



Gobierno de Navarra

Departamento de Obras Públicas,
Transportes y Comunicaciones

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE NAVARRA

ESCALA 1:25.000

HOJA 206-II

OLITE

MEMORIA

La cartografía geológica y geomorfológica de esta hoja y su correspondiente memoria han sido realizadas por la UTE "Informes y Proyectos, S.A.-Compañía General de Sondeos S.A." (**INYPSA-CGS**) durante los años 2000-2001, con normas, dirección y supervisión del Gobierno de Navarra, habiendo intervenido los siguientes técnicos:

Dirección y Supervisión (Gobierno de Navarra)

Faci Paricio, Esteban

Dirección del Proyecto

Autores y Colaboradores

Olivé Davó, Alfonso (CGS, S.A.)

Cartografía, Geomorfología y Memoria

Huerta Carmona, Julián (CGS, S.A.)

Cartografía Geológica

Ramirez Merino, Jose Ignacio (CGS, S.A.)

Cartografía Geológica

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ESTRATIGRAFÍA	5
2.1. Terciario.....	5
2.1.1. UNIDAD DE OLITE.....	7
2.1.1.1. Areniscas y lutitas (359). Ageniense superior-Orleaniense	8
2.1.1.2. Lutitas ocre y areniscas (365). Ageniense superior-Orleaniense.....	8
2.1.1.3. Arcillas ocre y rojizas con intercalaciones de areniscas (383). Ageniense superior-Orleaniense.....	9
2.1.2. UNIDAD DE MIRANDA DE ARGA	9
2.1.2.1. Arcillas rojas y areniscas con algunas intercalaciones de caliza (384). Orleaniense. .	10
2.1.3. UNIDAD DE ARTAJONA	10
2.1.3.1. Areniscas y lutitas ocre (398). Orleaniense-Astaraciense.....	10
2.1.4. UNIDAD DE UJUE	12
2.1.4.1. Areniscas y lutitas (409). Areniscas de Ujué. Astaraciense.....	12
2.2. CUATERNARIO	13
2.2.1. Pleistoceno.....	13
2.2.1.1. Conglomerados con encostramientos carbonatados a techo. Techo de piedemonte (515). Pleistoceno.....	13
2.2.1.2. Gravas y lutitas ocre. Glacis (518, 519 y 534). Pleistoceno-Holoceno	13
2.2.1.3. Gravas, arenas y lutitas (521 y 524). Terrazas medias y bajas y llanura de inundación del río Cidacos. Pleistoceno-Holoceno.....	14
2.2.2. Holoceno.....	15
2.2.2.1. Lutitas y arenas con cantos y bloques. Coluviones (543). Holoceno	15
2.2.2.2. Lutitas con cantos y arenas. Fondos de valle (527). Holoceno	15
2.2.2.3. Lutitas, cantos y arenas. Aluvial-coluvial (537). Holoceno.....	16
2.2.2.4. Lutitas y limos. Fondos endorreicos (541). Pleistoceno-Holoceno.....	17
3. TECTÓNICA	19
3.1. CONSIDERACIONES GENERALES	19
3.2. DESCRIPCIÓN DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS	21
3.2.1. Borde Septentrional de la Cuenca del Ebro	21
4. GEOMORFOLOGÍA	25
4.1. ANTECEDENTES	25
4.2. ANALISIS GEOMORFOLOGICO	26

4.2.1.	Estudio morfoestructural	26
4.2.2.	Estudio del modelado.	26
4.2.2.1.	Formas de ladera	26
4.2.2.2.	Formas fluviales.	27
4.2.2.3.	Formas poligénicas.	27
4.2.2.4.	Formas endorreicas.	28
4.2.3.	FORMACIONES SUPERFICIALES.....	28
4.2.3.1.	Lutitas y arenas con cantos y bloques. Coluviones (a). Holoceno	28
4.2.3.2.	Conglomerados, gravas, arenas y lutitas. Terrazas y llanuras de inundación (b,c,d,e). Pleistoceno-Holoceno	29
4.2.3.3.	Lutitas con cantos, gravas y arenas. Fondos de valle (f). Holoceno	29
4.2.3.4.	Conglomerados con encostramientos carbonatados a techo. Glacis de techo de piedemonte (g). Pleistoceno	30
4.2.3.5.	Lutitas con cantos y gravas. Glacis (h,i,j). Y glacis actual-subactual (k) Pleistoceno-Holoceno	30
4.2.3.6.	Arcillas, limos y cantos. Depósitos aluvial-coluvial (l). Holoceno.	31
4.2.3.7.	Arcillas y limos. Depósitos endorreicos (m). Pleistoceno-Holoceno	31
5.	GEOLOGÍA ECONÓMICA	37
5.1.	RECURSOS MINERALES.....	37
5.1.1.	Minerales y Rocas Industriales.	37
5.1.1.1.	Arcillas comunes	37
5.1.1.2.	Áridos naturales	37
5.1.1.3.	Areniscas	38
5.2.	HIDROGEOLOGÍA	38
5.2.1.	Descripción de las formaciones	38
5.2.1.1.	Areniscas y lutitas. Mioceno	38
5.2.1.2.	Lutitas ocre y areniscas. Unidad de Olite. Mioceno.	39
5.2.1.3.	Gravas, arenas y lutitas. Formaciones cuaternarias de alta permeabilidad	39
5.2.1.4.	Fangos, arenas y lutitas con cantos. Formaciones cuaternarias de media y baja permeabilidad	40
5.2.1.5.	Unidades acuíferas.	40
5.2.1.6.	Unidad Hidrogeológica Sur.....	41
5.2.2.	Unidad Hidrogeológica del Aluvial del Ebro y Afluentes.....	42
5.3.	GEOTECNIA.....	43
5.3.1.	Introducción	43
5.3.2.	Metodología.....	43
5.3.3.	Zonificación geotécnica	45
5.3.3.1.	Criterios de división	45

5.3.3.2. División en Áreas y Zonas Geotécnicas.....	45
5.3.1. <i>Características geotécnicas</i>	46
5.3.1.1. <i>Introducción</i>	46
5.3.1.2. Área I	51
5.3.1.3. Área II	53
5.3.1.4. Área III.....	56
6. BIBLIOGRAFÍA.....	65

1. INTRODUCCIÓN

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

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

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

El río Cidacos cruza la hoja con dirección general norte-sur, descendiendo desde los 390 m. al norte (Olite), hasta los 340 m. al sur (Pitillas). La red fluvial de menor orden es, en su totalidad tributaria del Cidacos, y está constituida por una serie de barrancos de funcionamiento estacional, que alcanzan gran desarrollo lineal y que drenan los relieves situados a este y oeste del valle principal.

Las mayores elevaciones de la Hoja (en torno a los 700 m.), se localizan en el ángulo NE, correspondiendo a las estribaciones de la Sierra de Ujué. El relieve va, en progresivo descenso, en dirección sur y sureste, situándose las cotas más bajas alrededor de los 350 m. al sur de la hoja.

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

A lo largo del valle del Cidacos se ubican los tres núcleos de población existentes en la Hoja. Olite, que es el más importante se localiza en la parte septentrional, mientras que algo más al sur, en la margen izquierda del Cidacos, Beire y Pitillas son las únicas poblaciones en el ámbito de la hoja.

El resto del territorio está muy despoblado, a excepción de alguna granja o caserío, normalmente localizado en la vega del Cidacos y en las proximidades de los núcleos de población.

La agricultura constituye la principal actividad en la región y sus productos alcanzan un merecido renombre a escala nacional. El desarrollo industrial se encuentra subordinado a la producción agraria y se concentra en Olite, que cuenta con un pequeño polígono industrial y un buen número de bodegas que elaboran afamados vinos.

Las principales vías de comunicación son la N-121, que se dirige hacia la capital de la Comunidad Autónoma y las autonómicas a San Martín de Unx (al norte), Pitillas y Santacara (al sur). La línea del ferrocarril Zaragoza-Alsasua cruza la Hoja por su zona central en dirección N-S.

En el aspecto geológico interesa destacar que, la Hoja a escala 1:25.000 de Olite 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 Olite la serie terciaria está representada exclusivamente por facies aluviales, que contienen areniscas y lutitas en proporciones variables. El registro existente corresponde, sobre todo, al Mioceno medio-superior. La sucesión terciaria presenta una marcada disposición monocinal, y los buzamientos se dirigen de forma solidaria hacia el SSO atenuándose progresivamente hacia techo y hacia el Sur. La serie está dividida en dos conjuntos principales por una importante discordancia intra-Orleaniense de ámbito regional. El conjunto inferior muestra una organización estrato y granodecreciente y se correlaciona presuntamente con la Fm. Tudela desarrolladas en el sector central de la Cuenca Navarro-Riojana. El conjunto superior se dispone

conjuntamente en posible discordancia y está constituida por las denominadas localmente Unidad de Artajona y Unidad de Ujué.

Las formaciones cuaternarias se desarrollan esencialmente en el valle del Cidacos, que presenta varios depósitos de terrazas asociados, y en los valles afluentes procedentes de los relieves circundantes, correspondiendo mayoritariamente a depósitos de fondo de valle.

Por otra parte, es también destacable la presencia de la parte más septentrional del conjunto endorreico asociado a la laguna de Pitillas, así como una serie de glaciares que, en varios niveles escalonados, se ubican, principalmente, en la margen izquierda del Cidacos.

Los primeros estudios geológicos relevantes sobre los materiales terciarios de la región datan de las décadas de los 50' y 60', son de carácter estratigráfico regional y están suscritos por Oriol Riba y diversos colaboradores (RIBA, 1955, 1964, RIBA y PÉREZ, 1962, CRUSAFONT et al. , 1966, y más recientemente, RIBA et al. , 1983, RIBA y JURADO, 1992 y RIBA, 1992. Paralelamente se inicia la prospección petrolera en el país, con la perforación, en las hojas vecinas de Peralta y Calahorra, de los sondeos Marcilla-1, (Valdebro, 1953) y Arnedo-1, (Amospain, 1962), cuyos resultados figuran de forma resumida en la publicación específica del IGME, (1987).

