

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

Administrativamente la Hoja está ocupada en su mayor parte por territorio navarro, a excepción de la esquina SO, al otro lado del Ebro, que pertenece a la Comunidad Autónoma de la Rioja.

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

Los ríos Ebro y Ega constituyen las principales arterias hidrográficas en la Hoja. El río Ebro se encuentra en la esquina SO y el Ega cruza la Hoja de NNO a SSE. Confluyen en las cercanías de San Adrián a una cota de unos 290 m.

Las principales localidades de la Hoja, San Adrián, Andosilla y Cárcar, se disponen a lo largo del valle del Ega. El resto de la población se encuentra muy disperso, habitando algunas granjas y caseríos en las vegas de los dos ríos principales.

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

La carretera NA-122 (Calahorra-Estella) representa la vía de comunicación más transitada de la Hoja y en el ámbito local comunica San Adrián, Andosilla y Lerín, discurriendo por el valle del Ega. Otras carreteras comarcales destacables son la NA-134 (Andosilla-Lodosa), NA-6530 y NA-6240 (Peralta a San Adrián y Andosilla, respectivamente).

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

En las vegas del Ega y del Ebro se acumula buena parte de los depósitos cuaternarios de la Hoja, Hacia el SO correspondiendo zonas deprimidas ocupada por los distintos niveles de terrazas bajas y medias.

Los primeros estudios geológicos relevantes sobre los materiales terciarios de la Cuenca Navarro-Riojana datan de las décadas de los 50' y 60', son de carácter estratigráfico regional y están suscritos por Oriol Riba y diversos colaboradores (RIBA, 1955, 1964, RIBA y PÉREZ, 1962, RIBA, 1992). Paralelamente se inicia la prospección petrolera en el país, con la perforación, en CRUSAFONT et al., 1966, y más recientemente, RIBA et al., 183, RIBA y JURADO, 1992 y las hojas vecinas de Peralta y Calahorra, de los sondeos Marcilla-1, (Valdebro, 1953) y Arnedo-1, (Amospain, 1962), cuyos resultados figuran de forma resumida en la publicación específica del IGME, (1987). En la década de 1970 se produce un nuevo avance en el conocimiento de la geología del Terciario de Navarra por parte de los geólogos de la Diputación Foral de Navarra Jaime Solé, Javier Castiella, Cayo Puigdefábregas, Joaquín Del Valle y otros colaboradores. Su trabajo culmina con la publicación del primer Mapa Geológico de Navarra (CASTIELLA et al., 1978) a escala 1:200.000, basado en cartografías previas a escala 1:25.000 de Navarra. De esta misma época son también los primeros mapas geológicos a escala 1:50.000 del Plan MAGNA editados por el IGME (Hojas de Sadaba, Lodosa, Logroño, Alfaro, Calahorra, Tudela y Sos del Rey Católico) y realizados por el mismo grupo de geólogos, con la asistencia del paleontólogo Ramírez del Pozo. Otro trabajo relevante de este período es la tesis de

licenciatura de SOLÉ (1972) sobre el Terciario del margen NO de la Ribera de Navarra. A finales de la siguiente década SALVANY, (1989) presenta su tesis doctoral, centrada en el estudio de los depósitos lacustres evaporíticos del Terciario de Navarra y La Rioja. Esta tesis estuvo financiada por el Gobierno de Navarra, en un convenio con la Universidad Central de Barcelona, cuyo informe final fue realizado por ORTÍ y SALVANY, (1986). De los estudios de Salvany se derivan un buen número de publicaciones, entre las que destacan las de SALVANY (1989), MUÑOZ y SALVANY (1990), SALVANY et al. (1994), SALVANY y ORTÍ (1994), y INGLÉS et al (1994, 1998). A lo largo de la década de los 80' el IGME publica las Hojas MAGNA a escala 1:50.000 de Allo, Tafalla, Viana, Peralta y Sangüesa. Entre los estudios más recientes cabe destacar la revisión y actualización del Mapa Geológico de Navarra, a escala 1:200.000 (GOBIERNO DE NAVARRA, 1997) y a escala 1:25.000, en cuyo marco se realiza el presente trabajo.

1.

ESTRATIGRAFÍA

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

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

1.1. Terciario

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

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

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

La sucesión terciaria se estructura en una serie de anticlinales y sinclinales cuyos ejes se disponen en dirección ONO-ESE. De Norte a Sur son. Anticlinal de Falces, Sinclinal de Peralta, Anticlinal de Andosilla, Anticlinal de Cárcar y Sinclinal de Lodosa.

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

En el Dominio Septentrional se describen clásicamente (RIBA, 1964 y CASTIELLA et al, 1978) cuatro Formaciones litoestratigráficas: **Fm. Yesos de Falces**, de carácter yesífero, **Fm. Arcillas de Marcilla**, esencialmente arcillosa, **Fm Lerín**, constituida por una alternancia lutítico-yesífera, y **Fm. Tudela**, que se dispone de forma discordante sobre la anterior y está compuesta por lutitas con intercalaciones de calizas lacustres. La **Fm. Lerín** se divide claramente en varias unidades estratigráficas de gran continuidad para las que se adopta la terminología propuesta por SALVANY (1989): **Arcillas y Yesos de Peralta**, **Yesos de Sesma**, **Arcillas de Villafranca** y **Yesos de Los Arcos**, esta última descrita previamente por RIBA (1964).

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

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

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

1.1.1 Yesos y margas (1) Yesos de Falces, margas y yesos (2), arcillas rojas, margas y yesos (3). Arverniense superior-Ageniense inferior.

La Fm. Yesos de Falces fue definida por CASTIELLA et al. (1978) si bien su equivalencia con los Yesos de Desojo, desarrollados más al NO, ya había sido establecida previamente por RIBA y PÉREZ MATEOS (1962), y RIBA (1964).

El principal afloramiento de esta unidad en la Hoja se extiende a lo largo de la margen izquierda del Ega definiendo el eje del Anticlinal de Andosilla donde se distinguen varias intercalaciones lutíticas relevantes (2 y 3). La Unidad se reconoce también en el vértice NE formando parte del flanco meridional del Anticlinal de Falces.

No se alcanza su base, que está definida hacia el N (Hojas de Viana, nº 171 y Allo, nº 172), por depósitos terrígenos (Areniscas de Mues y Facies de Espronceda). El techo de los Yesos de Falces está determinado por la entrada de los depósitos arcillosos aluviales de la Fm. Marcilla (6), si bien regionalmente se aprecia un evidente cambio de facies entre ambas formaciones marcado al NE por un intervalo de tránsito (4) lutítico yesífero.

En superficie la Unidad 1 está representada por un conjunto de yesos bastante deformado con intercalaciones lutíticas subordinadas. Los yesos aparecen en litofacies laminado-nodulares, presentan un aspecto alabastrino, con frecuentes brechificaciones que dan lugar a texturas poiquiloblásticas, y exhiben frecuentes pliegues enterolíticos y fluidales. De forma bastante característica hay que hacer notar el desarrollo de niveles dolomíticos, laminados y carniolares, en el seno de los intervalos yesíferos. Los términos lutíticos muestran coloraciones grisáceas a rojizas y su espectro litológico varía de arcillas a margas dolomíticas, registrando en todos los casos, contenidos elevados en yesos.

Las Unidades 2 y 3 aparecen al SE de la Hoja en la parte axial del Anticlinal de Andosilla. Constituyen tramos lutíticos destacables que se intercalan en el conjunto yesífero y registran potencias del orden de varias decenas de metros.

La Unidad 2 aparece en una posición estratigráfica más baja y está compuesta esencialmente por margas dolomíticas grises, yesíferas, de aspecto bastante homogéneo. Contiene yesos en litofacies nodulares y en forma de cristales lenticulares dispersos.

La Unidad 3 se desarrolla en el ámbito de la estructura anticlinal de Andosilla, al E de San Adrián. Está formada por arcillas ocre-rojizas y margas arcillosas grises, con intercalaciones de yesos, areniscas y carbonatos. Los términos lutíticos se disponen en intervalos homogéneos de potencia métrica o alternan por tramos con el resto de litologías. Los yesos constituyen niveles decimétricos de aspecto masivo y alabastrino con matriz margosa gris en proporciones variables, pueden aparecer también en horizontes nodulares o como cristales lenticulares dispersos. Los niveles de yesoarenitas aparecen intercalados eventualmente entre las facies lutíticas grises en capas tabulares de potencia centi-

decimétrica. Presentan estructuras tractivas (laminación paralela y ondulada, *ripples* de oleaje y *climbing ripples*) trastocadas por fenómenos de deformación sedimentaria (colapsos, escapes de fluidos, deformación hidrolástica, convoluciones). Las intercalaciones de areniscas presentan características semejantes, si bien se encuentran mayoritariamente entre las arcillas rojizas. Con tamaños de grano de fino a muy fino, exhiben una gama de estructuras sedimentarias semejante a la descrita para las capas de yesoarenitas. Las intercalaciones carbonatadas corresponden a capas centimétricas de dolomías laminadas, a veces algo carniólicas, subordinadas a los tramos margo-yesíferos de la Unidad.

La potencia deposicional de la Fm. Falces se cifra, a partir de los datos disponibles de subsuelo, en unos 1000 m, si bien se pueden alcanzar espesores mucho mayores por migración halocinética hacia núcleos anticlinales, como ocurre en el sondeo Marcilla-1, donde se atravesaron cerca de 3000 m de evaporitas.

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

Las características de los depósitos evaporíticos de la Fm. Falces indican que su depósito se efectuó en condiciones esencialmente subacuáticas por concentración de salmueras sulfatado-cloruradas en una zona interna de un sistema lacustre salino estable extensamente desarrollado en el sector central de la Cuenca. Los materiales terrígenos aportados por los sistemas aluviales alcanzaban episódicamente las zonas centrales de la cuenca dando lugar a retracciones del sistema lacustre salino de diversa consideración.

El contenido paleontológico de la Fm. Falces es muy escaso, únicamente se han obtenido resultados positivos en IGME (1977) sobre materiales de la Unidad 3, donde se han determinado las muestras siguientes especies de Ostrácodos y Caráceas: *Rabdochara major*, *Psilochara sp.*, *Sphaerochara hirmeni var. longiscula*, *Chara cf. Cylindrica*, y *Elkocythereis aff. bramletti* que constituye una asociación de dudoso valor cronoestratigráfico. La edad de la Fm. Falces debe establecerse por correlación con la Fm.

Arnedo, en la Rioja Baja. En los yacimientos de vertebrados existentes en esta región se determina una edad de Arverniense superior (Oligoceno sup.) a Ageniense inferior puesto que se alcanza la zona MN-1.

1.1.2 Margas y yesos, areniscas y calizas (4). Ageniense inferior.

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

Se reconoce exclusivamente en el extremo NE de la Hoja, en el flanco meridional del Anticlinal de Falces, registrando una potencia superior a los 200 m.

