alto contenido en caráceas y ostrácodos habiéndose reconocido *Chara gr. tornata*, *Chara cf. cylindrica*, *Sphaerochara minutissima*, *Sphaerochara cf. ulmensis*, *Limnocythere sp.*, *Ostrácodo sp. I*, *Ostrácodo sp. G* y *Candona sp.* que constituyen una asociación típica del Mioceno inferior. La Edad se establece en el Ageniense superior-Orleaniense.

#### **1.1.8 Arcillas rojas, areniscas y calizas (8). Fm. Alfaro. Ageniense superior-Orleaniense.**

La presente unidad está representada por una serie arcillosa de tonos rojizos, con intercalaciones areniscosas de escasa potencia, que se extiende al Sur del valle del Ebro a lo largo de buena parte de la Rioja Baja.

Cubre buena parte de la mitad SO de la Hoja donde presenta buzamientos comprendidos entre inferiores a lo 10° dirigidos mayoritariamente hacia el SSO.

La potencia máxima de la Unidad en la Hoja se cifra en unos 150 m.

Litológicamente predominan los términos lutíticos, representados por arcillas rojizas en tramos homogéneos de potencia métrica a decamétrica, ocasionalmente con trazas de yesos, o alternando con otras litologías.

Las areniscas forman capas tabulares de potencia centimétrica a decimétrica y con 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 torrenciales episódicas.

Las calizas constituyen intercalaciones muy escasas y su presencia se limita a la parte basal de la Unidad. Forman niveles tabulares de potencia centimétrica a decimétrica con intervalos adyacentes subordinados 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 bastante elevado en granos terrígenos.

La Unidad se encuentra relacionada genéticamente hacia el S con sistemas aluviales de procedencia ibérica, constituyendo sus representantes de frente distal.

En IGME (1977) se han identificado: *Chara gr. tornata*, *Chara cf. cylindrica*, *Sphaerochara minutissima*, *Sphaerochara cf. ulmensis*, *Limnocythere sp.*, *Ostrácodo sp. I*, *Ostrácodo sp. G*, *Cypridopsis kinkelini* y *Candona sp.* que representan una asociación de caráceas y ostrácodos propia del Mioceno inferior. Se cuenta además con la referencia de los yacimientos de vertebrados de la Fm. Alfaro y diversos equivalentes en la región, donde se indica una edad de Ageniense superior (MN2) a Orleaniense medio (MN4).

#### **1.1.9 Arcillas rojas y areniscas (9). F. Nájera. Orleaniense.**

Las Facies de Nájera, también denominadas Fm. Nájera, fueron descritas inicialmente por RIBA (1955) como un potente conjunto terrígeno, predominantemente arcilloso, de carácter aluvial que se extiende ampliamente al SO de Logroño y corresponde cronoestratigráficamente al Oligoceno-Mioceno.

Posteriormente, otros autores (PÉREZ-LLORENTE, 1987 e IGME, 1978) establecen diversas relaciones estratigráficas con formaciones limítrofes que se resumen finalmente en el trabajo actualizado de MUÑOZ (1992), (Fig. v).

En la Hoja a escala 1.25.000 de Mendavia el término de Fm Nájera se aplica a los equivalentes laterales hacia el Oeste de la Fm. Alfaro.



Su representación en la Hoja se limita a la esquina noroccidental donde adopta una disposición subhorizontal.

Constituye el techo de la sucesión terciaria en la Hoja y alcanza una potencia máxima próxima a los 50 m.

Su base está definida por un cambio lateral de facies con las unidades de la Fm. Alfaro (7 y 8).

Los términos lutíticos constituyen la litología predominante y consisten en niveles bastante homogéneos de arcillas rojizas y ocreas que alternan por tramos con areniscas.

Las capas de areniscas poseen espesores de orden decimétrico y centimétrico y tamaños de grano de medio-fino a muy fino. Presentan una marcada morfología tabular y exhiben una gama variada de estructuras sedimentarias (granoclasificación positiva, huellas tractivas de base, laminación paralela y *ripples*, etc.) propias de flujos arenosos laminares no confinados (*sheet flood*).

El predominio de arcillas y las características sedimentológicas de las intercalaciones areniscosas indican un medio de frente aluvial muy distal conectado con sistemas procedentes del margen meridional de la cuenca.

Desde el punto de vista cronoestratigráfico se atribuye al Orleaniense por su posición en la serie.

## **1.2 CUATERNARIO**

### **1.2.1 Pleistoceno-Holoceno**

#### **1.2.1.1 Gravas, arenas y lutitas. Glacis de acumulación. (11). Pleistoceno**

Los materiales que se describen en este epígrafe afloran como tres manchas aisladas al Sur de la Hoja, en la margen derecha del Ebro ya en La Rioja.

Litológicamente están constituidos por clastos muy heterométricos (cantos y bloques), bastantes redondeados de calizas, areniscas y microconglomerados, empastados en una

matriz arcillosa ocre y/o rojiza, organizados de forma bastante heterogénea. Ocasionalmente se presentan algo cementados. Llegan a alcanzar espesores de 10-12 m

Su origen y disposición es claramente aluvial y su procedencia de los relieves ibéricos, presentándose como grandes sediplanos colgados de pendiente relativamente suave, pequeña extensión superficial y con ligera inclinación hacia donde se articula la red fluvial actual. Por su morfología y depósitos han sido considerados como glaciares de acumulación.

En cuanto a edad se refiere se les asigna una edad de Pleistoceno, probablemente inferior, por su disposición respecto a los relieves de la cadena ibérica y a las terrazas altas del Ebro.

#### 1.2.1.2 Gravas y arenas. Terrazas altas medias y bajas (12, 13 y 14). Pleistoceno- Holoceno

Dentro de este apartado se incluyen todos aquellos depósitos relacionados con la red fluvial actual articulada en torno al río Ebro y a su tributario por la margen derecha, el Leza.

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

Así en el río Ebro se incluyen como terrazas altas los niveles situados a +155 m, +105-125 m, +100 m, en las terrazas medias las situadas a +40-45 m, 20-25 m y +15 m y finalmente como terrazas bajas las situadas a +10 m y +5 m.