En la década de 1970 se produce un nuevo avance en el conocimiento de la geología del Terciario de Navarra por parte de los geólogos de la Diputación Foral de Navarra: Jaime Solé, Javier Castiella, Cayo Puigdefábregas, Joaquín Del Valle y otros colaboradores. Su trabajo culmina con la publicación del primer Mapa Geológico de Navarra CASTIELLA et al. , 1978) a escala 1:200.000, basado en cartografías previas a escala 1:25.000 de Navarra. De esta misma época son también los primeros mapas geológicos a escala 1:50.000 del Plan MAGNA editados por el IGME (Hojas de Sádaba, 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 y de la que se derivan un buen número de trabajos; ORTÍ y SALVANY, (1986), 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.

2. ESTRATIGRAFÍA

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

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

2.1. 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 exclusivamente materiales del Mioceno inferior-medio (Orleaniense-Astaraciense) y Cuaternario.

La sucesión terciaria se estructura en una serie monoclinas de procedencia general NE, correspondiente a facies medias y distales de abanicos aluviales.

La distribución de las grandes unidades o ciclos en el Terciario de la hoja se resume en el siguiente cuadro:

LITOSTRATIGRAFÍA	EDAD
Areniscas de Ujúe	ASTARACIENSE
Unidad de Olite	ORLEANIENSE

Litoestratigráfica del Terciario en la Hoja de Olite (206-II).

De este modo, en la Hoja de Olite, la serie terciaria se divide a grandes rasgos en tres grandes conjuntos, cada uno de los cuales corresponde a depósitos relacionados con un abanico aluvial. El primero de ellos (Ciclo Olite), presenta tres litofacies diferenciadas, y que señalan la evolución sedimentaria del abanico. Existen unas facies más proximales (unidad 15) constituidas por areniscas dominantes, que evolucionan a un conjunto de lutitas con canales dispersos (unidad 16), que a su vez pasan lateralmente a fangos dominantes (17 y 18).

Sobre este conjunto, en aparente paraconformidad se localiza un nuevo conjunto predominantemente arenoso correspondiente a las Areniscas de Artajona (398) que, a su vez, son recubiertas por las Areniscas de Ujué (409).

Las Facies de Tudela o Fm. Tudela CASTIELLA et al. 1978) en este sector de la Cuenca del Ebro culminan con una serie constituida por un conjunto de materiales principalmente arcillosos con niveles intercalados de areniscas y de carbonatos, Se desarrolla ampliamente en la región de Tudela y Las Bárdenas, al SE de la cuenca Navarro-Riojana, y se extiende hacia el Oeste por los sinclinales de Sesma y Miranda de Arga. Se disponen de forma discordante sobre la Fm. Lerín, truncando los términos superiores de esta. Se correlacionan hacia el Sur con las Facies de Alfaro, características de la Rioja Baja, y hacia el Norte se sitúan por debajo de las Facies de Artajona y Ujué. En IGME (1987) reciben el nombre de Unidad de Olite y presentan una dispersión litoestratigrafica más amplia que la adoptada en la leyenda geológica.

En la presente Hoja (Olite, 206-II) se han distinguido cuatro unidades cartográficas pertenecientes a las Facies o Fm. Tudela: Unidades 15,16, 17, y 18. En la Hoja a escala 1:50.000 de Peralta (IGME, 1987) se propone una serie términos litoestratigráficos que tienen, respecto a las Unidades anteriormente referidas, las siguientes equivalencias:

- *Unidad de Olite:* 15,16 y 17.
- *Unidad de Miranda de Arga:* 18

Se describe a continuación la Unidad de Olite, puesto que constituye, en buena medida, la parte inferior de la Fm. Tudela. La U. de Olite esta integrada a su vez por las unidades cartográficas 15, 16 y 17, que se encuentran en claro cambio lateral de facies entre sí.

2.1.1. UNIDAD DE OLITE.

Las unidades cartográficas correspondientes a la Unidad de Olite, cubren casi totalmente el ámbito de la hoja

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

2.1.1.1. Areniscas y lutitas (359). Ageniense superior-Orleaniense

Se localiza en la zona nororiental y oriental de la hoja. Su principal característica litológica, es el desarrollo mayoritario de términos areniscosos en capas tabulares, que se agrupan en bancos tableados de potencia métrica a decamétrica.

Los términos finos representan una litología minoritaria en el conjunto, apareciendo en intervalos de espesor decimétrico a métrico, con frecuentes intercalaciones menores de areniscas. Ocasionalmente se observan horizontes rojizos de origen edáfico.

Las areniscas se presentan de forma mayoritaria como niveles de morfología tabular, con potencias de orden decimétrico-métrico, no superiores a 2 m., que tienden a amalgamarse configurando bancos tableados de espesor métrico-decamétrico. El tamaño de grano oscila entre medio-grueso a muro, y fino y muy fino a techo. Las estructuras sedimentarias son características de depósitos de sheet-flood de densidad variable, observándose bases netas con huellas tractivas, depósitos de lag, laminación paralela, sets de láminas cruzadas y ripples.

Los cuerpos canalizados son poco importantes y presentan potencias de orden métrico. El tamaño de grano oscila de grueso a fino y se reconocen abundantes estructuras sedimentarias: base erosiva, huellas de carga, laminación cruzada planar y en surco, ripples y bioturbación a techo.

Su espesor supera los 150 m., y ante la ausencia de criterios paleontológicos, la atribución cronológica de la unidad se realiza por posición estratigráfica.

2.1.1.2. Lutitas ocres y areniscas (365). Ageniense superior-Orleaniense.

Aparece en cambio lateral de la unidad anterior, y está formada por arcillas y limos amarillentos, rojizos en ocasiones, en los que se intercalan capas de areniscas correspondientes a rellenos de paleocanales, de sección transversal lenticular y escasa relación anchura/altura. Tienen megaestratificación cruzada, y son frecuentes las estructuras de acreción lateral. Además de los canales, se intercalan numerosos bancos de arenisca fina, casi siempre con ripples de corriente, aveces agrupados en

pequeños haces en forma de canales. En los fangos es frecuente la presencia de huellas de bioturbación debida a raíces, que conservan la posición de vida. Las secuencias son marcadamente granodecrecientes.

El espesor de la unidad puede superar los 300 m., y representa el paso de unos depósitos formados en un ambiente fluvial de gran energía, con cursos de agua anastomosados y regímenes de sheet flood, en un ambiente de abanicos aluviales, a unos depósitos de régimen fluvial meandriforme de energía decreciente, donde predominan los sedimentos de llanura aluvial.

2.1.1.3. Arcillas ocre y rojizas con intercalaciones de areniscas (383). Ageniense superior-Orleaniense.

Conocida regionalmente como Arcillas de Olite, aflora en la parte occidental de la hoja y corresponde a una transición distal de la unidad anterior, con la que se encuentra en cambio lateral de facies.

Está constituida por arcillas y limos de tonos anaranjados y amarillentos, localmente rojizos, que incluyen capas de 10 a 50 cm. de areniscas de grano fino.

Las estructuras predominantes son la laminación paralela y laminación cruzada de pequeña escala, con bioturbación de baja a moderada. Hacia el techo de la unidad, pueden contener niveles de escasa potencia de calizas.

Las características sedimentológicas mencionadas indican, para estas zonas distales y de llanura lutítica, el predominio de la deposición de lutitas, a menudo como resultado de inundaciones generalizadas, originadas por fenómenos de arroyada en manto (sheet-floods), con esporádicos flujos canalizados. En estas zonas se formarían esporádicas charcas efímeras, con depósitos de carbonatos.

2.1.2. UNIDAD DE MIRANDA DE ARGA

Corresponden a la culminación del relleno del sinclinal de Miranda de Arga, situado al este y al sur, y se encuentran a su vez en cambio lateral con los materiales de la unidad anterior (Arcillas de Olite)

2.1.2.1. Arcillas rojas y areniscas con algunas intercalaciones de caliza (384). Orleaniense.

Los materiales correspondientes a la unidad cartográfica 18, se localizan en la zona más occidental de la hoja, extendiéndose hacia la vecina de Miranda de Arga, donde alcanzan mayor desarrollo. En esa zona vecina, el conjunto puede alcanzar una potencia próxima a los 500 m.

La Unidad 18 se caracteriza litológicamente por el predominio de los términos lutíticos, representados por arcillas rojizas (color ladrillo característico) en tramos homogéneos de potencia métrica a decamétrica, ocasionalmente con trazas de yesos, o alternando con otras litologías aunque en menor proporción (areniscas y calizas). En consecuencia, es evidente el predominio de facies aluviales enmarcándose en un contexto de frente aluvial muy distal con desarrollo de charcas palustres carbonatadas de carácter efímero.

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

2.1.3. UNIDAD DE ARTAJONA

2.1.3.1. Areniscas y lutitas ocreas (398). Orleaniense-Astaraciense.

Se extiende ampliamente en toda la zona oriental de la hoja.

Los buzamientos, dirigidos al igual que el resto de la serie terciaria hacia el SSO, registran valores de 5- 10° , y el conjunto de la unidad se dispone en aparente paraconformidad con las unidades infrayacentes, aunque su interpretación regional, corresponde a una discordancia.

Constituye un potente conjunto de alternancias entre areniscas y lutitas de más de 300 m de espesor registrados en la Hoja o en zonas próximas.

Los términos areniscosos representan la litología mayoritaria en la parte inferior de la unidad, mientras que el predominio de areniscas o lutitas es alternante en el resto, predominando las segundas hacia los sectores meridionales. Suelen presentar un grado fuerte de cementación, un tamaño de grano de medio a grueso y tonalidades ocres.

