

**ACTUALIZACIÓN E INFORMATIZACIÓN DE LA  
CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE NAVARRA  
A ESCALA 1:25.000 HOJAS 283, 320 y 321**

**CUADRANTE 320-II**

**CASCANTE**

**MEMORIA**

---

La presente Hoja y Memoria, ha sido realizado por “TECNOLOGÍA DE LA NATURALEZA S.L. (TECNA)”, durante el año 2005-2006, con normas, dirección y supervisión del Gobierno de Navarra, habiendo intervenido los siguientes técnicos:

**Dirección y Supervisión (GOBIERNO DE NAVARRA)**

. Faci Paricio, E. Dirección del Proyecto

**Autores y Colaboradores (TECNA)**

. García de Domingo, A, Cartografía y Memoria

. Galán Pérez, G. Cartografía, Memoria e Informática

. Cabra Gil, P. Geomorfología y Cuaternario

. González Lastra, J. Sedimentología

.. Díaz Pinto, G. Informática, Geología y Geotecnia

## ÍNDICE

<b><u>0. INTRODUCCIÓN</u></b> .....	<b>5</b>
<b><u>1. ESTRATIGRAFÍA</u></b> .....	<b>9</b>
<b>1.1. TERCIARIO</b> .....	<b>9</b>
1.1.1. MIOCENO.....	10
1.1.1.1. Arcillas, limos, areniscas y conglomerados (nivel cartográfico 2). Facies de Cascante inferior. Ageniense-Aragoniense.....	10
1.1.1.2. Arcillas, limos y areniscas (nivel cartográfico 4). Facies Alfaro Ageniense-Aragoniense.....	11
1.1.1.3. Areniscas (nivel cartográfico 5). Facies Alfaro. Ageniense-Aragoniense.....	12
1.1.1.4. Yesos y silex (nivel cartográfico 6). Yesos de Monteagudo. Aragoniense.....	13
1.1.1.5. Calizas (nivel cartográfico 7). Aragoniense.....	14
1.1.1.6. Arcillas (nivel cartográfico 8). Aragoniense.....	14
1.1.1.7. Arcillas rojas, areniscas, yesos y calizas (nivel cartográfico 9). Formación Tudela. Aragoniense.....	15
1.1.1.8. Conglomerados (nivel cartográfico 11). Formación Tudela. (Aragoniense).....	16
<b>1.2. CUATERNARIO</b> .....	<b>16</b>
1.2.1. PLEISTOCENO.....	16
1.2.1.1. Cantos y gravas con matriz limoso-arenosa (Glacis de cobertera), (niveles cartográficos 15 y 16). Pleistoceno medio-Pleistoceno superior.....	16
1.2.1.2. Gravas, cantos, arenas, arcillas y limos (Terrazas), (niveles cartográficos 17, 18 y 19). Pleistoceno medio-Pleistoceno superior.....	17
1.2.2. HOLOCENO.....	18
1.2.2.1. Limos, arcillas y arenas con cantos y bloques (Coluviones), (nivel cartográfico 21). Holoceno 18	
1.2.2.2. Lutitas, cantos, gravas y arenas (Fondos de valle), (nivel cartográfico 22). Holoceno. 18	
1.2.2.3. Limos, arenas y cantos (Conos de deyección), (niveles cartográficos 20 y 23). Pleistoceno superior-Holoceno.....	18
1.2.2.4. Arenas y limos con materia orgánica (Fondos endorreicos), (nivel cartográfico 24). Holoceno.....	19
1.2.2.5. Arcillas, arenas y gravas (Aluvial-coluvial), (nivel cartográfico 25). Holoceno.....	19
<b><u>2. TECTÓNICA</u></b> .....	<b>20</b>
<b><u>3. GEOMORFOLOGÍA</u></b> .....	<b>22</b>
<b>3.1. DESCRIPCIÓN FISIAGRÁFICA</b> .....	<b>22</b>
<b>3.2. ANTECEDENTES</b> .....	<b>23</b>
<b>3.3. ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO</b> .....	<b>24</b>
3.3.1. ESTUDIO MORFOESTRUCTURAL.....	24
3.3.1.1. Formas estructurales.....	24
3.3.2. ESTUDIO DEL MODELADO.....	24
3.3.2.1. Formas de ladera.....	25
3.3.2.2. Formas fluviales y de escorrentía superficial.....	25
3.3.2.3. Formas endorreicas.....	26

3.3.2.4. Formas poligénicas .....	26
3.3.2.5. Formas antrópicas .....	27
<b>3.4. FORMACIONES SUPERFICIALES .....</b>	<b>27</b>
<b>3.5. EVOLUCIÓN DINÁMICA .....</b>	<b>29</b>
<b>3.6. MORFOLOGÍA ACTUAL-SUBACTUAL Y TENDENCIAS FUTURAS .....</b>	<b>30</b>
<b><u>4. HISTORIA GEOLÓGICA.....</u></b>	<b><u>31</u></b>
<b><u>5. GEOLOGÍA ECONÓMICA.....</u></b>	<b><u>35</u></b>
<b>5.1. RECURSOS MINERALES .....</b>	<b>35</b>
5.1.1. MINERALES Y ROCAS INDUSTRIALES .....	35
5.1.1.1. Gravas.....	35
5.1.1.2. Arcillas especiales.....	35
5.1.1.3. Yeso.....	36
<b>5.2. HIDROGEOLOGIA .....</b>	<b>36</b>
5.2.1. INTRODUCCIÓN .....	36
5.2.2. DESCRIPCIÓN DE LAS FORMACIONES .....	37
5.2.3. UNIDADES ACUÍFERAS.....	38
5.2.3.1. Unidad Hidrogeológica Sur.....	39
5.2.3.2. Unidad Hidrogeológica Aluvial del Ebro y Afluentes.....	40
5.2.3.3. MANANTIALES.....	42
<b>5.3. GEOTECNIA .....</b>	<b>42</b>
5.3.1. INTRODUCCIÓN .....	42
5.3.2. METODOLOGÍA .....	42
5.3.3. ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA.....	43
5.3.3.1. Criterios de división.....	43
5.3.3.2. División en Áreas y Zonas Geotécnicas .....	44
5.3.3.3. Características geotécnicas.....	45
<b><u>6. BIBLIOGRAFIA .....</u></b>	<b><u>70</u></b>

## 0. INTRODUCCIÓN

La Hoja a escala 1:25.000 de Cascante (320-II), es el segundo cuadrante de la Hoja a escala 1:50.000, (Tarazona, 320), del Mapa Topográfico Nacional. Para completar la geología navarra de la zona, se ha añadido una pequeña porción de territorio navarro perteneciente a la Hoja 320-IV (Borja).

La mayor parte de la Hoja pertenece a la Comunidad Foral de Navarra, dentro de la comarca de la Ribera Navarra del Ebro, región que se extiende a lo largo de las márgenes del Ebro en el límite con las Comunidades autónomas de La Rioja y Aragón, constituyendo una unidad fisiográfica deprimida y algo alomada. El resto de la Hoja que no forma parte de Navarra, un espacio triangular en la zona suroccidental de la Hoja, pertenece a la Comunidad Autónoma de Aragón. Además de la población de Cascante, que da nombre a la Hoja, situada justo en la esquina NO de la hoja, en ella también se incluyen otros núcleos navarros como son los de Ablitas, Tulebras y Barillas en Navarra, y Malón y Vierlas en la parte aragonesa.

Toda esta zona pertenece al dominio de la Cuenca del Ebro, en la que aparecen materiales del Terciario continental y depósitos cuaternarios, estos últimos predominantes en toda la Hoja, a excepción de los relieves de la esquina suroccidental de la Hoja, que forman las primeras estribaciones de los relieves de la Ibérica, apenas representados en la parte navarra

Estas dos zonas de características fisiográficas bien definidas, también lo están desde el punto de vista geológico, por un lado la llanura aluvial del río Ebro, eminentemente plana, y formada exclusivamente por depósitos superficiales cuaternarios, de origen fluvial y los relieves terciarios, que se levantan más de 100 metros sobre la llanura del Ebro de edad Terciario, formados esencialmente por arcillas y yesos.

Dado que se trata de una zona eminentemente plana, dominada por la llanura aluvial del Ebro, es en los alrededores de Ablitas donde se localiza la cota de mayor altitud en la zona navarra, de alrededor de 400 m. en las Portillas. La cota mas baja se sitúa en la llanura del Ebro, con altitudes de 275 m.

Aunque no aparece en la Hoja, el río Ebro es el principal curso de la red fluvial en esta zona, cruzándola en sentido NNO-SSE, en un curso sinuoso, con varios meandros. Toda la Hoja esta incluida en su cuenca. Al margen de este curso principal, el resto de la red fluvial es escasa y muy esporádica, estando formada por pequeños arroyos y barrancos que desaguan los relieves bardeneros. Únicamente, el río Queiles se puede considerar un curso de mayor importancia. Esta cauce, proveniente de la Sierra del Moncayo, entra en Navarra, en Culebras y tras circular en los alrededores de Cascante se dirige a desaguar al Ebro. Sin embargo, todo el aluvial del Ebro está surcado por canales, del los cuales el más importante es el de Lodosa, , y una tupida red de acequias de regadío.

La red de comunicaciones en esta zona es amplia y desarrollada, al estar incluida dentro del corredor del Ebro. Así, como vías principales discurren por la Hoja la autopista A-68 (Bilbao-Zaragoza), en su esquina nororiental, y la nacional N-232, paralela a la anterior, ambas siguiendo el valle del Ebro. Además, la red de carreteras autonómicas y comarcales comunica las distintas poblaciones entre sí y con la capital de la comarca: Tudela. Bordeando la margen izquierda, aparece nacionales como la N-121, y autonómicas y comarcales como la NA-3020 y NA-3040, 41 y 42.

Geológicamente, la Hoja de Cascante forma parte de la Cuenca del Ebro, una de las principales cuencas terciarias peninsulares. En esta cuenca se distinguen dos grandes ciclos sedimentarios: Un primer ciclo de carácter marino, en la que la cuenca estaría conectada con el océano situado al Este, abarcando los sedimentos hasta el Eoceno terminal y una segunda etapa de carácter continental, actuando de forma endorreica que se desarrollaría a lo largo de todo el Eoceno terminal, Oligoceno y Mioceno. A partir del Plioceno, en la cuenca ya colmatada se desarrolla una fase erosiva que tiene su origen en el desarrollo de la red fluvial del Ebro, con drenaje hacia el Mediterráneo.

Toda esta zona se comportó 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 las Sierra de Cameros y Moncayo (Cordillera Ibérica) al Sur y Suroeste.

A este segundo ciclo continental pertenecen todos los materiales terciarios de la Hoja de Cascante, incluida dentro del denominado "Sector occidental de la cuenca del Ebro". Denominación acuñada por ORTI y SALVANY(), para agrupar las formaciones terciarias que están bien desarrolladas en la Ribera de Navarra y continúan hacia la Rioja y la zona occidental de la Cuenca del Ebro en Aragón. En Navarra, toda la sedimentación de Terciario continental se extiende desde el tránsito Eoceno-Oligoceno hasta el Mioceno superior, estando caracterizada por el desarrollo de sistemas de abanicos aluviales en los márgenes de la cuenca (Pirineos e Ibérica), sistemas fluviales y fluviolacustres en las zonas intermedias de transición y sistemas lacustres en las zonas centrales de la cuenca.

Toda la Hoja está ocupada por el valle del río Ebro, cuyos depósitos fluviales la práctica totalidad del territorio cartografiado. Además de estos depósitos de carácter fluvial, también aparecen en la Hoja depósitos originados en procesos de laderas y poligénicos en los relieves de Bardenas.

Aunque los primeros estudios sobre esta zona datan de las primeras décadas del siglo XX, realmente fue en la década de los años 60 del pasado siglo cuando se realizaron los primeros estudios importantes. Se trata de estudios de carácter estratigráfico regional y se deben en gran medida a 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). En esta misma época se inicia la prospección petrolera en el país con la perforación, en las hojas de Peralta y Calahorra, de los sondeos Marcilla-1, (Valdebro, 1953) y Arnedo-1, (Amospain, 1962), y cuyos resultados figuran de forma resumida en la publicación específica del IGME, (1987).

Ya en la década de los años 70, el conocimiento de la geología de esta zona del Terciario de Navarra se amplía con la elaboración de la primera cartografía a escala 1:25.000 de Navarra, pionera en España y realizada por geólogos de la Diputación Foral de Navarra: Jaime Solé, Javier Castiella, Cayo Puigdefábregas, Joaquín Del Valle y otros colaboradores. Estas cartografías se sintetizan con la publicación del primer Mapa Geológico de Navarra (CASTIELLA et al., 1978) a escala 1:200.000,. 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. Esta tesis estuvo financiada por el Gobierno de Navarra, en un convenio con la Universidad Central de Barcelona, cuyo informe final fue realizado por ORTÍ y SALVANY, (1986). De los estudios de Salvany se derivan un buen número de publicaciones, entre las que destacan las de SALVANY (1989), MUÑOZ y SALVANY (1990), SALVANY et al. (1994), SALVANY y ORTÍ (1994), y INGLÉS et al (1994, 1998).

También son importantes los trabajos realizados por diversos autores sobre las Unidades Tectosedimentarias en la Cuenca del Ebro. En especial, destaca la tesis de A. MUÑOZ (1991) dedicada al análisis tectosedimentario del terciario en la Rioja, así como otros trabajos del mismo autor en colaboraciones, MUÑOZ, PARDO y VILLENA (1986-87 Y 1992), y MUÑOZ y CASAS (1997), y los trabajos sobre la estratigrafía y sedimentología de la región Tarazona-Tudela: PEREZ, MUÑOZ., PARDO y ARENAS, (1989); PEREZ.; MUÑOZ.; PARDO.; ARENAS. y VILLENA, (1988)

Durante esta 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.

La cartografía de esta Hoja esta basada en la realizada a escala 1:25.000 por la DIPUTACIÓN FORAL DE NAVARRA, la Hoja de Tudela a escala 1:50.000 del plan MAGNA, y los datos cartográficos de distintos estudios. Sobre todas se ha realizado la

pertinente actualización cartográfica y geológica en base a criterios estructurales y sedimentarios fundamentalmente.

## 1. ESTRATIGRAFÍA

La estratigrafía de esta Hoja se ha realizado basándose en criterios secuenciales, definiendo unidades tectosedimentarias limitadas por rupturas deposicionales con expresión cuencial. En cada unidad así definida y delimitada se han cartografiado los distintos cuerpos litológicos, determinando hasta donde ha sido posible, sus variaciones espaciales y sus relaciones de facies.

La descripción de los niveles cartográficos se ha realizado con el apoyo de las distintas bases de datos elaboradas en esta Hoja, agrupándose dichos niveles en las diferentes unidades tectosedimentarias que se han definido en esta región, teniendo en cuenta la escala de trabajo y su carácter, eminentemente cartográfico.

Los materiales aflorantes en la Hoja de Cascante pueden agruparse en dos grandes grupos asignados temporalmente al Terciario y al Cuaternario cuyas características y distribución presentan acusadas diferencias estando totalmente ausentes los depósitos pertenecientes al Mesozoico y Paleozoico.

Esta Hoja se encuentra enclavada en la zona occidental de la Cuenca Terciaria del Ebro, concretamente en el sector denominado "Navarro-Riojano".

### 1.1. TERCIARIO

En Navarra, los sedimentos del Terciario continental de la Cuenca del Ebro, se distribuyen por el sector meridional de esta comunidad, estando comprendidos estratigráficamente entre el Eoceno-Oligoceno y el Mioceno superior.