Litológicamente la Unidad está representada mayoritariamente por margas arcillosas grises y yesos. Los términos lutíticos forman intervalos de potencia decamétrica y métrica de aspecto homogéneo o con intercalaciones eventuales de carbonatos. Los yesos constituyen paquetes de espesor comprendido entre 5 y más de 25 m, que registran un marcado predominio de litofacies nodulares, si bien muestran un aspecto bastante tableado como consecuencia de la alternancia rítmica con lechos de margas arcillosas grises y niveles dolomíticos laminados. Los carbonatos forman capas tabulares de escasa potencia y distribución irregular en la serie correspondiendo a dolmicritas laminadas con moldes de cristales de yeso.

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

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

1.1.3 Arcillas ocreas areniscas y calizas (6). Arcillas de Marcilla. Intercalaciones de yesos y dolomías (8) y calizas micríticas (10). Ageniense inferior.

La Fm. Arcillas de Marcilla ha sido definida por CASTIELLA et al. (1978) como un potente conjunto arcilloso de tonos ocres, desarrollado en la zona central de la cuenca Navarra-Riojana, que se dispone sobre la Fm. Falces.

Entre ambas formaciones media un contacto concordante que corresponde a regionalmente a un cambio lateral de facies generalizado.

La Fm. Marcilla es característica del Dominio Septentrional y en la presente Hoja se reconoce a ambos flancos del Sinclinal de Peralta con buzamientos comprendidos entre 20 y 55°. Su potencia en este sector está comprendida entre unos 150 m y más de 200 m. Aflora también al SE de la Hoja definiendo la traza de una estructura sinclinal menor desarrollada en el Anticlinal de Andosilla si bien su potencia se reduce de forma acusada a unos 50 m.

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

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

Los términos lutíticos representan más del 80% de la Fm. y corresponden a intervalos homogéneos y masivos de espesor métrico-decamétrico. Esporádicamente se distinguen horizontes rojizos de origen edáfico que pueden desarrollar costras ferruginosas y nódulos carbonatados diseminados. En algunos intervalos y especialmente a techo de la Fm., en el tránsito con la Unidad de Peralta, se encuentran nódulos dispersos de yesos alabastrinos. La bioturbación está poco desarrollada y se concentra ocasionalmente en los intervalos rojizos edáficos, donde se constata su carácter pedogénico.

Las intercalaciones en las arcillas son por lo general de escaso espesor de modo que sólo en los casos que alcanzan suficiente expresión morfológica ha sido posible su individualización en la cartografía geológica.

Las areniscas son las intercalaciones más comunes. No obstante, debido a su escaso espesor, no alcanzan en la Hoja entidad cartográfica. Predominantemente corresponden a capas tabulares de potencia centi-decimétrica, excepcionalmente métrica, de tonos ocres y

grises, que se interpretan como depósitos de *sheet-flood* aportados en avenidas periódicas a partir de flujos laminares. Presentan gradación positiva, con variaciones de tamaño de grano medio-fino a muy fino. Las estructuras tractivas son muy abundantes reconociéndose: huellas de base, laminación paralela, estratificación cruzada de mediana escala, *ripples* de corriente, de tipo *climbing* y de oscilación y laminaciones onduladas. Los procesos de deformación sedimentaria corresponden a pequeños colapsos, convoluciones, escapes de fluidos y huellas de desecación, y las estructuras de origen biológico consisten en pistas de escape y reptación de pequeños invertebrados. Asociados lateralmente a las capas tabulares se desarrollan cuerpos lenticulares con morfologías de tipo *sand-wave*. Su potencia está comprendida entre 0,5 y 1,5 m y la extensión lateral es del orden de varios m. El tamaño de grano oscila entre medio y fino y se desarrolla una característica estratificación cruzada con láminas de trazado sigmoidal. Los niveles de morfología canalizada son muy poco frecuentes, si bien alcanzan las mayores potencias, superando ocasionalmente los 3 m. Muestran tamaños mayores de grano, con gradación de medio-grueso a fino-muy fino. Destacan por presentar superficies marcadas de progradación lateral con láminas cruzadas y *ripples* desarrollados en sentido contrapuesto o perpendicular al de la acreción. En la base de los niveles pueden observarse depósitos de carga residual formados por cantos blandos, y son relativamente frecuentes los fenómenos de deformación hidrolástica. Se interpretan como pequeños canales efímeros de configuración meandriforme.

Las intercalaciones de calizas (10) son relativamente frecuentes en la parte media de la Fm. Consisten en niveles tabulares de tonos grises y potencia centi-decimétrica (hasta 50 cm). Texturalmente corresponden a *wackestones* micríticos, más o menos arcillosos, con fósiles (ostrácodos, caráceas y fragmentos de gasterópodos), intraclastos y granos terrígenos como principales aloquímicos. Ocasionalmente se observan laminaciones paralelas y *ripples* de oscilación. La bioturbación es intensa, correspondiendo a finas huellas de raíces de plantas acuáticas, o bien está ocasionada por la actividad de pequeños invertebrados. Representan depósitos de origen palustre generados en charcas carbonatadas de desarrollo estacional.

Los yesos aparecen generalmente como intercalaciones de potencia métrica que tienden a concentrarse en la parte superior de la unidad, sin embargo los intervalos con representación cartográfica en la Hoja (8) se desarrollan en la parte inferior e incluyen dolomías en proporciones destacadas. Exhiben un aspecto tableado derivado de la alternancia en bajas proporciones con dolomías laminadas y con margas dolomíticas grises bastante arcillosas. Predomina la litofacies nodular, aunque la parte media de los niveles es

algo más laminada y contiene yesoarenitas. Representan depósitos lacustres evaporíticos de tipo sulfatado.

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

En IGME (1977) se cita el hallazgo de las siguientes caráceas: *Harrisichara cf. tuberculata*, *Sphaerochara hirmeni var. longiscula*, *Tectochara meriani*, *Chara microcera*, *Chara sp. 11* y del ostrácodo *Candona sp.*, asociación próxima al techo del Oligoceno. La edad se determina por correlación hacia la Rioja Baja con la Fm. Arnedo. En ésta se localizan numerosos yacimientos de vertebrados que indican una edad de Ageniense inferior (Zona MN1).

1.1.4 Arcillas rojas y areniscas (7). Arcillas de Mendavia. Ageniense inferior.

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

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

En la Hoja de San Adrián posee muy poca representación, reconociéndose únicamente en el núcleo del Anticlinal de Cárcar, al S de esta localidad donde ofrece unas deficientes condiciones de exposición.

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

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

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

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

Por otra parte hay que hacer notar la expansión simultánea de los sistemas aluviales procedentes de los márgenes septentrional (Fm. Marcilla) y meridional (Arcillas de Mendavia) de la cuenca Navarro-Riojana lo que implica una severa retracción del área lacustre evaporítica central.

Se atribuye una edad de Ageniense inferior por correlación con otras formaciones.

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

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

Se ha correlacionado con el Nivel de Alcanadre, definido por SALVANY (1989) en el Dominio Meridional, equivalencia basada en su posición estratigráfica y otras analogías (gran continuidad, potencia, litología) dada su desconexión cartográfica de un lado a otro del Valle del Ega.

En la Hoja de San Adrián aflora a ambos flancos Sinclinal de Peralta de Falces constituyendo un excelente nivel-guía fotogeológico que define perfectamente la estructura.

La gran continuidad cartográfica contrasta con su reducida potencia, que se cifra en unos 15-30 m.

Se distingue también en la ribera occidental del Ega al pie de la localidad de Cárcar donde probablemente alcanza mayor potencia.

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

Constituye el primer episodio evaporítico extensivo de la Fm. Lerín, que se relaciona con la implantación de un sistema lacustre salino estable en la zona central de la cuenca Navarro-Riojana. Su moderada potencia puede explicarse por una baja tasa de subsidencia o bien por una duración relativamente reducida del episodio salino.

Su contenido paleontológico en la Hoja es prácticamente nulo. La edad, establecida en el Ageniense, se basa en su posición estratigráfica.

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

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

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

En la Hoja de San Adrián se desarrolla a ambos flancos del Sinclinal de Peralta, donde registra una potencia comprendida entre 200 y 300 m.

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

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

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

Los yesos constituyen las principales intercalaciones, especialmente en la parte media y superior de la Unidad, y sobre todo hacia el SO, donde suelen alcanzar representación cartográfica (Unidad 20, Yesos de Cárcar). Aparecen comúnmente como niveles de potencia métrica y decamétrica constituyendo ciclos evaporíticos propios de medios lacustres salinos someros (SALVANY, 1989) que se caracterizan por el escaso desarrollo de los términos medios laminados, por lo que predominan las litofacies nodulares.

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

Las areniscas alternan por tramos con las arcillas y no forman en la Hoja niveles diferenciados cartográficamente debido a su reducido espesor. Predominan los depósitos de tipo *sheet-flood*, correspondientes a capas tabulares ocres y grises, de potencia centi-decimétrica y grano medio-fino a muy fino, que exhiben abundantes estructuras sedimentarias: gradación positiva, huellas tractivas de base, laminación paralela, estratificación cruzada de mediana escala, *ripples* de corriente, de tipo *climbing* y de oscilación, laminaciones onduladas, pequeños colapsos, convoluciones, escapes de fluidos,

huellas de desecación, *burrows* de escape y pistas de reptación de pequeños invertebrados. Los cuerpos de morfología lenticular (*sand-waves*) o canalizada son muy poco frecuentes y raramente alcanzan potencias superiores a 1 m.

Otras intercalaciones destacables, también sin representación cartográfica en la Hoja, son los niveles de dolomías. Forman capas de potencia centi-decimétrica y corresponden a dolmicritas laminadas bastante arcillosas con frecuentes moldes de cristales de evaporitas, hasta el punto de adoptar en ocasiones un aspecto carniolar.

La Unidad de Peralta se caracteriza paleogeográficamente por la confluencia de los sistemas aluviales de procedencia pirenaica a márgenes lacustres salinos sulfatados, siendo alternante el predominio de ambos subambientes. La gran proporción en términos lutíticos evidencia el predominio de los medios de frente aluvial muy distal y llanura fangosa perilacustre, con desarrollo estacional de depósitos de charcas carbonatadas.

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

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

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

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

En La Hoja sus afloramientos se encuentran en el entorno de Cárcar desarrollándose a ambos flancos del Anticlinal, y más al S en el flanco meridional del Sinclinal de Lodosa. Se distingue una intercalación bastante persistente de yesos que permite la diferenciación de dos intervalos principales, el basal, que se superpone al Nivel de Alcanadre y puede superar los 75 m de espesor, y el superior que incorpora una mayor proporción de facies lacustres y registra una potencia de unos 50 m.