Las lutitas se disponen en intervalos de potencia métrica a decamétrica masivos o con intercalaciones menores de areniscas. A veces se reconocen intervalos de tonos rojizos asimilables a horizontes edáficos.

En las areniscas los cuerpos canalizados aparecen a distintas alturas de la serie, mientras que la presencia de capas tabulares es más constante. Los primeros se presentan en niveles de potencia métrica, el tamaño de grano oscila de medio-grueso a fino y exhiben las siguientes estructuras sedimentarias: Base erosiva, huellas de carga, *sets* tabulares de láminas planares, *cosets* de estratificación cruzada en surco, deformación hidrolástica, superficies de acreción lateral, ripples, a veces de tipo *climbing*, y huellas de raíces a techo. Las capas tabulares registran potencias de orden decimétrico eventualmente métrico, con intercalaciones arcillosas cm separándolas, aunque a veces se amalgaman, configurando bancos tableados, y presentan una variada gama de estructuras sedimentarias características de depósitos generados bajo mecanismos de *sheet flood*: Base neta, con huellas tractivas, granoclasificación positiva (con tamaño de grano medio a fino-muy fino), laminación paralela, *convolute lamination*, *sets* de láminas cruzadas de mediana escala, escape de fluidos, trenes de ripples, mayoritariamente de tipo *climbing*, e icnofauna a techo.

El ambiente sedimentario se sitúa en un contexto de frente aluvial proximal a medio.

La atribución cronológica de la Unidad, se realiza por criterios regionales y de posición estratigráfica.

2.1.4. UNIDAD DE UJUE

2.1.4.1. Areniscas y lutitas (409). Areniscas de Ujué. Astaraciense.

Aflora esta unidad exclusivamente en las partes más altas de la Sierra de Ujué, en la zona noreste de la hoja.

Reposa en paraconformidad sobre la Unidad de Artajona descrita en le apartado anterior, aunque dada la evidente diferencia en la dinámica de los aportes se ha considerado que corresponde al inicio de un nuevo ciclo y, por ello, se ha representado en la cartografía como discordancia.

Se trata de un conjunto predominantemente arenoso, que representa un claro cambio de tendencia sobre los materiales superiores de la serie de Artajona, que incluyen ya porcentajes notables de términos de sedimentología más fina.

Los niveles de areniscas, de tonos ocres y amarillentos y potencia métrica, tienen una extensión lateral considerable, bases erosivas, y presentan internamente estructuras de laminación en surco y ripples a techo de algunos niveles, Con frecuencia aparecen soldados, sin intercalaciones finas correspondientes a llanura de inundación.

Se interpretan como facies media de abanicos aluviales de procedencia septentrional y en los que no existen afloramientos para poder observar su evolución a facies distales. Su espesor se estima en la hoja en unos 40 m.

La atribución cronológica al Astaraciense se realiza por posición estratigráfica ante la total ausencia de datos paleontológicos.

2.2. CUATERNARIO

2.2.1. Pleistoceno

2.2.1.1. Conglomerados con encostramientos carbonatados a techo. Techo de piedemonte (515). Pleistoceno

Corresponde esta unidad a los depósitos relacionados con las plataformas más elevadas del sector occidental de la Hoja y que alcanzan un mayor desarrollo en la vecina hoja de Miranda de Arga. Hay que relacionarlos con sistemas de abanicos aluviales antiguos procedentes de los relieves septentrionales de la región. Se sitúan a +80 m. sobre el cauce del Cidacos y, en dirección oeste, a +140-170 m sobre el cauce actual del río Arga. En cualquier caso, esta ubicación altimétrica es subjetiva, puesto que, posiblemente deba considerarse como nivel de base de referencia el río Aragón, colector principal, al Sur o, incluso el río Ebro.

Morfológicamente dan lugar a extensas y vastas plataformas de canturrales que destacan en el paisaje de la región. Litológicamente esta unidad esta formada por conglomerados constituidos por cantos redondeados de calizas y areniscas de 10 cm de diámetro, con valores máximos de 15-20 cm. Aparecen a techo fuertemente cementados por carbonatos, siendo su espesor de 6-8 m.

Se trata quizás de los depósitos cuaternarios más antiguos de la Hoja, previos al encajamiento de la red fluvial del sistema Arga-Aragón-Cidacos. Por su posición, al tratarse del piedemonte más antiguo y por la relación con el resto de los depósitos fluviales se les ha asignado al Pleistoceno inferior.

2.2.1.2. Gravas y lutitas ocreas. Glacis (518, 519 y 534). Pleistoceno-Holoceno

Se trata de unidades litológicas bien representadas en la Hoja. Se localizan, sobre todo, en la margen izquierda del valle del Cidacos, así como en le entorno de la Laguna de Pitillas y en la parte suroccidental de la hoja. Se desarrollan sobre depósitos miocenos preferentemente arcillosos y areniscosos, contribuyendo a la morfología actual de las vertientes poco acusadas, actuando además de formas de enlace entre las zonas deprimidas y los relieves miocenos situados mas al Norte. Han

sido diferenciadas tres generaciones, localizadas a diferentes alturas. La más antigua corresponde a la unidad 518, reconocible en la zona centroseptentrional (paraje de Tajabías). La segunda generación (519), más moderna y encajada en la primera en la misma zona y más al sur, y una tercera (534), en las partes más meridionales del valle del Cidacos, tanto en margen derecha como en izquierda, y en el entorno de la Laguna de Pitillas.

Por lo general, su composición refleja la del sustrato sobre el que se desarrollan, así como la de los relieves al pie de los cuales se han generado. Están constituidos por gravas de tonalidades ocres, algo cementadas de cantos aplanados y redondeados de areniscas, con diámetros medios de 6 cm y valores máximos de hasta 15 cm. Se observan intercalaciones de lutitas ocres que engloban cantos y a veces bloques dispersos, de carácter anguloso a subanguloso y composición areniscosa y calcárea. El espesor conjunto puede estimarse en 2-4 m en sus zonas más distales.

Su génesis está en relación con el dismantelamiento del relieve establecido en la zona razón por la que se han atribuido al Pleistoceno-Holoceno.

2.2.1.3. Gravas, arenas y lutitas (521 y 524). Terrazas medias y bajas y llanura de inundación del río Cidacos. Pleistoceno-Holoceno.

Corresponden a los depósitos localizados en el valle del río Cidacos y que constituyen distintos niveles de terrazas.

Se han reconocido varios niveles a, +40-45 m., +20-25 m., +12-15 m. y + 6-8 m.. Estos niveles han sido agrupados en el mapa geológico en terrazas “medias” para los dos primeros y “bajas” para los dos restantes. Además, la llanura de inundación del Cidacos, incluye a una terraza baja, y se localiza a +2-5 m. sobre el cauce actual.

Su espesor no supera los 4-6 m. en el caso de los niveles más elevados, siendo menor en los inferiores. Están compuestas por gravas de cantos silíceos dominantes empastadas en una matriz arenosa y limosa. Localmente presentan tramos más arcillosos intercalados.

Debe destacarse la gran extensión que alcanza la llanura de inundación del Cidacos que, en el entorno de Olite, supera los 3 Kms.

2.2.2. Holoceno

2.2.2.1. Lutitas y arenas con cantos y bloques. Coluviones (543). Holoceno

Los depósitos de los coluviones son de reducido espesor, en general inferior a 2 m, y escasa representación superficial. Aparecen distribuidos irregularmente, pero siempre al pie de escarpes.

Litológicamente dependen de la naturaleza de su área madre, por lo que suelen ser lutitas con cantos y bloques angulosos y subangulosos de areniscas de tamaño muy variable, con frecuencia de orden decimétrico, procedentes de las propias vertientes.

Por su posición con respecto a las laderas actuales, así como por su relación con el resto de los depósitos cuaternarios se han asignado al Holoceno.

2.2.2.2. Lutitas con cantos y arenas. Fondos de valle (527). Holoceno

Constituyen el depósito de los cursos que discurren a través de los principales valles o barrancos, reflejando además la sedimentación de la red fluvial secundaria.

Destacan los fondos de valle, afluentes por margen izquierda del Cidacos, de los Barrancos de Lavandera y Pozo Pastor, que alcanzan anchuras hectométricas.

Estos tipos de depósitos, se adaptan a la estructura de la red de drenaje, predominado los afloramientos de forma alargada o longitudinal. Aunque en algunos casos tienen una longitud notable, en general carecen de interés; poseen un espesor comprendido entre 3 y 5 m, pero ocasionalmente pueden presentarse valores inferiores o superiores.

Predominan las arcillas y limos de tonalidades ocre, que incluyen cantos de tamaño variable e incluso en ocasiones bloques; en menor medida, a veces se reconocen

algunos niveles de arenas. La litología de sus componentes es variable, predominando los fragmentos de areniscas.

Por su íntima relación con la red fluvial actual se atribuyen al Holoceno.

**2.2.2.3. Lutitas, cantos y arenas. Aluvial-coluvial (537).
Holoceno**

Se incluyen dentro de este apartado unos depósitos de escasa relevancia, desarrollados a favor de depresiones o de cursos efímeros que drenan o desaguan en valles amplios y poco encajados.

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

La edad difícil de precisar se sitúa el Holoceno.

2.2.2.4. Lutitas y limos. Fondos endorreicos (541). Pleistoceno-Holoceno

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

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

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

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

3. TECTÓNICA

3.1. CONSIDERACIONES GENERALES

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

La estructuración de la Cuenca del Ebro y de las cadenas alpinas que la limitan (Pirineos al N, Cordillera Ibérica al S y Catalánides al E) es el resultado de la convergencia de las placas Ibérica y Europea. Da lugar, en la vertiente surpirenaica, a un conjunto de láminas cabalgantes hacia el S y provoca, en el margen contrapuesto, el cabalgamiento de la Sierra de la Demanda, con un desplazamiento de 20-30 Km. hacia N.

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

Estructuralmente la Cuenca del Ebro está integrada por un basamento rígido y una cobertera formada por materiales continentales terciarios plegados, con importantes acúmulos de evaporitas que facilitan los despegues y los procesos halocinéticos.