El límite septentrional de esta cuenca, está constituido por importantes accidentes tectónicos con dirección preferente E-W (fallas de Codés-Monjardín, Alaiz y Monreal), que ponen en contacto los sedimentos continentales de esta cuenca con depósitos del Mesozoico y Paleógeno surpirenaico.

El límite meridional, está formado por los sedimentos del Mesozoico de la Cordillera Ibérica. Por el este, estos sedimentos del Terciario continental mantienen una continuidad a través de Aragón y Cataluña y por el oeste continúan hacia la comunidad de La Rioja, formando en su conjunto la cuenca terciaria continental del Ebro.

En este sector la sedimentación estuvo en todo momento caracterizada por el desarrollo de sistemas de abanicos aluviales en los márgenes de la cuenca (Pirineos y Cordillera Ibérica) y sistemas lacustres principalmente evaporíticos en su zona central, así como sistemas fluviales y fluvio-lacustres intermedios de extensión y características variables según los casos (RIBA, 1964; CRUSAFONT et al., 1966a; PUIGDEFABREGAS, 1975; RIBA et al., 1983; SALVANY, 1989a, PEREZ, 1989; MUÑOZ, 1991).

Esta cuenca presenta una importante subsidencia durante el Oligoceno, sedimentándose más de 4000 metros de depósitos. En el Mioceno, estos procesos de subsidencia se ralentizan, acumulándose únicamente unos centenares de metros de sedimentos, iniciándose, en este periodo, las fases principales de plegamiento que marcan profundamente la paleogeografía de la cuenca. Estos factores determinan que el depocentro de la cuenca de los sistemas lacustres, emigre hacia el este, hacia Aragón, dominando en Navarra y la Rioja la sedimentación detrítica, con el emplazamiento de amplios sistemas aluviales en los márgenes de la cuenca y el desarrollo de sistemas fluviales y fluvio-lacustres en la zona central, con su drenaje hacia el centro de la cuenca.

El Terciario continental navarro ofrece una gran variedad de cuerpos litológicos de distribución irregular tanto en la horizontal como en la vertical, lo que a su vez condiciona una enorme profusión de cambios laterales de facies.

En el sector meridional de esta Hoja, se han definido por PEREZ, 1989; en el Neógeno, cuatro Unidades Tectosedimentarias que integran sistemas aluviales y lacustres, estando bien representados en esta zona la primera, la segunda y posiblemente la tercera de las UTS definidas por este autor. En la primera UTS se pueden definir la Formación Fitero, en las zonas proximales a la Cordillera Ibérica, y las Formaciones Cascante, Alfaro, Tudela y Monteagudo, cuya edad esta comprendida entre el Ageniense y el Aragoniense medio. La segunda UTS, comprendida entre el Aragoniense medio y superior, equivale a la parte superior de la Formación Fitero y a facies detríticas y carbonatadas por encima de la Formación Yesos de Monteagudo mientras que la tercera UTS, asignada al Vallesiense, corresponde, posiblemente, a los Conglomerados de Yerga.

MUÑOZ, 1992; define en esta región diez UTS, de las que las ocho primeras afloran en la Cuenca del Ebro y las dos restantes en cubetas marginales. Siguiendo los criterios establecidos por este autor y atendiendo a los depósitos que afloran en esta Hoja, se reconocen en esta zona las UTS A5 y A6, cuyos límites se corresponden con los establecidos por PEREZ, 1989, indicados anteriormente, agrupando las formaciones Fitero y Cascante.

### **1.1.1. MIOCENO**

#### **1.1.1.1. Arcillas, limos, areniscas y conglomerados (nivel cartográfico 2). Facies de Cascante inferior. Ageniense-Aragoniense.**

Este conjunto aflora en el sector nor-occidental de la zona cartografiada, situándose sus mejores afloramientos en las proximidades de la localidad de Cascante.

El tránsito con la unidad cartográfica inferior no se ha reconocido en esta Hoja. Litológicamente, esta constituido por areniscas, arcillas y niveles de conglomerados.

Los conglomerados presentan una naturaleza bastante uniforme formados fundamentalmente por cantos de areniscas cuya procedencia se sitúa en la Sierra de Cameros, asociado a depósitos del Cretácico inferior, con algún canto cuarcítico. Estos cantos presentan un tamaño muy homogéneo, comprendido entre 10 cm y 2 cm, subredondeados, con matriz arenosa o microconglomerática y cemento calcáreo. Este conjunto se dispone en capas lentejonares con base canalizada y espesores comprendidos entre 0,5-2 metros.

Las areniscas, presentan tonos pardos y rojos de naturaleza cuarcítica, calcárea y de fragmentos de rocas, con cemento calcáreo, fundamentalmente de grano medio, incluyen numerosos cantos dispersos o formando niveles. Se disponen en estratos lenticulares o tabulares, con base canalizada y espesores comprendidos entre 5 cm y 1 metro de espesor. La areniscas de tamaño grueso presentan estratificación cruzada a gran escala mientras que las de grano más fino suelen presentar "ripples".

Las arcillas presentan tonos rojizos y pardos con algunos cristales de yeso y yeso fibroso dispersos entre estas arcillas.

El espesor de este conjunto se ha valorado entre 70 y 80 metros, aunque es muy difícil de establecer debido fundamentalmente, a sus relaciones estratigráficas con otras unidades cartográficas de similar apariencia litológica.

Este conjunto se ha datado, en el yacimiento de Monteagudo, como Ageniense-Aragoniense.

Desde el punto de vista sedimentológico, esta unidad forma parte de las zonas proximales y medias de un sistema de abanicos aluviales de procedencia meridional.

#### **1.1.1.2. Arcillas, limos y areniscas (nivel cartográfico 4). Facies Alfaro Ageniense-Aragoniense.**

Esta unidad aflora en el sector septentrional de la Hoja de Cascante continuando sus afloramientos hacia la zona central y septentrional de la Hoja de Monteagudo considerándose las facies Alfaro como un cambio lateral hacia las facies Cascante hacia el centro de la cuenca.

Litológicamente, este conjunto esta formado por una serie de lutitas, areniscas y arcillas con un espesor medio entorno al centenar de metros.

Las arcillas, litología dominante este conjunto, mantienen un tono rojizo. Son de naturaleza calcárea e incluyen niveles pequeños de yesos fibrosos diagenéticos.

Las lutitas presentan tonos grises, amarillentos y pardos e incorporan también nódulos de yesos y yesos recristalizados, de origen diagenético, instalados preferentemente en las

diacclasas abiertas. Se presentan en niveles de unos 5 metros de espesor, con abundante bioturbación que incluyen capas de arenisca y calizas.

Las areniscas son de grano fino a medio y ocasionalmente grueso, poco cementadas, con abundante yeso, dispuestas en capas con geometría tabular y ocasionalmente lenticular, con laminación horizontal y cruzada y abundantes ripples.

Se reconocen algunos niveles de margas y carbonatos incluidos entre los niveles limosos, con gran continuidad lateral y abundante bioturbación que indican el tránsito hacia los niveles calcáreos-yesíferos superiores.

Sedimentológicamente, este conjunto se asocia con sistemas de llanuras de limos emplazadas en las zonas distales de abanicos aluviales, con esporádicos episodios torrenciales representados en la serie por los niveles de areniscas y zonas encharcadas.

MUÑOZ *et al.* (1986-87) y MUÑOZ (1991) atribuyen su origen a un sistema fluvial con drenaje hacia el E y SE, alimentado por los abanicos aluviales del pie de la Cordillera Ibérica. La energía de este sistema fluvial decrece hacia el SE donde gradualmente pasan a las facies lacustres de Tudela.

Esta unidad se ha encuadrado dentro del Ageniense-Aragoniense, al considerarse cambio lateral de facies con la unidad de Cascante.

#### **1.1.1.3. Areniscas (nivel cartográfico 5). Facies Alfaro. Ageniense-Aragoniense.**

Los niveles de areniscas presentes en las Facies Alfaro, generalmente, se encuentran incluidas en el conjunto cartográfico detrítico descrito anteriormente. No obstante, se pueden cartografiar algunos niveles de estas areniscas que mantienen un espesor suficiente para poder ser representadas en la cartografía, como el detectado en el sector septentrional de esta Hoja, al este de la localidad de Ablitas.

Litológicamente esta formado por areniscas de grano fino a medio, muy cementado con inclusiones de yesos diagenéticos dispuestos en capas plano-paralelas y geometría tabular con laminación cruzada.

El espesor de este conjunto se puede establecer en unos 5 metros, acunándose lateralmente hasta diluirse en el conjunto de las Facies Alfaro.

Este nivel cartográfico, desde el punto de vista sedimentológico, se asocia con niveles detríticos canalizados que surcan una llanura lutítica.

Esta unidad se ha encajado dentro del Ageniense-Aragoniense, al encontrarse incluido dentro de las Facies Alfaro.

#### **1.1.1.4. Yesos y silex (nivel cartográfico 6). Yesos de Monteagudo. Aragoniense.**

Esta unidad cartográfica aflora con gran extensión al este de la localidad de Ablitas en donde se ha explotado con gran intensidad en busca del laboreo de los nódulos de alabastro que forman parte de estos niveles yesíferos. Esta unidad se acuña lateralmente tanto hacia el oeste como hacia el este, hasta llegar a desaparecer bajo las facies calcáreas suprayacente.

Litológicamente, este tramo, está formado por yesos muy puros en facies nodulares, de color blanco y verde, masivos, de tonos marrones, con frecuentes nódulos de silex.

Estos yesos presentan intercalaciones de arcillas grises muy puras, arcillas limosas de tonos pardos, areniscas con granos de cuarzo y fragmentos de rocas con matriz arcillosa y cemento yesífero, y niveles carbonatados. Entre estos niveles yesíferos es frecuente observar grandes nódulos de yeso alabastrino, muy puro que se explotaban, antiguamente, con fines ornamentales.

El espesor de esta serie es muy variable, calculándose una potencia máxima próxima al centenar de metros.

Este conjunto yesífero se encuentra asociado a un sistema lacustre relacionado con el margen ibérico de la cuenca navarro-riojana.

En el techo de esta unidad yesífera se ha localizado el importante yacimiento paleontológico de Monteagudo en el que se han inventariado:

*Ceratorhinus sansaniensis*, LARTET

*Ceratorhinus*

*Anchiterium aurelianense*, CUVIER

*Listriodon splendens*, V. MEYER

*Palaeomeryx kaupi*, MEYER

*Mastodon angustidens*, CUVIER

Esta asociación paleontológica indica una edad de Aragoniense medio. para esta formación.

#### **1.1.1.5. Calizas (nivel cartográfico 7). Aragoniense.**

Este nivel cartográfico aflora fundamentalmente en el sector suroriental de la Hoja de Cascante, entre el Cerro de El Mojón y Mugas constituyendo los niveles competentes que rompen la uniformidad de la ladera.

Esta unidad calcárea, en esta zona, pone en contacto las Facies Alfaro con las Facies Tudela. Esta unidad esta formada por varias secuencias deposicionales calcáreas, normalmente tres, con intercalaciones de niveles más arcillosos. Su espesor es muy variable con una potencia media del orden de 50 m.

Litológicamente, consiste en una sucesión de calizas y margocalizas con intercalaciones de capas de arcillas, areniscas y limolitas. Estas calizas (grainstone) son de tonos blancos, grano fino, distribuidas en paquetes de 0,5 a 2 m de espesor, afectados por varios sistemas de diaclasas que compartimentan a estos niveles dando lugar a bloques. En estos niveles es frecuente observar laminaciones paralelas y onduladas, con abundante bioturbación.

Estos niveles carbonatados intercalan pasadas de arcillas y limos de tonos ocres y pardos que incorporan pequeños niveles de areniscas.

Esta serie calcárea se encuentra asociada con facies sedimentadas en un ambiente propiamente lacustre relacionada con pequeños lagos de carácter relativamente efímero y salino, con episodios en los que domina la sedimentación terrígena en ambientes de llanura lutítica aluvial surcada, muy localmente, por pequeños canales fluviales sinuosos.

Aunque no ha sido posible su datación paleontológica, ya que no se han encontrado restos fósiles determinativos en esta serie carbonatada, se asocia al Aragoniense ya que se encuentra intercaladas entre los niveles superiores de las Facies Cascante, por encima del yacimiento de Monteagudo.

#### **1.1.1.6. Arcillas (nivel cartográfico 8). Aragoniense.**

Estos niveles arcillosos se encuentran intercalados entre los niveles calcáreos descritos anteriormente situándose sus afloramientos en los mismos sectores ya indicado para los niveles calcáreos.

Esta unidad cartográfica esta definida en las zonas de mayor desarrollo por dos niveles de arcillas con tonos pardos, ocres, grises y beige que alternan con pasadas de areniscas de grano fino con morfologías tabulares y niveles de limonitas.

Su espesor es variable ya que estos niveles cambian lateralmente de facies hacia los niveles calcáreos. No obstante, su espesor medio es del orden de 20 metros para cada nivel.

Esta unidad cartográfica no incorpora fósiles que permitan su datación. Se ha asociado al Aragoniense, al encontrarse sedimentariamente intercalado entre los niveles calcáreos descritos anteriormente.

Estos materiales proceden del desarrollo de una extensa llanura lutítica con pequeños lagos carbonatados de carácter efímero, situada en posición central en la cuenca navarro-riojana, durante el Mioceno inferior-medio. Periódicamente sobre esta llanura lutítica se extendieron cursos fluviales procedentes de los Pirineos o Cordillera Ibérica.

#### **1.1.1.7. Arcillas rojas, areniscas, yesos y calizas (nivel cartográfico 9). Formación Tudela. Aragoniense.**

Esta unidad aflora en el sector meridional de la zona cartografiada, concretamente al sur de la localidad de Ablitas y en la ladera septentrional de los Altos de Borja.

Litológicamente, esta unidad cartográfica, esta formada por una serie muy heterogénea constituida por arcillas limosas pardo-rojizas, areniscas, conglomerados, calizas y margocalizas.

El contacto con la unidad inferior es muy neto y en algunas zonas se realiza este tránsito mediante un nivel de conglomerados que marca este límite.

Intercalado entre este conjunto arcilloso se observa frecuentemente niveles de areniscas de grano medio a fino, con naturaleza cuarcítica y de fragmentos de roca. Asimismo es frecuente observar pasadas de capas de calizas y margocalizas, de unos 30 cm de espesor, con tonos blanquecinos y nódulos de yesos dispersos. El espesor medio de este conjunto es del orden del centenar de metros.

Estos materiales proceden del desarrollo de una extensa llanura lutítica con pequeños lagos carbonatados de carácter efímero, situada en posición central en la cuenca navarro-riojana durante el Mioceno inferior-medio. Periódicamente sobre esta llanura lutítica se extendieron cursos fluviales procedentes de los Pirineos o Cordillera Ibérica. Hacia el E, provincia de Zaragoza, las Facies de Tudela enlazan lateralmente con el sistema lacustre evaporítico de la Fm. Zaragoza (QUIRANTES, 1978).

En esta unidad se encuentra comprendida entre los yacimientos de vertebrados de Tudela (CRUSAFONT et al., 1966), que permite datar la base de la unidad como Aquitaniense, mientras que los niveles más altos de esta unidad cartográfica mantiene

una equivalencia lateral con otros niveles bien datados del margen sur de la cuenca (AZANZA, et al. 1988), que pueden atribuirse al Aragoniense medio.

#### **1.1.1.8. Conglomerados (nivel cartográfico 11). Formación Tudela. (Aragoniense).**

Esta unidad aflora al sur de la localidad de Ablitas, desde Ubeta hasta Las Portillas, situándose sus mejores afloramientos al este de El Peñadil y en Cuevas Altas.