Este sistema de terrazas tiene también su continuidad en el valle del Leza, en ambas márgenes, con desarrollos de terrazas a +5 m, +10 m, +15 m, +20 m y +40 m

Tanto las terrazas medias como las bajas son las que mayor continuidad tienen como se pone de manifiesto en la cartografía, dando lugar a un amplio valle que atraviesa la Hoja de Oeste a Este. Las terrazas altas, se desarrollan por la margen derecha, dando lugar a mesas con escarpes muy marcados.

La litología de los depósitos de 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 con arenas y arcillas en proporciones variables. Los clastos son poligénicos y heterométricos de calizas, cuarcitas, areniscas y microconglomerados aunque por lo general se encuentran redondeados. En ocasiones se encuentran ligeramente cementados 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, así en las terrazas altas se reconocen potencias medias de 10-12 m. Algunos espesores anómalos corresponden a fenómenos de subsidencia diferencial en determinadas áreas.

Las terrazas bajas, son las más extensas y por lo general las menos potentes. Sobre ellas se desarrolla de forma intensa la horticultura. Están constituidas por gravas y arenas con lutitas de tonos 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.

Las terrazas medias y las bajas han sido objeto de explotación tanto de áridos como de recursos hídricos. Las terrazas altas están menos desarrolladas aunque lo hacen preferentemente en la margen izquierda dando grandes replanos tipo mesas que destacan en el paisaje de la región

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

#### 1.2.2.3 Lutitas con cantos. Glacis. (15). Pleistoceno-Holoceno

Se trata de depósitos que se desarrollan sobre los depósitos neógenos generalmente yesíferos y/o arcillosos, contribuyendo a la morfología actual de las laderas y de algunos valles.

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 yesos y/o areniscas 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.

#### 1.2.2.4 Limos y arcillas ocreas con cantos. Conos de deyección (17). Pleistoceno-Holoceno

Se describe en este apartado una serie de depósitos que han sido incluidos por su morfología en planta como conos de deyección o conos aluviales

Se localizan generalmente en grandes valles como el del Ebro o del Leza, así como en otros cursos de menor entidad. Están formados por limos y arenas de tonalidades ocreas que tapizan el sustrato. A veces, cuando no están individualizados presentan una morfología bastante difícil de reconocer. En ocasiones, como p.e como en la margen derecha del valle del Ebro o en el río Leza se disponen sobre niveles de gravas correspondientes a las terrazas bajas o medias de dicho río.

Se encuentran en las salidas de los arroyos y de los pequeños valles que acceden a otros de rango superior o así como en las terrazas de la red fluvial. En ocasiones se solapan, dando lugar a formas coalescentes de mayor desarrollo, como p.e los que se desarrollan en la margen izquierda del Ebro.

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 los primeros se atribuyen al Pleistoceno y a los segundos se les asigna una edad de Holoceno.

#### 1.2.2.5 Lutitas y arenas con cantos. Aluvial-Coluvial (18). Pleistoceno

En este epígrafe se describe 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. Se desarrollan por el borde más septentrional de la Hoja.

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

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

#### 1.2.2.6 Gravas, arenas y lutitas. Meandros y/o cursos abandonados (19). Pleistoceno-Holoceno

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

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

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

### **1.2.2 Holoceno**

#### 1.2.2.1 Gravas, arenas y lutitas. Llanura aluvial y barras fluviales (20). Holoceno

Estos depósitos corresponden a gravas y arenas a veces con cantos, aunque ocasionalmente incluyen clastos tamaño bloque, con cantos de litología muy variada: areniscas, calizas etc. Se trata de depósitos de llanura aluvial desarrolladas junto a las terrazas bajas o bien a barras fluviales en zonas próximas a los márgenes del río con una marcada acreción lateral 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. Gravas. Fondos de valle y cauces activos (21). Holoceno

Estos depósitos corresponden a los materiales que dejan cursos de escorrentía superficial efímera o casi nula, por la que discurren los principales arroyos, así como a los del Leza y Mayor, principales afluentes del Ebro por ambas márgenes. Constituyen pues la red fluvial de orden menor que transcurre por 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 ocasionalmente pueden presentar mayor espesor

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

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

#### 1.2.2.3 Lutitas y arenas con cantos y bloques. Coluviones (22). 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 más frecuente es encontrar lutitas de color ocre

mezcladas y/o empastando cantos angulosos y subangulosos de arenisca o yesos, y a veces algunos de caliza según donde se desarrollen.

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

#### 1.2.2.4 Escombreras y vertederos. Depósitos antrópicos (24). Holoceno.

En la cartografía y por su extensión superficial se han diferenciado un conjunto de depósitos heterogéneos y artificiales, de claro origen antrópico. No obstante en la Hoja apenas existen y solo han sido diferenciados estos depósitos junto al canal de Mendavia y en las proximidades de la carretera a Lazagurría

Corresponden por lo general a escombreras de materiales como consecuencia de obras o a vertederos de residuos. Este tipo de depósito a veces llega a tener un claro impacto paisajístico.

## 2 TECTÓNICA

### 2.1. CONSIDERACIONES GENERALES

La presente Hoja de Mendavia 204-II se localiza en la Depresión del Ebro, unidad estructuralmente conocida como Dominio del Ebro, que corresponde a un área de geometría triangular con un comportamiento de cuenca de antepais, es decir se trata de una cuenca tipo "*foreland*" del orógeno pirenaico desarrollada a lo largo del Terciario en el borde entre las placas ibérica y europea. Esta cuenca ha sufrido el empuje por el Norte de las laminas cabalgantes pirenaicas y por el Sur los de la cadena Ibérica, presentando esta ultima una clara aloctonia hacia el Norte con desplazamientos de mas de 20-30 km hacia la cuenca

La evolución y geometría 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. La Ibérica presenta una estructuración un poco más reciente iniciándose esta durante el Paleógeno.

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.

De acuerdo con los criterios mas actualizados, la extensión de la cadena pirenaica 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 a la cuenca en el sector de Logroño, situándose pues a relativa poca distancia del área estudiada..