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

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

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

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

Las areniscas presentan unas características semejantes a las descritas para la Unidad Arcillas de Mendavia (7), de modo que predominan los niveles de morfología tabular asimilables a depósitos de tipo *sheet flood*. Su potencia es de orden centi-decimétrico, y presentan abundantes estructuras sedimentarias: huellas de base, tractivas y de colapso, laminación paralela, estratificación cruzada de mediana escala, *climbing ripples* y *ripples* de oscilación, *convolute lamination*, huellas de desecación, fluidificaciones y pistas de invertebrados.

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

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

En IGME (1977) se cita la presencia de *Limnocythere sp.* y de las caráceas *Harrisichara cf. tuberculata*, *Rhabdochara cf. stockmansi*, *Gyrogona sp.* y *Chara sp. 11*, que representan una asociación próxima a la base del Mioceno. La edad se establece, por correlación con otras formaciones, en el Ageniense.

1.1.8 Margas y yesos (19). Ageniense

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

En la Hoja aparece en la parte septentrional del flanco E del Anticlinal de Andosilla y de forma muy puntual al otro lado del Ega. En el primer caso corresponde a las intercalaciones margosas del paquete principal de los yesos de Cárcar donde forma varios tramos de potencia decamétrica.

Litológicamente la Unidad está compuesta por margas dolomíticas grises, más o menos arcillosas, con yesos, aunque también pueden intercalar localmente niveles lutíticos rojizos.

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

Los intervalos de arcillas rojas son poco frecuentes y forman tramos de potencia métrica intercalados entre facies margosas. Están representados por arcillas más o menos yesíferas con intercalaciones de areniscas y yesoarenitas. Las capas clásticas poseen potencias de orden centi-decimétrico y presentan una marcada morfología tabular. Exhiben abundantes estructuras tractivas de pequeña escala destacando por su desarrollo los *cosets* de *climbing ripples*. En las yesoarenitas son más frecuentes los fenómenos de fluidificación.

Constituyen cuñas terrígenas originadas por propagaciones eventuales de las orlas distales de los sistemas aluviales de procedencia ibérica hacia la zona lacustre central.

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

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

Se redefine en la presente memoria la denominación litoestratigráfica de Yesos de Cárcar, aplicándose a los términos yesíferos con entidad cartográfica comprendidos estratigráficamente entre el Nivel de Alcanadre y la Unidad de Yesos de Sesma, de modo que forman varias intercalaciones relacionadas con las facies terrígenas de Peralta (14) y Sartaguda (15).

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

Los afloramientos se distribuyen por toda la Hoja extendiéndose a lo largo de los flancos de las principales estructuras.

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

En la Hoja la Unidad de Yesos de Cárcar está representada normalmente por tres niveles yesíferos de potencia creciente.

Litológicamente la Unidad está integrada por yesos y margas que se organizan en ciclos bastantes completos de ambientes lacustres salinos estables y cuyas potencias son de orden métrico a decamétrico (SALVANY 1989). Cada ciclo está formado por un tramo arcilloso inferior en tránsito gradual a un tramo yesífero superior. En el tramo yesífero pueden distinguirse cuatro términos con un grado variable de desarrollo que suelen ordenarse de muro a techo en el siguiente orden: 1) capas de carbonato (dolomicrita) que incluyen nódulos, micronódulos y lentículas (pseudomorfos) de yeso; 2) yeso nodular, rico en matriz arcillosa y con variadas morfologías (yeso enterolítico, yeso con elongación

vertical, etc.); 3) yeso laminado y 4) yeso nodular en margas dolomíticas yesíferas. Los tramos lutíticos suelen corresponder a arcillas margosas grises generalmente yesíferas con eventuales intercalaciones de dolomías laminadas y de areniscas grises de grano fino en capas tabulares. En algunas ocasiones se desarrollan intervalos de potencia decimétrica a métrica de arcillas rojizas u ocre yesíferas.

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

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

1.1.10 Arcillas rojas y areniscas (21). Ageniense.

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

La Unidad 21 constituye un buen nivel guía en toda la Hoja fácilmente distinguible por su posición estratigráfica y característica tonalidad rojiza.

Su potencia varía en sentido SO-NE de 20-25 m a unos 5-10 m.

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

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

1.1.11 Margas y yesos (22). Ageniense.

Constituye un tramo heterolítico de características similares a la Unidad 19, descrita anteriormente, de la que se diferencia únicamente por su posición estratigráfica más alta.

Su desarrollo en la Hoja se circunscribe al flanco meridional del Sinclinal de Peralta, donde presenta buzamientos de unos 25-45° hacia el NE, configurando un intervalo de tránsito entre la Unidad 21 y los Yesos de Sesma (23).

La potencia es bastante constante estimándose en unos 25 m.

Litológicamente se caracteriza por su variedad litológica predominado los términos lutíticos grises, más o menos margosos, con intercalaciones de yesos, carbonatos, yesoarenitas, areniscas y lutitas rojizas en proporciones variables.

Las margas grises constituyen intervalos de potencia métrica que contienen regularmente nódulos dispersos de yesos y cristales lenticulares. Suelen organizarse en ciclos evaporíticos con tránsito gradual a niveles yesíferos de potencia decimétrica-métrica con litofacies nodulares y enterolíticas y eventuales desarrollos de términos laminados con horizontes dolomíticos y yesoareníticos.

Las intercalaciones carbonatadas corresponden a capas dolomíticas de escasa potencia de aspecto laminado. Se encuentran incluidas en las margas o dentro de los yesíferos. Exhiben abundantes moldes de cristales lenticulares de yesos.

Las intercalaciones de areniscas son muy escasas, apareciendo de forma aislada entre los términos lutíticos. Consisten en capas tabulares de potencia centimétrica con abundantes estructuras sedimentarias (laminación paralela, convoluciones, *ripples*, etc.).

Las yesoarenitas presentan características semejantes a las areniscas, si bien son más frecuentes los fenómenos de deformación sedimentaria (convolute lamination, fluidificación,

deformación hidroplástica). Poseen una mayor representación en la Unidad apareciendo de forma subordinada en los niveles lutíticos y en los yesos.

Los intervalos de arcillas rojas son poco frecuentes y forman tramos de potencia decimétrica a métrica intercalados entre facies margosas. Están representados por arcillas más o menos yesíferas.

La Unidad 22 se enmarca ambientalmente en un contexto lacustre salino marginal donde el material terrígeno es aportado episódicamente por los sistemas aluviales y retrabajado por la dinámica litoral del lago.

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

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

Se superpone a las Unidades 21 y 22 mediante un tránsito bastante rápido. Su techo en cambio registra una marcada heterocronía, correspondiendo a un complejo cambio lateral de facies con las unidades terrígenas suprayacentes (Arcillas de Villafranca y Facies de Allo).

Sus afloramientos se extienden a ambos flancos del Sinclinal de Peralta registrando buzamientos medios a bajos. En el Sinclinal de Lodosa ocupa el centro de la estructura faltando los términos más modernos de la serie terciaria.

La potencia de la Unidad aumenta de N a S registrando una variación comprendida entre menos de 100 m y más de 150 m.

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, megacrystalinos, porfiroblásticos) que se distribuyen irregularmente en la serie o bien presentan un cierto orden cíclico. La parte inferior a media de la unidad es más yesífera y masiva. Hacia techo se registra un aumento notable del contenido de margas y arcillas, bien como intercalaciones entre los yesos o como matriz en las capas de yeso, y también tienden a aumentar en proporción las facies nodulares. En

subsuelo la Unidad incluye niveles de halita y posiblemente de glauberita. Aunque la halita no aflora en ningún punto, se pone de manifiesto por la existencia de manantiales salinos en la región. El carbonato está poco desarrollado. Generalmente se limita a finas capas dolomíticas de potencia milimétrica o centimétrica entre los yesos laminados.

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

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

1.1.13 Arcillas ocreas, areniscas, margas y yesos (24) Arcillas de Villafranca. Ageniense.

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

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

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

En la Hoja de San Adrián la Unidad de Villafranca se desarrolla a ambos flancos del Sinclinal de Peralta registrando buzamientos de 30-45°.

Su potencia disminuye de forma acusada hacia el SE de modo que pasa de 75 m, a menos de 10 m en la esquina SE de la Hoja

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

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

Los niveles de yesos constituyen las principales intercalaciones de la Unidad, si bien en la Hoja no alcanzan representación cartográfica. Forman intervalos de espesor métrico, a veces decamétrico, con marcado predominio de litofacies nodulares, eventuales desarrollos enterolíticos y contenidos variables en términos margodolomíticos grises constituyendo delgados niveles interestratificados o formando parte de la matriz en los horizontes nodulares.

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

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

La Unidad Arcillas de Villafranca se enmarca en un contexto de frente aluvial muy distal, ligado a sistemas de procedencia pirenaica que convergen a la zona central de la cuenca Navarra-Riojana, registrándose eventuales desarrollos lacustres salinos de poca persistencia.

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

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

En el sentido de CASTIELLA et al. (1978) se agrupan bajo el término litoestratigráfico de Facies Allo los depósitos terrígenos de carácter aluvial relacionados lateralmente con las Fms. Marcilla y Lerín, que se desarrollan entre los Yesos de Desojo y los Yesos de Los Arcos, en el sector noroccidental de la Cuenca Navarro-Riojana.

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

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

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

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

En la Hoja a escala 1:25000 de San Adrián su representación se limita a la esquina NO donde constituye un intervalo arcilloso que se desarrolla en el flanco norte del Anticlinal de Cárcar.

Su potencia se cifra en unos 25-30 m.

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

Los términos arcillosos se disponen 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 ocres, 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. En algunos horizontes se concentran desarrollos nodulares de yesos, especialmente a muro y techo de la Unidad, en tránsito con las formaciones yesíferas adyacentes. Asociados a facies de afinidad lacustre (carbonatadas o sulfatadas), se desarrollan tramos de margas arcillosas grises.

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

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

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

No se dispone de datos paleontológicos procedentes de la Hoja. En consecuencia su edad, establecida en el Ageniense, se determina por correlación con otras unidades.

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

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

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

A techo se dispone la Fm. Tudela (31) en franca discordancia erosiva.

En la Hoja la Unidad de Los Arcos se desarrolla ampliamente en el eje del Sinclinal de Peralta donde presenta buzamientos que raramente superan los 30°.

La potencia oscila entre más de 150 y alrededor de 200 m, registrando escasas variaciones.

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

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

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

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

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

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

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

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

En la Hoja a escala 1:25.000 de San Adrián la Fm. Tudela se desarrolla únicamente en el eje del Sinclinal de Peralta. Se extiende de forma asimétrica registrando una mayor representación en el flanco suroccidental, de modo que predominan los buzamientos suaves (<20°) hacia el NE.

Litológicamente forma una serie lutítica integrada por arcillas rojizas (color ladrillo característico) homogéneas y masivas. Presentan trazas de yesos, que aparecen bajo la forma de pequeños nódulos alabastrinos subesféricos, como cristales lenticulares y especulares dispersos o constituyendo venas fibrosas.