Litológicamente esta constituido por un conglomerado de cantos de cuarzo y cuarcita, de unos 3 cm de tamaño medio, algo cementados. Este depósito ortoconglomerático es bastante homogéneo y homométrico con cantos, en general, bien redondeados.

Esta unidad presenta un espesor que no alcanza los 3 metros aunque su representación cartográfica es grande, explotándose en pequeñas canteras para áridos en las cercanías de los principales núcleos de población.

Este conjunto presenta una morfología lenticular, con base erosiva representando etapas de sedimentación canalizada incluidas en una llanura lutítica.

No se ha encontrado fósiles que permitan su datación, no obstante se asocia al Aragoniense al encontrarse incluido estos niveles conglomeráticos, en la base de la serie de las facies Tudela, descritas anteriormente.

## **1.2. CUATERNARIO**

### **1.2.1. PLEISTOCENO**

#### **1.2.1.1. Cantos y gravas con matriz limoso-arenosa (Glacis de cobertera), (niveles cartográficos 15 y 16). Pleistoceno medio-Pleistoceno superior.**

Los glacis de cobertera aparecen con una gran extensión superficial y dentro de ellos se pueden diferenciar dos tipos. Unos son de gran tamaño y se dirigen con dirección SO-NE hacia el río Ebro, ocupando gran parte del cuadrante noroeste de la hoja. Tienen formas palmeadas y alargadas que se abren hacia las zonas más distales y más bajas topográficamente, ofreciendo perfiles longitudinales plano-cóncavos, con cierta convexidad hacia las cabeceras. Se diferencian dos niveles con un cierto grado de encajamiento entre ambos. Los otros glacis presentan menores tamaños y aparecen por el resto de la superficie de la hoja, sirviendo de enlace entre los relieves tabulares del sector este y los fondos de valle. A pesar de su menor desarrollo, tienen gran continuidad lateral y se disponen, a modo de bandas, orlando dichos relieves. Todos ellos se instalan sobre depósitos neógenos, preferentemente arcillosos y

areniscosos con niveles de conglomerados, composición que refleja la naturaleza de los relieves al pie de los cuales se generan.

Litológicamente, los dos tipos de glacis anteriormente descritos también ofrecen sus diferencias. Los primeros están constituidos por conglomerados con gravas de litología variada y muy heterométricas, a veces con bloques de hasta 50 cm y con una potencia que no suele superar los 5 m. En algunos cortes se observan estratificaciones planares y en surco y lentejones de arena. La matriz suele ser limoso-arenosa, bastante abundante y hay importantes encostramientos, sobre todo en los niveles más altos. En cuanto a su edad, por la relación que en esta y otras áreas tienen con los niveles de terraza, pueden considerarse Pleistoceno inferior-Pleistoceno superior. Por su parte, los segundos ofrecen una composición similar pero la textura es muy diferente pues tienen un mayor contenido en finos y el tamaño de los clastos es menor. No suelen estar encostrados, tienen mayor pendiente y su potencia también es inferior. Se les asigna una edad Pleistoceno superior.

#### **1.2.1.2. Gravas, cantos, arenas, arcillas y limos (Terrazas), (niveles cartográficos 17, 18 y 19). Pleistoceno medio-Pleistoceno superior.**

Las terrazas pertenecen al sistema del río Ebro y se localizan en la esquina noreste de la hoja, donde se reconocen hasta cuatro niveles, situados a cotas de: +20-30 m, +30-40 m, +35-45 m y +70-80 m. En general aparecen con un dispositivo de solapamiento o encajamiento, sobre todo en los dos niveles inferiores; no obstante, el nivel más alto, de +70-80 m, situado en el paraje del Caserío de la Dehesa, ofrece un dispositivo diferente, pues sus depósitos se hallan colgados con respecto al cauce actual del río Ebro, pudiendo verse los materiales del sustrato terciario subyacente que aparecen por debajo de los depósitos de gravas.

En general, están formadas por gravas polimícticas con arenas y lutitas en proporción variable. Predominan los clastos redondeados, de naturaleza silíceo (cuarzitas, cuarzo, areniscas, liditas) y carbonatada (Calizas con foraminíferos, dolomías y calcarenitas). Cuando aparecen cementaciones, se presentan como auténticos conglomerados. El tamaño de los clastos es variado y en ocasiones se observan dos modas. En las terrazas altas, aunque el tamaño medio está comprendido entre 10 y 20 cm, se pueden alcanzar dimensiones hasta de 40 cm. En las terrazas bajas la media es inferior, entre 6 y 10 cm, con máximos de 15 cm. Los espesores son muy irregulares, por lo general de 3-5 m, con valores algo superiores en las terrazas altas. Son relativamente frecuentes los cuerpos arenosos con estratificaciones cruzadas de surco. En las gravas, se observan también imbricaciones de cantos y estratificaciones cruzadas. Su edad abarca desde el Pleistoceno medio al Pleistoceno superior.

## **1.2.2. HOLOCENO**

### **1.2.2.1. Limos, arcillas y arenas con cantos y bloques (Coluviones), (nivel cartográfico 21). Holoceno**

Estos depósitos aparecen distribuidos por la superficie de la hoja pero, por lo general, se desarrollan paralelamente a los escarpes o a los ríos y siempre al pie de las laderas, donde adquieren sus formas alargadas y estrechas. Los mejores ejemplos se pueden observar en Ablitas, al pie de La Mesa, en el paraje de Los Salados y, al este, en el Campo del Moro. Se trata de depósitos de poco espesor, en general inferior a 2 m. La constitución litológica de los mismos depende directamente de la naturaleza de los materiales que existan en la parte superior de las laderas. En este caso predominan las lutitas y arenas con cantos y bloques de areniscas, de angulosos a subangulosos, de tamaño muy variable pero casi siempre de orden decimétrico. Por su posición con respecto al relieve y su relación con el resto de los depósitos cuaternarios, se han asignado al Holoceno.

### **1.2.2.2. Lutitas, cantos, gravas y arenas (Fondos de valle), (nivel cartográfico 22). Holoceno.**

Los fondos de valle se desarrollan por toda la superficie de la hoja, cubriendo el fondo de ríos, arroyos y barrancos. Por su génesis, son formas alargadas y estrechas que se adaptan a las principales direcciones de debilidad o a las estructuras dominantes. Los fondos de mayor tamaño pertenecen al río Queiles y a los barrancos del Ginestal y Malpica. En ellos abundan las lutitas grises y ocreas con clastos de diferentes tamaños y litologías, e incluso bloques. En menor medida, también, se observan niveles de arenas. La naturaleza de los clastos varía según la procedencia, pero en esta zona suelen ser de areniscas y calizas. La potencia, casi nunca visible en su totalidad, se estima entre 3 y 5 m. Por su relación con la red fluvial actual, se les supone una edad Holoceno.

### **1.2.2.3. Limos, arenas y cantos (Conos de deyección), (niveles cartográficos 20 y 23). Pleistoceno superior-Holoceno**

Normalmente se presentan en valles secundarios y su génesis se debe a la acumulación de sedimentos, en forma de abanico, allí donde la carga concentrada en arroyos y barrancos llega a zonas más amplias y de menor pendiente. Se trata de formas aisladas de diverso tamaño que a veces pueden aparecer disectadas por procesos posteriores de encajamiento de la red. Los conos están formados por limos y arenas que engloban delgados niveles de cantos. Localmente se observan cementaciones pero muy delgadas y de poca consistencia. La potencia varía dentro del mismo cono, siendo mayor en la zona apical, para adelgazarse hacia la zona distal. Al ser su material transportado por los cauces, la naturaleza de sus componentes dependerá mucho de las litologías del área madre, pero por la posición

que aquí ocupan, puede decirse que proceden de las formaciones lutíticas terciarias y de los grandes glacia.

**1.2.2.4. Arenas y limos con materia orgánica (Fondos endorreicos), (nivel cartográfico 24). Holoceno.**

Se forman en áreas de topografía muy suave y de sustrato impermeable. El único fondo cartografiado es de pequeño tamaño, con forma alargada y bordes ondulados. Se desarrolla sobre un fondo aluvial y se sitúa en el cuadrante noreste, entre la carretera NA-3042 y el paraje de Los Salados. Están constituidas por depósitos finos asociados a áreas de drenaje deficiente en las que se producen encharcamientos. Se trata de arcillas grises y limos con un moderado contenido en materia orgánica y que en general poseen un espesor inferior a 1 m. Ocasionalmente pueden intercalar depósitos más groseros suministrados por aportes fluviales. Por su disposición dentro del relieve actual se han atribuido al Holoceno.

**1.2.2.5. Arcillas, arenas y gravas (Aluvial-coluvial), (nivel cartográfico 25). Holoceno**

Son depósitos poco frecuentes. Se forman en valles amplios, muy poco encajados, en los que resulta difícil delimitar los depósitos de origen fluvial y los procedentes de las laderas. Tienen escasa relevancia en cuanto a su potencia y se adaptan groseramente a la forma de los valles. Algunos ejemplos se encuentran al este de la localidad de Malón y en el Campo de la Sierpe.

Ya que se trata de depósitos muy localizados, su composición presenta escasas variaciones, reflejando la litología del sustrato donde se desarrollan predominantemente en este caso, los términos lutíticos con delgadas hiladas de cantos de calizas y arenisca, así como niveles de arenas. Su espesor, difícil de establecer, debe oscilar entre 2 y 5m. Lógicamente, se les ha asignado la misma edad que a los depósitos de fondo de valle y a los coluviones, es decir, Holoceno.

## 2. TECTÓNICA

La Hoja a escala 1.25.000 de Cascante (320-II) se localiza en el “sector occidental de la cuenca del Ebro”. Esta cuenca constituye un área de sedimentación terciaria de geometría triangular que se comporta como cuenca de antepaís respecto al orógeno pirenaico.

La estructura de Cuenca del Ebro y de las cadenas alpinas que la limitan (Pirineos al N, Cordillera Ibérica al S y Catalánides al E) es el producto de la convergencia de las placas Ibérica y Europea, comenzada hacia finales del Cretácico, y continuando durante buena parte del Terciario, hasta el Mioceno.

Esta compresión entre dichas placas, dio lugar, en la vertiente surpirenaica, a un conjunto de láminas cabalgantes hacia el S., mientras que en el margen contrapuesto, la compresión provoca el cabalgamiento de la Sierra de la Demanda, con un desplazamiento de 20-30 km. hacia el Norte, y de la Sierra de Cameros.

La deformación producida 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.

Tectónicamente, la Cuenca del Ebro está formada por un basamento rígido y una cobertera formada por materiales continentales terciarios plegados, con importantes acumulaciones de evaporitas que facilitan los despegues y los procesos halocinéticos, especialmente en zonas centrales de la cuenca. Esta cobertera ha sufrido el empuje de los cabalgamientos frontales del borde pirenaico en su margen septentrional y del sistema ibérico en su margen meridional, como se puede comprobar en los cuadrantes colindantes de Grávalos (281-II) y Cervera del río Alhama (281-IV)

La colisión de placas finalizó en el Luteciense, durante el Eoceno, momento en el que se produce la denominada Fase Pirenaica, aunque el régimen compresivo continuó hasta el Mioceno.

Con la culminación de esta se produjo el acercamiento definitivo entre las placas Ibérica y Europea. El resultado de esta colisión 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.

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.

En esta zona de la Cuenca, en cuya parte noroccidental, se enmarca la zona de estudio, el plegamiento tuvo lugar en el Mioceno inferior a medio.

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

El resultado del plegamiento en esta zona es un conjunto de pliegues de gran longitud de eje y flancos comparativamente cortos, dispuestos en dirección NO-SE y vergentes al Sur, que definen el denominado Dominio Plegado del Ebro, del cual la Hoja que nos ocupa se sitúa al Sur.

De la información de subsuelo existentes, especialmente líneas sísmicas próximas y el sondeo Marcilla-1, emplazado en la Hoja de Peralta (nº 206-IV), se deduce que los principales anticlinales corresponden a cabalgamientos ciegos hacia el SSO, relacionados con pliegues de crecimiento. Los niveles de despegue están representados por formaciones evaporíticas terciarias, especialmente los Yesos de Falces, bajo los que se encuentra la serie terciaria autóctona en disposición claramente tabular.

A diferencia del Dominio Plegado del Ebro, en toda esta zona situada más hacia el Sur no existen fenómenos tectónicos que hayan afectado a las unidades detríticas miocenas. Únicamente se constata un buzamiento de 2-5º hacia el SSE. Esta ligera inclinación esta propiciada por la disposición sedimentaria y la ubicación regional.

### 3. GEOMORFOLOGÍA

#### 3.1. DESCRIPCIÓN FISIAGRÁFICA

La superficie que aquí se estudia pertenece a la Comunidad Foral de Navarra y gráficamente está representada en la hoja, a escala 1:25.000, de Cascante (320-II), incluida, a su vez en la hoja, a escala 1:50.000, de Tarazona (nº 320). Se localiza en el sector meridional de dicha Comunidad, formando parte de la comarca de La Rioja. La cartografía realizada se limita al territorio navarro, además de a una banda de cortesía de 1 Km, desde el límite regional, y ya perteneciente a la Comunidad Autónoma de Aragón.

La zona se sitúa en la Depresión del Ebro, cuenca sedimentaria de forma triangular que se ha ido rellenando durante el Terciario, y que está limitada al norte por los Pirineos y los Montes Vasco-Cantábricos; al sur, por la Cordillera Ibérica y al este, por la Cordillera Costero-Catalana. Dentro de la cuenca, esta zona se enmarca en el sector suroccidental, denominado Cuenca de La Rioja-Navarra (RIBA et al., 1983) o Cubeta Navarro-Riojana (ORTÍ, 1990) que se caracteriza por un conjunto de sedimentos plegados y modelados con posterioridad por la acción de los agentes externos.

La morfología de la hoja es bastante suave, con una altura media de 350 m, alcanzando la cota más alta en el paraje de Mesa, con 428 m. A pesar de no existir grandes contrastes, se pueden diferenciar tres áreas de características diferentes. La primera de ellas la constituyen un conjunto de glacis o piedemontes que ocupan el sector noroccidental de la hoja. La segunda está definida por terrazas medias y bajas, al noreste de la hoja, pertenecientes al río Ebro. Finalmente, en los sectores central y meridional, se definen una serie de relieves tabulares, más o menos conservados, originados por la diferente competencia de los materiales que forman el sustrato.

La red fluvial se configura alrededor del río Ebro que aunque no presente en la hoja, sí lo está en las contiguas de Tudela (282-IV), por el norte, Fustiñana (283-III), por el noreste, y Cortes (321-I), por el este. Así, todo el conjunto de ríos arroyos y barranco presentes en la hoja, desaguan al Ebro. Hay que destacar, además, el río Queiles, en el sector noroeste, con un recorrido S-N. Le siguen en importancia arroyos y barrancos, distribuidos por el resto de la hoja, como son los de La Cañada, Malpica, del Montecillo y de los Agudillos. Hay que señalar la presencia del Canal de Lodosa que atraviesa el cuadrante noreste de la hoja y una serie de lagunas de carácter antrópico, entre las que destaca la laguna de Lor, que con sus aguas contribuyen a maximizar el sistema de regadío de parte de esta comarca.

Climatológicamente, el área pertenece al tipo Mediterráneo Templado Occidental, caracterizado por lluvias escasas y esporádicas, veranos calurosos e inviernos fríos. Se trata de una zona con escasas precipitaciones y temperaturas altas en verano y muy bajas en invierno. También de importancia es el cierzo, un viento helador en

invierno y moderado en verano que se produce por las diferencias entre las altas presiones del Cantábrico, Europa o la Meseta y las bajas del Mediterráneo. En esta zona, entre el Moncayo y los Pirineos, el cierzo suele soplar con una dirección NO-SE, alcanzando con facilidad los 70 km/h, pudiendo llegar hasta 120 km/h.