Los materiales que conforman la Hoja a escala 1:50.000 a la que pertenece esta cuadrícula son todos ellos de edad terciaria, 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) que aflora en el sector más septentrional y nororiental de la Hoja que se estructura en el ámbito regional según grandes pliegues de



escala kilométrica y otra unidad superior, eminentemente detrítica y de edad Mioceno inferior-medio (Ageniense superior-Orleaniense) que se dispone discordante claramente sobre la anterior y que ocupa casi la totalidad de los afloramientos de la Hoja.

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 se dispone una potente serie detrítica poco plegada y de procedencia ibérica que cubre en parte la infrayacente. La disposición de estos últimos materiales es subhorizontal o formando a veces grandes y laxos pliegues de escala regional.

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

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

El acercamiento definitivo entre las placas ibérica y europea, motivo en la cadena pirenaica la creación de un cinturón de pliegues y cabalgamientos, que se propagaron hacia el antepais en secuencia de bloque inferior. Estas estructuras se agrupan en las denominadas "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 continuó 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 o cuenca del Ebro a la vez que 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 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, 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 de la zona estudiada es función de la orientación e intensidad de las distintas fases compresivas alpinas y de la naturaleza y disposición de los materiales que configuran la cobertera sedimentaria. No hay que olvidar la importancia de los procesos halocinéticos, es decir del movimiento y migración de las sales responsables de la geometría y disposición de algunas de las estructuras. En el marco de la Hoja, no obstante la estructura es el resultado por un lado del cabalgamiento de la sierra de Cameros sobre la cuenca del Ebro y por otro del desplazamiento hacia el Sur y Suroeste de las láminas pirenaicas, que a veces ponen límite a las grandes estructuras, que en la región presentan una dirección general E-

O y N.NO-S.SE con ligeras inflexiones hacia el Oeste, por lo que adoptarían posiciones E.NE-O.SO.

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 204-II Mendavia se caracteriza por presentar en casi la totalidad de ella una disposición de sus materiales en disposición horizontal o subhorizontal al menos en su sector meridional mientras que en el septentrional y hacia zonas orientales aparece dibujada una estructura sinclinal suave.

Así pues se diferencian dos dominios: el dominio plegado del Ebro y el de La Rioja Baja. El primero de ellos conforma un sector en la Hoja constituido por yesos y lutitas rojas estructurado según pliegues de dirección E-O. El segundo ocupa los sectores más meridionales y corresponde a un conjunto detrítico suavemente plegado en disposición casi horizontal o subhorizontal.

El primero de ellos, el denominado dominio plegado del Ebro, esta formado por una estructura sinclinal suave: el sinclinal de Lazagurria de dirección E-O a E.NE-O.SO, con flancos de buzamientos muy laxos y gran longitud de eje.

El dominio plegado del Ebro queda delimitado en la Hoja por el curso de dicho río bajo el cual se debe esconder otra estructura laxa tipo anticlinal de igual dirección que recorre de

forma diagonal toda la Hoja. Este pliegue configura también en parte la geometría de los depósitos neógenos suprayacentes que caracterizan ya al otro dominio.

El dominio de La Rioja Baja, está constituido por una potente sucesión monótona de lutitas rojas y areniscas que dibujan con buzamientos muy suaves hacia el Sur el flanco más septentrional de otra estructura sinclinal, el sinclinal de "La Rioja Baja" (MUÑOZ 1992) que se extiende fuera de Hoja, transcurriendo al Sur de Murillo de río Leza de y afectando a los depósitos neógenos de la margen derecha del Ebro al menos hasta Calahorra e incluso Autol.

En cuanto a accidentes tipo fallas, solo destacar que estas a escala hectométrica o kilométrica no se reconocen, observándose solo pequeñas discontinuidades con saltos decimétrico a métrico, lo que no implica que accidentes de este tipo de cierta envergadura no estén ocultos bajo sedimentos recientes.

A destacar en la zona de la ribera la actividad neotectónica que en este sector tiene lugar, observándose algunas deformaciones en las terrazas medias y bajas y contactos entre distintos depósitos a veces estos por fallas. Este sector y sus accidentes fueron estudiados por ATARÉS et al. (1983).

### **3. GEOMORFOLOGÍA**

#### **3.1. DESCRIPCIÓN FISIAGRÁFICA**

La Hoja a escala 1:25.000 de Mendavia (204-II) está incluida en la Hoja a escala 1:50.000 de Logroño (204), disponiéndose a caballo entre las Comunidades Autónomas de Navarra, que ocupa los sectores septentrional y oriental, y La Rioja, cuyo límite queda establecido por el río Ebro.

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

A grandes rasgos, el relieve de la Hoja está definido por el amplio valle del Ebro, que la atraviesa diagonalmente de Noroeste a Sureste, separando dos plataformas de elevación moderada, en las que se reconocen encajamientos profundos y aplanamientos, más o menos marcados, especialmente evidentes en el caso de la plataforma suroccidental. La altitud mínima se encuentra en el valle del Ebro (325m), en tanto que la máxima se localiza en el ámbito del paraje de Plana Hermosa (522m).

Evidentemente, el principal curso fluvial es el río Ebro, que con un trazado sinuoso discurre de Oeste a Sureste, articulándose en torno a él la totalidad de la red de drenaje; dentro de ésta destacan con mucho, entre una nutrida red de barrancos, los ríos Mayor y Leza, afluentes por sus márgenes izquierda y derecha, respectivamente.

Climatológicamente, la región pertenece al tipo Mediterráneo Templado, con precipitaciones medias anuales comprendidas entre 450 y 550mm y temperaturas medias anuales de 12 a 14°C.

Sus habitantes se encuentran muy desigualmente repartidos, concentrándose casi exclusivamente en el valle del Ebro, cuyo sector occidental se encuentra bajo el radio de influencia de Logroño; en el valle se localizan diversos núcleos de población: Agoncillo, Arrúbal y Mendavia, el más destacado de la Hoja. Por el contrario, los sectores suroccidental y septentrional muestran una acusada tendencia a la despoblación, rota únicamente por la presencia de Lazagurría, al Norte.