El acercamiento definitivo entre las placas Ibérica y Europea dio lugar, en la cadena pirenaica, a un cinturón de pliegues y cabalgamientos, agrupados en las denominadas láminas cabalgantes (mantos), que se propagó hacia el antepaís en secuencia de bloque inferior.

La colisión de placas culminó en el Eoceno, durante el Luteciense, con la denominada Fase Pirenaica, si bien el régimen compresivo ha perdurado hasta el Mioceno.

A partir del Eoceno superior y durante el Oligoceno inferior emergen los cabalgamientos de basamento de la zona axial pirenaica sobre las rocas de la cobertera deformada, lo que motiva el principal desplazamiento de las láminas cabalgantes surpirenaicas sobre la Cuenca de Ebro.

La traslación del conjunto hacia el Sur facilita la emergencia de la rampa frontal del cabalgamiento surpirenaico y se evidencia por la deformación interna y progresiva de los depósitos clásticos terciarios, con la creación de sistemas de pliegues y cabalgamientos en las series paleógenas.

Durante el Oligoceno superior y Mioceno inferior se verifica el emplazamiento definitivo del Manto de Gavarnie, originando una serie de estructuras plegadas y/o cabalgantes a lo largo del frente surpirenaico. En consecuencia, la propagación de despegues no emergentes hacia la cuenca de antepaís pasiva (Cuenca del Ebro) motiva la migración de los depocentros sedimentarios hacia el Sur.

La etapa de plegamiento principal en el sector estudiado de la Cuenca del Ebro se produce en el Mioceno inferior. Como respuesta más evidente se origina al SO del área estudiada, fuera de la misma, un conjunto de pliegues de gran longitud dispuestos en dirección NO-SE y vergentes al Sur, que definen el denominado Dominio Plegado del Ebro en el sector de Lodosa-Falces. Constituyen pliegues de crecimiento relacionados con cabalgamientos ciegos hacia el SSO, cuyos niveles de despegue corresponden a formaciones evaporíticas terciarias. Igualmente hacia el Norte se manifiesta por el desarrollo de discordancias progresivas en las unidades neógenas.

De acuerdo con lo expuesto se distinguen regionalmente tres sectores estructurales dentro de la parte central a nororiental de la Cuenca Navarro-Riojana: 1) *Sector septentrional plegado*, relacionado con el frente surpirenaico y cuyas estructuras principales son los anticlinales de Aibar y Eslava, 2) *Sector intermedio*, que registra una deformación muy suave y se caracteriza por el desarrollo de estructuras sinclinales muy amplias y laxas (Sinclinorio de Miranda de Arga), y 3) *Sector suroccidental plegado*, que se enmarca en la zona de Lodosa-Falces, y presenta pliegues de núcleo salino de gran longitud axial (Anticlinales de Falces y Árguedas).

Respecto a esta zonación, la presente Hoja se sitúa al Sur del Sector septentrional plegado configurando una serie monoclinial con buzamientos mantenidos hacia el SSE que disminuyen progresivamente en el mismo sentido.

El carácter sinsedimentario de la deformación permite diferenciar dos conjuntos estratigráficos principales en la región. El conjunto inferior se encuentra claramente involucrado en la deformación y comprende la mayor parte de los depósitos

paleógenos continentales, prolongándose su registro estratigráfico hasta el Mioceno inferior (Ageniense) la serie correlativa hacia el Sur contiene diversas unidades evaporíticas (Fms. Falces y, Lerín).

El conjunto superior abarca el resto de la serie miocena y corresponde en los sectores centrales de la Cuenca a la Fm. Tudela, cuyos equivalentes hacia el N forman parte de la Fm. Ujúe. Está suavemente plegado y se desarrolla principalmente en los núcleos sinclinales, disponiéndose mediante un contacto truncacional sobre el conjunto infrayacente y en relación de *on lap* hacia las principales estructuras anticlinales de la región, en cuyos flancos puede configurar discordancias progresivas. La distribución de los afloramientos y facies de la Fm. Tudela en la región sugiere una compartimentación incipiente en la Cuenca a favor de los surcos sinclinales, y evidencia el desplazamiento de los cuerpos lacustres evaporíticos, propios de los contextos centrales, hacia el sector Aragonés.

La estratigrafía del Terciario y su estructura en la Cuenca Navarro-Riojana ha sido objeto de estudio por numerosos autores. Las primeras referencias de interés se remontan a principios de los 70' con la elaboración de la Cartografía Geológica de Navarra a escala 1:25.000 emprendida por la Diputación Foral, que sirvió de base en la región para las Hojas MAGNA a escala 1:50.000 (IGME, 1977, 1987). Otros trabajos importantes han destacado en el ámbito académico: GONZÁLEZ (1982), PÉREZ (1983), GONZÁLEZ et al. (1988), SALVANY (1989) y MUÑOZ (1992).

3.2. DESCRIPCIÓN DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS

La Hoja de Olite (206-II) se sitúa estructuralmente en el borde septentrional de la Cuenca del Ebro. La serie terciaria presenta una marcada disposición monoclinal, con buzamientos mantenidos hacia el SSO. Los valores de buzamientos se atenúan progresivamente hacia el Sur, relevando la proximidad de las series sub-horizontales características del Sector Central o Aragonés de la Cuenca del Ebro.

3.2.1. Borde Septentrional de la Cuenca del Ebro

Representa la estructura de la mayor parte de los afloramientos de la Hoja. El límite septentrional de esta lo constituyen de forma aproximada, las máximas elevaciones de la cuadrícula, es decir viene a coincidir con los relieves de la Sierra de Ujúe

La geometría de los depósitos aflorantes es la de una monótona serie monoclinal con buzamientos hacia el S. y SO del orden de 7° - 10° , hasta casi adoptar una disposición subhorizontal en las zonas más meridionales.

3. GEOMORFOLOGIA

SITUACION Y DESCRIPCION FISIOGRAFICA

La hoja de Olite se localiza en el sector meridional de la Comunidad Foral de Navarra.

Pertenece al margen septentrional de la Depresión del Ebro, en su enlace con las estribaciones de las sierras del Frente Prepirenaico, lo que se traduce en un relieve montuoso al Norte, con pendiente generalizada hacia el Sur, y atenuado en el mismo sentido.

La zona Norte de la hoja se encuentra ocupada por relieves relativamente importantes, correspondientes a la Sierra de Ujué , mientras que hacia el sur enlaza con las comarcas de Cinco Villas y Ribera Navarra. En la zona norte, las cotas máximas se sitúan en el entorno de los 700 m., y van descendiendo paulatinamente hacia el sur, donde los valores se sitúan en los 340 m.

La red fluvial está constituida por el río Cidacos, afluente del Aragón, como colector principal, que atraviesa la hoja con clara dirección norte-sur y labrando un amplio valle. El resto de la red de drenaje está formado por pequeños barrancos colectores de las aguas de escorrentía de los relieves circundantes, y que solamente en sus zonas más distales, cercanos a su desembocadura en el Cidacos, se abren dando lugar a valles de fondo plano que pueden alcanzar extensión considerable.

Dentro del contexto de la hoja se pueden diferenciar dos dominios o unidades geomorfológicas: los relieves asociados a las litologías más resistentes y relieves tabulares y/o alomados y valles fluviales.

Los primeros se localizan, principalmente, en la parte nororiental y oriental de la hoja, relacionados con las unidades terciarias cuya litología dominante son niveles de areniscas. Los segundos, localizados en el resto de la hoja, corresponden a relieves asociados a las unidades terciarias que, con tendencia a la disposición tabular, constituyen el relleno más distal de los abanicos de procedencia septentrional. Cabe destacar, como elemento morfológico de interés, que el Cidacos labra un amplio valle, de dimensión kilométrica a la altura del meridiano de Olite, al que acompañan

una serie de relieves planos o de baja pendiente correspondientes a morfologías de glaciares y terrazas.

Los rasgos geomorfológicos más significativos se encuentran en clara relación con los dominios o unidades descritos: gran implantación de las formas estructurales (cuestas, crestas, superficies estructurales y líneas de capa dura, principalmente) resultantes de un notable vaciado erosivo de carácter fluvial (incisión lineal), así como procesos de vertiente a los que se superponen los fenómenos de acumulación (terrazas, glaciares, rellenos de los valles fluviales y depósitos de ladera o poligénicos).

4. GEOMORFOLOGÍA

4.1. 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).

Respecto a estudios más concretos efectuados en la región, en su mayor parte se centran en los depósitos de terrazas y glaciares del río Ebro, destacando los de RIBA y BOMER (1957) y LERÁNOZ (1989). Por su proximidad a la zona de estudio, cabe señalar los trabajos de MENSUA y BIELZA (1974) y LERÁNOZ (1990) centrados en el curso bajo del río así como el de JUARISTI (1979) que aborda las terrazas y glaciares del sector meridional del valle del Arga.

También es preciso destacar las aportaciones de las Hojas geológicas a escala 1:50.000 correspondientes al Plan MAGNA de la región, especialmente las de Tafalla (173), Sangüesa (174) y Peralta (206), que incluyen un capítulo de geomorfología con su correspondiente esquema a escala 1:100.000. Por último, mención aparte merecen las Hojas geológicas y geomorfológicas a escala 1:25.000 realizadas dentro del presente proyecto de actualización e informatización de la cartografía geológica de Navarra en zonas próximas (Hojas 174-III, Cáseda; 174-IV, Sangüesa; 205-II, Lerín; 205-IV, San Adrián; GOBIERNO DE NAVARRA, (1998 y 2000) por la gran cantidad de datos aportados y la puesta al día llevada a cabo en cuanto al conocimiento geológico de la región.