Se trata de un territorio medianamente poblado en el que Cascante destaca como principal núcleo urbano, seguido de Ablitas y, a gran distancia, Barillas y Culebra, estos últimos de muy pequeño tamaño.

La agricultura constituye la principal ocupación de sus habitantes, alrededor de la cual se han originado una serie de industrias relacionadas con la alimentación, como son las conserveras, actualmente en desarrollo. También hay que añadir la ganadería de ovino, las explotaciones forestales y el desarrollo del turismo rural, sobre todo en zonas próximas, de gran interés paisajístico, como las Bârdenas Reales.

Las vías de comunicación son buenas, debido a la suave topografía y al auge de la agricultura, poniendo en comunicación los diversos núcleos urbanos entre sí y con los de las hojas adyacentes. Destaca la AP-68 que une Zaragoza con Bilbao y la carretera nacional N-232. El resto de la red viaria se reduce a un entramado de caminos y pistas, muy numerosos, que permiten el acceso a la práctica totalidad de la Hoja.

### 3.2. ANTECEDENTES

Los trabajos de índole geomorfológica, llevados a cabo en este sector de la Depresión del Ebro, son muy escasos. Sin embargo, existen una serie de estudios de carácter general entre los que hay que 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, la mayoría se basan en los depósitos de terrazas y glaciares del río Ebro, destacando los de RIBA y BOMER (1957), GONZALO (1977 y 1979), LERANOZ (1989) y LERANOZ (1990 a) que aborda el endorreísmo del sector meridional navarro. Por su interés neotectónico es preciso señalar la publicación de ATARES et al. (1983), en relación con la existencia de fallas cuaternarias en el área de Alcanadre. Por su relación directa con la zona de estudio, son considerables los trabajos de MENSUA y BIELZA (1974) y LERANOZ (1990 b) centrados en las terrazas y glaciares del curso bajo del río Ega y del río Ebro en el sector navarro.

También es preciso destacar las aportaciones de las hojas geológicas, a escala 1:50.000, correspondientes al Plan MAGNA, especialmente las de Tudela (282), Fustiñana (283), Agreda (319), Tarazona (320) y Tauste (321). Por último, mención aparte merecen las hojas geológicas y geomorfológicas, a escala 1:25.000, realizadas dentro del "Proyecto de actualización e informatización de la cartografía geológica de

Navarra”, llevado a cabo por GOBIERNO DE NAVARRA en años sucesivos, por la gran cantidad de datos aportados y la puesta al día del conocimiento geológico de la región.

### **3.3. ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO**

El estudio morfológico que aquí se realiza ha sido abordado desde dos puntos de vista muy diferentes. El primero considera el relieve como algo estático, es decir, como una consecuencia del sustrato geológico y de la disposición del mismo (estudio morfoestructural) y, el segundo lo hace desde la dinámica que supone la incidencia de los procesos exógenos sobre dicho sustrato (estudio del modelado).

#### **3.3.1. ESTUDIO MORFOESTRUCTURAL**

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

La superficie cartografiada en esta hoja, como se ha señalado con anterioridad, se localiza en la Cuenca de La Rioja-Navarra, y pertenece a la Depresión del Ebro. Dicho sector está caracterizado por una clara influencia de la estructura en el relieve. De acuerdo con los rasgos geológicos regionales, son las rocas sedimentarias del Terciario las que integran el sustrato que posteriormente es modelado por la acción de los agentes externos.

El sustrato terciario, sobre el que se modela el relieve, está constituido por materiales detríticos entre los que predominan las arcillas de colores pardo-rojizos con algunas intercalaciones calcáreas. Como estos sedimentos ofrecen capas con diferente dureza y diferente resistencia a la erosión, se configura un relieve en el que destacan superficies estructurales, más o menos degradadas, escarpes estructurales, resaltes de capas duras y cerros de forma cónica. Son los niveles más competentes los que permiten definir la estructura regional, consistente en una sucesión tabular que pone de manifiesto una serie de amplios y suaves pliegues que definen las grandes estructuras regionales.

Los resaltes poseen una continuidad variable y pueden aparecer como simples escarpes, más o menos pronunciados, aunque siempre inferiores a 100 m de salto. Las superficies estructurales mejor conservadas son las desarrolladas en los parajes de Mugas, Carasol, El Montecillo, Valdecuerva y La Mesa.

#### **3.3.2. ESTUDIO DEL MODELADO**

El relieve de la zona es el resultado de la acción de los procesos externos, tanto erosivos como sedimentarios, sobre la estructura existente al finalizar el Terciario. Dichos procesos tienen diversas génesis: de laderas, fluvial, lacustre, poligénica y antrópica.

### 3.3.2.1. Formas de ladera

Están representadas única y exclusivamente por coluviones. Estas formas aparecen dispersas por toda la superficie de la hoja pero, por lo general, se desarrollan paralelamente a los escarpes o a los ríos y siempre al pie de las laderas, donde adquieren sus características formas alargadas y estrechas. Los mejores ejemplos se pueden observar en Ablitas, al pie de La Mesa, en el paraje de Los Salados y, al este, en el Campo del Moro.

### 3.3.2.2. Formas fluviales y de escorrentía superficial

Las formas fluviales son de carácter sedimentario o erosivo. Las primeras están representadas por fondos de valle, terrazas y conos de deyección. Las segundas son: arroyada en regueros, incisión lineal en "v", aristas en interfluvios y escarpes.

Los fondos de valle se desarrollan por toda la superficie de la hoja, cubriendo el fondo de ríos, arroyos y barrancos, algunos de los cuales desaguan directamente al Ebro. Por su génesis, son formas alargadas y estrechas que se adaptan a las principales direcciones de debilidad o a las estructuras dominantes. Los fondos de mayor tamaño pertenecen al río Queiles y a los barrancos del Ginestal y Malpica.

Las terrazas corresponden todas ellas al sistema del río Ebro y se localizan en la esquina noreste de la hoja, donde se reconocen hasta tres niveles, situados a cotas de: +20-30 m, +30-40 m, +35-45 m y +70-80 m. En general aparecen con un dispositivo de solapamiento o encajamiento, sobre todo en los dos niveles inferiores; no obstante, el nivel más alto, de +70-80 m, situado en el paraje del Caserío de la Dehesa, ofrece un dispositivo diferente pues sus depósitos se hallan colgados con respecto al cauce actual del río Ebro, permitiendo observar los materiales del sustrato terciario subyacente por debajo de sus depósitos de gravas.

Si se consideran las terrazas del Ebro en su conjunto, es decir, tanto las de esta hoja como las de hojas adyacentes, se observan algunos rasgos generales. Por ejemplo, los niveles inferiores son los que alcanzan un mayor desarrollo superficial, siendo los superiores de tamaño más reducido. Sin embargo, todos ellos se disponen de forma escalonada, quedando limitados por escarpes, resultado del proceso de encajamiento de la red fluvial. Así mismo, los escarpes de las terrazas bajas ofrecen mayor continuidad superficial y son más netos y rectos, mientras que los de las terrazas medias y altas tienen una morfología más recortada y, por lo general, son más suaves. Otro de los rasgos de estas terrazas, es su inclinación hacia los cauces principales, fenómeno debido a la proximidad de los relieves, lo que hace que los cursos de agua desciendan con gran pendiente dando formas que a veces podrían incluirse en la denominación de glacis-terrazza.

También se han cartografiado conos de deyección. Estas formas normalmente se presentan en valles secundarios, y su proceso genético se debe a la acumulación de

sedimentos, a modo de abanico, allí donde la carga concentrada en arroyos y barrancos llega a zonas abiertas y de menor pendiente. Se trata, por lo general, de formas aisladas y de diverso tamaño que a veces pueden aparecer disectadas por procesos posteriores de encajamiento de la red.

En cuanto a las formas erosivas cabe decir que son muy frecuentes en esta parte del territorio navarro. El predominio de sedimentos blandos favorece el desarrollo de la incisión en barrancos y la formación de aristas, como se puede observar en la margen norte del río Ebro, sobre los sedimentos del Terciario. También hay procesos de arroyada difusa en algunas laderas sin olvidar los escarpes de terraza formados en el proceso de encajamiento de la red fluvial.

### **3.3.2.3. Formas endorreicas.**

Se forman en áreas de topografía muy suave y de sustrato impermeable. El único fondo cartografiado es de pequeño tamaño, tiene forma alargada y bordes ondulados. Se desarrolla sobre un fondo aluvial y se sitúa en el cuadrante noreste, entre la carretera NA-3042 y el paraje de Los Salados.

### **3.3.2.4. Formas poligénicas**

Se trata de formas con una importante representación superficial y, merced a las características topográficas, litológicas y climáticas de la región, pueden ser de dos tipos: como glacis de cobertera y depósitos de aluvial-coluvial.

Los glacis de cobertera aparecen con una gran extensión superficial y se presentan de dos maneras diferentes. En primer lugar existen unos glacis de gran tamaño que se dirigen hacia el río Ebro, ocupando gran parte del cuadrante noroeste de la hoja. Tienen formas palmeadas y alargadas que se abren hacia las zonas más bajas topográficamente, ofreciendo perfiles longitudinales plano-cóncavos, con cierta convexidad hacia la cabecera. Se reconocen dos niveles con un cierto grado de encajamiento entre ambos. El otro tipo de glacis se caracteriza por ser de menor tamaño, originarse en el resto de la superficie de la hoja, y servir de enlace entre los relieves tabulares y los fondos de valle. A pesar de su menor desarrollo, tienen gran continuidad lateral y se presentan a modo de bandas, orlando dichos relieves.

Por lo que se refiere a los depósitos de origen aluvial-coluvial, cabe decir que son poco frecuentes. Se forman en valles amplios, muy poco encajados y en los que resulta difícil delimitar los depósitos de origen fluvial y los procedentes de las vertientes. Tienen escasa relevancia en cuanto a su potencia, y se adaptan groseramente a la forma de los valles. Algunos ejemplos se encuentran al este de la localidad de Malón y en el Campo de la Sierpe.

### 3.3.2.5. Formas antrópicas

La actividad antrópica constituye una faceta de interés en la zona y se centra, fundamentalmente, en el sector agropecuario y en las explotaciones. En la hoja de Cascante solamente se han significado una canteras y algunas lagunas, entre las que destaca la Laguna de Lor.

## 3.4. FORMACIONES SUPERFICIALES

Se consideran como formaciones superficiales todas aquellas formas con depósito, consolidado o no, o que pueden sufrir una consolidación posterior y que están relacionadas con el relieve que se observa en la actualidad (GOY el al., 1981). La principal característica es su cartografiabilidad y se definen por una serie de atributos como litología, geometría, textura, potencia, tamaño, génesis y cronología, siempre que sea posible.

En la hoja de Cascante, las formaciones superficiales existentes son: de ladera, fluviales, lacustres y poligénicas. Las de ladera están constituidas exclusivamente por los coluviones, caracterizados por depósitos de poco espesor, en general inferior a 2 m y distribuidos irregularmente por la superficie de la hoja. Su situación, al pie de las laderas, suele ponerlas en contacto con los fondos de valle con los que, a veces, interdentan sus depósitos. La constitución litológica de los mismos depende directamente de la naturaleza de los materiales existentes en la parte alta de las laderas. En el caso de esta hoja, predominan las lutitas y arenas con cantos y bloques de areniscas, de angulosos a subangulosos, de tamaño muy variable pero casi siempre de orden decimétrico. Por su posición con respecto al relieve y su relación con el resto de los depósitos cuaternarios, se han asignado al Holoceno.

Entre las formaciones superficiales de carácter fluvial, las terrazas son las que alcanzan mayor desarrollo y por ello se describen en primer lugar. La litología que las caracteriza es muy similar en todas ellas, si bien la granulometría y el grado de cementación por carbonatos ofrecen ligeras variaciones. En general, están formadas por gravas polimícticas con arenas y lutitas en proporción variable, predominando los clastos redondeados, de naturaleza silíceo (cuarzitas, cuarzo, areniscas, liditas) y carbonatada (Calizas con foraminíferos, dolomías y calcarenitas). Cuando aparecen cementaciones, se presentan como auténticos conglomerados. El tamaño de los clastos es variado y en ocasiones se observan dos modas. En las terrazas altas, aunque el tamaño medio está comprendido entre 10 y 20 cm, se pueden alcanzar dimensiones hasta de 40 cm. En las terrazas bajas la media es inferior, entre 6 y 10 cm, con máximos de 15 cm. Los espesores son muy irregulares, por lo general de 3-5 m, con valores algo superiores en las terrazas altas. Son relativamente frecuentes los cuerpos arenosos con estratificaciones cruzadas de surco. En las gravas, se observan también imbricaciones de cantos y estratificaciones cruzadas. Su edad abarca desde el Pleistoceno medio al Pleistoceno superior.

Le siguen los fondos de valle, constituidos por los depósitos que deja el agua en valles, vaguadas y barrancos. Tienen formas alargadas y estrechas y se adaptan a la estructura de la red drenaje. En ellos predominan las lutitas grises y ocre con clastos, de diferentes tamaños y naturaleza, incluso bloques. En menor medida, también, se observan niveles de arenas. La naturaleza de los clastos varía según la procedencia, pero en esta zona suelen ser de areniscas y calizas. La potencia, casi nunca visible en su totalidad, se estima entre 3 y 5 m. Por su relación con la red fluvial actual, se les supone una edad Holoceno.

También a este grupo pertenecen los conos de deyección, formados por limos y arenas que engloban delgados niveles de cantos. Localmente se observan cementaciones pero muy delgadas y de muy poca consistencia. La potencia varía dentro del mismo cono, siendo mayor en la zona apical, para adelgazarse hacia la zona distal. Al ser su material transportado por los cauces, la naturaleza de sus componentes dependerá mucho de las litologías del área madre, pero por la posición que aquí ocupan, puede decirse que proceden de las formaciones lutíticas terciarias y de los grandes glaciares.

Las formaciones superficiales de origen endorreico son de escasa importancia y están constituidas por depósitos finos asociados a áreas de drenaje deficiente en las que se producen encharcamientos. Se trata de arcillas grises y limos con un moderado contenido en materia orgánica y que en general poseen un espesor inferior a 1 m. Ocasionalmente pueden intercalar depósitos más groseros suministrados por aportes fluviales. Por su disposición dentro del relieve actual se han atribuido al Holoceno.

Finalmente se describen las formaciones superficiales de origen poligénico, integradas por glaciares y aluviales-coluviales. Los glaciares han sido definidos como glaciares de cobertera y están desarrollados sobre depósitos neógenos, preferentemente arcillosos y areniscosos con niveles de conglomerados, composición que refleja la naturaleza de los relieves al pie de los cuales se generan. Dentro de ellos se pueden diferenciar dos tipos, los grandes glaciares y los glaciares situados al pie de las laderas. Los primeros se presentan en dos niveles y están constituidos por conglomerados con gravas de litología variada y muy heterométricas, a veces con bloques de hasta 50 cm y con una potencia que no suele superar los 5 m. En algunos cortes se observan estratificaciones planares y en surco y lentejones de arena. La matriz suele ser limoso-arenosa, bastante abundante y hay importantes encostramientos, sobre todo en los niveles más altos. En cuanto a su edad, por la relación que en esta y otras áreas tienen con los niveles de terraza, pueden considerarse Pleistoceno inferior-Pleistoceno superior. Por su parte, los glaciares situados al pie de las laderas ofrecen una composición similar pero la textura es muy diferente por su mayor contenido en finos y porque el tamaño de los clastos es inferior. Además, no suelen estar encostrados, tienen mayor pendiente y su potencia es considerablemente menor. Se les asigna una edad Pleistoceno superior, no pareciendo que puedan ser más antiguos.