La Fm. Tudela se encuentra relacionada genéticamente hacia el N con sistemas aluviales de procedencia pirenaica (Facies Ujué) constituyendo sus equivalentes de frente distal.

No se dispone de datos paleontológicos recogidos en la Unidad dentro de la Hoja a escala 1:25.000 de San Adrián. Se cuenta no obstante con la referencia de los yacimientos de vertebrados de las Fms. Tudela y Alfaro en la región, donde se indica una edad de Ageniense superior (MN2) a Orleaniense medio (MN4).

1.2. CUATERNARIO

1.2.1 Pleistoceno-Holoceno

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

Dentro de este apartado se incluyen todos aquellos depósitos relacionados con la red fluvial actual de la Hoja articulada entorno al río Ebro y a su tributario por la margen izquierda, el Ega.

Ocupan dentro de la zona una buena extensión superficial, reconociéndose 4 niveles de terrazas en el río Ebro de los 10 que tiene en este sector, así como 9 en el Ega. Todos ellos por su disposición y cota han sido agrupados en tres niveles que han sido denominados como: terrazas altas, media y bajas.

En el río Ebro y dentro de la Hoja 205, se incluyen como terrazas altas los niveles situados a +165-175 m, +100-125 m, y la +80 m, en las terrazas medias las situadas a +60-65 m, +50-55 m, +30-35 m, 20-25 m y +10-15 m y finalmente como terrazas bajas las situadas a +8-10 m y +5 m. De todos ellos, en la Hoja, solo aparecen representados los niveles correspondientes a las terrazas “bajas” y algunos de las “medias” cerca de la confluencia con el Ega, en San Adrián.

En el río Ega y en disposición casi similar se han reconocido nueve niveles, incluyendo como terrazas altas las situadas a +150-155 m, +100 m y la de +70 m. Como terrazas medias se han agrupado las de +60-65 m, +45 m y +20-25 m y finalmente como terrazas bajas la de +10 m, +5 m y la +3 m, esta última localizada solamente en su curso bajo. Conviene advertir que localmente algunas de estas cotas se pueden ver modificadas al encontrarse algunos depósitos de terrazas movidos y/o basculados por efectos de neotectónica y de los movimientos de los yesos que constituyen su sustrato.

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 y arenas y arcillas en proporciones variables. En el Ebro los clastos son de calizas, cuarcitas, areniscas y microconglomerados y se encuentran por lo general redondeados. En ocasiones se encuentran cementadas por carbonatos, siendo más frecuente este proceso de cementación en las terrazas altas. En el río Ega la composición y tamaño de clastos es muy similar, si bien predominan los cantos de composición carbonatada. Igualmente se reconoce un cierto grado de cementación por carbonatos

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. Ocasionalmente como puede observarse en las terrazas altas y a veces en las medias, este espesor aumenta considerablemente ya que se encuentran deformadas y coluvionadas. Así en estas últimas llegan a medirse hasta 30 m de gravas como p.e ocurre, en el Ega, en las proximidades de Andosilla. Estos 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 ocres y grises que predominan en la parte alta de los depósitos. Los clastos son también poligénicos de calizas y areniscas, aunque en distintos porcentajes según el cauce y también son frecuentes los niveles de arenas.

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

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

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

Se trata de depósitos que se desarrollan sobre un sustrato de materiales yesíferos, contribuyendo a la morfología actual de las laderas.

Por lo general presentan una composición similar al sustrato sobre el que se desarrollan, por lo que los materiales suelen ser lutitas con cantos dispersos e incluso a veces con bloques, angulosos y subangulosos generalmente de areniscas y/o yesos así como redondeados procedentes de gravas de zonas de cabecera o de áreas próximas correspondientes a algún nivel de terraza.

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

1.2.1.3 Limos ocres, lutitas y arenas con cantos. Aluvial-Coluvial (44). Pleistoceno

En este epígrafe se describe un conjunto de depósitos de origen fluvial cuya morfología en planta, difiere 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. Tal es el caso de los depósitos aflorantes en los sectores orientales y occidentales de la Hoja de San Adrián. En ocasiones son objeto de explotación para ser utilizados en obras de pequeña envergadura

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

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

1.2.1.4 Limos y arcillas ocreas con cantos. Conos de deyección (45). Pleistoceno-Holoceno

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

Se pueden diferenciar dos tipos de conos: los asociados a valles y de formas coalescentes y en zonas de cierto relieve y los de zonas de confluencia de la red fluvial.

El primer grupo, se localizan en grandes valles como el del sinclinal de Peralta o en los relieves próximos a Cárcar. Están formados por limos y arenas de tonalidades ocreas que tapizan el sustrato y a veces presentan una morfología bastante difícil de reconocer. En ocasiones y cuando se encuentran disectados por efectos de la erosión, como p.e en la margen izquierda del valle del Ebro o en el Ega, se disponen sobre niveles de gravas correspondientes a las terrazas medias de dicho río.

El segundo grupo, muy frecuente, se localiza en las salidas de los arroyos y en los pequeños valles que acceden a otros de rango superior o a las terrazas más bajas de la red fluvial de los ríos Ebro y Ega. En ocasiones se solapan, dando lugar a formas coalescentes de mayor desarrollo

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

Por su relación con la red fluvial los primeros atribuye al Pleistoceno-Holoceno y los segundos se incluyen en el Holoceno.

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

En algunos parajes de la terrazas bajas del río Ebro y del Ega 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 principalmente de Holoceno, aunque algunos de ellos pueden corresponder al Pleistoceno

1.2.2 Holoceno

1.2.2.1 Gravas, arenas y lutitas. Llanura aluvial y barras fluviales (47). Holoceno

Estos depósitos corresponden a sedimentos actuales o subactuales tipo gravas, arenas y lutitas, que ocasionalmente incluyen clastos tamaño bloque. La litología de los cantos es muy variada: areniscas, calizas etc. Se trata de depósitos de llanura aluvial desarrolladas junto a la terrazas bajas o bien a barras fluviales en zonas próximas a los márgenes del río con una marcada acreción lateral o bien a los sectores centrales del mismo y cuya morfología es perfectamente apreciable en fotografía aérea en el curso del Ebro.

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

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

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

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

Estos depósitos se asignan al Holoceno por su relación con la red fluvial actual

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

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

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

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

1.2.2.4 Bloques, arcillas y limos. Desprendimientos (50). Holoceno

Se incluye en este epígrafe un heterogéneo grupo litológico de tonalidades grisáceas y ocre constituido por bloques fundamentalmente de yesos de gran tamaño, generalmente métrico, empastados en arcillas y limos, que en campo presentan un aspecto irregular y

caótico, y cuyo origen se encuentra en el desprendimiento por gravedad de cuerpos que se encontraban en posición inestable.

Son muy frecuentes los desprendimientos de bloques de yesos a lo largo de los taludes de ambas márgenes del río Ega y en la izquierda del Ebro. Destacan los que se localizan en la margen izquierda del Ega, desde las localidades de Andosilla hasta cerca de San Adrián.

Constituyen uno de los mayores riesgos geológicos de la región y dado que se trata de un proceso actual o subactual quedan incluidos en el Holoceno

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

Al igual que los depósitos del epígrafe anterior se describen someramente en este apartado un conjunto litológico heterogéneo y caótico de grandes bloques con arcillas y limos que se localizan en la margen derecha del río Ega junto a la localidad de Cárcar y cuyo origen esta en un proceso de deslizamiento rotacional que motiva el desprendimiento y lento deslizamiento de importantes masas y bloques de yesos y limos que impactan en el paisaje de la región y en particular en el de Cárcar.

Este proceso es observable en el valle del Ega desde la carretera a Andosilla y en dirección a Lodosa, observándose numerosas grietas paralelas que afectan a dichos depósitos. Aguas arriba y en zona muy próxima se localiza un segundo deslizamiento de características similares

Constituyen sin duda uno de los mayores riesgos geológicos actuales de la región.

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

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

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

Este tipo de materiales se localiza al Sureste de Andosilla en el sinclinal de Peralta-Sesma y sobre materiales yesíferos, al Norte de la localidad de San Adrián en zonas deprimidas de las terrazas medias y al Sur de Cárcar también sobre un sustrato yesífero.

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

1.2.2.7 Escombreras y vertederos. Depósitos antrópicos (53). Holoceno

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

Se han localizado en la Hoja en varios puntos tales como en las proximidades de Cárcar y consisten en un acumulo importante de bloques de diverso tamaño y consideración, con varios metros de espesor, que destacan en el paisaje y proceden de las obras de excavación y construcción de dicho canal

Al tratarse de depósitos actuales quedan incluidos en el Holoceno.

2 TECTÓNICA

2.1. CONSIDERACIONES GENERALES

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

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

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

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

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

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

Estructuralmente el área objeto de estudio esta constituida por un basamento rígido y una cobertera formada por materiales continentales terciarios plegados, con importantes acumulos de evaporitas que facilitan los despegues o la halocinesis. Sobre estos materiales se dispone una potente serie detrítica, de procedencia ibérica que recubre en parte la infrayacente. La disposición de estos 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 continuo la deformación y tuvo lugar el emplazamiento definitivo del Manto de Gavarnie, originando una serie de estructuras plegadas y/o cabalgantes a lo largo del frente surpirenaico, así como la propagación de despegues no emergentes hacia la cuenca de antepais pasiva (cuenca del Ebro) lo que motivo una migración de los depocentros de la cuenca hacia el Sur.

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

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

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

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

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

2.2. DESCRIPCIÓN DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS

La Hoja 205-IV San Adrián se caracteriza por presentar un sector plegado constituido por yesos y lutitas rojas estructurado según pliegues de dirección NO-SE y N.NO-S.SE., conocido como dominio plegado del Ebro y formado por una sucesión de anticlinales y sinclinales de gran longitud de eje y flancos relativamente bastante cortos. Dentro de este dominio y para su descripción, a su vez se pueden diferenciar dos sectores o subdominios dentro de la Hoja separados por el curso del río Ega. Por un lado está el sector de Andosilla y por otro el de Carcar y sus alrededores y entre los ríos Ebro y Ega..

El sector de Andosilla, es decir el localizado en el sector oriental de la Hoja, en la margen izquierda del Ega se caracteriza por estar configurado por dos grandes estructuras. El anticlinal de Andosilla-Carcar y el sinclinal de Peralta-Sesma.

El anticlinal de Andosilla, cuyo eje parece prolongarse por el sector occidental de la Hoja, por Carcar, se desarrolla por los relieves próximos a dicha localidad. Presenta una dirección N.NO-S.SE y una longitud de eje kilométrica. El núcleo del pliegue lo constituyen los yesos de Falces, la unidad estratigráfica más baja aflorante en la Hoja que a su vez aparece replegado dando lugar a una serie de anticlinales en la misma dirección. Una buena parte del núcleo de esta estructura aparece recubierta por materiales cuaternarios. El flanco suroccidental aparece cortado por los escarpes y depósitos del valle del Ega mientras que el nororiental forma parte a su vez del sinclinal de Peralta y dibuja claramente dicho pliegue.