4.2. ANALISIS GEOMORFOLOGICO

4.2.1. Estudio morfoestructural

La litología del sustrato geológico presente en el ámbito de la hoja y su disposición estructural, son los factores que inciden en que la acción de la erosión diferencial desarrolle sobre los cuerpos rocosos más competentes (areniscas), un modelado estructural, cuyos rasgos más sobresalientes son:

- a) Superficies estructurales. Desarrolladas sobre niveles tabulares, se localizan preferentemente en la zona septentrional.
- b) Escarpes estructurales en series monoclinales. Crestas. En la misma zona que los anteriores y generados a favor de la disposición estructural de las capas resistentes.
- c) Líneas de capa.
- d) Relieves residuales sobre areniscas. Corresponden a morfologías generadas sobre los paleocanales intercalados en las facies predominantemente arcillosas y limosas de la zona suroriental.

4.2.2. Estudio del modelado.

A continuación se describen las formas de modelado de génesis exógena, presentes en la hoja, y agrupadas en función de su origen.

4.2.2.1. Formas de ladera

En el ámbito de la hoja se reconocen vertientes con perfil cóncavo, recubiertas con depósitos procedentes de los relieves inmediatos o contiguos, y que dan lugar a coluviones.

Se trata de un proceso bastante generalizado en el ámbito de la hoja, y relacionado con una regularización que afecta a la mayoría de las vertientes. Solamente se ha representado en la cartografía en los casos en que alcanza un mayor desarrollo.

4.2.2.2. Formas fluviales.

Se encuentran representadas fundamentalmente en el valle del río Cidacos, así como en algunos otros cursos de carácter permanente, estacional o esporádico.

Se han diferenciado varios niveles de terrazas situadas a +6-8 m., +12-15 m., +20-25 m., y +40 -45 m. sobre el talweg actual, y que se encuentran separadas por escarpes, tanto en el caso de los niveles que quedan colgados, como en los solapados.

El fondo del valle actual del río Cidacos, presenta una amplitud extraordinaria sobre todo en la zona de Olite, donde alcanza dimensiones kilométricas. En algunas zonas de este amplio valle, se han diferenciado morfologías correspondientes a meandros abandonados. En la red de menor orden, y al alejarse de las zonas de cabecera, son varios los barrancos que presentan un recubrimiento de fondo de valle que, en las zonas más meridionales puede llegar a alcanzar dimensiones hectométricas.

El modelado fluvial de carácter denudacional o erosivo se caracteriza por procesos de incisión lineal, especialmente acusados en las zonas de cabecera de los barrancos que drenan los relieves serranos septentrionales.

4.2.2.3. Formas poligénicas.

Como formas con depósito de origen poligénico se han diferenciado los glaciares, en ocasiones degradados, de los que se han reconocido un total de tres niveles, organizados en graderío descendente hacia el valle del Cidacos. Se localizan, sobre todo, en la margen izquierda del valle, aunque también se han diferenciado morfologías del glaciar más reciente, que se han considerado como glaciares actual-subactual, en las vertientes que bordean la Laguna de Pitillas, al sur, y en zonas aisladas en la parte suroccidental. la hoja,

En la zona noroccidental, se reconoce una morfología plana, que destaca en el paisaje a modo de mesa, que corresponde a un glaciar de techo de piedemonte, y que alcanza mayor desarrollo en la hoja vecina de Miranda de Arga.

Se han señalado por otra parte los depósitos de génesis mixta fluvial y de ladera, y que dan lugar a depósitos aluvial-coluvial asociados a áreas de topografía deprimida o incierta, y con drenaje poco claro. Se han cartografiado también algunas morfologías en pináculo rocoso, generadas por la distinta resistencia a la erosión de los materiales, así como unas zonas deprimidas que se reconocen en el techo de algunos glaciares, y que dan lugar a depresiones cerradas, incluso con escarpe. Posiblemente, su génesis pueda tener influencia kárstica, por disolución de alguna de las zonas carbonatadas frecuentes en estos depósitos.

4.2.2.4. Formas endorreicas.

Exclusivamente representadas en el borde sureste de la hoja, y correspondientes a la zona de influencia de la Laguna de Pitillas. Se trata de áreas que solo en ocasión de precipitaciones excepcionales llegan a estar invadidas por el agua.

4.2.3. FORMACIONES SUPERFICIALES

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

4.2.3.1. Lutitas y arenas con cantos y bloques. Coluviones (a). Holoceno

Son depósitos de reducido espesor, en general inferior a 2 m, y moderada representación superficial. Su constitución litológica depende directamente de la naturaleza de su área madre, predominando las lutitas con cantos y bloques angulosos y subangulosos de areniscas de tamaño muy variable, con frecuencia de orden decimétrico, procedentes de las propias vertientes. Por su posición con respecto a las vertientes actuales, así como por su relación con el resto de los depósitos cuaternarios se han asignado al Holoceno.

4.2.3.2. Conglomerados, gravas, arenas y lutitas. Terrazas y llanuras de inundación (b,c,d,e). Pleistoceno-Holoceno

En su práctica totalidad pertenecen al sistema fluvial del río Cidacos, que ha dejado a lo largo de la zona un cortejo escalonado de niveles, agrupados en terrazas “medias” (+20-25 m, y +40-45 m) y “bajas” (+6-8 m y +12-15 m), incluyéndose en algunos casos dentro de éstas los depósitos correspondientes a la llanura de inundación.

La litología es muy similar en casi todas ellas, si bien la granulometría y el grado de cementación, por carbonatos, muestran ciertas variaciones. En general, están formadas por gravas polimícticas, con arenas y lutitas en proporción variable, predominando los clastos redondeados de naturaleza areniscosa y carbonatada; cuando la cementación es acusada constituyen auténticos conglomerados. En cuanto al tamaño de los cantos, el tamaño medio, en los niveles más altos, fluctúa entre 10 y 20 cm; frente a estos valores, en las terrazas bajas predominan los diámetros de 6-8 cm, con máximos de 15 cm. Los espesores son muy irregulares, siendo habituales las potencias de 3-4 m,

Por su relación con respecto a la red fluvial actual se han atribuido al Pleistoceno, excepción hecha de los niveles inferiores, pertenecientes al Holoceno.

4.2.3.3. Lutitas con cantos, gravas y arenas. Fondos de valle (f). Holoceno

Constituyen el depósito de los cursos que discurren a través de los principales valles, excepción hecha del del río Cidacos, reflejando la sedimentación de la red fluvial secundaria. Son depósitos de forma alargada, adaptados a la estructura de la red de drenaje. Aunque en algunos casos poseen una longitud de orden kilométrico y una anchura moderada, en general carecen de interés; poseen un espesor comprendido entre 3 y 5m, aunque ocasionalmente puede ser superior.

Predominan las lutitas de tonalidades rojas, grises u ocre, que incluyen cantos de tamaño variable y, en ocasiones, gravas y bloques. En menor medida, también se reconocen niveles de arenas. La litología de sus componentes es muy variable,

predominando los fragmentos arenisca. Por su íntima relación con la red fluvial actual se atribuyen al Holoceno.

4.2.3.4. Conglomerados con encostramientos carbonatados a techo. Glacis de techo de piedemonte (g). Pleistoceno

Corresponden al depósito somital de la plataforma más elevada localizada en el borde noroccidental, habiéndose depositado en relación con sistemas de abanicos aluviales antiguos procedentes de los relieves septentrionales de la región. Están integrados por conglomerados constituidos por cantos redondeados de caliza y arenisca de 10 cm de diámetro, con valores máximos de 15 cm. Aparecen fuertemente cementados por carbonatos, siendo su espesor de 6-8 m.

Se trata de uno de los depósitos cuaternarios más antiguos de la Hoja, encontrándose encajados en ellos todos los depósitos del sistema Arga-Aragón-Cidacos, habiéndose asignado al Pleistoceno.

4.2.3.5. Lutitas con cantos y gravas. Glacis (h,i,j). Y glacis actual-subactual (k) Pleistoceno-Holoceno

Su desarrollo se produce sobre depósitos neógenos preferentemente arcillosos, contribuyendo a la morfología actual, sobre todo de las vertientes del sector nororiental. Por lo general, su composición refleja la del sustrato sobre el que se desarrollan, así como la de los relieves al pie de los cuales se generan. Están constituidos por lutitas con cantos dispersos, a veces gravas y bloques, con carácter anguloso a subanguloso, de composición areniscosa.

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

**4.2.3.6. Arcillas, limos y cantos. Depósitos aluvial-coluvial (I).
Holoceno.**

Son depósitos, de escaso espesor, compuestos por fangos limo-arcillosos, que engloban cantos en proporción variable. Su edad es holocena.

**4.2.3.7. Arcillas y limos. Depósitos endorreicos (m).
Pleistoceno-Holoceno**

Son depósitos finos asociados a áreas de drenaje deficiente, cuyo carácter endorreico-semiendorreico llega a producir encharcamientos superficiales. Se trata de arcillas grises y limos, a veces yesíferos, con un bajo contenido en materia orgánica, que en general poseen un reducido espesor. Ocasionalmente pueden intercalar depósitos más groseros suministrados por los barrancos que alcanzan la depresión.

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

4. HISTORIA GEOLÓGICA

La Hoja de Olite 206-II, se ubica en la denominada Cuenca Navarro-Riojana (SALVANY, 1989) que constituye una subcuenca de la del Ebro.

La evolución geológica de la Depresión del Ebro en términos generales ha estado directamente controlada por el levantamiento de las cordilleras limítrofes, que cabalgan a los depósitos terciarios. La mayor influencia ha sido ejercida por la cadena pirenaica, respecto a la cual la Depresión del Ebro se comporta como cuenca de antepaís meridional a lo largo del Terciario.

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

La sedimentación continental terciaria en la cuenca del Ebro se realiza en condiciones endorreicas a lo largo del Oligoceno hasta el Mioceno inferior-medio. La situación de la zona de estudio, próxima al borde septentrional de la cuenca, hace que los depósitos estén ligados a sistemas aluviales de procedencia pirenaica que pasan hacia el S y SO a ambientes lacustres salinos característicos de los sectores centrales de la cuenca.