La red de comunicaciones se basa en una densa serie de carreteras, de entre las que sobresale la autopista A-68, sin olvidar tampoco la línea de ferrocarril que une Zaragoza y Logroño. Además, en las zonas rurales existen numerosos caminos y pistas que permiten el acceso a la práctica totalidad de la Hoja.

En cuanto a la vegetación, el rasgo más característico son los extensos regadíos desarrollados en el valle del Ebro, favorecidos por la construcción de los canales de Mendavia y Río Nuevo. Al margen del valle abundan los terrenos de monte bajo y matorral, si bien el predominio es de terrenos claros, prácticamente carentes de vegetación, configurando paisajes desérticos. Al igual que en áreas próximas, la actividad agrícola constituye una de las ocupaciones principales de la población, aunque no debe olvidarse el notable desarrollo alcanzado por la actividad industrial en el ámbito de la autopista.

### **3.2. ANTECEDENTES**

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

Por lo que respecta a estudios más concretos, en su mayor parte se centran en los depósitos de terrazas y glaciares del río Ebro, destacando los de RIBA y BOMER (1957), GONZALO (1977 y 1979) y LERÁNOZ (1989), mereciendo la pena señalar el de LERÁNOZ (1990) que aborda el endorreísmo del sector meridional navarro. Por su interés neotectónico es preciso señalar la publicación de ATARES et al. (1983), en relación con la existencia de fallas cuaternarias en el área de Alcanadre.

También es preciso destacar las aportaciones de las Hojas geológicas a escala 1:50.000 correspondientes al Plan MAGNA de la región, especialmente la de Logroño (204) y las más recientes de Viana (171), Allo (172) y Tafalla (173), que incluyen un capítulo de geomorfología acompañado del correspondiente esquema a escala 1:100.000. Por último, mención aparte merecen las Hojas geológicas y geomorfológicas a escala 1:25.000 realizadas dentro del presente proyecto de actualización e informatización de la cartografía geológica de Navarra en las zonas limítrofes (Hojas 171-III, Viana, y 171-IV, Los Arcos; GOBIERNO DE NAVARRA, 1998), por la gran cantidad de datos aportados y la puesta al día llevada a cabo en cuanto al conocimiento geológico de la región.

### **3.3. ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO**

El estudio morfológico se aborda desde dos puntos de vista:

Considerando el relieve como una consecuencia del sustrato geológico y de la disposición del mismo (estudio morfoestructural).

Teniendo en cuenta la incidencia de los procesos exógenos sobre dicho sustrato (estudio del modelado).

#### **3.3.1. Estudio morfoestructural**

La Hoja de Mendavia (205-II) se localiza en la Cuenca de La Rioja-Navarra, perteneciente al sector noroccidental de la Depresión del Ebro, caracterizado por una clara influencia de la estructura en el relieve, derivada a su vez de la acción de la tectónica sobre los diferentes conjuntos litológicos.

De acuerdo con los principales rasgos regionales, los afloramientos terciarios integran un dominio truncado por el valle del río Ebro que, tapizado por sus depósitos cuaternarios, constituye el principal dominio de la Hoja.

##### **3.3.1.1. Formas estructurales**

El dominio terciario, en el que aflora un conjunto sedimentario atribuido al Oligoceno-Mioceno, está caracterizado por una serie lutítico-yesífera en la que se intercalan frecuentes niveles de calizas, dolomías, areniscas y yesos, cuya mayor resistencia a la erosión les

confiere el papel de resaltes estructurales. Son estos niveles los que permiten establecer la geometría de la zona, consistente en una sucesión de pliegues de orden kilométrico orientados según ESE-ONO, interrumpidos únicamente por la red de drenaje, de entre los que destaca el sinclinal de Lazagurría. Los resaltes poseen una continuidad muy variable, con frecuencia de varios kilómetros, pudiendo aparecer como simples líneas de capa o acompañados de escarpes más o menos pronunciados, en todos los casos con desniveles inferiores a 100m. Es frecuente, especialmente en el sector noroccidental, la conservación de superficies estructurales, degradadas o no, que pueden aparecer como cuestas o mesas. Entre estas formas derivadas de la estructura es preciso señalar también los cerros cónicos, como resultado de procesos de erosión selectiva.

#### 3.3.1.2. Estructura de la red de drenaje

Con relación al río Ebro, que actúa como nivel de base regional, los principales cursos de la red tienen un marcado carácter consecuente, discurriendo a favor de la pendiente regional. No obstante, en el sector septentrional, algunos afluentes de éstos muestran carácter subsecuente, adaptándose claramente a la estructura, con directrices ESE-ONO a E-O. Por sus reducidas dimensiones, resulta prácticamente anecdótica la presencia de cursos obsecuentes y resecuentes en el sector nororiental.

#### **3.3.2. Estudio del modelado**

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

##### 3.3.2.1. Formas de laderas

Lógicamente, los procesos relacionados con la dinámica de las laderas son frecuentes en algunas zonas, como consecuencia de los abundantes desniveles existentes, debidos a la profusión de escarpes, cuestas, cerros cónicos, terrazas y glacis colgados, entre otros elementos de relieve positivo. No obstante, la representación cartográfica de las formas de ladera es mínima, estando restringida a un pequeño número de coluviones.



Los coluviones están exiguamente representados, apareciendo en general en la parte baja de las vertientes, principalmente como bandas delgadas en torno a los relieves estructurales del sector noroccidental.

### 3.3.2.2. Formas fluviales

Constituyen, con mucho, el grupo de mayor relevancia, merced principalmente al cortejo de terrazas que escalonan el valle del río Ebro, en el que también está representada su llanura de inundación, junto con diversas barras y meandros y cauces abandonados. Las formas sedimentarias se completan con los fondos de valle y conos de deyección repartidos por todo el territorio. Como formas erosivas, se han reconocido aristas, huellas de incisión lineal y acarcavamientos.

Los fondos de valle son especialmente abundantes en el sector septentrional, donde tapizan los numerosos barrancos que inciden en el sustrato terciario. Aparecen como formas alargadas y estrechas, cuya longitud varía sensiblemente. En general, su geometría se adapta a la estructura y a la pendiente regional.