Los aluviales-coluviales son depósitos de origen mixto, característicos de valles poco encajados, en los que resulta extremadamente difícil discriminar entre la parte

derivada de una génesis fluvial y la que posee un origen gravitacional. Ya que se trata de depósitos muy localizados, su composición presenta escasas variaciones, reflejando, en cualquier caso, la del sustrato donde se desarrollan, por ello predominan los términos lutíticos con delgadas hiladas de cantos de calizas y arenisca, así como niveles de arenas. Su espesor, difícil de establecer, debe oscilar entre 2 y 5m. Lógicamente, se les ha asignado la misma edad que a los depósitos de fondo de valle y a los coluviones, es decir, Holoceno.

### 3.5. EVOLUCIÓN DINÁMICA

La evolución geomorfológica de un determinado sector de la geografía es difícil de analizar si no se integra en un contexto regional más amplio, por ello se debe considerar esta hoja de Tudela en el ámbito de la Depresión del Ebro, y más concretamente en su sector suroccidental conocido como Cuenca de La Rioja.

En zonas relativamente cercanas se habla de la existencia de superficies de erosión claramente encajadas en otras superficies más antiguas que afectan a los sistemas montañosos que bordean la cuenca del Ebro y, aunque poco puede precisarse sobre el modelado finineógeno en esta zona debido a la ausencia de depósitos del intervalo Mioceno superior-Plioceno, parece probable la pertenencia de aquéllas, las más recientes, al Cuaternario. Estas superficies constituirían el nivel de arranque del encajamiento de la red fluvial y por tanto, el inicio del desmantelamiento del relieve finiterciario. En la hoja de Cascante no se observa huella ninguna de estas superficies pero se considera que el proceso de vaciado se inició a comienzos del Cuaternario, conducido por los agentes externos.

Dentro del Cuaternario, el episodio sedimentario más antiguo está representado por una serie de grandes glacia, procedentes de los relieves y que con una dirección So-NE se dirigen hacia los valles. Se les ha asignado una edad Pleistoceno y se pueden observar con un magnífico desarrollo en las contiguas hojas de Cintruénigo (282-I) y Murillo de las Limas (282-II) y Tudela (283-IV) siendo su resultado morfológico, una superficie ligeramente inclinada hacia el valle del Ebro. Estos glacia representan el primer encajamiento de la red fluvial, principal agente modelador de la zona, y que a su vez lleva aparejados una serie de procesos denudativos y sedimentarios que dan como resultado la formación de terrazas. A su vez, la erosión incisiva de la red, acompañada por el retroceso de las laderas, ha favorecido, sin lugar a dudas, los procesos gravitacionales.

En el Holoceno, la dinámica fluvial ha seguido gozando de una gran preponderancia en el modelado de la región, tanto por la acción llevada a cabo en los fondos de los valles, como por la ejercida en las laderas. En cuanto a los depósitos de las mismas, permanecen conservados en forma de coluviones. Localmente, las deficiencias en el drenaje han permitido la instalación de áreas endorreicas y la acción humana, la acumulación de materiales antrópicos, si bien en ambos casos se trata de procesos de poca envergadura

La influencia del sustrato también ha sido puesta de manifiesto por la profusión de superficies estructurales, escarpes, mesas y cerros cónicos que la erosión ha modelado y que constituyen elementos inseparables del paisaje actual en la región.

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

La morfología de la hoja de Cascante (320-II) es debida fundamentalmente a dos factores, la estructura del sustrato y la acciones erosiva y sedimentaria desarrollada durante el Terciario y el Cuaternario, en su mayor parte encabezadas por la dinámica fluvial.

En general, la red de drenaje se instala mediante procesos de incisión, muy evidentes en las zonas más abruptas. Estos procesos van acompañados por un retroceso de las laderas y el desarrollo de cárcavas. Según las observaciones realizadas sobre la intensidad de dichos procesos, la previsible evolución del relieve, a corto plazo, no sugiere modificaciones importantes en relación con los procesos actuales, a excepción de la región de Las Bardenas, en la contigua hoja de Tudela. Por lo tanto, la tendencia general es la de una aproximación muy lenta del relieve al nivel de base local, marcado por el río Ebro, hasta llegar a una regularización de las vertientes.

Por otra parte, en las áreas más llanas y donde afloren materiales blandos se acentuarán las tendencias endorreicas, no alcanzando nunca una magnitud importante.

Finalmente, la diferente resistencia a la erosión de algunos niveles podría, localmente, acentuar la presencia de los niveles más duros.

## 4. HISTORIA GEOLÓGICA

La Hoja a escala 1:25.000 de Cascante, se sitúa en el centro de la Depresión del Ebro, y dentro de esta, se ubica en la denominada Cuenca Navarro-Riojana (SALVANY, 1989) que constituye una subcuenca de la cuenca del Ebro.

Teniendo en cuenta las distintas unidades caracterizadas en esta Hoja y las hojas limítrofes, en este apartado se va a tratar de ajustar una síntesis paleogeográfica y evolutiva que de idea de la historia geológica de esta zona.

La depresión del Ebro es una de las grandes cuencas terciarias peninsulares junto con las cuencas del Duero y la del Guadalquivir. La evolución paleogeográfica de la cuenca del Ebro, en la época terciaria, estuvo controlada por el régimen tectónico, manteniéndose activa desde el Paleoceno hasta el Mioceno terminal. Esta actividad tectónica varia la configuración geográfica a lo largo del tiempo en función del levantamiento de las cordilleras limítrofes: Pirineos al Norte, la Ibérica al Sur y las Catalánides hacia el Este. De todas estas cordilleras; la mayor influencia en la paleogeografía de la Depresión del Ebro se debe al levantamiento de la Cadena Pirenaica, que se ha levantado cabalgando los depósitos terciarios. Respecto a esta cadena, la Depresión del Ebro se comporta como cuenca de antepaís meridional a lo largo del Terciario.

La compresión se inicia en el Cretácico Superior en las zonas más orientales de la cuenca, desplazándose hacia el Oeste progresivamente.

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 Pirenaica. La depresión del Ebro se convierte en una cuenca endorreica que registra un importante acumulo de materiales continentales aluviales y lacustres, situación que se mantiene hasta bien entrado el Mioceno. La interrupción de la comunicación con el mar marca el inicio del Oligoceno, a partir del cual se generaliza la sedimentación continental en la Cuenca, situación que se mantiene hasta la actualidad.

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.

Durante los inicios del el Oligoceno superior, en esta zona de la Cuenca del Ebro, la sedimentación se concreta 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 áreas próximas.

La Hoja de Cascante sitúa en el sector central de la cuenca del Ebro y está representada por materiales terciarios y cuaternarios de origen continental. La historia geológica de estas hojas que se desarrolla a continuación se establece de acuerdo con los datos obtenidos en la Hoja y con los del entorno próximo (Hojas de Tudela y Fustiñana).

En el tránsito entre el Oligoceno Superior y el Mioceno Inferior 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, formada por alternancia de ciclos evaporíticos, (Alcanadre, facies yesíferas de Peralta y Sesma, y Yesos de Los Arcos), y ciclos de carácter detríticos (facies detríticas de Peralta, Sesma y Arcillas de Villafranca):

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 acontecen episodios algo similares a finales del Paleógeno y comienzos del Mioceno en la Fm. Lerín, que incluye a veces desarrollos evaporíticos importantes.

Los materiales terciarios que aparecen son de edad Mioceno y representan los últimos episodios del relleno de la cuenca de antepaís Surpirenaica, o cuenca del Ebro mediante episodios de propagación aluvial. Este desarrollo aluvial esta representado, desde el oeste ibérico, por la Fc. Fitero, formado por facies proximales, que agrupa el conjunto de materiales aluviales y fluviales desarrollados en el margen ibérico de la cuenca navarro-riojana durante el Mioceno inferior, la facies Cascante, que constituye una unidad detrítica que representa las facies intermedias de los abanicos, y por

último, dos formaciones litoestratigráficas, la Fm. Alfaro y la Fm. Tudela, de carácter aluvial y lacustre respectivamente. Ambas formaciones son equivalentes lateralmente y constituyen los depósitos más distales de estos abanicos.

Estos depósitos se corresponden con dos sistemas aluviales contemporáneos (sistem stack); uno de procedencia N (Ujué - Tudela) y otro de procedencia Sur (Fitero - Tudela); ambos de carácter "stream dominated" (abanicos aluviales húmedos, sensu SCHUUM, 1977) que desembocan en una cuenca lacustre de tipo perenne. Se apoyan discordantemente sobre las unidades anteriores (discordancia fini-Oligocena).

Durante este período, 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 y Facies Las Bardenas) y más claramente de manifiesto durante el Mioceno, en las Sierras de San Pedro-Peña situadas más al Norte de la Hoja.

La sedimentación de la Fm Alfaro y Tudela, y sus equivalentes, Fm. Olite y Miranda de Arga, se localizan por toda la zona y fuera ya de ella en los sinclinales de Miranda de Arga y en la continuación hacia el Oeste del de Peralta. Hacia el Oeste, se expande la Unidad de Olite, estando representada por facies aluviales distales. Esta, se acuña hacia el Sur por su disposición en *on lap* y por tránsito en vertical a las Unidades 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 más 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 sobre las Facies de Las Bardenas.

En esta zona del Ebro, los depósitos de atribución correlativa están integrados por las Fms. Fitero, Cascante y Alfaro, que en esta zona están representados por lutitas rojas y ocre con intercalaciones de canales de conglomerados (equivalente de la Fm. Cascante) y la Fm. Tudela por depósitos arcillosos con intercalaciones calcáreas.

La estructuración de este borde de la Cuenca del Ebro, acontece durante el Mioceno inferior-medio y se articula en una serie monoclinial, en clara discordancia progresiva de dirección NNO-SSE y vergencia al Suroeste y Sur como resultado de la última etapa importante de compresión pirenaica.

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 anticlinal de Falces y el sinclinal de Peralta y en definitiva de la compartimentación incipiente en la zona a favor de los surcos sinclinales.

El origen del plegamiento está relacionado con alguna de las fases de compresión pirenaica, pero su posterior evolución debe relacionarse también con la plasticidad de las evaporitas que se presentan en el núcleo, principalmente, y flancos de las estructuras anticlinales. Este hecho se fundamenta en las estructuras observadas en los distintos cortes a través de los anticlinales de Falces y Arguedas, fuera de la zona de estudio, donde se puede apreciar que las estructuras que presentan los yesos son totalmente diapíricas.

Por último cabe destacar que según estudios recientes, el principio del exorreísmo en la cuenca debió producirse en un momento próximo al Mioceno superior y como muy tarde en el 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 Cascante (320-II), se han inventariado 18 indicios mineros, todos ellos de minerales y rocas industriales.

#### **5.1.1. MINERALES Y ROCAS INDUSTRIALES.**

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

En este cuadrante 320-II se localizan 2 indicios de gravas abandonados.

Son antiguas canteras de dimensiones variables que se distribuyen en su totalidad en el valle del Ebro, beneficiando depósitos clásticos de las terrazas.

Litológicamente corresponden a gravas heterométricas de cantos bien rodados con contenidos variables en matriz arenosa y arenoso-limosa. El tamaño de los cantos varía entre 2 y 20 cm. y corresponden mayoritariamente a calizas del Terciario y Mesozoico, y en menor medida a cuarcitas y areniscas.

La potencia de los niveles de terrazas es normalmente de orden métrico a decamétrico, si bien puntualmente pueden alcanzar espesores mayores.

Presentan frentes de explotación de altura variable, en ocasiones de varias decenas de m con alturas comprendidas entre 3 y 10.

##### **5.1.1.2. Arcillas especiales**

Los indicios de arcillas especiales existentes en la Hoja de Cascante, 5 en total, se localizan en los alrededores de Ablitas.

Se trata de indicios considerado como arcillas especiales, por su alto contenido en smectita (montmorillonita) y sepiolita. Beneficia arcillas de la Fm Alfaro, compuestas por arcillas rojas y ocre con variable presencia de calcita, SiO<sub>2</sub> y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

En estudios realizados por el Gobierno de Navarra para la localización de nuevas canteras de arcillas en esta zona de Tudela (1999), se ha puesto de manifiesto que las unidades arcillosas de la Formación Alfaro presentan interés para su aprovechamiento cerámico.

### 5.1.1.3. Yeso

Son 10 indicios, explotados como alabastro o como yeso.

La formación en la que se encuentran los yesos, denominada Fm. Yesos de Monteagudo, está integrada por un conjunto masivo de yesos cuyo espesor oscila entre 20 y 25 m, en el que son frecuentes los nódulos de sílex; posee morfología tabular, observándose ligeros buzamientos hacia el sureste (2-4°). Su límite inferior está constituido por una unidad arcillosa rojiza con intercalaciones de niveles de arenisca y yeso micronodular (Fm. Alfaro); por lo que respecta al límite superior, coincide con una nueva unidad arcillosa de tonos rojos con intercalaciones de calizas con nódulos de sílex (Fm. Tudela).

Se observan niveles de yeso masivo primario, con señales de bioturbación e inclusiones de carbonato, en los cuales se encuentran englobados nódulos de yeso secundario de tipo alabastrino; su origen se relaciona con núcleos de deshidritación del depósito yesífero, posteriormente hidratados y transformados en yeso secundario. Los nódulos son de gran tamaño y pueden alcanzar 1,5 m, estando incluidos en una matriz de tipo nodular pero de tamaño menor. Predomina el color blanco, observándose tonalidades verdosas.

Los análisis químicos efectuados sobre muestras recogidas en canteras próximas a Ablitas han señalado la siguiente composición para el alabastro: Ca (23,22%), SO<sub>4</sub> (55,02%), H<sub>2</sub>O (20,48%) y MgO (0,078%). Por lo que respecta a la composición mineralógica, se ha determinado la presencia de yeso (SO<sub>4</sub>Ca 2H<sub>2</sub>O), basanita (2SO<sub>4</sub>Ca H<sub>2</sub>O) y anhidrita (SO<sub>4</sub>Ca).

La Fm. Yesos de Monteagudo ha sido intensamente explotada en el pasado, centrándose las extracciones en los niveles de yeso alabastrino. La calidad del alabastro se puede considerar buena, mostrando una gran uniformidad y tonalidades blancas, si bien es poco translúcido.

## 5.2. HIDROGEOLOGIA

### 5.2.1. INTRODUCCIÓN

En este apartado se describen las características hidrogeológicas de las distintas unidades de la Hoja a escala 1:25.000 n° 320-II correspondiente a Cascante, y se establecen las características hidrogeológicas de distintas unidades acuíferas que aparecen.

## 5.2.2. DESCRIPCIÓN DE LAS FORMACIONES

A continuación se describen las principales características hidrogeológicas de las distintas unidades cartográficas que aparecen en la Hoja, agrupadas en función de sus características litológicas, geométricas y de permeabilidad.

- Fc. Cascante. Arcillas con areniscas y conglomerados.

Las distintas unidades que forman la Fc. Cascante están compuestas principalmente por areniscas, arcillas y niveles de conglomerados. Las areniscas, presentan tonos pardos y rojos de naturaleza cuarcítica, calcárea y de fragmentos de rocas, con cemento calcáreo, fundamentalmente de grano medio, con numerosos clastos dispersos o formando niveles.

Las arcillas son de carácter limoso y los conglomerados son de naturaleza muy variada: silícica, pizarras paleozoicas, calizas y areniscas mesozoicas, con matriz arenosa poco compacta y estratificación poco marcada se de tonos rojos con gran cantidad de limos.