Finalmente merece destacar en esta zona y por el Sur la continuidad del sinclinal de Lodosa, estructura que se desarrolla ampliamente por la mitad occidental de la Hoja y que en este sector lo hace por el cuadrante suroriental al Norte de Azagra.

El sinclinal de Peralta es quizás la estructura más relevante. Con un eje de gran longitud atraviesa la Hoja según una dirección NO-SE transcurriendo su eje a lo largo de un amplio valle. La estructura se desarrolla sobre depósitos evaporíticos en su mayor parte, localizándose los depósitos detríticos en el flanco más nororiental del sinclinal. En el núcleo del mismo se sitúa de forma discordante sobre los yesos que lo configura las facies detríticas de la Fm. Tudela.

El flanco nororiental de dicho sinclinal forma parte a su vez del anticlinal de Falces, una de las estructuras más características de la región, que se desarrolla ampliamente tanto hacia el Norte por la Hoja 205-II como hacia el Oeste por la cuadrícula colindante 206-III, donde toma nombre dicha estructura. Dicho flanco está formado por una serie detrítico-evaporítica, con predominio de los términos terrígenos

El sector de Carcar, situado en la mitad occidental de la Hoja está estructurado también por una serie de pliegues de dirección NO-SE en aparente continuidad con los situados en la otra margen del Ega, siendo dos las estructuras, más relevantes: el sinclinal de Lodosa y el anticlinal de Carcar.

El sinclinal de Lodosa se trata de una estructura de aspecto sinclinorial laxa y suave que hacia el Noroeste se resuelve, ya fuera de Hoja en una sucesión de pliegues anticlinales y sinclinales apretados que dibujan de forma muy clara la geometría de los depósitos salinos. Presenta una dirección NO-SE y en una gran parte está estructurada sobre materiales evaporíticos, quedando su núcleo enmascarado con frecuencia por depósitos cuaternarios. El flanco más meridional conforma parte de los escarpes del Ebro a su paso por la Hoja, por lo que la calidad de los afloramientos es muy buena tanto para observaciones estratigráficas como estructurales. Por el contrario el flanco más septentrional es más difícil de reconocer y forma parte a su vez del anticlinal de Carcar. Este sinclinal tiene su continuidad por las vecinas Hoja 205-III Pradejón y 205-I Lodosa

El anticlinal de Carcar se trata de una estructura que se desarrolla algo más hacia el Norte por encima del sinclinal de Lodosa. El núcleo de la misma resulta difícil de reconocer por la calidad de los afloramientos además de encontrarse cubierto a lo largo de su eje por

depósitos cuaternarios. En detalle se puede decir que es un pliegue apretado cuyo eje transcurre paralelo a la carretera que une dicha localidad con la de Lodosa. El flanco norte forma parte a su vez de otra macroestructura de las que ya se ha mencionado: el sinclinal de Peralta-Sesma que discurre ampliamente hacia el Norte por la vecina Hoja 205-I Lerín

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, como puede ser el caso del río Ega que probablemente este enmascarando algún cabalgamiento entre estructuras.

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

3. GEOMORFOLOGÍA

3.1. DESCRIPCIÓN FISIAGRÁFICA

La Hoja a escala 1:25.000 de San Adrián (205-IV) está incluida en la Hoja a escala 1:50.000 de Lodosa (205), encontrándose situada en el sector suroccidental de la Comunidad Autónoma de Navarra abarcando además una pequeña parte de la Comunidad Autónoma de La Rioja.

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 se caracteriza por presentar una elevación moderada en su sector suroccidental y noroccidental que contrasta con los relieves suaves y valle de fondo plano de su sector central y meridional. Además se reconocen valles poco acusados, orientados según bandas de dirección SO-NE. Esta estructura general de bandas estrechas se ve truncada casi N-S en el sector central de la Hoja, por el discurrir del río Ega que da lugar a un amplio valle encajado que sesga en parte dichas direcciones, casi confluyendo al Sur de la Hoja, con el valle del Ebro cerca de San Adrián.

Es precisamente en esa zona, en el valle del Ega donde se encuentra la altitud mínima (296m) en tanto que la máxima se localiza en Casanueva (468m) al Este de la Hoja. Las cotas medias se sitúan por encima de los 400 m en su mitad septentrional mientras que en la meridional lo hacen por debajo de dicho valor.

El principal curso fluvial es el río Ebro que transcurre según una dirección NO-SE con una configuración meandriforme, así como el Ega, afluente destacado de aquel por su margen izquierda y que discurre tras una ligera inflexión N.NO-S.SO por el centro de la cuadrícula,

articulándose en torno a él la red de drenaje del sector central e integrada por diversos barrancos de pequeña entidad.

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

Se trata de una zona bastante poblada, distribuyéndose gran parte de sus habitantes entre los núcleos urbanos y los diversos caseríos y casas de campo diseminadas por la zona, siendo San Adrián, Andosilla y Carcar los tres núcleos de población más importantes, pertenecientes todos ellos a la Comunidad Autónoma de Navarra. Murillo de Calahorra, ya en La Rioja es la cuarta y última población de la Hoja y se localiza en la margen derecha del Ebro.

La red de comunicaciones se basa en una serie de carreteras, densamente distribuidas por el sector central, de entre las que destaca la NA-134, la NA-122, la NA-6530 y la NA-6240, así como en numerosos caminos y pistas que permiten el acceso a la práctica totalidad de la zona. La autopista A-68 pasa por el ángulo sureste de la Hoja.

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

3.2. ANTECEDENTES

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

Por lo que respecta a estudios más concretos, en su mayor parte se centran en los depósitos de terrazas y glaciares del río Ebro, destacando los de RIBA y BOMER (1957), GONZALO (1977 y 1979) y LERANOS (1989), mereciendo la pena señalar el de LERANOS

(1990 a) que aborda el endorreísmo del sector meridional navarro. Por su interés neotectónico es preciso señalar la publicación de ATARES et al. (1983), en relación con la existencia de fallas cuaternarias en el área de Alcanadre; otro tanto puede decirse, por su relación directa con la zona de estudio, de los trabajos de MENSUA y BIELZA (1974) y LERANOZ (1990 b) centrados en el curso bajo del río Ega.

También es preciso destacar las aportaciones de las Hojas geológicas a escala 1:50.000 correspondientes al Plan MAGNA de las áreas vecinas, especialmente la de Lodosa (205) y las más recientes (Viana, 171; Allo, 172; y Tafalla, 173), que incluyen un capítulo de geomorfología, así como un esquema geomorfológico a escala 1:100.000. Por último, mención aparte merecen las Hojas geológicas y geomorfológicas a escala 1:25.000 realizadas dentro del presente proyecto de actualización e informatización de la cartografía geológica de Navarra (GOBIERNO DE NAVARRA, 1998) en las zonas limítrofes, 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 San Adrián (205-IV) se localiza en la Cuenca de La Rioja-Navarra, localizada en el sector noroccidental de la Depresión del Ebro, caracterizada 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, en tanto que los valles de los ríos Ebro y Ega, tapizados por depósitos cuaternarios, constituyen otro de gran entidad que secciona al anterior en el sector central.

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 yesífera y lutítico-yesífera en la que se intercalan frecuentes niveles de calizas, dolomías, areniscas y yesos, cuya mayor resistencia a la erosión les confiere el papel de resaltes estructurales. Son estos niveles los que permiten establecer la geometría de la zona, consistente en una sucesión de pliegues de orden decakilométrico orientados en esta Hoja según direcciones NO-SE tales como los anticlinales de Falces y Carcar y los sinclinales de Peralta-Sesma y Lodosa. Éstas estructuras aparecen interrumpidas o acompañadas por la red de drenaje por lo que es frecuente durante decenas de kilómetros la presencia de líneas de capa o escarpes más o menos pronunciados, en todos los casos con desniveles inferiores a 100m; ocasionalmente, la serie estratigráfica aparece verticalizada, dando lugar apareciendo los resaltes a modo de crestas. A veces se reconocen, conservadas superficies estructurales, que aparecen como cuestas, y más raramente como hog backs. Entre estas formas derivadas de la estructura es preciso señalar también los cerros cónicos, como resultado de procesos de erosión selectiva y que de forma aislada se reconocen en algunos puntos de la Hoja.

Finalmente interesa destacar las formas que adoptan algunas terrazas como consecuencia de basculamientos debido a procesos neotectónicos y deformaciones en yesos. Estos fenómenos son observables en el valle del Ega en las terrazas próximas a Andosilla en el sector septentrional así como en los alrededores de San Adrián y en la zona de confluencia con el Ebro.

3.3.1.2. Estructura de la red de drenaje

A excepción de los ríos Ebro y Ega, que discurren por la mitad occidental Hoja según una dirección general NO-SE siguiendo la línea de máxima pendiente regional y con un marcado carácter consecuente, la red de drenaje presenta una geometría claramente condicionada por la estructura. Así, una buena parte de la red posee carácter subsecuente, de tal manera que se adapta a las depresiones paralelas a los principales resaltes, de directriz predominante NO-SE, en tanto que algunos de los barrancos y arroyos del sector oriental y occidental muestran carácter obsecuente, discurriendo en contra de la pendiente regional; completando este esquema, en la mitad oriental, en el sinclinal Peralta-Sesma, abundan los cursos resecuentes, en general de escasa entidad.

3.3.2. Estudio del modelado

El relieve de la zona es el resultado de la acción de los procesos externos, tanto erosivos como sedimentarios que han actuado durante el Cuaternario, sobre la estructura existente a finales del Terciario. Dichos procesos tienen un origen gravitacional (de laderas), fluvial, poligénico, endorreico y antrópico.

3.3.2.1. Formas de laderas

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

Los deslizamientos están representados exclusivamente por dos masas de reducidas dimensiones, localizadas en la margen derecha del río Ega, concretamente en Carcar y sus alrededores. Allí, la elevada pendiente, unida a la naturaleza yesífera y arcillosa del sustrato, han favorecido la génesis de estas masas deslizadas que destacan claramente en el paisaje del valle.

Los desprendimientos de bloques son frecuentes también en el valle del Ega, preferentemente en su margen izquierda. Se ponen de manifiesto a diferentes escalas siendo los más llamativos los que se reconocen entre Andosilla y San Adrián al pie de los escarpes, dando como resultado un acumulo caótico de bloques generalmente de yesos empastados en limos y arcillas.

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

3.3.2.2. Formas fluviales

Constituyen, sin duda alguna, el grupo de mayor relevancia, merced principalmente al cortejo de terrazas que escalonan los valles de los ríos Ebro y Ega, en el que también está

representada su llanura de inundación junto con diversos meandros y cauces abandonados. Las formas sedimentarias se completan con los numerosos fondos de valle y conos de deyección repartidos por todo el territorio. Como formas erosivas, se han reconocido aristas, huellas de incisión lineal, acarcavamientos y de forma ocasional, erosiones laterales de los cauces de las principales arterias.