La llanura de inundación está representada a modo de pequeños retazos adyacentes al cauce activo de los ríos Ebro y Leza; por otra parte, también ocupan la totalidad del fondo del valle del río Linares, presentando su típica morfología plana y ligeramente encajada en la terraza más baja. En relación con el cauce activo, se distinguen igualmente pequeños sistemas de barras, cuya diferenciación con respecto a la llanura es difícil de establecer debido a los represamientos existentes a lo largo del cauce.

El sistema de terrazas del río Ebro es el conjunto de formas más característico, habiéndose diferenciado siete niveles a +5m, +10m, +15m, +20-25m, +40-45m, +105-125m y +155m. Los dos niveles inferiores se han considerado como terrazas “bajas” y poseen un dispositivo de terrazas encajadas o solapadas, en tanto que los dos superiores se han considerado terrazas “altas”, presentándose como terrazas colgadas; por lo que respecta a los tres niveles restantes, han sido considerados como terrazas “medias” y pueden aparecer encajadas o colgadas. En conjunto, confieren al valle un aspecto escalonado asimétricamente, 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.

Este sistema encuentra su continuidad en el valle del Leza, a través de las terrazas de +5m, + 10m, +15m, +20m y +40m, dispuestos de forma escalonada en ambas vertientes, igualmente.

Uno de los rasgos más llamativos de las terrazas de la región es la espectacular deformación que presentan a menudo, relacionada con los procesos de deformación del sustrato yesífero; entre los fenómenos observados se encuentran colapsos, basculamientos y plegamientos que, en cualquier caso, modifican el aspecto típico de estos depósitos.

Asociados a las terrazas “bajas” del Ebro aparecen meandros y cauces abandonados, a modo de suaves encajamientos de forma lineal. Los primeros muestran su típica forma arqueada, en tanto que los segundos poseen una tendencia más rectilínea.

También los conos de deyección son frecuentes. Se generan cuando la carga concentrada en barrancos estrechos alcanza áreas más amplias, en las cuales se expande, dando lugar a sus típicas morfologías en abanico. Aunque existen formas aisladas, la proximidad entre los barrancos hace que predominen los dispositivos coalescentes, de forma que aparecen como bandas que orlan los principales valles.

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

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

### 3.3.2.3. Formas poligénicas

Están moderadamente representadas por glaciares y sedimentos de tipo aluvial-coluviol como formas con depósito, así como por superficies de erosión degradadas y escarpes.

Los glacis aparecen tanto en relación con los relieves septentrionales, como con los suroccidentales, bajo dos aspectos diferentes: a modo de plataformas subhorizontales colgadas, aspecto exclusivo del sector suroccidental; y al pie de las vertientes, caracterizándose por sus perfiles longitudinales plano-cóncavos, con aumento de la concavidad hacia la cabecera, aspecto típico del sector septentrional. Los primeros, considerados como glacis de acumulación poseen una relevancia regional muy superior, disponiéndose los del segundo grupo encajados en ellos.

Mucha menos entidad poseen los depósitos de tipo aluvial-coluvial, que están restringidos a dos pequeños afloramientos localizados en las proximidades del paraje Valderrobles. Se trata de fondos de valle que reciben aportes laterales, siendo tan gradual el paso entre fondos y laderas, que su separación se hace extremadamente dificultosa.

Entre los valles del río Linares y del barranco de Matamala, se reconocen restos de superficies de erosión degradadas que, en algunos casos, no guardan relación entre sí. No obstante, la mayoría parecen corresponder a retazos de una superficie representada en la región a cotas cercanas a 450m y relacionada con el encajamiento del río Ebro. Un significado equivalente debe poseer los retazos más occidentales, en este caso en relación con el encajamiento de la red secundaria. Lógicamente, su interpretación en el contexto del encajamiento de la red fluvial actual, hace que se atribuyan al Cuaternario.

Por lo que respecta a los escarpes, se localizan en la parte alta de numerosos valles, pese a lo cual se han interpretado como formas poligénicas, ya que pese a su evidente influencia fluvial, se supone que los procesos de ladera también han tenido incidencia en su génesis. Lógicamente, su envergadura es muy variable, destacando los de las vertientes de la margen derecha del Ebro y sus afluentes principales, con desniveles que pueden alcanzar 100m.

#### 3.3.2.5. Formas antrópicas

La actividad antrópica se concentra fundamentalmente en el valle del Ebro, donde la región ha sufrido profundas transformaciones en relación con el desarrollo vial e industrial reciente. No obstante, tan sólo se han representado aquéllas que han supuesto fuertes remodelaciones del relieve, entre las que se encuentran escombreras y vertederos, frentes de canteras y escarpes, estos últimos relacionados con la construcción de la autopista A-68.

### **3.4. FORMACIONES SUPERFICIALES**

#### **3.4.1. Lutitas y arenas con cantos y bloques. Coluviones (a). Holoceno**

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

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

#### **3.4.2. Lutitas con cantos y arenas. Fondos de valle (b). Holoceno**

Constituyen el depósito de cursos de escorrentía superficial efímera o actualmente nula, que discurren intermitentemente a través de la mayoría de los valles de la red fluvial secundaria.

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

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

#### **3.4.3. Gravas, arenas y lutitas. Llanuras de inundación (c). Meandros o cauces abandonados (f). Barras (g). Pleistoceno- Holoceno**

En relación con el sistema fluvial del río Ebro, se reconocen depósitos de gravas, arenas y lutitas, bajo dos contextos diferentes: por una parte como depósitos de reducida extensión adyacentes al cauce activo y ligeramente encajados en la terraza más baja, correspondientes a la llanura de inundación (c) o a barras (g); por otra, suavemente

encajados en el seno de las terrazas “bajas” con formas estrechas, en ocasiones fuertemente curvadas, correspondiendo a meandros o cauces abandonados (f). En el caso de la llanura de inundación, se encuentra ampliamente representada en el valle de los ríos Linares y Leza.