El análisis secuencial de la sucesión terciaria continental ha dado como resultado el establecimiento de una serie de ciclos sedimentarios, delimitados por propagaciones aluviales bruscas hacia el Sur relacionadas con impulsos tectónicos en los márgenes. Cada ciclo tiende a organizarse, en términos generales, de acuerdo con un episodio de actividad diastrófica menguante dando lugar a una secuencia estrato y granodecreciente. No obstante algunos ciclos tienden a organizarse de forma contrapuesta o compleja.

En conjunto se evidencia una migración mantenida hacia zonas más meridionales del surco de sedimentación aluvial, a consecuencia del empuje de la cadena en el mismo sentido. Esta circunstancia, unida a una probable progresión de la actividad diastrófica da como resultado una secuencia negativa general, de tendencia estrato y

clastocreciente, con desarrollo de facies aluviales cada vez más proximales hacia techo y a la aparición de series más modernas hacia el Sur.

Inicialmente durante el Oligoceno superior, en la Cuenca Navarro-Riojana, la sedimentación se articula a partir de sistemas aluviales procedentes de los relieves pirenaico e ibérico, que pasan, a distancia creciente de los márgenes, a contextos lacustres salinos. El predominio de ambos ambientes es alternante a lo largo del Terciario, aunque cada vez con mayor influencia de los primeros en el Mioceno, de modo que se suceden los episodios generalizados de propagación aluvial, relacionados con impulsos diastróficos, y las etapas de expansión lacustre, caracterizadas por extensos cuerpos evaporíticos en el registro sedimentario.

Las áreas lacustres evaporíticas, desarrolladas de forma amplia en los sectores centrales de la cuenca, han experimentado una migración mantenida hacia el Sur, como consecuencia del levantamiento del Pirineo y de la progradación de los sistemas aluviales procedentes de este, parte de los cuales se reconocen en la zona de estudio o bien en arreas próximas.

La historia geológica evolutiva general, se establece de acuerdo con los depósitos aflorantes en la Hoja y con los del entorno próximo

En el Oligoceno inferior la sedimentación lacustre salina ocupó una posición muy septentrional respecto al actual eje de la Depresión del Ebro. El cuerpo evaporítico principal recibe la denominación de Fm. Yesos de Puente la Reina. Los equivalentes aluviales de procedencia pirenaica se desarrollan hacia el NE (Facies de Zabalza y Javier).

El episodio sucesivo de progradación aluvial lo constituyen por el lado pirenaico, las Facies de Sangüesa y Mues, mientras que más hacia el Sur, el representante de procedencia ibérica corresponde a la denominada Fm. Basal Oligocena, reconocida en subsuelo.

Durante el Oligoceno superior se instala en el sector central de la Cuenca Navarro-Riojana un cuerpo evaporítico de gran extensión correspondiente a la Fm Yesos de Falces. Los depósitos aluviales correlativos o equivalentes están integrados en la

vertiente pirenaica por las facies de Sangüesa, Cáseda y Mués y por la Fm. Arnedo en el margen meridional.

La etapa subsiguiente de propagación aluvial se evidencia en la zona por el desarrollo de la Fm. Marcilla, que enlaza hacia el N con los términos superiores de las Facies de Sangüesa y hacia el Sur con los de la Fm. Arnedo.

A finales del Oligoceno y principios del Mioceno se registran variaciones sucesivas en la configuración de la paleogeografía de la Cuenca Navarro-Riojana que se traducen estratigráficamente en una alternancia entre unidades detríticas y evaporíticas de gran continuidad, (SALVANY, 1989), configurando en conjunto la Fm. Lerín. .

Los episodios de propagación aluvial están representados durante el Mioceno por las unidades de Olite, Artajona y Ujúe también conocidas como Facies de Allo, Sos y San Martín de Unx. Hacia el Sur y Suroeste acontecieron episodios algo similares a finales del Paleógeno en la Unidad de Peralta y en la Unidad de Villafranca con sus equivalentes proximales en el anticlinal de Sangüesa.

En el Mioceno, los sistemas aluviales presentan una disposición axial submeridiana y se generan facies aluviales proximales indicativas claramente ya del desplazamiento hacia el Sur del margen de la cuenca (Unidad de Olite) cuya evidencia se pone más adelante, claramente de manifiesto, aun durante el Mioceno, en las Sierras de Peña y San Pedro.

La sedimentación de la Unidad de Olite, se localiza en el valle del Aragón y entorno de la Sierra de Ujúe así como en el Sinclinal de Miranda de Arga y en el de Peralta. Hacia el Suroeste, se expanden los depósitos, estando representadas distintas facies aluviales distales. acuñándose hacia el Sur por su disposición en *on lap* y por tránsito en vertical a la Unidad de Miranda de Arga, que incluyen niveles lacustres carbonatados.

Se producen en consecuencia, durante los tiempos miocenos una marcada reestructuración paleogeográfica en la cuenca que queda cubierta por facies aluviales con el desplazamiento de la sedimentación evaporítica lacustre (Yesos de Zaragoza) hacia el Este. Las facies aluviales mas progradantes y proximales de procedencia pirenaica se encuentran aflorantes en las Sierras de San Pedro y Peña y tienen sus

equivalentes laterales en la Unidad de Artajona y se sitúan por el S y SE. sobre la Unidad de Olite y lógicamente lo harían sobre las Facies de Las Bardenas, unidades como ya se ha expuesto, equivalentes a la Fm. Tudela. Por el Sur y Suroeste, los depósitos de atribución correlativa están integrados por las Fms. Fitero y Alfaro.

La estructuración de este borde de la Cuenca del Ebro, en el que se sitúa la zona de estudio, acontece durante el Mioceno inferior-medio y se articula en una serie monoclinial, en clara discordancia progresiva y de dirección NO-SE y vergencia al Suroeste y Sur como resultado de la última etapa importante de compresión pirenaica. Esta disposición geométrica es observable por toda la vertiente septentrional de la Sierra de Peña, y más concretamente en las proximidades de Sos del Rey Católico.

El plegamiento sinsedimentario es el responsable de la discordancia progresiva del borde de cuenca y por consiguiente de las discordancias internas reconocibles como p.e. la discordancia basal de la Unidad de Olite (Fm. Tudela) con su marcado carácter erosivo y la disposición en *on lap* hacia las principales estructuras anticlinales. También se encuentran relacionados con este plegamiento las notables diferencias de espesor observables de un flanco a otro de algunas estructuras como la del sinclinal de Miranda de Arga y en definitiva de la compartimentación incipiente en la zona a favor de los surcos sinclinales. También la estructuración pirenaica da lugar a la discontinuidad de la base de la Unidad de Artajona, que se corresponde con la discordancia basal de los conglomerados de las sierras de San Pedro y Peña.

Por último cabe destacar que según estudios recientes, el principio del exorreísmo en la cuenca debió producirse en un momento próximo al Mioceno superior-Plioceno. En esos tiempos tiene lugar la apertura de la Depresión del Ebro al Mediterráneo, por lo que esta pasa a comportarse como una cuenca exorreica. Empieza la etapa de vaciado erosional con la instalación de sistemas aluviales y el progresivo encajamiento de la red hidrográfica. Estos procesos, unidos al desarrollo de las diversas formas de erosión, dan lugar a la actual configuración del relieve de la Cuenca del Ebro.

5. GEOLOGÍA ECONÓMICA

5.1. RECURSOS MINERALES

En la Hoja a escala 1:25.000 de Olite (206-II) se cuenta únicamente con 3 indicios mineros registrados.

Corresponden a canteras de arcillas, actualmente abandonadas que se concentran en las cercanías de Olite y Pitillas.

5.1.1. Minerales y Rocas Industriales.

Las arcillas constituyen la sustancia con más indicios registrados en la Hoja. habiéndose inventariado 3 canteras de reducidas dimensiones.

5.1.1.1. Arcillas comunes

Los indicios de arcillas comunes de la Hoja de Olite (206-II) se encuentran sobre las facies arcillosas más distales de la Unidad de Olite.

Se han inventariado 3 indicios, que corresponden a explotaciones, actualmente abandonadas, de pequeñas dimensiones. La más importante se localiza en las proximidades de Olite y, actualmente ha sido utilizada como vertedero que se encuentra ya clausurado. Las arcillas de la Fm. Tudela se explotan en numerosos puntos de la región dadas sus favorables propiedades (50-60% en illita y 5-10% en clorita) para la fabricación de ladrillos (*ladrillos de Tudela*).

5.1.1.2. Áridos naturales

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

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

En la Hoja de Olite (206-II) no se encuentra inventariado ningún indicio de esta sustancia, aunque si se ha observado en campo la existencia de labores antiguas y pequeñas sacas actualmente inactivas.

5.1.1.3. Areniscas

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

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

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

5.2. 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. Areniscas y lutitas. Mioceno

Se tratan de forma agrupada las formaciones de la serie terciaria compuestas por alternancias entre términos lutíticos y areniscas, constituyendo un conjunto integrado por las Unidades Cartográficas: 15,21 y 23.

Constituye una serie monoclinal con buzamientos mantenidos hacia el SSO que se atenúan hacia techo.

La proporción de areniscas/lutitas varía de unas unidades a otras, del mismo modo que la geometría de los niveles de areniscas. En términos generales los niveles canalizados presentan potencias mayores (orden métrico a decamétrico) que las capas tabulares (espesor decimétrico-métrico), si bien estas últimas suelen amalgamarse en bancos tableados.

Los intervalos lutíticos conforman intervalos de potencia variable (decimétrica a métrica) con intercalaciones menores de areniscas en diversas proporciones.

Se estima una permeabilidad media-baja para el conjunto dada la fuerte cementación de las areniscas y la presencia destacada de niveles lutíticos. Los paquetes areniscosos más competentes pueden permitir cierta circulación de agua en posiciones próximas a la superficie por descompactación y pérdida parcial de la cementación, y a través del diaclasado en zonas con fracturación.