El espesor de este conjunto se ha establecido en el centenar de metros, aunque es muy difícil de establecer debido a sus relaciones estratigráficas con los otros niveles de los que se considera cambio lateral de facies.

La permeabilidad de este conjunto es media a baja. Mayor en los niveles calcáreos poco cementados y muy baja o nula en los niveles mas arcillosos.

- Fc.. Alfaro y Tudela. Mioceno inferior a medio

Las Fc. Alfaro y Tudela, en sus distintos niveles están formada por una potente series de arcillas rojizas, en las que se intercalan niveles de areniscas, en el caso de la facies Alfaro y calizas margosas, en el caso de la facies Tudela. Se disponen de forma discordante sobre la Fm. Lerín mediante un contacto truncacional y erosivo.

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

- Formaciones cuaternarias de alta permeabilidad

Se agrupan en esta apartado las formaciones permeables del Cuaternario que litológicamente corresponden a depósitos de gravas y arenas que pueden contener términos lutíticos en proporciones menores.

Su origen está ligado principalmente a la dinámica fluvial de los principales ríos Ebro, Arba de Biel, Queiles y Huecha. Las terrazas medias y bajas se desarrollan de forma escalonada ocupando extensas superficies junto con otros materiales clásticos de génesis fluvial, y las terrazas altas algo más aisladas, desconectadas parcialmente del cauce actual.

La potencia de estos depósitos es por lo general de orden métrico (1-20 m) aunque pueden registrarse localmente valores mayores sobre substratos yesíferos colapsados.

La permeabilidad es alta, al menos para los niveles bajos y medios, por porosidad intergranular dada su granulometría grosera, escasez de matriz lutítica y poca o nula cementación.

#### Formaciones cuaternarias de media y baja permeabilidad

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

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

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

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

### **5.2.3. UNIDADES ACUÍFERAS**

A continuación se describen las Unidades Hidrogeológicas que albergan formaciones geológicas susceptibles de almacenar y transmitir el agua, y por lo tanto capaces de constituir acuíferos. Se trata de dos unidades acuíferas, definidas en el Proyecto Hidrogeológico desarrollado entre 1975 y 1977 por la Diputación Foral de Navarra (D.F.N.).

Por orden cronoestratigráfico son:

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

Aun que el funcionamiento de estas dos unidades es independiente, localmente pueden presentar algunas conexiones. Sus principales características hidrogeológicas son las siguientes:

#### **5.2.3.1. Unidad Hidrogeológica Sur**

- Geometría

La Hoja de Cascante (320-II) se localiza en el sector central de la Cuenca del Ebro, donde predominan las facies lutíticas de origen aluvial y las formaciones evaporíticas lacustres, por lo que constituyen un conjunto bastante impermeable. Dentro de la Cuenca del Ebro, la Unidad Hidrogeológica Sur está representada por los materiales terciarios de relleno de la Cuenca del Ebro en condiciones endorreicas.

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

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

Por lo que se refiere a las unidades evaporíticas, estas pueden presentar potencias de hasta cerca de 1000 m (Fm. Falces), según se deduce de datos de sondeos, aunque normalmente forman en superficie intervalos yesíferos muy expansivos de unos 50 a 200 m de potencia, (Yesos de Sesma y de Los Arcos básicamente), intercalados en facies lutíticas (Fm. Lerín). En el subsuelo aparecen como una alternancia entre anhidritas y halita con intercalaciones de lutitas y carbonatos, comportándose como formaciones salinas de muy baja permeabilidad.

La circulación de agua se circunscribe a las zonas superficiales donde la karstificación de los yesos alcanza, en la Hojas 243 y 244, profundidades máximas del orden de algunos metros, ya que normalmente se encuentran intercalados niveles arcillosos que impiden la circulación del agua, como es el caso de la Unidad Yesos de Los Arcos.

- 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.

Los horizontes de calizas de mayor potencia (2-3 m de espesor máximo, en las Calizas de la Fm. Tudela) pueden albergar agua y permitir su circulación través de fracturas.

En los principales niveles evaporíticos, la permeabilidad se origina en los niveles superficiales por karstificación de los yesos, lo que puede dar lugar, en ocasiones, a manantiales salinos, pero muy superficiales y de escasa entidad

En todos los 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.

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

### **5.2.3.2. Unidad Hidrogeológica Aluvial del Ebro y Afluentes**

- Geometría

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

En la parte correspondiente a la Ribera de Navarra se extiende desde Viana hasta Cortes de Navarra y ocupa una superficie de unos 900 km<sup>2</sup>, de los que 735 km<sup>2</sup> pertenecen a Navarra.

En la presente Hoja, comprende los acuíferos cuaternarios ligados al curso del Ebro. En esta Unidad, los niveles acuíferos aparecen relacionados con depósitos de arenas y gravas de cantos heterométricos, y registran una escasa o nula cementación, normalmente intercalados en materiales limosos y arcillosos, correspondientes

esencialmente a llanuras de inundación y terrazas bajas de los ríos Arga, Aragón y Ebro.

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

- Funcionamiento hidrogeológico.

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

La recarga se realiza esencialmente por infiltración del agua de lluvia (estimada para la Unidad en unos 45 hm<sup>3</sup>/año) y de los excedentes de los riegos (unos 90 hm<sup>3</sup>/año) y, en menor medida, por escorrentía de las aguas procedentes de los relieves circundantes o transmitidas por otros acuíferos e inundaciones estacionales por desbordamientos de los ríos.

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

La piezometría del sistema está predominantemente influida por los ríos, presentando oscilaciones de nivel del orden de unos 4 m. En general se establece una buena conexión río-acuífero, con niveles altos en primavera-invierno y bajos en verano. Localmente se distinguen zonas de conexión hidráulica deficiente, con oscilaciones de nivel de unos 2 m.

La piezometría está directamente condicionada en estos casos por los retornos de los riegos, observándose un comportamiento inverso al general, con niveles altos en verano y bajos en primavera-invierno. El gradiente hidráulico oscila entre 2 y 0,05 %.

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

- Parámetros hidráulicos

Se han recopilado los datos existentes en el libro de "Las aguas subterráneas en Navarra" (D.F.N., 1975-77). En el marco de este proyecto se realizaron ensayos que proporcionaron para el aluvial del Aragón unos valores de transmisividad comprendidos entre 3.000 y 100 m<sup>2</sup>/día, siendo muy frecuentes los registros de 300-

500 m<sup>2</sup>/día, mientras que para el Arga se cifra en unos 100-500 m<sup>2</sup>/día. La porosidad eficaz es de un 10-30 %.

Las aguas del acuífero del Aragón muestran una composición muy poco variable, son netamente bicarbonatadas cálcicas registrando una dureza media y mineralización alta. En el Arga se trata de aguas bastante duras y mineralizadas, de carácter clorurado sódico.

### 5.2.3.3. MANANTIALES

Los manantiales inventariados son los siguientes:

<b>CODIGO</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>TIPO</b>	<b>CUENCA</b>	<b>SUBCUENCA</b>	<b>MUNICIPIO</b>
530	TEJERIA	Manantial	EBRO	EBRO	RIBAFORADA
545	GUACHAL	Manantial	EBRO	QUEILES	MONTEAGUDO
546	SOTO	Manantial	EBRO	QUEILES	TULEBRAS
547	MOLINO	Manantial	EBRO	QUEILES	TULEBRAS
548	PEDRO MOLLER	Manantial	EBRO	QUEILES	ABLITAS
549	LA FUENTE	Manantial	EBRO	QUEILES	ABLITAS
12487	PUEBLO	Manantial	EBRO	QUEILES	TULEBRAS

## 5.3. GEOTECNIA

### 5.3.1. INTRODUCCIÓN

En este apartado se describe la cartografía geotécnica de la Hoja a escala 1:25.000 n° 320-II correspondiente a Cascante, y se establecen las características geomecánicas de los materiales que la componen.

Esta caracterización geotécnica se ha realizado en función de la disponibilidad de datos geotécnicos que se han podido recopilar en obras y proyectos. En el caso de no disponer de esta información, se efectúa una valoración geotécnica según las características litológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas de los materiales.

El objetivo de este trabajo es proporcionar al usuario una información geotécnica de carácter general, pero lo suficientemente objetiva como para permitir la toma de posturas iniciales en temas de ordenación del territorio, o prever problemas en el planteamiento y diseño de campañas geotécnicas puntuales.

### 5.3.2. METODOLOGÍA

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

- Recopilación de los datos existentes: Dado que en la Hoja no se han podido recoger datos procedentes de obras y proyectos, realizados en Navarra por

organismos públicos y empresas privadas, se ha acudido a las hojas contiguas donde existen datos geotécnicos sobre las mismas unidades

- Tratamiento de los datos: En esta etapa se trata de establecer, de la manera más adecuada posible la naturaleza actual de la roca, su comportamiento mecánico y/o hidráulico y, la evolución y propiedades de la roca bajo los procesos de meteorización. Los datos recopilados se clasifican en los siguientes grupos:
  1. Identificación; establecen la naturaleza de la roca y su estado natural aparente (granulometría, límites de Atterberg, densidad y humedad, absorción, grado de meteorización).
  2. Clasificación; intentan establecer una idea general del comportamiento de la roca en relación a criterios previamente establecidos. Algunos de estos criterios se fijan en base a resultados de ensayos de resistencia. (Índice de Calidad, resistencia a compresión simple, point load test).
  3. 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, Brasileño).
  4. 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).
- 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). Como se ha señalado con anterioridad, cuando no ha sido posible disponer 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 las Hojas 1:50.000 de Tarazona (320), en el ámbito de este trabajo, se ha dividido, en función de la edad de los materiales, en tres Áreas que presentan una entidad propia y cierta homogeneidad. Posteriormente, estas Áreas han sido divididas a su vez en un total de diez Zonas, siguiendo criterios básicamente litológicos

y morfológicos, ya que son 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 2 cuadrantes de las Hojas 320 (Cuadrantes 320-I y II) son las siguientes:

ÁREA I: Incluye los materiales de carácter yesífero

ÁREA II: Comprende los materiales poco plegados o subhorizontales del Mioceno

ÁREA III: Agrupa todos los depósitos cuaternarios

Estas Áreas se han dividido en las siguientes Zonas:

ÁREA I: ZONA I<sub>1</sub>

ÁREA II: ZONAS III<sub>1</sub>, III<sub>2</sub>, III<sub>3</sub>

ÁREA III: ZONAS IV<sub>1</sub>, IV<sub>2</sub>, IV<sub>3</sub>, IV<sub>4</sub>

En el Cuadro 1 se presenta la correlación entre las Unidades Geológicas cartografiadas y las Zonas Geotécnicas.

UNIDAD CARTOGRÁFICA	ZONACIÓN GEOTÉCNICA	DESCRIPCIÓN
24	III <sub>4</sub>	Áreas endorreicas
21, 25	III <sub>3</sub>	Coluviones y aluvial-coluvial
14, 15, 16, 20, 23	III <sub>2</sub>	Glacis y conos de deyección
17, 18, 19, 22	III <sub>1</sub>	Terrazas, llanura aluvial
4, 12	II <sub>3</sub>	Arcillas
2, 5, 7, 8, 9, 10	II <sub>2</sub>	Arcillas con areniscas, calizas y conglomerados
1, 3, 11, 13	II <sub>1</sub>	Conglomerados
6	I <sub>1</sub>	Yesos

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

### 5.3.3.3. Características geotécnicas

#### 5.3.3.3.1. Introducción

De los materiales que se disponen ensayos, aunque no sea en esta Hoja, se ha realizado una caracterización geomecánica utilizando los criterios que se señalan más adelante. No obstante, la generalización a cada zona de estos valores puntuales 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).

La caracterización geomecánica de los diferentes materiales, se ha realizado con ayuda de los ensayos de laboratorio y de campo. Hay que señalar que el número de ensayos geotécnicos es muy reducido, teniendo en cuenta la extensión de la zona y la diversidad de formaciones existentes, por lo que estos valores deben considerarse como orientativos y en ningún caso pueden sustituir a los ensayos geotécnicos de detalle. Se ha recopilado información de los siguientes ensayos:

- Granulometría. Del análisis granulométrico se ha considerado el contenido de finos que presenta el suelo, es decir, el porcentaje que pasa por el tamiz N° 200 (0.08 mm) de la serie ASTM. Estos datos son utilizados posteriormente en diversas clasificaciones.
- Plasticidad. La clasificación de los suelos cohesivos según su plasticidad se ha efectuado con el límite líquido (WL) y el índice de plasticidad (IP), utilizando la carta de plasticidad de Casagrande.
- Absorción de agua. Permite obtener una idea del grado de meteorización o fisuración por comparación de muestras del mismo material. Está relacionado con la expansividad del terreno.

- Índice de calidad ( $I_Q$ ). Se define como la relación porcentual entre la velocidad de propagación de ondas longitudinales ( $V_L$ ) en testigos cilíndricos de roca y en roca sana (sin fisuras ni huecos). La Figura 6.1 muestra valores medios de  $V_L$  en diferentes tipos de roca en estado sano.

Tipo de rocas	$V_L$ media (m/s)
Gabros	7000
Basaltos	6500 a 7000
Cuarcitas	6000
Granitos	5500 a 6000
Calizas	6000 a 6500
Calizas dolomíticas*	6500 a 7500
Argilitas**	900 a 2600

Fig. 6.1. Velocidades máximas medias de propagación de ondas longitudinales en los principales tipos de rocas. (\* según el contenido en dolomía; \*\* según la estructura y grado de alteración).

En general, la velocidad de propagación está en relación inversa con la porosidad de la roca ( $n$ ). Con el índice de calidad ( $I_Q$ ) y el valor de porosidad ( $n$ ) de la roca, puede determinarse la Densidad de Fisuración, tal y como muestra la Figura 6.2.

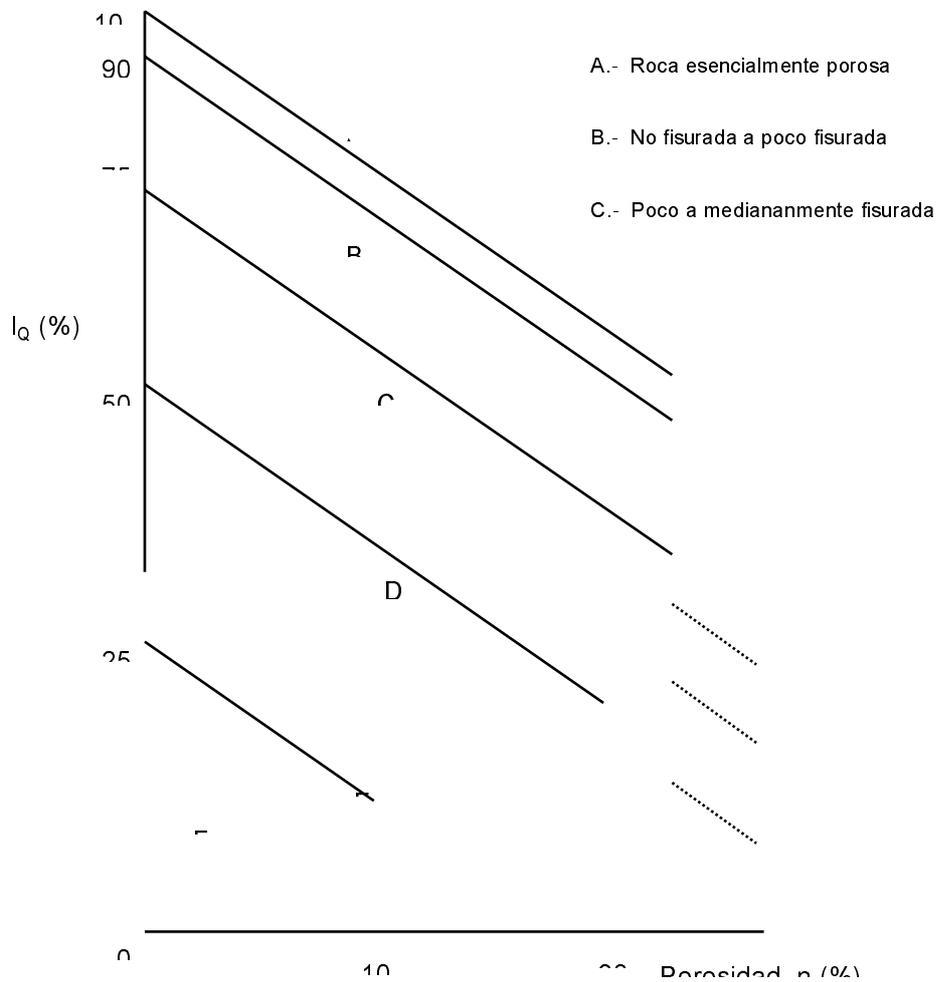


Fig. 6.2. Descripción de la densidad de fisuración de una muestra de roca con ayuda del índice de calidad y la porosidad total. (modificado de FOURMAINTREAU, 1976; en OTEO MAZO, 1978).