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

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

#### **3.4.4. Gravas y arenas. Terrazas (d). Pleistoceno**

Pertencen al sistema fluvial del Ebro y su afluente, Leza, que han dejado a lo largo de la Hoja un cortejo escalonado de siete niveles, agrupados en terrazas “altas”, los dos superiores (+105-125 y +155m), “medias”, los tres intermedios (+15m, +20-25 y +40-45m), y “bajas”, los dos inferiores (+5 y +10m). Es preciso recordar que algunas de estas cotas pueden haber sido modificadas debido a las deformaciones neotectónicas de los yesos que constituyen su sustrato.

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

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

#### **3.4.5. Limos y arcillas ocre con cantos. Conos de deyección (e). Holoceno**

Se encuentran extensamente representados, orlando buena parte las vertientes, especialmente en el sector septentrional. Generalmente, están formados por limos y arcillas de tonalidades ocre, que ocasionalmente engloban cantos o gravas dispuestas en delgadas hiladas; también pueden apreciarse cementaciones, pero siempre muy superficiales y de poca consistencia. Se disponen a la salida de los barrancos estrechos hacia valles más amplios y lógicamente su composición de detalle varía en función del área madre. Es bastante frecuente el solapamiento o la coalescencia de varios aparatos, dando lugar a formas de desarrollo lateral de orden kilométrico.

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

#### **3.4.6. Limos ocre y lutitas y arenas con cantos. Aluvial-coluvial (h). Holoceno**

En general, se trata de un depósito de granulometría fina, con predominio de limos, en el que se intercalan esporádicos cantos de naturaleza yesífera, en su mayor parte procedentes de las vertientes. Probablemente, su espesor no alcance 5m.

Se atribuyen al Holoceno, al igual que las formas elementales que lo integran, es decir, coluviones y fondos de valle.

#### **3.4.7. Lutitas con cantos. Glacis (i,j). Pleistoceno**

Se han reconocido dos generaciones, con una clara relación de encajamiento entre sí. En el caso de los inferiores (i), cuyo espesor puede alcanzar 5m, su desarrollo se produce sobre depósitos neógenos preferentemente arcillosos, contribuyendo a la morfología actual de las laderas. Por el contrario, los superiores (j) se disponen a modo de finas películas que tapizan las superficies que culminan el relieve local. En general, su composición refleja la del sustrato sobre el que se desarrollan, así como la de las vertientes al pie de las cuales se generan. Están constituidos por lutitas con cantos dispersos, a veces bloques, angulosos a subangulos, de composición areniscosa y yesífera.

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

#### **3.4.8. Escombros y vertidos. Depósitos antrópicos (k). Holoceno**

Tan sólo se ha diferenciado un reducido grupo de depósitos de esta naturaleza, relacionados con escombreras de canteras o vertederos municipales; en las primeras predominan las acumulaciones de gravas, en tanto que en los segundos se puede encontrar cualquier tipo de material, natural o no, con dimensiones muy variables. En cualquiera de los casos, su espesor varía constantemente, dentro de márgenes métricos a decamétricos. Obviamente, se trata de un depósito actual.

### **3.5. EVOLUCIÓN DINÁMICA**

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

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

La superficie más alta de la Hoja, conservada a modo de retazos por el sector septentrional, parece encajarse en los glacis superiores, localizados en la margen derecha del Ebro y que constituyen el primer vestigio del encajamiento del río en la zona. Por ello, dicha superficie debe considerarse como un nivel de erosión relacionado con alguno de los niveles de terraza superiores. Suele estimarse que este proceso de dismantelamiento del relieve se inició a comienzos del Cuaternario y fue conducido por los agentes externos, sin que deba olvidarse que la evolución del relieve ha estado condicionada en todo este periodo por la estructura del sustrato.

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

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

Ya en el Holoceno, la dinámica fluvial ha seguido gozando de una gran preponderancia en el modelado de la región, tanto por la acción llevada a cabo en los fondos de los valles como, en menor medida, por la ejercida a través de los conos de deyección. Por otra parte, los procesos de las laderas ahora sí permanecen “momentáneamente” conservados en forma de coluviones, en tanto que la influencia del sustrato se pone de manifiesto por la profusión de escarpes, mesas, cuevas y cerros cónicos que la erosión ha modelado y que constituyen elementos inseparables del paisaje actual en la región.

### **3.6. MORFOLOGÍA ACTUAL-SUBACTUAL Y TENDENCIAS FUTURAS**

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

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

La previsible evolución del relieve a corto plazo no sugiere modificaciones importantes en relación con los procesos actuales, siendo de esperar una tendencia general de



aproximación del relieve al nivel de base local, marcado por el Ebro. Si bien en las áreas de afloramiento de materiales blandos se incrementará la tendencia a suavizar las formas, incluso con aparición de tendencias endorreicas, la superior resistencia a la erosión de algunos niveles podría exagerar los desniveles de algunas formas estructurales. Otro probable efecto futuro es la captura de algunos cursos del sector septentrional que discurren hacia el Norte, por parte de los del meridional, adaptándose así a la pendiente regional. Por último, resulta imposible predecir todas aquellas modificaciones relacionadas con las deformaciones de los materiales yesíferos.

#### **4. HISTORIA GEOLÓGICA**

La síntesis descriptiva de la evolución geológica realizada en este capítulo es válida para la mitad septentrional de la Hoja a escala 1:50.000 de Logroño (204), a la que pertenece este cuadrante.

Buena parte del registro estratigráfico al que se hace mención está representado únicamente en el subsuelo ya que los materiales aflorantes son predominantemente del Mioceno inferior-medio.

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

La evolución de la cuenca sedimentaria ha estado directamente controlada por el levantamiento de las cordilleras limítrofes, principalmente por el Pirineo, que cabalgan los depósitos terciarios. Según esta influencia a nivel 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 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 adquirió un carácter continental endorreico que ha perdurado 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, enlazada lateralmente con los abanicos aluviales representados por la Fm. Arnedo al sur, y con las facies fluvio-lacustres de Sangüesa al Noreste.