Los fondos de valle tienen una notable representación, apareciendo con formas alargadas y, en general, estrechos, cuya longitud varía sensiblemente pudiendo llegar a ser kilométrica. En general, su geometría aparece perfectamente adaptada a la estructura, excepto en algunas zonas arcillosas en las que el drenaje se hace difuso e incluso pueden producirse procesos de tipo endorreico. Por sus dimensiones destacan los del arroyo de Vallaluenga, Sierras y Vallacuera en la mitad occidental de la Hoja.

La llanura de inundación del Ega aparece mínimamente representada, a modo de retazos adyacentes al cauce activo, con su típica morfología plana y ligeramente encajada en la terraza más baja. La terraza mas baja de +3 m se comportaría como tal en algunas ocasiones. Por el contrario el Ebro, en las proximidades de San Adrián presenta muy bien desarrollada la llanura de inundación así como varias barras fluviales que destacan claramente por su morfología.

El sistema de terrazas de los ríos Ebro y Ega es el conjunto de formas más característico de la zona. En el Ebro se han diferenciado dentro de la Hoja solamente cuatro niveles de terrazas +5 m, +10 m, +20 m y +30 m si bien en zonas próximas se llegan a diferenciar hasta 10 niveles. En el Ega el número de terrazas que aparecen representadas en la Hoja es mayor, habiéndose reconocido en la Hoja hasta un total de nueve a las siguientes cotas. +150-155 m, +100 m, +70 m, +60-65 m, +45 m, +20-25 m, 10 m, +5 m y +3 m.

Los dos niveles inferiores se han considerado como terrazas "bajas" y poseen un dispositivo de terrazas encajadas y a veces ligeramente solapadas, en tanto que los tres superiores se han considerado terrazas "medias" y el resto ya como "altas", presentándose como terrazas colgadas. Por lo que respecta a los cuatro niveles considerados como terrazas "medias" los más bajos y pueden aparecer como encajadas o colgadas localmente. En conjunto, confieren al valle un aspecto escalonado, con netos escarpes entre los distintos niveles; de entre éstos, son los inferiores los que poseen una mayor continuidad superficial, en tanto que los superiores aparecen a modo de retazos aislados y a veces sin claros escarpes diferenciadores.

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. Este hecho se pone de manifiesto a lo largo del curso bajo del Ega desde las proximidades de Andosilla hasta San Adrián y en ambas márgenes

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

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

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

El desarrollo de cárcavas, con sus correspondientes cabeceras, es poco frecuente, o al menos es incipiente o está poco desarrollado en los afloramientos arcillosos, a pesar de que el carácter “blando” favorece el desarrollo de una profunda incisión; no obstante, debido a sus reducidas dimensiones, con frecuencia carecen de representación cartográfica.

En los tramos donde el río Ega muestra trazados sinuosos, se registran fenómenos de erosión lateral del cauce, también identificados en las curvas entre Carcar y San Adrián

3.3.2.3. Formas poligénicas

Están representadas por los glacis, los depósitos aluvial-coluvial y los restos de pequeñas superficies de erosión degradadas y escarpes.

Los glacis aparecen escasamente desarrollados en el sector central, al pie de los relieves estructurales de orientación NO-SE, caracterizándose por sus perfiles longitudinales plano-cóncavos, con aumento de la concavidad hacia la cabecera. En general se trata de sistemas de escasa entidad, ligeramente disectados por la red de drenaje actual.

Por lo que respecta a los depósitos de origen aluvial-coluvial se identifican en dos zonas: una de ellas en el sector central del sinclinal de Lodosa, rellenando una buena parte de la depresión original y otra en Andosilla por encima de los escarpes del valle del Ega. En cualquier caso la disposición es alargada a favor de las estructuras y rellenando pequeñas depresiones.

En algunos sectores parecen reconocerse restos de superficies de erosión degradadas que, en la mayor parte de los casos, no guardan relación entre sí. Al menos estas se reconocen en dos sectores, uno en el ángulo noreste de la Hoja, en el paraje Carricas y la otra en cuadrante occidental en los parajes de El Cumbre y el de Hoyomaton, superficies probablemente relacionadas con el desarrollo de la red fluvial y de los ríos Ega y Ebro en particular. 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 los valles más importantes: Ebro y Ega, pese a lo cual se han interpretado como formas poligénicas porque pese a su evidente influencia fluvial, se supone que los procesos de ladera también han tenido incidencia en su génesis. Lógicamente, su envergadura es muy variable, destacando en el valle del Ebro el de El Soto cerca de la Ermita de la Santa Cruz y en el valle del Ega el de Carcar, en su margen derecha y el de Andosilla, aguas abajo con desniveles superiores a los 50 m.

3.3.2.4. Formas endorreicas

Se encuentran representadas de forma exclusiva por un reducido número de áreas endorreicas. Las más destacadas se localizan en el paraje de Bocamontón, al SO de Carcar en pleno sinclinal de Lodosa y desarrollado sobre un sustrato yesífero. También se reconocen o al menos se han interpretado como zonas de drenaje deficiente las situadas al

Noroeste de San Adrián sobre depósitos relativamente recientes afectados por procesos neotectónicos y sobre la misma estructura. En el sector oriental en el paraje de Cabizgordo se reconocen algunas depresiones sobre sustrato yesífero pero que, al menos temporalmente, parecen perder su funcionalidad endorreica.

3.3.2.5. Formas antrópicas

La actividad antrópica se concentra casi exclusivamente en los valles del Ebro y Ega, que es donde mayor actividad se da dentro de la Hoja. Corresponden bien a representación de frentes de canteras en explotaciones de graveras, a vertederos o escombreras como en San Adrián o Carcar o bien a explanaciones por obras cerca de Andosilla.

3.4. FORMACIONES SUPERFICIALES

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

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

Estos depósitos son observables en el valle del Ega y en el del Ebro, en ambas márgenes, si bien los deslizamientos se reconocen en la margen derecha de la mitad septentrional y los desprendimientos en la izquierda de la mitad meridional de la Hoja. Los primeros se manifiestan como masas deslizadas y muestran numerosas grietas paralelas. Los segundos se reconocen a pie de los escarpes. Ambos constituyen sin duda alguna uno de los mayores riesgos geológicos de la región. Ya que se trata de procesos actuales o subactuales quedan incluidos en el Holoceno.

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

Se trata de depósitos de reducido espesor, en general inferior a 2m, y moderada representación superficial, distribuidos irregularmente al pie de las laderas de los principales relieves. Su constitución litológica es muy variable, dependiendo de la naturaleza de su área madre. Predominan las lutitas ocres que engloban cantos y bloques angulosos y subangulosos de areniscas, yesos o calizas de tamaño muy variable, con frecuencia de orden decimétrico. Ocasionalmente y cuando se desarrollan sobre algún nivel de terrazas estos depósitos resultan “canturrales” procedentes de las gravas pudiendo llegar a confundirse con aquellas.

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

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

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

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

Predominan las lutitas de tonalidades grises, rojas 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 clastos de fragmento de yeso o arenisca según las zonas. Por su íntima relación con la red fluvial actual se atribuyen al Holoceno.

3.4.4. Gravas poligénicas y arenas. Terrazas, Llanuras de inundación, Meandros y/o cauces abandonados (d). Pleistoceno-Holoceno

En relación con el sistema fluvial de la Hoja formado por los ríos Ebro y Ega, se reconocen depósitos de gravas y arenas, bajo dos contextos diferentes: por una parte como materiales asociados a las terrazas fluviales de dichos ríos y por otro como depósitos de reducida extensión bien adyacentes al cauce activo y ligeramente encajados en la terraza más baja, correspondiendo a la llanura de inundación o como formas estrechas, en ocasiones fuertemente curvadas, ligeramente encajados en las terrazas “bajas”, correspondiendo a meandros o cauces abandonados.

Las terrazas fluviales en su mayor parte pertenecen al sistema fluvial del río Ega, aunque las del Ebro, aparecen también representadas. El Ega ha dejado a lo largo del valle y dentro de la Hoja un cortejo escalonado de 9 niveles, agrupados en terrazas “altas”, las tres superiores (+70, +100 y +150 m), “medias”, las tres intermedias (+20-25, +45 y +60-65 m), y “bajas”, los tres inferiores (+3, +5 y +10 m). Es preciso recordar que algunas de estas cotas pueden haber sido modificadas debido a las deformaciones neotectónicas de los yesos que constituyen su sustrato.

En el río Ebro y en esta Hoja solo aparecen representados 5 niveles de terrazas correspondiendo tres a las denominadas medias y dos para las bajas: la de +10, +20 y +30 m para las primeras y las de +5 y +10 m para las segundas.

La litología es muy similar en casi todas ellas, si bien en el valle del Ega las terrazas presentan un alto porcentaje de clastos carbonatados, mientras que en las del Ebro el carácter poligénico es mucho más patente (calizas, areniscas, conglomerados y cuarcitas). El grado de cementación, por carbonatos, parece ser algo mayor en las terrazas superiores. El contenido en arenas es muy variable. En cuanto al tamaño de los cantos cabe decir que a veces se reconocen de tamaño bloque de hasta 50 cm de diámetro en las terrazas altas. Presentan a veces dos modas aunque el tamaño medio fluctúa entre los 10-12 y 15-20 cm.

Los espesores son muy irregulares, reconociéndose potencias anómalas de hasta 30 m en sectores próximos, explicados por 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).

Con frecuencia las terrazas bajas y medias desarrollan suelos que por sus características son frecuentemente utilizados para el cultivo. En el Ega se observan suelos del tipo 10 YR

6/3. En el río Ebro las terrazas bajas se desarrollan suelos también del tipo 10 YR 6/4, mientras que en las medias son ya 7,5 YR 5/4

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

3.4.5. Limos y arcillas ocreas, en ocasiones con cantos y bloques. Conos de deyección (e). Pleistoceno-Holoceno

Se han reconocido una serie de depósitos asociados a conos de deyección. Por lo general suelen ser de dos tipos: los desarrollados a la salida de fondos de valle o barrancos de diferente envergadura y los de forma coalescentes, que tapizan las laderas de vertiente de zonas de relieve.

Generalmente, están formados por limos y arcillas de tonalidades ocreas, a veces algo rojizas que ocasionalmente engloban cantos angulosos o subangulosos dispersos e incluso 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 así como su espesor a veces superior a los 8-10 m. Es bastante frecuente como ya se ha expuesto, 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 con una edad que abarcaría parte del Pleistoceno y el Holoceno.