5.2.1.2. Lutitas ocre y areniscas. Unidad de Olite. Mioceno.

Corresponde a las facies más distales de la Unidad de Olite (16 y 17) y su transición hacia la Unidad de Miranda (384), que están compuestas, predominantemente, por términos finos (arcillas y limos), con escasas intercalaciones de areniscas de escasa entidad.

En consecuencia, la permeabilidad es muy baja_dado el marcado predominio de los términos arcillosos y la escasa potencia de las intercalaciones. Únicamente pueden desarrollarse acuíferos locales a favor de niveles arenosos más importantes.

5.2.1.3. Gravos, arenas y lutitas. Formaciones cuaternarias de alta permeabilidad

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

En la Hoja se distinguen las Unidades 26 y 27 (terrazas) y 28, 29 y 30 (glacis). Las primeras se desarrollan en el entorno del valle del río Cidacos, mientras que los glacis

se ubican, preferentemente, en la margen izquierda del mismo. Unas y otros están formados por gravas y arenas constituyendo un depósito relativamente consolidado (menor en el caso de los glaciares). La potencia de estos depósitos es por lo general de orden métrico (1-8 m).

La permeabilidad es alta por porosidad intergranular dada su granulometría grosera y escasez de matriz lutítica.

5.2.1.4. 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 (coluviones), depósitos aluvial-coluvial y fondos de valle.

Su composición litológica depende del área de procedencia consistiendo generalmente en fangos con cantos 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.

5.2.1.5. 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

5.2.1.6. 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 septentrional de la Cuenca por lo que la sucesión terciaria está integrada exclusivamente por facies arenosas y lutíticas de origen aluvial.

La serie terciaria presenta una disposición monoclinal en la Hoja con buzamientos mantenidos hacia el SSO.

Litológicamente constituye un potente conjunto de más de 500 m de espesor registrados en la Hoja, en el que alternan areniscas y lutitas en proporciones variables, predominando en general las primeras.

La principal concentración de niveles de areniscas, se registra en la zona nororiental (Sierra de Ujué) y oriental de la hoja. *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 estos casos la recarga se produce esencialmente por infiltración del agua de lluvia. La descarga se realiza por manantiales dispersos y por transferencia hacia los ríos a través de depósitos cuaternarios permeables. Los caudales registrados en los manantiales y pozos son bajos, con valores inferiores a 1 l/s.

Parámetros hidráulicos:

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

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

5.2.2. 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 la presente Hoja, (Olite, 206-II), se adscriben a esta unidad los depósitos de terrazas del río Cidacos, así como los glaciares que se ubican en su margen izquierda preferentemente.

Los niveles acuíferos corresponden a arenas y gravas de cantos heterométricos, y registran una cementación moderada o escasa. Pueden presentar un contenido destacable en finos, integrados normalmente en la matriz del depósito.

Funcionamiento hidrogeológico.

El sistema del aluvial del Ebro y afluentes se ha considerado clásicamente como un acuífero único de carácter libre alimentado esencialmente por la infiltración del agua de lluvia (unos 45 hm³/año) y excedentes de los riego (unos 90 hm³/año) y cuyos ríos son efluentes por lo que condicionan directamente la piezometría.

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 Cidacos unos valores de transmisividad comprendidos entre 300 y 10 m²/día.

No se dispone de datos específicos de parámetros hidráulicos de los materiales que integran los sistemas de glaciares y abanicos relacionados con la Unidad, si bien deben presentar registros de transmisividad sensiblemente inferiores a las obtenidas en el aluvial del Aragón.

Respecto a la calidad química de las aguas del acuífero del Cidacos cabe indicar que se trata de aguas duras y de mineralización notable. Desde el punto de vista iónico, el carácter dominante es el bicarbonatado-sulfatado-cálcico.

5.3. GEOTECNIA

5.3.1. Introducción

En este apartado se describe la cartografía geotécnica de la Hoja a escala 1:25.000 de Olite (206-II) correspondiente al Mapa a escala 1:50.000 de Peralta y se establecen las características geomecánicas de los materiales que la componen.

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

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

5.3.2. Metodología

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

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

- **Realización de la base de datos.** Ante la ausencia de datos no se ha elaborado ficha geotécnica de recopilación de ensayos de laboratorio. Estos ensayos tratan de establecer, de la manera más adecuada, la posible naturaleza actual de la roca, su comportamiento mecánico y/o hidráulico y la evolución y propiedades de la misma bajo los procesos de meteorización. Los ensayos de laboratorio se puede clasificar en los siguientes grupos:

. IDENTIFICACIÓN; establecen la naturaleza de la roca y su estado natural aparente (granulometría, límites de Atterberg, densidad y humedad, absorción, grado de meteorización).

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

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

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

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

- **Zonificación en áreas de iguales características.** A partir de los datos anteriormente comentados e interpretando las unidades geológicas cartografiadas, se procede a la zonificación de la superficie de la Hoja en áreas de iguales

características (geotécnicas y litológicas). En este caso, ante la ausencia de ensayos, los criterios seguidos para establecer esta zonificación han sido las características litológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas de los materiales, observadas durante los reconocimientos de campo.

5.3.3. Zonificación geotécnica

5.3.3.1. Criterios de división

La superficie de la Hoja 1:50.000 de Peralta (206) se ha dividido, en función de la intensidad del plegamiento y de la edad de los materiales, en tres Áreas que presentan una entidad propia y cierta homogeneidad. Posteriormente, estas Áreas han sido divididas a su vez en un total de once Zonas, siguiendo criterios básicamente litológicos y morfológicos, ya que son éstos los que permiten diferenciar desde un punto de vista geotécnico los materiales de cada Área.

5.3.3.2. División en Áreas y Zonas Geotécnicas

Las Áreas geotécnicas consideradas en el conjunto de los 4 cuadrantes de la Hoja 206 a escala 1:50.000 (Peralta) son las siguientes:

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

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

ÁREA III: Agrupa todos los depósitos cuaternarios

Estas Áreas se han dividido en las siguientes Zonas:

ÁREA I: ZONAS I₁, I₂, y I₃

ÁREA II: ZONAS II₁ y II₂

ÁREA III: ZONA III₁, III₂, III₃, III₄ y III₅

En el Cuadro 1 se presenta la correlación entre las Unidades Geológicas cartografiadas y las Zonas Geotécnicas para el caso particular de la Hoja 1:25.000 de Olite (206-II).

UNIDAD CARTOGRAFICA	ZONACION GEOTÉCNICA	DESCRIPCIÓN
541, 537 y 527	III ₄	Lutitas y limos con cantos
543	III ₃	Bloques y lutitas con cantos
534	III ₂	Lutitas y arenas con cantos
515, 521, 524, 518, 519	III ₁	Conglomerados, gravas, arenas y lutitas
365, 383 y 384	II ₂	Arcillas ocre y rojas y areniscas
359, 398 y 409	I ₁	Alternancia de areniscas y lutitas

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

5.3.1. *Características geotécnicas*

5.3.1.1. *Introducción*

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

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

de materiales en laderas, desprendimientos de rocas y, finalmente, suelos solubles y agresivos (yesíferos y salinos).

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

Granulometría. Del análisis granulométrico se obtiene el contenido de finos que presenta el suelo, es decir, el porcentaje que pasa por el tamiz Nº 200 (0.08 mm) de la serie ASTM. Estos datos son utilizados posteriormente en diversas clasificaciones.

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

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

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

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

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

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

Análisis químicos. Sirven para obtener el contenido en Materia Orgánica, Carbonatos y Sulfatos. En estos últimos se determina la agresividad del terreno mediante el contenido en sulfatos, valorado según la normativa que se expone a continuación:

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

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

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

Descripción de la roca	kp/cm ²
Roca ígnea o gnéica 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 asentamientos, éstos se estiman en función de la consistencia media del terreno. Asimismo, se señalan los problemas concretos de cimentación que pueden darse en cada Zona Geotécnica; los más generalizados están relacionados con asentamientos diferenciales, presencia de agua subterránea, presencia de sulfatos en el sustrato, debido a la alta reactividad de los mismos con el hormigón, y riesgos de colapsos en aquellas unidades con presencia potencial de cavidades subterráneas.

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

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

- EMPUJES SOBRE CONTENCIONES. Hacen referencia a contenciones del terreno natural, no de rellenos realizados con los materiales de cada zona.

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

- APTITUD PARA EXPLANADA EN CARRETERAS. Se evalúa la capacidad de soporte de los materiales para constituir una explanada, es decir, la resistencia que ofrecen a la deformación bajo cargas. Se ha tomado como referencia la Instrucción de Carreteras, Normas de Firmes Flexibles y Firmes Rígidos. Se entiende por suelo No Apto, aquel que no puede constituir un desmonte ni un terraplén explanada tipo E-1 (Suelos tolerables al menos estabilizado en sus 15 cm superiores, con CBR de 5 a 10). Marginales son aquellos que cumplen a veces dicha condición; en especial suele referirse a terrenos tolerables, que no conviene que sean explanada directamente (CBR de 10 a 20). Aptos, son terrenos frecuentemente adecuados y seleccionados; constituyen explanadas tipo E-3 (CBR > 20). En terraplenes y pedraplenes, la categoría de la explanada dependerá del material utilizado en su coronación.

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

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

Clase I Roca muy buena: RMR = 81-100

Clase II Roca buena: RMR = 61-80

Clase III Roca media: RMR = 41-60

Clase IV Roca mala: RMR = 21-40

Clase V Roca muy mala: RMR < 20

5.3.1.2. Área I

ZONA I₁

Características Geológico-Geotécnicas

Esta zona comprende unidades 20, 21 y 23.

Litológicamente se caracteriza por presentarse como una alternancia de frecuencia métrica-decamétrica entre areniscas y lutitas.