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

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

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

depósitos aluviales distales y lacustres carbonatados desarrollados en dos diferentes ámbitos paleogeográficos: por un lado, están las Facies de Tudela localizadas en la región de Tudela-Las Bardenas. En este caso se trata de los depósitos de tránsito entre el sistema fluvial Alfaro y el sistema evaporítico representado en Aragón por la Fm. Zaragoza. 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 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 el territorio perteneciente a la Comunidad Foral dentro la Hoja se han reconocido 23 indicios. En su mayor parte se trata de canteras de gravas sobre depósitos de terrazas bajas y medias de la margen izquierda del Ebro y en tres casos se registran en la actualidad actividades extractivas. Los dos indicios restantes corresponden a pequeñas canteras de yesos. 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 21 indicios de gravas y dos canteras de yesos. Se describen también otras sustancias, arcillas, arenas y sal común, por sus posibilidades de aprovechamiento en el futuro.

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

Se cuenta con 21 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 muy 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.

Tres de las canteras se encuentran actualmente en funcionamiento. El destino de los productos es muy local y está relacionado con la construcción o con el mantenimiento de las carreteras.

En el resto de las explotaciones 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

En los alrededores de Lazagurría se reconocen dos canteras de yesos de reducidas dimensiones.

Se emplazan sobre los Yesos de Los Arcos (Unidad Cartográfica 3).

Se trata de canteras muy pequeñas de un sólo frente con una altura inferior a 10 m y de escasa longitud.

No registran en la actualidad actividades extractivas.

#### 5.1.1.3. Arcillas

En la región existen varias explotaciones de arcillas comunes si bien no se encuentra ninguna dentro del territorio navarro de la Hoja.

Las formaciones terciarias de la Hoja constituyen una importante fuente potencial de arcillas, especialmente la Fm. Alfaro, debido al marcado predominio de materiales lutíticos.

Mineralógicamente se caracterizan por su elevado contenido en minerales arcillosos de origen detrítico, caolinita, y especialmente illita (50-60%), lo que confirma su procedencia aluvial.

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 lacustre-palustres de la Fm. Alfaro (Unidad Cartográfica 7).

#### 5.1.1.4. Arenas y areniscas

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

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

Dentro del territorio de la Comunidad Foral en la Hoja no se reconoce ninguna explotación de esta sustancia, cuya cita en el presente epígrafe se debe a su potencial minero.

#### 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.

Teniendo en cuenta que en la parte superior de la Fm. Lerín se encuentran dos importantes intervalos evaporíticos: Yesos de Los Arcos y Yesos de Sesma (Unidades cartográficas 3 y 1, respectivamente), cabe destacar las posibilidades de aprovechamiento de la sal que contienen que podría destinarse a demandas locales (curtidos y alimentación, esencialmente).

## **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 Sesma. Mioceno inferior

Los Yesos de Sesma (Unidad Cartográfica 1) tienen una representación muy reducida en la Hoja de Mendavia, se distinguen un pequeño afloramiento en el vértice NE de la Misma.

En este punto presenta un buzamiento moderado hacia el SO y sólo afloran los términos superiores de la Unidad.

En el entorno de la Hoja se miden potencias del orden de 100-150 m y aparece como un paquete de yesos bastante masivo con intercalaciones menores de margas grisáceas.

En profundidad se ha constatado la presencia de importantes volúmenes de sal intercalada entre términos sulfatados (anhidrita principalmente).

Representa una Fm. salina de muy baja permeabilidad ( $<10^{-8}$  m/s). En situación próxima a la superficie aumentan los valores de permeabilidad debido a fenómenos de karstificación por disolución de las evaporitas.

#### 5.2.1.2. Arcillas rojizas con intercalaciones de areniscas y yesos. Facies de Allo. Mioceno inferior

Corresponde a la Unidad Cartográfica 2.

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

En la Hoja su representación se limita a la esquina NE donde se dispone a ambos flancos el Sinclinal de Lazagurría.

Su potencia aumenta hacia el NO alcanzando valores superiores a los 50 m.

Litológicamente corresponde a un conjunto de arcillas rojas y ocreas con intercalaciones de areniscas de escasa potencia e intervalos yesíferos de diversa consideración, más importantes hacia techo.

La permeabilidad es muy baja debido al carácter arcilloso de la unidad y a la escasa relevancia de las intercalaciones.

#### 5.2.1.3. 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, no obstante, en la Hoja de Mendavia registra, especialmente hacia el S una menor potencia e intercala niveles lutíticos en proporciones destacadas. De este modo pasa de unos 150 m de potencia a menos de 100 en sentido N a S indentándose con la Unidad infrayacente (2, Facies de Allo).

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

Sus afloramientos en la Hoja se limitan al extremo nororiental de la misma, desarrollándose a ambos flancos del Sinclinal de Lazagurría.

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.

#### 5.2.1.4. Yesos, margas, lutitas y areniscas. Mioceno inferior

Los términos más superiores de la Fm. Lerín están caracterizados por una sucesión lutítico yesífera (Unidades Cartográficas 4, 5) que se superpone al paquete yesífero principal de los Yesos de los Arcos (Unidad Cartográfica 3).

Su desarrollo en la Hoja se concentra al NO de Mendavia donde ocupan el núcleo del Sinclinal de Lazagurría por lo que presentan buzamientos bajos a horizontales.

En términos generales se aprecia un mayor contenido de arcillas rojizas con débiles intercalaciones areniscas en la parte inferior del conjunto (4) mientras que la parte superior contiene más yesos y margas grises (5).

La potencia total es de unos 150-200 m y el techo está definido por el contacto discordante con la Fm Alfaro (7).

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

#### 5.2.1.5. Arcillas rojizas con intercalaciones de areniscas y calizas. Fms. Alfaro y Nájera. 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. Comprenden las unidades cartográficas 7 a 9 que corresponden litoestratigráficamente a las denominadas Facies o Fms. de Alfaro y Nájera.

La Alfaro se dispone de forma discordante sobre la Fm. Lerín mediante un contacto truncacional a escala regional.

Las Facies Alfaro o Fm. Alfaro ocupan buena parte del tercio occidental de la Hoja extendiéndose de forma más amplia en la esquina SO, mientras que las Facies Nájera se distinguen únicamente en el vértice NO.

La potencia de la serie terciaria aflorante en la Hoja se cifra en unos 200 m y se registran valores bajos de buzamientos, inferiores a los  $10^\circ$ , que definen un anticlinorio muy laxo con el eje centrado en el valle del Ebro.