3.4.6. Lutitas con cantos. Glacis (f). Pleistoceno

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

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

3.4.7. Limos ocre y arenas. Depósitos aluvial-coluvial (g). Pleistoceno-Holoceno

Corresponden a un conjunto de depósitos de origen aluvial y 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.

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

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

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

Se trata de depósitos finos asociados a áreas de drenaje deficiente, cuyo carácter endorreico puede llegar a producir encharcamientos superficiales. Se trata de lutitas grises y limos, a veces yesíferos, con un bajo contenido en materia orgánica y que en general poseen un reducido espesor. Ocasionalmente pueden intercalar depósitos más groseros suministrados por los aportes laterales.

Por su disposición dentro del relieve actual se han atribuido al Holoceno.

3.4.9. Escombros y vertidos. Depósitos antrópicos (i). Holoceno.

Tan sólo se ha diferenciado un reducido grupo de depósitos de esta naturaleza, relacionados con escombreras de canteras o vertederos; 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 hectométricos. Obviamente, se trata de un depósito actual.

3.5. EVOLUCIÓN DINÁMICA

Lógicamente, es difícil de establecer la evolución geomorfológica de una zona de reducidas dimensiones sin integrarla dentro de un ámbito regional más amplio, por lo que es preciso el tratamiento de la Hoja de San Adrián dentro del contexto de la Depresión del Ebro o al menos de todo este sector.

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

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

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

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

Ya en el Holoceno, la dinámica fluvial ha seguido gozando de una gran preponderancia en el modelado de la región, tanto por la acción llevada a cabo por los ríos Ebro y Ega y los fondos de los valles como por la ejercida por los conos de deyección. Los procesos de las laderas ahora sí permanecen “momentáneamente” conservados en forma de coluviones, desprendimientos y deslizamientos, comenzando a adquirir cierta relevancia los procesos endorreicos, favorecidos por una clara disminución de las pendientes regionales y de un sustrato yesífero y arcillo-yesífero. La influencia del sustrato se pone de manifiesto por la profusión de escarpes, hog-backs, crestas y cerros cónicos que la erosión ha modelado y que constituyen elementos inseparables del paisaje actual en la región.

3.6. MORFOLOGÍA ACTUAL-SUBACTUAL Y TENDENCIAS FUTURAS

La fisonomía actual de la Hoja de San Adrián 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 yesífero y arcilloso en el que se intercalan niveles yesíferos y a veces carbonatados, de mayor competencia, estructurado en grandes pliegues de orientación NO-SE. 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 con desprendimientos y deslizamientos y, en algunas zonas, erosión lateral de los cauces y acaravamientos como ocurre en los valles del Ebro y Ega. También se producen fenómenos de aluvionamiento y abandono de cauces.

La evolución del relieve previsible a corto plazo no sugiere modificaciones importantes en relación con los procesos actuales, siendo de esperar una tendencia general de aproximación del relieve al nivel de base local, marcado por el río Ebro en el sector meridional y por el Ega, en el central, tendiendo este último a alcanzar al primero. No obstante en las áreas de afloramientos de materiales blandos se incrementará la tendencia

a suavizar las formas, incluso con un aumento de las tendencias endorreicas, la superior resistencia a la erosión de algunos niveles podría exagerar los desniveles de algunas formas estructurales. Otro probable efecto futuro es la captura de algunos cursos del sector occidental que discurren hacia el Oeste, por parte de los que lo hacen hacia el Este, adaptándose así a la pendiente regional. Por último, resulta imposible predecir todas aquéllas modificaciones relacionadas con las deformaciones de los materiales yesíferos.

4 HISTORIA GEOLÓGICA

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

La Fm. Lerín representa el desarrollo de un nuevo sistema evaporítico que se inicia por la parte suroriental de la cuenca y progresivamente se expande hacia el NO (figs .), 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 Ageniense superior (fig.). Así, las Facies de Alfaro representan un sistema fluvial desarrollado en el sinclinal de La Rioja Baja, que fue colector de los depósitos aluviales con área fuente en la Sierra de Cameros, y con drenaje hacia el SO. Las Facies de Tudela

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

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

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

5. GEOLOGÍA ECONÓMICA

5.1. RECURSOS MINERALES

En la Hoja a escala 1:25.000 de San Adrián (205-IV) se han reconocido 22 indicios correspondientes a canteras de diversa consideración que se concentran en su mayor parte a lo largo del valle del Ega. Las canteras más importantes se encuentran sobre gravas de las terrazas del río Ega. 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 14 indicios de gravas, 3 de arenas 2 de yesos, 2 de arcillas y 1 de glauberita. Se describen también otras sustancias, (sal común) por su potencial minero.

5.1.1.1. Gravas

Se cuenta con 14 indicios de esta sustancia listados en la Hoja.

Se trata de canteras de dimensiones variables que se distribuyen en su mayor parte a lo largo del valle del Ega. Tres pequeñas canteras se encuentran, desconectadas del valle, varios km al NE de San Adrián, si bien corresponden a una terraza alta de este río.

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

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

La potencia de los niveles de terrazas es normalmente de orden métrico a decamétrico sin embargo pueden alcanzar espesores de más de 30 m favorecidos por colapsos de las formaciones yesíferas sobre las que se asientan

De este modo las canteras presentan frentes de explotación de altura variable, en ocasiones de varias decenas de m con alturas comprendidas entre 3 y 10.

Tres de las explotaciones se encuentran actualmente en funcionamiento, situándose en las cercanías de las dos poblaciones principales: San Adrián y Andosilla.

5.1.1.2. Yesos

Se han reconocido 2 canteras de yesos en la Hoja.

Una de ellas se encuentra en los alrededores de Cárcar, sobre los Yesos de Sesma, y la otra en las cercanías de Andosilla emplazada en la Fm. Falces.

Son canteras de dimensiones pequeñas que presentan un solo frente, a veces con varios bancos.

No registran actividades extractivas en la actualidad.

5.1.1.3. Arcillas

En los alrededores de Andosilla se localizan dos indicios de arcillas comunes.

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

Se encuentran sobre las denominadas Arcillas de Sartaguda (Unidad cartográfica 15). Hay que hacer notar no obstante el potencial minero de las otras unidades arcillosas presentes en la Hoja (Fm. Marcilla, Unidad de Peralta, Fm. Tudela) que son objeto de explotación en diversos puntos de la región

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

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

5.1.1.4. Arenas y areniscas

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

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

En la Hoja de San Adrián (205-IV) se han inventariado 3 indicios correspondientes a pequeñas explotaciones de arenas que se distribuyen a lo largo de la carretera de Cárcar a Andosilla.

5.1.1.5. Glauberita

Las Fms. Falces y Lerín contienen niveles de glauberita dentro de sus principales tramos yesíferos.

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

Excepcionalmente la glauberita se reconoce en algunos afloramientos recientes de la región en los que no ha llegado a ser disuelta aunque está parcialmente transformada en yeso secundario. Uno de estos puntos se encuentra en la Hoja, al NE de San Adrián

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

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

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

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

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

5.1.1.6. Sal común

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

Los niveles yesíferos de las Fms. Falces y Lerín contienen sal, a profundidades poco distantes de la superficie, que puede extraerse mediante procedimientos simples de inyección de agua y bombeo de salmuera.

En la Hoja de San Adrián se desarrollan varios niveles evaporíticos destacables por su potencia y extensión. De muro a techo son: Yesos de Falces, Yesos de Cárcar, Yesos de Sesma y Yesos de Los Arcos.

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

5.2. HIDROGEOLOGÍA

5.2.1. Descripción de las formaciones

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

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

La Fm. Falces (Unidad Cartográfica 1) aflora, dentro de la Hoja de San Adrián (205-IV), en el núcleo del Anticlinal de Falces.

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

En subsuelo incluye abundantes niveles de halita alternando con anhidrita, lutitas y dolomías.

Su potencia es muy variable debido a procesos halocinéticos si bien se estima un espesor deposicional de unos 1000 m.

Constituye una formación salina de muy baja permeabilidad ($<10^{-8}$ m/s) que puede sin embargo permitir cierta circulación de agua por karstificación en los niveles superficiales. Ello da lugar a algunos de los manantiales salinos de la zona.

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

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

Litoestratigráficamente comprende, de muro a techo, la Fm. Marcilla y la Unidad de Peralta del Dominio norte (6 y 14) y las Unidades de Sartaguda del Dominio sur (y 15).

En el Dominio Septentrional el conjunto arcilloso se desarrolla a ambos flancos del Sinclinal de Peralta con buzamientos de 25° - 55° , mientras que en el Dominio Meridional se extiende alrededor del Sinclinal de Lodosa con valores de buzamiento muy variables.

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

En ambos dominios se distinguen dos tramos principales separados por un intervalo yesífero-heterolítico (Nivel de Alcanadre, Unidades 12 y 13). El intervalo inferior corresponde a las Arcillas de Marcilla se caracteriza por la práctica ausencia de niveles de yesos. El intervalo superior está representado por las Unidades de Peralta y Sartaguda y contiene varias intercalaciones mayores de yesos que se han agrupado bajo el término de Yesos de Cárcar (20).

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

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

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

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

Los Yesos de Sesma se reconocen en los dos dominios apareciendo en el centro de los sinclinales de Peralta y Lodosa. Su potencia aumenta de N a S pasando de menos de 150 m a cerca de 200 m.

Los Yesos de Cárcar afloran en el ámbito de la terminación periclinal de la estructura de Andosilla, donde constituyen tres intercalaciones de potencia creciente (hasta más de 100 m) en las Arcillas de Peralta y Sartaguda al E y O del valle del Ega respectivamente.

Las dos Unidades aparecen en superficie como un conjunto de yesos con intercalaciones lutíticas en proporciones variables.

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

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

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

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

Al E del Ega corresponde a la Unidad Arcillas de Villafranca (24) y al O a las Facies de Allo (25).

La potencia máxima de la Unidad de Villafranca en la Hoja es de unos 50 m y disminuye hacia el SE hasta casi acunarse.

Las Facies de Allo afloran únicamente en la esquina NO de la Hoja donde poseen un espesor de unos 25 m.

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

Ambas unidades contienen intercalaciones de areniscas de escasa potencia e intervalos yesíferos de diversa consideración, más importantes hacia techo.

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

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

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

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

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

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

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

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

El techo de la serie terciaria de la Hoja está representada por arcillas rojizas que intercalan areniscas y calizas en bajas proporciones.

Corresponde a la unidad cartográfica 31, que recibe la denominación litoestratigráfica de Fm. Tudela.

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

Su presencia en la Hoja se circunscribe al eje del Sinclinal de Peralta, donde supera los 25 m de potencia.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

5.2.2. Unidades acuíferas.

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

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

Por orden cronoestratigráfico son:

- Unidad Hidrogeológica Sur

- Unidad Hidrogeológica del Aluvial del Ebro y Afluentes

5.2.2.1. Unidad Hidrogeológica Sur

Geometría.