Las areniscas son de grano medio a fino y se encuentran cementadas por CaCO₃, lo que les confiere una gran resistencia. Presentan espesor métrico (1-4 m) y base planar o irregular.

La meteorización produce en los materiales una pérdida de cementación, lo que disminuye su compacidad natural, especialmente en los términos lutíticos, fácilmente erosionables en superficie. El tránsito entre roca sana y alterada es transicional.

En general, la permeabilidad es baja, debido a la propia naturaleza de las lutitas y a la escasa porosidad eficaz de las areniscas a causa de su cementación. No obstante, estas últimas, en posición próxima a la superficie presentan una permeabilidad mayor, debido principalmente a la fracturación y presencia de juntas abiertas.

Se dispone de los siguientes resultados de ensayos de Laboratorio obtenidos sobre materiales análogos en otros puntos de Navarra:

Cuadro Resumen de Características Geotécnicas (Roca inalterada)		
Clasificación de Casagrande		CL
% pasa tamiz nº 200		58,2-99,8
Límite líquido		37,25
Índice plasticidad		20,33
Humedad		14,5 %
PROCTOR Normal	Densidad máxima	2,05 gr/cm ³
	Humedad óptima	11,6 %
Índice C.B.R.		4,4
Resistencia a compresión simple (lutitas sanas)		> 25 kp/cm ²
Resistencia a compresión simple (areniscas)		300-700

	kp/cm ²
R.Q.D. medio	80-100 %
Angulo rozamiento interno (ϕ')	30°
Cohesión (c')	0,15

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

Características constructivas:

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN

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

El tipo de cimentación será en general superficial, previa eliminación del horizonte de alteración. Es de esperar la presencia de asientos diferenciales y fenómenos de punzonamiento debido a la intercalación de niveles lutíticos blandos entre los paquetes de areniscas.

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

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

Excavabilidad. En general, son materiales Duros, por lo que su excavación precisa el empleo de explosivos. Las lutitas 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 de los resaltes areniscos en aquellas zonas donde existan escarpes pseudoverticales o en voladizo por descalce de los niveles lutíticos inferiores.

Empuje sobre contenciones. Bajos para las lutitas y no serán necesarios para las areniscas

Aptitud para préstamos. Los niveles arcillosos se consideran No Aptos para su uso en terraplenes y pedraplenes. Los niveles de areniscas constituyen por el contrario Terrenos Adecuados.

Aptitud para explanada en carreteras. En el caso de desmontes en roca, la categoría de la explanada areniscas es la E-3, mientras que sobre las lutitas se requerirá la extensión de un firme seleccionado.

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

5.3.1.3. Área II

ZONA II₂

Características Geológico-Geotécnicas

La Zona II₂ está caracterizada en la presente Hoja por la Unidad de Olite (Unidades cartográficas 16,17 y 18).

Se trata de un conjunto de materiales arcillosos de tonos rojos y areniscas, que presentan un suave plegamiento, registrando valores moderados de buzamiento. Los términos lutíticos, aunque tienden a predominar en el conjunto, raramente conforman

intervalos masivos, de modo que intercalan abundantes niveles de areniscas de potencia decimétrica y métrica.

En los niveles superficiales la meteorización produce una alteración y cambio de coloración de los términos arcillosos aumentando su erosionabilidad, mientras que en las capas de areniscas se produce una pérdida de cementación.

Debido a la destacada proporción de arcillas la permeabilidad puede considerarse bastante baja es bastante baja para el conjunto que integra la Zona. Los niveles más potentes de areniscas pueden desarrollarse pequeños acuíferos locales por fracturación.

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

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

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

Características constructivas:**a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN**

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

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

CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

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

Estabilidad de taludes. No se observa ningún fenómeno de inestabilidad cuando la disposición de los materiales es transversal a la orientación de las laderas, y su buzamiento es superior a la pendiente. El riesgo de deslizamientos aumenta sensiblemente cuando aparecen tramos potentes de arcillas y debe considerarse la posibilidad de caída de bloques en escarpes subverticales areniscosos o en voladizo por descalce de los niveles lutíticos inferiores

Empuje sobre contenciones. Moderado en arcillas, nulo en arcillas.

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

Aptitud para explanada en carreteras. Los niveles arcillosos se consideran No Aptos para su uso en terraplenes y pedraplenes. Los niveles de areniscas, constituyen por el contrario, Terrenos Adecuados.

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

5.3.1.4. Área III

ZONA III₁

Características Geológicas

Comprende el conjunto de formaciones cuaternarias de génesis aluvial-fluvial. Éstas se caracterizan por presentar una proporción elevada de términos clásticos (conglomerados, gravas y arenas) en el depósito y por ocupar áreas llanas (zonas deprimidas de los valles y superficies medias y altas)

Predominan los materiales aportados por río Cidacos, correspondiendo mayoritariamente a depósitos de terrazas que cubren buena parte de la Hoja. Cabe mencionar también los materiales pertenecientes a los depósitos de glacia de techo de piedemonte.

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

Características geotécnicas

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

Cuadro Resumen de Características Geotécnicas	
Contenido en Grava (>5mm)	65 %

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

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

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

Características constructivas

CONDICIONES DE CIMENTACIÓN.

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

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

Los condicionantes geotécnicos más importantes estarán relacionados con la posición del nivel freático, que puede dar lugar a subpresiones y fenómenos de inestabilidad en

excavaciones y obras, así como agotamientos importantes. Por otro lado, la presencia eventual de intercalaciones de arcillas blandas puede provocar asentamientos diferenciales no admisibles y sobre sustrato yesífero es elevado el riesgo de hundimientos del terreno por colapso.

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

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

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

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

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

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

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

ZONA III₂

Características Geológicas

Se integran en esta Zona las formaciones cuaternarias desarrolladas característicamente en laderas (glacis) y que están formados por depósitos lutíticos con cantos más o menos dispersos.

Presentan por tanto una cierta pendiente deposicional y gradación clástica grosera a distancia creciente del relieve.

Litológicamente constituyen un depósito bastante heterogéneo formado por una matriz fangosa que engloba cantos poco rodados en proporciones muy variables y cuya naturaleza depende de la litología del área de procedencia.

Características Geotécnicas

Constituyen materiales sueltos de muy baja a nula consolidación cuyos problemas geotécnicos derivan directamente de su posición geomorfológica. No se cuenta con información procedente de ensayos realizados en el ámbito de la Hoja de modo que los parámetros geotécnicos se han obtenido por correlación con unidades de comportamiento similar presentes en otros sectores de la Comunidad Navarra.

Cuadro Resumen de Características Geotécnicas	
Humedad	20,5 %
Contenido en Finos (<0.08mm)	75- 80,4 %
Límite Líquido (WL)	28- 40,4
Índice de Plasticidad (IP)	12- 19,2
Clasificación de Casagrande	GC-CL
Densidad Máxima Proctor Normal	1,8 gr/cm ³
Humedad Óptima Proctor Normal	15- 12,7 %
Angulo de Rozamiento Interno (ϕ)	30,5- 38 ^{oo}
Cohesión (c')	1,0
Contenido en sulfatos	0,01%

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

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

Características constructivas

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN.

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

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

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

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

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

Aptitud para préstamos. Previa eliminación de la cubierta vegetal, constituyen suelos Marginales, eventualmente Adecuados en función de la proporción en fangos.

Aptitud para explanada en carreteras. Los fondos de desmontes quedarán en suelos inadecuados a tolerables, constituyendo explanadas de categoría E1 o inferior.

Obras subterráneas. Normalmente este tipo de obras afectará a materiales del sustrato, dado el reducido espesor de los depósitos. No obstante, para obras de pequeña envergadura, deberán calificarse como Terrenos Difíciles, que pueden precisar entibación total.

ZONA III₃

Características Geológico-Geotécnicas

Esta Zona está definida por depósitos cuaternarios generados por inestabilidades activas y en general relacionados con procesos de gravedad (coluviones).

Su permeabilidad está condicionada por el contenido en finos, siendo muy alta en los desprendimientos y francamente baja en los deslizamientos. Por otra parte la pendiente natural de las formas de depósito generadas facilita la evacuación de aguas por escorrentía por lo que difícilmente se registran problemas de drenaje.

Constituyen terrenos con importantes problemas geotécnicos derivados básicamente de las inestabilidades gravitacionales registradas, heterogeneidad de los depósitos y litología yesífera o arcillosa. No se dispone de ensayos geotécnicos específicos para este tipo de materiales.

Características constructivas

CONDICIONES DE CIMENTACIÓN.

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

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

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

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

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

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

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

Obras subterráneas. Sólo pueden verse afectadas obras de pequeña envergadura, desarrolladas a escasa profundidad, para las que deben considerarse como terrenos francamente desfavorables.

ZONA III₄

Características Geológico-Geotécnicas

En esta Zona se incluyen una serie de depósitos poco consolidados asociados a la red fluvial actual, así como aquellos que presentan un alto contenido en finos y de origen poligénico (unidades 36 y 38). También se han incluido aquellos que constituyen una orla periférica alrededor de la laguna de Pitillas (unidad 31). Todos ellos presentan un cierto grado de inundabilidad, en función de las fluctuaciones del nivel de agua.

Litológicamente se trata de depósitos lutíticos, a veces con cantos, que se localizan a favor de los cursos, barrancos y valles actuales, por lo que su distribución por la Hoja se hace de forma irregular. Ocasionalmente pueden llegar a registrar cierto contenido en materia orgánica, como los desarrollados en los litorales vegetados de la laguna. En esta caso su representación en la Hoja es muy localizada restringiéndose a dos pequeñas áreas situadas en la esquina SO, donde corresponden a materiales limosos, y en la parte central, punto en el que se desarrollan hundimientos sobre

terrazas por disolución y colapso de los yesos del sustrato. La potencia es variable y difícil de establecer aunque se estima que no sobrepasa los 5 m.

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

Características constructivas

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN

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

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

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA

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

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

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

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

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

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

6. BIBLIOGRAFÍA

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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