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

#### 5.2.1.6. 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 de los ríos Ebro y Leza. Las terrazas medias y bajas se desarrollan de forma escalonada a ambos márgenes de los dos cursos ocupando extensas superficies junto con otros materiales clásticos de génesis fluvial, y las terrazas altas aparecen de forma aislada, desconectadas de los cauces actuales. Cabe destacar también el río Linares por su amplio fondo de valle en nava.

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 gruesa, escasez de matriz lutítica y poca o nula cementación.

#### 5.2.1.7. 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, coluviones y glaciares

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

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

#### **5.2.2. Unidades acuíferas.**

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

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

Por orden cronoestratigráfico son:

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

#### 5.2.2.1. Unidad Hidrogeológica Sur

##### *Geometría.*

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

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

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

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

Las principales unidades evaporíticas forman en superficie intervalos yesíferos muy expansivos de unos 50 a 300 m de potencia, (Yesos de 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 riego (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>Superficie(km<sup>2</sup>)</b>	<b>Espesor saturado medio (m)</b>	Porosidad %	<b>Reservas (hm<sup>3</sup>)</b>
<i>Ebro</i>	530 (370*)	16	10	848 (592*)

(\* : 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 Mendavia (204-II) correspondiente al Mapa 1:50.000 de Logroño (204) 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 en 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 204 de Mendavia 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 204 de Mendavia son las siguientes:

ÁREA I: Engloba los materiales plegados del Oligoceno superior 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 Mendavia

UNIDAD CARTOGRÁFICA	ZONACIÓN GEOTÉCNICA	DESCRIPCIÓN
24	III <sub>4</sub>	Escombreras y vertederos
22	III <sub>2</sub>	Lutitas y arenas con cantos y bloques
11a 14, 15, 17 a 21	III <sub>1</sub>	Gravas y arenas, arenas con cantos, lutitas y limos ocre
7,8,9	II <sub>1</sub>	Arcillas rojas y ocre con intercalaciones de areniscas y calizas
2	I <sub>3</sub>	Lutitas rojas, areniscas y margas
4	I <sub>2</sub>	Lutitas rojas, areniscas, margas y yesos
1, 3, 5 y 6	I <sub>1</sub>	Yesos con intercalaciones de margas

CUADRO 1.- CORRELACIÓN ENTRE LAS UNIDADES GEOLÓGICAS Y ZONAS GEOTÉCNICAS EN LA HOJA DE MENDAVIA (204-II)

### **5.3.4. Características geotécnicas**

#### **5.3.4.1. Introducción**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

*Ensayo de corte directo.* Permite determinar la cohesión (c) y el ángulo de rozamiento interno ( $\phi$ ) 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.

<b>Descripción de la roca</b>	<b>Kp/cm<sup>2</sup></b>
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

#### Características Geológico-Geotécnicas

##### 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 el núcleo del sinclinal de Lazagurría

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 puede estar incentivada 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 lútficos 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 pseudoverticales o en voladizo por descalce de los niveles lutíticos inferiores.

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

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

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

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

## Zona I<sub>2</sub>

### Características Geológico-Geotécnicas

Esta zona está representada por un tramo de escasa relevancia que aflora en relación al sinclinal de Lazagurría. Se trata de materiales esencialmente arcillosos y margosos que intercalan delgados niveles de yesos.

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 cartificación

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 asentamientos 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>3</sub>

#### Características Geológico-Geotécnicas

Esta zona está rerepresentada por una única unidad cartográfica eminentemente arcillosas y sus intercalaciones de escaso espesor de 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.

Su afloramiento se restringe a la esquina NE de la Hoja, en relación al sinclinal de Lazagurría

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 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 la dominante en el sector SO de la Hoja donde conforma relieves suaves en consonancia con su litología poco arcillosa que le confiere un carácter general poco competente. Las intercalaciones de niveles duros (calizas y areniscas) son esporádicas y raramente superan los 10 cm. La actitud de los materiales es subhorizontal o ligeramente monoclinal.

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. Localmente puede haber permeabilidades más elevadas en tramos con porcentajes altos de areniscas

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

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 glacis. Están formados por gravas y cantos de naturaleza calcárea y cuarcítica, arenas, limos y arcillas. Su proporción y distribución es muy variable, 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 en relación a los cauces del río Ebro y afluentes principales. 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



glacis en la vecina Hoja 173, que se consideran representativos para el conjunto de esta zona. Los valores medios obtenidos en estos ensayos son los siguientes:

#### *Cuadro Resumen de Características Geotécnicas*

Contenido en Grava (>5mm) 5/65 %

Contenido en Arena (5-0.08mm) 20/20 %

Contenido en Finos (<0.08mm) 75/15 %

Límite Líquido (WL) 28/-

Límite Plástico (WP) 16/No plástico

Índice de Plasticidad (IP) 12/-

Clasificación de Casagrande CL/GW-GM

Densidad Máxima Proctor Normal 1,8/2,13 gr/cm<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

a. Condiciones de cimentación.

Para el conjunto de los materiales que definen la Zona, se estima una capacidad portante variable entre 1 y 3,5 Kp/cm<sup>2</sup>, dependiendo de que se trate de un limo de consistencia más o menos rígida o una grava de compactación 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 como son los coluviones. Estos 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.

Están formados por arcillas limosas o areniscas con abundantes cantos y gravas de materiales carbonatados y areniscosos que se presentan sueltos, sin ningún tipo de cementación. 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 Sanguesa (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

a. 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 las 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 afectarán 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>4</sub>

##### Características Geológico-Geotécnicas

Se trata de depositos artificiales de escombreras o vertederos, acumulados durante la realizacion de obras civiles. Estan formados bien por margas o por una acumulacion caótica de bloques, cantos y lutitas .desorganizados. La naturaleza de los bloques es muy dispar. aunque por lo general son de areniscas y calizas

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

##### - Características constructivas

###### a Condiciones de cimentacion.

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

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

*Excavabilidad.* Constituyen terrenos facilmente ripables, de tipo Medios y Blandos. Su excavacion 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 prestamos previo tratamiento

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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