- Grado de meteorización. Mediante reconocimientos y descripciones “de visu” se determina el grado de meteorización de las muestras según la siguiente relación:

Grado de meteorización	Denominación
I	Sana

II	Meteorización incipiente (juntas oxidadas)
III	Moderadamente meteorizada
IV	Muy meteorizada
V	Completamente meteorizada

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

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

Igualmente, considerando la resistencia a compresión simple, se puede valorar la consistencia del terreno, de manera cualitativa.

Tensión de rotura a compresión simple en Kp/cm <sup>2</sup>	Consistencia
< 0,25	Muy blando

0,25 a 0,50	Blando
0,50 a 1	Medio
1 a 2	Firme
2 a 4	Muy firme
> 4	Duro

- Ensayo de Carga Puntual ( $I_s$ ,  $Kp/cm^2$ ). Determina la resistencia de una muestra de testigo. Por su facilidad de realización se utiliza en aquellos casos en los que las muestras no reúnen las condiciones necesarias para realizar un ensayo de compresión simple (baja dureza, elevada anisotropía,). Requiere un elevado número de ensayos y un tratamiento estadístico de los mismos para obtener resultados fiables. Generalmente  $I_s$  presenta una buena correlación con el ensayo de resistencia a compresión simple ( $Q_u$ ), mediante la siguiente relación:  $Q_u = f \cdot I_s$ , donde  $f$  es una constante que depende del diámetro del testigo de roca.
- 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. En suelos granulares basta conseguir una alta densidad seca, pero en suelos con finos es preciso controlar también las condiciones humedad. La presencia de agua disminuye la presión intergranular, y actúa como lubricante, facilitando el deslizamiento y giro de las partículas entre sí y su agrupamiento en estructuras más compactas. El resultado es una densidad seca más elevada.
- Ensayo C.B.R. (California Bearing Ratio). Evalúa la capacidad de soporte de los materiales para constituir una explanada, es decir, la resistencia que ofrecen a la deformación bajo cargas. Se utiliza por tanto para el dimensionamiento de firmes. A mayor CBR, mayor es la capacidad de soporte de la explanada. Normalmente se expresa el valor de CBR para el 95 % y 100% de la densidad Proctor.
- Ensayo de tracción indirecta ( $\sigma_{tb}$ ,  $Kp/cm^2$ ). También conocido como "Brasileño", es un ensayo normalizado de tracción más adecuado para clasificar la resistencia de la roca que la resistencia a tracción. La relación entre la resistencia a compresión simple ( $Q_u$ ) y la resistencia a tracción ( $\sigma_{tb}$ ) en el

ensayo brasileño ( $Q_u/\sigma_{tb}$ ) aumenta al hacerlo  $Q_u$ , pudiendo variar de 10 a 15 para  $Q_u < 500 \text{ Kp/cm}^2$ , y de 15 a 25 para resistencias más elevadas. El criterio de clasificación de rocas con rotura frágil a partir de ensayos brasileños es como sigue:

Resistencia	$\sigma_{tb}$ , $\text{Kp/cm}^2$
Muy débil	0-15
Débil	15-35
Media	35-65
Alta	65-100
Muy alta	> 100

- Ensayo de corte directo. Es un ensayo rápido y económico que permite determinar la cohesión (c) y el ángulo de rozamiento interno ( $\phi$ ) de una muestra de roca o discontinuidad. Es de gran aplicación práctica en el cálculo de estabilidad de taludes.
- Ensayo de Molinete. Permite hallar la resistencia al corte en suelos blandos, principalmente arcillas blandas saturadas o suelos orgánicos.
- Módulo de deformación y coeficiente de Poisson. El módulo de deformación se puede obtener en arcillas sobreconsolidadas, utilizando el valor de la resistencia al corte sin drenaje ( $C_u$ ) en la correlación  $E = 130 \times C_u$  definida por Butler. Para el coeficiente de Poisson se podría adoptar un valor entre 0,30 y 0,35, dependiendo de la consistencia blanda o densa.
- Análisis químico. Se han utilizado los datos de contenido en Materia Orgánica, Carbonatos y Sulfatos. Estos últimos permiten determinar la agresividad del terreno mediante el contenido en sulfatos, valorado según la normativa que se expone a continuación:

En las aguas	En el terreno	Agresividad
--------------	---------------	-------------

< 0,03	< 0,2	Débil
0,03 a 0,1	0,2 a 0,5	Fuerte
> 0,1	> 0,5	Muy fuerte

- Ensayo de durabilidad ( $I_D$ ). Mide la resistencia de la roca frente a procesos de meteorización y disgregación como resultado de someter a la muestra a dos ciclos de secado y agitación en un baño de agua. Se obtiene un índice ( $I_D$ ) que muestra la relación porcentual entre el peso seco de la muestra después de dos ciclos y el peso seco antes del ensayo. La durabilidad del material puede relacionarse con el índice de plasticidad ( $I_P$ ) en rocas arcillosas según el cuadro que muestra la Figura 6.3.

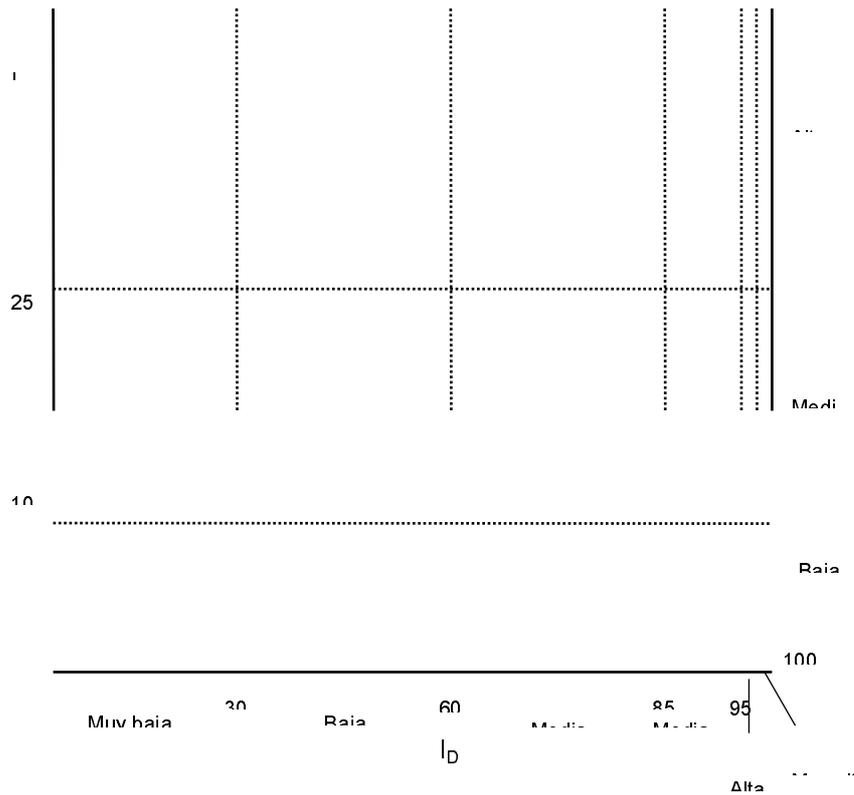


Fig. 6.3. Clasificación de durabilidad-plasticidad en rocas arcillosas propuesta por GAMBLE (ISRM, 1972).

- Análisis de Hinchamiento. Mide el cambio de volumen debido al humedecimiento general de la roca. Normalmente se suele medir la

componente vertical de hinchamiento. Los datos que se poseen sobre la expansividad del terreno están obtenidos a través del ensayo Lambe, que fija el cambio potencial de volumen (C.P.V.) de la manera siguiente:

C.P.V.	Descripción
0 - 2	No crítico
2 - 4	Marginal
4 - 6	Crítico
> 6	Muy crítico

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 para roca poco diaclasada, no meteorizada con estratificación favorable y marcada de 15 Kp/cm<sup>2</sup> y de 30 Kp/cm<sup>2</sup> 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 <sup>2</sup>
Roca ígnea o gnéisica sana	109
Calizas masivas y areniscas duras	44
Esquistos y pizarras	33
Lutitas duras, limolitas y areniscas blandas	22
Lutitas arcillosas	11

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

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

- Excavabilidad. Los terrenos se han clasificado de acuerdo con la Norma Tecnológica de Edificación (Acondicionamiento del Terreno. Desmontes. Vaciados; NTE-ADV, (1976) en los siguientes grupos: 1) Duro. Atacable con máquina o escarificador, pero no con pico, como terrenos de tránsito, rocas descompuestas, tierras muy compactas; 2) Medio. Atacable con el pico, pero no con la pala, como arcillas semicompactas, con o sin gravas o gravillas; 3) Blando. Atacable con la pala, como tierras sueltas, tierra vegetal, arenas. Cuando en la excavación se encuentran mezclados los terrenos se establece el porcentaje de cada uno de los tres tipos.
- Estabilidad. Dos son los parámetros que condicionan estos procesos: litología (y estructura) y pendiente del talud. En consecuencia, en cuanto a la naturaleza de los materiales se evalúa su estabilidad en tres grupos (alta, media y baja), desechándose aquellas unidades geológicas que por su litología no son favorables a la aparición de situaciones de inestabilidad. Por lo que se refiere a la pendiente, se estima una inclinación del 10% como límite inferior a la aparición de estos fenómenos.
- Empujes sobre contenciones. Hacen referencia a contenciones del terreno natural, no de rellenos realizados con los materiales de cada zona.
- Aptitud para préstamos. Se ha utilizado básicamente el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales de la Dirección General de Carreteras (P.P.T.G.). El término No Apto designa suelos inadecuados; Marginal, designa suelos que unas veces son inadecuados y otras tolerables e incluso adecuados; el término Apto, designa suelos tolerables, adecuados e incluso seleccionados.
- Aptitud para explanada en carreteras. Se evalúa la capacidad de soporte de los materiales para constituir una explanada, es decir, la resistencia que ofrecen a la deformación bajo cargas.

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

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

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

- Obras subterráneas. Se utiliza el término "Muy Dificil" para suelos muy blandos por debajo del nivel freático o suelos potencialmente expansivos; "Dificil" 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 cinco parámetros:

- Resistencia de la roca
- RQD
- Separación entre diaclasas
- Presencia de agua
- Disposición de las juntas respecto a la excavación

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

### 5.3.3.3.2. Área I

#### 5.3.3.3.2.1 ZONA I<sub>1</sub>

- Características Geológicas

En esta zona se incluyen todas las unidades predominantemente yesíferas que se corresponden con los Yesos de Monteagudo. Se trata de yesos alternantes con margas, en proporciones variables.

La meteorización en los yesos produce una karstificación por disolución relativamente superficial, aunque en paquetes masivos y de cierto espesor puede ser más penetrativa. Las intercalaciones margosas disminuyen la compacidad natural del conjunto y aumentan su erosionabilidad. El tránsito entre roca sana y alterada es transicional. Su permeabilidad es baja a muy baja

En general, la permeabilidad es baja o muy baja, excepción hecha de los niveles someros karstificados. Localmente la permeabilidad y la propia karstificación pueden estar incentivadas por una fracturación intensa.

- Características geotécnicas

Las características fundamentales de los materiales que constituyen esta Zona son las siguientes: a) la presencia de intercalaciones de margas confiere en muchos casos una acusada heterogeneidad al conjunto, lo que se traduce en un comportamiento mecánico no uniforme; b) la constante presencia de yesos presupone un alto contenido en sulfatos tanto en los suelos como, eventualmente, en las aguas que los drenan y por tanto es de esperar una fuerte agresividad a hormigones; y c) Los fenómenos de disolución y karstificación en yesos, aunque son relativamente superficiales, pueden originar importantes discontinuidades en el subsuelo y dar lugar a fenómenos de colapso del terreno.

- Características constructivas

#### a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN.

La Norma DIN 1054 y el Código Británico establecen presiones admisibles del orden 10-20 kp/cm<sup>2</sup>, 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 5 y 10 kp/cm<sup>2</sup>, valores suficientes para el caso de edificios habituales en los que las cargas proyectadas son inferiores a 3-4 kp/cm<sup>2</sup>. El tipo de cimentación será en general superficial, previa eliminación del horizonte de alteración. Es de

esperar la presencia de asientos diferenciales debido a la intercalación de niveles margosos blandos entre los paquetes de yesos.

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

*Excavabilidad.* Son materiales de dureza media a dura, por lo que en su excavación puede ser preciso el empleo de explosivos, para los paquetes más duros, mientras que para los niveles margosos y arcillosos pueden ser excavados por medios mecánicos.

*Estabilidad de taludes.* Como se puede apreciar en los taludes existentes en la Hoja y en zona alledañas, no se registran fenómenos destacables de inestabilidad en taludes muy inclinados de escasa altura o en cortes naturales de baja a media pendiente. Sin embargo, el riesgo de caída de pequeños bloques y deslizamientos es muy elevado en taludes subverticales de cierta altura, especialmente en las zonas de voladizo por descalce de los niveles lutíticos inferiores, tal como se observa en los farallones labrados por los ríos.

*Empuje sobre contenciones.* No serán necesarias para el caso de las margas, y a considerar para los yesos.

*Aptitud para préstamos.* No son materiales aptos para su uso en terraplenes y pedraplenes salvo tratamiento con aditivos.

*Aptitud para explanada en carreteras.* En general deben constituir suelos aptos para explanadas de tipo E3, aunque se deberán tomar medidas de impermeabilización. Localmente pueden corresponder a suelos marginales, caso en que se procederá a la mejora de la explanada, con adición de suelo más adecuado.

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

**5.3.3.3.3.** Área II

5.3.3.3.3.1 ZONA II<sub>1</sub>

▪ Características Geológicas

La Zona III<sub>1</sub> agrupa los materiales conglomeráticos de Fitero, Cascante y Yerga. Litológicamente, esta constituido por bloques y conglomerados poligénicos, fundamentalmente de calizas mesozoicas, areniscas, cuarzo y cuarcita, muy

heterométricos, cuyo tamaño medio oscila entre 5 y 50 cm, distribuidos en capas de espesor variable, comprendido entre 0,5 y 1,5 m de potencia.

El cemento es calcáreo muy recristalizado.