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

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

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

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

Las principales unidades evaporíticas pueden presentar potencias de hasta cerca de 1000 m (Fm. Falces) aunque normalmente forman en superficie intervalos yesíferos muy expansivos de unos 50 a 300 m de potencia, (Yesos de Alcanadre, Cárcar, Sesma y de Los Arcos), intercalados en facies lutíticas (Fm. Lerín). En el subsuelo aparecen como una alternancia entre anhidritas y halita con intercalaciones de lutitas y carbonatos, comportándose como formaciones salinas de muy baja permeabilidad. La circulación de agua se circunscribe a las zonas superficiales donde la karstificación de los yesos alcanza profundidades máximas del orden de varias decenas de m.

Funcionamiento hidrogeológico

Los niveles más potentes de areniscas pueden formar pequeños acuíferos confinados que permiten cierta circulación de agua en zonas con desarrollo de fracturación y/o diaclasado, y especialmente en situación próxima a la superficie, donde presentan procesos de descalcificación. A mayor profundidad disminuye la porosidad por una mayor cementación, aumentando la mineralización de las aguas.

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

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

Parámetros hidráulicos:

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

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

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

5.2.2.2. Unidad Hidrogeológica del Aluvial del Ebro y Afluentes

Geometría

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

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

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

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

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

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

Funcionamiento hidrogeológico.

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

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

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

La piezometría del sistema está predominantemente influida por los ríos, presentando oscilaciones de nivel del orden de unos 4 m. En general se establece una buena conexión río-acuífero, con niveles altos en primavera-invierno y bajos en verano. Localmente se distinguen zonas de conexión hidráulica deficiente, con oscilaciones de nivel de unos 2 m. La piezometría está directamente condicionada en estos casos por los retornos de los riegos, observándose un comportamiento inverso al general, con niveles altos en verano y bajos en primavera-invierno. El gradiente hidráulico oscila entre 2 y 0,05 %.

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

Parámetros hidráulicos.

Se han recopilado los datos existentes en el libro de “Las aguas subterráneas en Navarra” (D.F.N., 1975-77). En el marco de este proyecto se realizaron ensayos que proporcionaron para el aluvial del Ebro unos valores de transmisividad comprendidos entre 10.000 y 200 m²/día, siendo muy frecuentes los registros de 1000-2000 m²/día, mientras que para el Ega se cifra en unos 50-500 m²/día. La porosidad eficaz es de un 10-30 %.

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

RESERVAS ESTIMADAS DE LOS ACUÍFEROS ALUVIALES DE LOS RÍOS EBRO Y EGA

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

(* : Superficie comprendida dentro del territorio navarro)

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

5.3. GEOTECNIA

5.3.1. Introducción

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

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

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

5.3.2. Metodología

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

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

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

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

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

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

5.3.3. Zonificación geotécnica

5.3.3.1. Criterios de división

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

5.3.3.2. División en Áreas y Zonas Geotécnicas

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

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

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

ÁREA III: Agrupa todos los depósitos cuaternarios

Estas áreas se han dividido en las siguientes zonas:

ÁREA I: ZONAS I₁, I₂, I₃ y I₄

ÁREA II: ZONA II₁

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

En el Cuadro 1 se presenta la correlación entre las Unidades Geológicas cartografiadas y las Zonas Geotécnicas para el caso particular de la Hoja 1:25.000 de San Adrián

UNIDAD CARTOGRÁFICA	ZONACIÓN GEOTÉCNICA	DESCRIPCIÓN
49 a 51	III ₂	Grandes bloques, arcillas y limos a veces con cantos
37 a 39, 41, 44 a 48	III ₁	Gravas y arenas, arenas con cantos, lutitas y limos ocres
31	II ₁	Arcillas rojas con intercalaciones de areniscas y calizas
6 a 8, 10, 14 a 16, 21, 24, 25	I ₄	Lutitas rojas. Areniscas, calizas, dolomías, margas y yesos
3, 4	I ₂	Arcillas, margas y yesos
1, 2, 12, 19, 20, 22, 23, 27	I ₁	Yesos con intercalaciones de margas

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

5.3.4. Características geotécnicas

5.3.4.1. Introducción

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

<i>Descripción de la roca</i>	<i>Kp/cm²</i>
Roca ígnea o gnéisica sana	109
Calizas masivas y areniscas duras	44
Esquistos y pizarras	33
Lutitas duras, limolitas y areniscas blandas	22
Lutitas arcillosas	11

Cargas admisibles según el Código de Práctica Británico nº 4, para diferentes tipos de roca.

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

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

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

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

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

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

Se ha tomado como referencia la Instrucción de Carreteras, Normas de Firmes Flexibles y Firmes Rígidos. Se entiende por suelo No Apto, aquel que no puede constituir un desmonte ni un terraplén explanada tipo E-1 (Suelos tolerables al menos estabilizado en sus 15 cm superiores, con CBR de 5 a 10). Marginales son aquellos que cumplen a veces dicha condición; en especial suele referirse a terrenos tolerables, que no conviene que sean explanada directamente (CBR de 10 a 20). Aptos, son terrenos frecuentemente adecuados y seleccionados; constituyen explanadas tipo E-3 (CBR > 20).

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

En obras subterráneas. Se utiliza el término "Muy Difícil" para suelos muy blandos por debajo del nivel freático o suelos potencialmente expansivos; "Difícil" designa terrenos blandos o arenosos limpios bajo el nivel freático; y "Medio", suelos firmes, casi rocas blandas, que sólo a veces presentan problemas de nivel freático, con cierta capacidad de autoaporte y sin empujes fuertes.

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

Bieniawski establece cinco categorías en función del valor RMR:

Clase I Roca muy buena: RMR = 81-100

Clase II Roca buena: RMR = 61-80

Clase III Roca media: RMR = 41-60

Clase IV Roca mala: RMR = 21-40

Clase V Roca muy mala: RMR < 20

5.3.4.2. Área I

Zona I₁

Características Geológico-Geotécnicas

Esta zona agrupa todas las unidades predominantemente yesíferas de la Hoja que, en términos generales, coinciden con resaltes morfológicos. Son yesos masivos o alternantes con margas que se disponen en niveles de entidad cartográfica aflorantes en los flancos de las estructuras o en grandes extensiones que ocupan sus núcleos. Estos materiales son mayoritarios en los núcleos de los anticlinales de Falces y Andosilla así como en el del sinclinal de Peralta.

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

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

No se dispone de ensayos de laboratorio:

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

Características constructivas

a. Condiciones de cimentación.

La Norma DIN 1054 y el Código Británico establecen presiones admisibles del orden 10-20 kp/cm², valores estos que deben reducirse a la mitad cuando el espesor de los tramos lutíticos aumenta o la disposición de la estratificación y grado de diaclasado son desfavorables. Se estima que la capacidad portante de estos materiales se sitúa entonces entre 5 y 10 kp/cm², valores suficientes para el caso de edificios habituales en los que las cargas proyectadas son inferiores a 3 - 4 kp/cm².

El tipo de cimentación será en general superficial, previa eliminación del horizonte de alteración. Es de esperar la presencia de 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 a veces 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, en aquellas zonas donde existan escarpes pseudoverticales o en voladizo por fracturación de la roca o por descalce de los niveles lutíticos inferiores.

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

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

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

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

Zona I₂

Características Geológico-Geotécnicas

Esta zona agrupa una serie de unidades cartográficas con escasa representatividad puesto que forman niveles de poco espesor y continuidad dispuestos generalmente a techo de los yesos de Falces

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

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

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

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

No se dispone de ensayos de laboratorio.

Características constructivas :

- a. Condiciones de cimentación

Aplicando los diferentes Códigos y Normas, se puede considerar cargas admisibles entre 1,5 y 5 Kp/cm², esperándose 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 I₄

Características Geológico-Geotécnicas

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

Sus afloramientos se distribuyen en la parte externa de los núcleos de los anticlinales, por encima de los yesos de Falces y en sus flancos.

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

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

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

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

Características constructivas :

a. Condiciones de cimentación

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

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

b. Condiciones para obras de tierra.

Excavabilidad. Los términos arcillosos son fácilmente excavables, especialmente los niveles someros de alteración. Las margas pueden variar de ripables a no ripables en función de su grado de cementación y las intercalaciones de areniscas y calizas se convierten en no ripables para espesores superiores a los 10 cm. Estabilidad de taludes. Se pueden dar problemas de deslizamientos en tramos potentes con predominio de arcillas con una orientación desfavorable respecto al talud. En margas el problema es

menor pero puede haber un deterioro progresivo del talud por la alteración y pérdida de cementación de las mismas

Empuje sobre contenciones. Bajos en margas, moderados en arcillas

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

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

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

5.3.4.3. Área II

Zona II₁

Características Geológico-Geotécnicas

Desde el punto de vista geotécnico, es una zona muy similar a la anterior y, si cabe, aún menos competente puesto que las intercalaciones de niveles duros (calizas y areniscas) son más esporádicas y raramente superan los 10 cm. También se diferencia de la zona anterior por la actitud subhorizontal o ligeramente monoclinial de sus materiales y por la ausencia de yesos

Esta zona ocupa el núcleo del sinclinal de Peralta

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

La permeabilidad es muy baja para toda la zona.

El contenido en yesos es muy bajo o inexistente.

No se dispone de ensayos de laboratorio.

Características constructivas :

a. Condiciones de cimentación

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

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

b. Condiciones para obras de tierra.

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

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

Empuje sobre contenciones. Moderados en arcillas.

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

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

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

5.3.4.4. Área III

Zona III₁

Características Geológico-Geotécnicas

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

- Características geotécnicas

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

Cuadro Resumen de Características Geotécnicas

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

En esta Zona hay que evaluar el riesgo potencial de inundaciones y avenidas debido a precipitaciones importantes concentradas. Presentan una permeabilidad variable entre alta (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/cm², dependiendo de que se trate de un limo de consistencia más o menos rígida o una grava de compacidad alta, y de la presencia o ausencia de nivel freático.

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

más resistentes (incluso el sustrato). En estos casos, el tipo de cimentación será semiprofunda.

Los condicionantes geotécnicos más importantes estarán relacionados con la posición del nivel freático, que puede dar lugar a subpresiones y fenómenos de inestabilidad en excavaciones y obras, así como agotamientos importantes. Por otro lado, la presencia de intercalaciones de arcillas blandas puede provocar asentamientos diferenciales no admisibles.

b. Condiciones para obras de tierra.

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

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

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

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

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

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

Zona III₂

Características Geológico-Geotécnicas

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

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

Características geotécnicas

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

A continuación se describen los valores más significativos.

Cuadro Resumen de Características Geotécnicas

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

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

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

Características constructivas

a. Condiciones de cimentación.

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

b. Condiciones para obras de tierra.

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

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

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

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

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

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

6. BIBLIOGRAFÍA

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

MUÑOZ, A.; PARDO, G. y VILLENA, J. (1986-87). Análisis 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 Yesos de 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.