- Características Geotécnicas

No se dispone de ensayos geotécnicos, si bien, en otras zonas de Navarra, para este tipo de materiales se han realizado ensayos que han proporcionado los siguientes valores:

Cuadro Resumen de Características Geotécnicas (Roca inalterada)

Densidad	2,74 gr/cm <sup>3</sup>
Meteorización	2
R.Q.D.	80-100 %
Resistencia a Compresión Simple (Qu)	1010 Kp/cm <sup>2</sup>
Qu a partir del Point Load Test	1354 Kp/cm <sup>2</sup>
E. Brasileño ( $\sigma_{tb}$ )	79,1 Kp/cm <sup>2</sup>
Cohesión (c)	1,15 T/m <sup>2</sup>
Ángulo de Rozamiento ( $\phi$ )	23,2° (51 %)

Destacan los altos valores de resistencia obtenidos en el Ensayo de Compresión Simple y en el de Carga Puntual. Según la terminología de la ISRM, la resistencia a compresión simple será alta (>800 Kp/cm<sup>2</sup>) en los horizontes inalterados de areniscas y conglomerados y baja en los niveles limolítico-arcillosos (60-200 Kp/cm<sup>2</sup>).

- Características constructivas

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN.

El Código de Práctica Británico establece cargas admisibles de 44 Kp/cm<sup>2</sup>. Aún tomando los valores conservadores, la capacidad portante de estos materiales está

asegurada a tenor de los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a tracción y a compresión. El tipo de cimentación será en general superficial, previa eliminación del recubrimiento superficial y de los niveles superiores más alterados.

Los posibles problemas de cimentación estarán en relación con un comportamiento mecánico desigual de los materiales, como consecuencia del grado de diaclasado y alteración de las areniscas.

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

*Excavabilidad.* Los niveles superficiales, por su alteración y diaclasado son ripables (Terreno Medio), pero en profundidad, precisarán el empleo de explosivos para su excavación.

*Estabilidad de taludes.* Constituyen materiales de gran estabilidad, con un ángulo de rozamiento interno muy elevado (50 %).

*Empuje sobre contenciones.* Las contenciones pueden ser necesarias en zonas de alteración fuerte. Pueden esperarse empujes de tipo Medio.

*Aptitud para préstamos.* Son Materiales Adecuados siempre que no se encuentren alterados y cumplan determinadas especificaciones relativas a granulometría y forma de las partículas.

*Aptitud para explanada en carreteras.* En desmontes, la categoría de explanada en roca corresponde a la E-3.

*Obras subterráneas.* Es difícil estimar el grado de fracturación y estado de las diaclasas en profundidad. En conjunto como considerarse un Terreno Medio, de Clase III (RMR=41-60 %), que para anchuras de tunelación normales no plantearía problemas de sostenimiento.

## ZONA II<sub>2</sub>

- Características Geológico-Geotécnicas

La Zona III<sub>2</sub> está caracterizada en la presente Hoja por los materiales de la Facies Cascante.

Se trata de un conjunto de materiales arcillosos de tonos rojos con areniscas y conglomerados, que presentan un suave basculamiento, 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:

<b>Cuadro Resumen de Características Geotécnicas (Roca inalterada)</b>		
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 <sup>3</sup>
	Humedad óptima	11,6 %
Índice C.B.R.		4,4
Resistencia a compresión simple (lutitas sanas)		> 25 kp/cm <sup>2</sup>
Resistencia a compresión simple (areniscas)		300-700 kp/cm <sup>2</sup>

R.Q.D. medio	80-100 %
Angulo rozamiento interno ( $\phi$ )	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/cm<sup>2</sup>, 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/cm<sup>2</sup>, valores suficientes para el caso de edificios habituales en los que las cargas proyectadas son inferiores a 3-4 kp/cm<sup>2</sup>.

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

b. 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.

#### 5.3.3.3.3.2 ZONA II<sub>3</sub>

- Características Geológico-Geotécnicas

Esta Zona comprende las unidades arcillosas de las Fm Tudela y Alfaro.

Litológicamente está constituida por un conjunto de materiales básicamente arcillosos de tonos rojos y beige con intercalaciones esporádicas de niveles de areniscas, yesos y algún nivel calizo. Presentan un suave basculamiento hacia el S-SSE, registrando valores bajos de buzamiento, entre 2 y 5 °.

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 calizas y areniscas se produce una pérdida de cementación.

Debido al marcado carácter arcilloso de la Zona la permeabilidad es muy baja, solamente en los niveles más potentes de areniscas y calizas pueden desarrollarse pequeños acuíferos locales por fracturación.

La presencia de sulfatos es poco importante aunque las trazas de yeso (cristales especulares, nódulos aislados y venas) pueden concentrarse localmente en algunos intervalos. El contenido en materia orgánica debe considerarse en los horizontes próximos a los niveles carbonatados debido a la existencia de intercalaciones de lignitos.

De los datos disponibles en áreas próximas se deduce que los límites de Casagrande son los siguientes:

Límite líquido: 42,69-45,19

Límite plástico: 22,93-23,83

Índice de plasticidad: 19,76-21,36

- Características constructivas:

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN

Los valores normalmente aceptados de cargas admisibles para arcillas son de 1,3 a 3 kp/cm<sup>2</sup>. La profundidad mínima de cimentación se estima en 1,5 a 2 m, debido a que suelen estar alteradas en superficie con el consiguiente descenso de las presiones que pueden admitir.

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

c. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

*Excavabilidad.* Son materiales fácilmente excavable.

*Estabilidad de taludes.* Se pueden dar problemas de deslizamientos por la existencia de tramos potentes de arcillas en zonas de taludes verticales o subverticales

*Empuje sobre contenciones.* Medios en arcillas

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

*Aptitud para explanada en carreteras.* Son suelos de tipo E2 no aptos o marginales, que precisarán la extensión sobre ellos de una explanada mejorada.

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

**5.3.3.3.4.** Área III

*5.3.3.3.4.1* ZONA III<sub>1</sub>

- Características Geológicas

Comprende el conjunto de formaciones cuaternarias de génesis aluvial-fluvial (terrazas, llanura aluvial, etc.). Éstas se caracterizan por presentar una proporción

elevada de términos clásticos (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 los dos ríos principales de la Hoja correspondiendo mayoritariamente a terrazas que cubren casi totalmente la mitad suroriental de la Hoja. Cabe mencionar también los materiales pertenecientes a los.

Litológicamente es patente el predominio de gravas y en menor proporción de arenas, constituyendo depósitos generalmente no consolidados, y en algunos casos es apreciable el contenido en finos (meandros abandonados, terrazas bajas, etc.)

- Características Geotécnicas

Se trata de materiales poco 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.

<i>5.3.3.3.4..2 Cuadro Resumen de Características Geotécnicas</i>	
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 <sup>3</sup>
Humedad Óptima Proctor Normal	7 %
Ángulo de Rozamiento Interno ( $\phi$ )	40 °
Cohesión (C')	2,20

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

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN.

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

#### 5.3.3.3.4.3 ZONA III<sub>2</sub>

- Características Geológicas

Se integran en esta Zona las formaciones cuaternarias desarrolladas característicamente a la salida de los barrancos y en algunas laderas (conos de deyección y glacia) y están formados por depósitos fangosos 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.

5.3.3.3.4.4 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 <sup>3</sup>
Humedad Óptima Proctor Normal	15-12,7 %
Ángulo de Rozamiento Interno ( $\phi$ )	30,5-38°
Cohesión (C')	1,0
Contenido en sulfatos	0,01%

Los datos expuestos corresponden a suelos limo-arcillosos de baja plasticidad de 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/cm<sup>2</sup>. 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.

#### 5.3.3.3.4..5 ZONA III<sub>3</sub>

- Características Geológico-Geotécnicas

Esta Zona está definida por depósitos cuaternarios generados por inestabilidades activas relacionadas con procesos de gravedad (coluviones y aluvial-coluval).

En la Hoja su desarrollo se localiza en las laderas (coluviones), a veces como formas de enlace entre distintos niveles de terrazas o como derrame de alguna de estas.

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 yesífero-arcillosa. No se dispone de ensayos geotécnicos específicos para este tipo de materiales.

- Características constructivas

#### a. 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 dada la presencia de bloques y grandes masas de yesos para cuya retirada deberán emplearse consideraran medios especiales

*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 terrenos francamente desfavorables.

#### 5.3.3.3.4..6 ZONA III<sub>4</sub>

- 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. Todos ellos presentan un cierto grado de inundabilidad, en función de las fluctuaciones del nivel de agua. También se han incluido aquí una serie de depósitos de naturaleza limo-arcillosa (unidad 24) que se localizan en zonas deprimidas con un cierto drenaje deficiente. Presentan una potencia variable, aunque generalmente no sobrepasan 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/cm<sup>2</sup>, esperándose asientos de consolidación a largo plazo. Para la Norma DIN 1054 a una profundidad de cimentación de 2 m, las cargas admisibles son del orden de 2,5-3 kp/cm<sup>2</sup>, esperándose asientos en torno a 4 cm.

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

#### b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA

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

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

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

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

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

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

## 6. BIBLIOGRAFIA

- ALASTRUE, E., 1958, Nota sobre la estratigrafía de Las Bardenas en su extremo meridional. N. y C. del IGME, núm. 50. fac. 2. Madrid.
- AZANZA, B., 1986, Estudio geológico y paleontológico del Mioceno del sector Oeste de Borja (prov. Zaragoza). Cuadernos de Estudios Borjanos, 17-18.
- CASTIELLA, J.; SOLE, J. y DEL VALLE, J., 1978, Mapa y Memoria Geológica de Navarra a escala 1:200.000. Servicio Geológico, Diputación Foral de Navarra.
- CRUSAFONT M.; TRUYOLS, J.; RIBA, O., 1966, Contribución al conocimiento de la estratigrafía del Terciario continental de Navarra y Rioja. Not. y Com. del IGME, nº. 90.
- CRUSANFONT, M. y GLOPE, J.M., 1974, Nuevos yacimientos del Terciario Continental del NE de España. Acta Geol. Hisp., tomo IX, núm. 3.
- DEL VALLE, J.; VILLANUEVA, F., 1988, Síntesis Geológica de Navarra. Publicaciones del Gobierno de Navarra.
- FLORISTAN SAMANES, A., 1951, La Ribera Tudelana de Navarra. Diputación Foral de Navarra e Inst. J.S.Elcano, C.S.I.C., 316. Zaragoza.
- GOBIERNO DE NAVARRA, 1992, Mapa y Memoria de la Geología de Navarra a escala 1:200.000. Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones.
- GONZALEZ, I.; GALAN, E., 1984, Mineralogía de los materiales terciarios del área de Tarazona-Borja-Ablitas (Depresión del Ebro). Estudios Geológicos 40.
- GRACIA PRIETO, J., 1985, Geomorfología de Las Bardenas orientales. Tesis de Licenciatura. Fac. Ciencias. Univ. de Zaragoza.
- GRACIA, F.J., 1985, Las formaciones aluviales de la depresión presomontano de Cinco Villas. Bol. Geol. y Min., 96-6.
- GRACIA, J.; SIMON, J.L., 1986, El campo de fallas miocenas de la Bárdena Negra (prov. de Navarra y Zaragoza). Bol. Geológico y Minero. T. XCVII-VI.

- GRACIA J.; GUTIERREZ, M.; SANCHO, C., 1985, Las etapas terminales del Neógeno-Cuaternario de la Depresión del Ebro en la Plana de la Negra. Actas de la I Reuniao do Cuaternario Iberico. vol II.
- HERNANDEZ-PACHECO, F., 1949, Las Bardenas Reales. Rasgos fisiográficos y geológicos. Rev. Príncipe de Viana, año 10, núm. 37.
- I.G.M.E., 1928, Datos relativos a sondeos en Navarra. Informe del Instituto Geológico y Minero de España (10543)
- I.G.M.E., 1971, Mapa Geológico de síntesis a escala 1:200.000, Hoja nº 22 (Tudela). Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España.
- I.G.M.E., 1973, Mapa de Rocas Industriales a escala 1:200.000, Hoja nº 22 (Tudela). Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España.
- I.G.M.E., 1977, Memoria del Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000 (MAGNA), Hoja nº 282. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España.
- I.G.M.E., 1980, Síntesis de las investigaciones geológico-mineras realizadas por el I.G.M.E. en Navarra. Informe del Instituto Geológico y Minero de España.
- I.G.M.E., 1987, Contribución de la exploración petrolífera al conocimiento de la geología de España. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España.
- MUÑOZ, A. y SALVANY, J.M., 1990, El sistema lacustre evaporítico del margen ibérico de la Cuenca del Ebro (Mioceno inferior). En Formaciones evaporíticas de la Cuenca del Ebro y cadenas periféricas y de la Zona de Levante. ed. F.ORTI y J.M.SALVANY, Univ. Barna.
- ORTI, F.; SALVANY, J.M., 1986, Programa de investigación de las formaciones evaporíticas en Navarra (potasas excluidas). Vol. I, Estudio Geológico, Gobierno de Navarra.
- ORTI, F.; SALVANY, J.M.; ROSELL, L.; PUEYO, J.J.; INGLES, M., 1986, Evaporitas antiguas (Navarra) y actuales (Los Monegros) de la Cuenca del Ebro. Guía de excursiones del XI Congreso Español de Sedimentología. Barcelona.

- PEREZ, A.; MUÑOZ, A.; PARDO, G. y ARENAS, C., 1989, Estratigrafía y sedimentología de Terciario de la región Tarazona-Tudela (sector navarro-aragonés de la Depresión del Ebro). Turiaso IX, t.1.
- PEREZ, A.; MUÑOZ, A.; PARDO, G.; ARENAS, C.; VILLENA, J., 1988, Características de los sistemas lacustres en la transversal Tarazona-Tudela (sector navarro-aragonés de la cuenca del Ebro). II Congreso Geológico de España, Vol. simposiums. Granada.
- RIBA, O., 1964, Estructura sedimentaria del Terciario Continental de la Depresión del Ebro en su parte riojana y Navarra. Aportación española al XX Congr. Geogr. Intl. Reino Unido. Zaragoza.
- SALVANY, J.M., 1989, Las formaciones evaporíticas del Terciario continental de la Cuenca del Ebro en Navarra y La Rioja. Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona.
- SALVANY, J.M., 1989, Los sistemas lacustres evaporíticos del sector navarro-riojano de la Cuenca del Ebro durante el Oligoceno y Mioceno inferior. Acta Geol. Hisp., 24, 3-4.
- SALVANY, J.M., 1989, Aspectos petrológicos y sedimentológicos de los yesos de Ablitas y Monteagudo (Navarra): Mioceno de la Cuenca del Ebro. Turiaso IX, 1.
- SALVANY, J.M., 1989, Ciclos y megaciclos evaporíticos en las form. Falces y Lerín, Oligoceno-Mioceno inf. de la Cuenca del Ebro (Navarra-La Rioja). XII Congreso Español de Sedimentología, Leioa (Vizcaya).
- SALVANY, J.M.; ORTI CABO, F., 1987, La paragénesis de sulfatos de Ca y Na en el Mioceno continental de Alcanadre-Arrübal (La Rioja) y San Adrián (Navarra). Bol. Soc. Esp. de Mineralogía, 10-1.
- SALVANY, J.M. y ORTI, F., 1992, El yacimiento glauberítico de Alcanadre: procesos sedimentarios y diagenéticos (Mioceno inferior, Cuenca del Ebro). En Recursos minerales españoles, ed. CSIC, Madrid.
- SOLE SABARIS, L., 1954, Sobre la estratigrafía de Las Bardenas y los límites del Oligoceno y del Mioceno en el sector occidental de la Depresión del Ebro. Real Soc. Esp. de Hist. Nat., tomo Extr. Hernández Pacheco.