



**Gobierno de Navarra**  
Departamento de Obras Públicas,  
Transportes y Comunicaciones

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE NAVARRA  
ESCALA 1:25.000

**HOJA 118-III**

**ZURIZA**

MEMORIA

---

La presente Hoja y Memoria, ha sido realizado por “TECNOLOGÍA DE LA NATURALEZA S.L. (TECNA)”, durante el año 2006-2007, 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)**

.      Galán Pérez, G.      Cartografía, Memoria e Informática

.      Cabra Gil, P.      Geomorfología y Cuaternario

        Díaz Pinto, G.      Informática

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>6</b>
<b>2. ESTRATIGRAFÍA .....</b>	<b>9</b>
2.1. MESOZOICO.....	9
2.1.1. CRETÁCICO .....	9
2.1.1.1. Calcarenitas y calizas con rudistas. Caliza de los Cañones (6). Coniaciense-Santoniense .....	9
2.1.1.2. Calcarenitas ferruginosas (8) .....	10
2.1.1.3. Margas y limolitas. Margas y calizas de Zuriza (9). Campaniense-Maastrichtiense ...	10
2.1.1.4. Areniscas de Marboré (11) .....	11
2.1.1.5. ANÁLISIS SECUENCIAL DEL CRETÁCICO SUPERIOR .....	12
2.2. Terciario .....	13
2.2.1. Paleoceno .....	14
2.2.1.1. Calcarenitas y calizas de algas inferiores (12) .....	14
2.2.1.2. Calcarenitas y calizas de algas superiores (13) .....	14
2.2.1.3. Margas y brechas (14) .....	17
2.2.1.4. Brechas, calizas y areniscas (15) .....	18
2.2.1.5. ANÁLISIS SECUENCIAL DEL PALEOCENO-EOCENO BASAL .....	19
2.2.2. Eoceno .....	20
2.2.2.1. Lutitas y areniscas en facies turbidítica (16) .....	20
2.3. Cuaternario .....	21
2.3.1. pleistoceno .....	21
2.3.1.1. Gravas, arenas y bloques. Terrazas (21 y 22). Pleistoceno .....	21
2.3.2. holoceno .....	21
2.3.2.1. Bloques, cantos y arcillas. Coluviones (23). Holoceno .....	21
2.3.2.2. Bloques y arcillas. Canchales y pedrizas (24). Holoceno .....	22
2.3.2.3. Cantos, gravas y bloques con matriz arcilloso-arenosa. Fondos de valle (25). Holoceno	22
2.3.2.4. Arcillas, arenas y cantos. Conos de deyección (26). Holoceno .....	23
2.3.2.5. Gravas, arenas y limos. Llanura de inundación fluvio-glaciar (27). Holoceno .....	23
2.3.2.6. Bloques y arcillas. Deslizamientos (29). Holoceno .....	24
<b>3. TECTÓNICA.....</b>	<b>25</b>
3.1. DESCRIPCIÓN DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS.....	26
3.1.1. sistema de cabalgamientos de larra .....	26

3.2. EDAD DE LAS DEFORMACIONES.....	27
<b>4. GEOMORFOLOGÍA.....</b>	<b>29</b>
4.1. DESCRIPCIÓN FISIOGRÁFICA .....	29
4.2. ANÁLISIS MORFOLÓGICO .....	30
4.2.1. ESTUDIO MORFOESTRUCTURAL.....	31
4.2.2. ESTUDIO DEL MODELADO.....	32
4.2.2.1. FORMAS DE LADERA.....	32
4.2.2.2. FORMAS FLUVIALES .....	33
4.2.2.3. FORMAS KÁRSTICAS .....	34
4.2.2.4. FORMAS GLACIARES Y PERIGLACIARES .....	34
4.2.2.5. 3.2.2.5.- FORMAS POLIGÉNICAS .....	36
4.3. FORMACIONES SUPERFICIALES .....	37
4.4. EVOLUCIÓN GEOMORFOLÓGICA.....	39
4.5. PROCESOS ACTUALES Y TENDENCIAS FUTURAS.....	41
<b>5. HISTORIA GEOLÓGICA .....</b>	<b>43</b>
<b>6. GEOLOGÍA ECONÓMICA .....</b>	<b>47</b>
6.1. RECURSOS MINERALES .....	47
6.2. HIDROGEOLOGÍA.....	47
6.2.1. Introducción.....	47
6.2.2. Descripción de las FORMACIONES .....	47
6.2.3. Unidades acuíferas.....	50
6.2.3.1. MANANTIALES .....	52
6.3. GEOTECNIA.....	53
6.3.1. Introducción.....	53
6.3.2. Metodología .....	53
6.3.3. Zonificación geotécnica.....	54
6.3.3.1. Criterios de división.....	54
6.3.3.2. División en Áreas y Zonas Geotécnicas .....	55
6.3.4. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS .....	56
6.3.4.1. Introducción .....	56
6.3.4.2. ÁREA I .....	66
6.3.4.3. ÁREA II.....	66
6.3.4.4. ÁREA III.....	69
6.3.4.5. ÁREA IV .....	81

**7. BIBLIOGRAFIA ..... 86**

## 1. INTRODUCCIÓN

La Hoja a escala 1:25.000 de Zuriza (118-III), forma parte de la Hoja a escala 1:50.000 del mismo nombre (118), constituyendo su cuadrante suroccidental. La mayor parte de la Hoja se incluye en territorio aragonés, con una pequeña porción francesa. Solamente su tercio occidental forma parte de territorio navarro, zona de la que se ha realizado la cartografía y se ocupa esta memoria.

No existe ningún núcleo urbano en toda la extensión de la Hoja, por lo que esta toma el nombre de uno de sus parajes principales, la zona residencial de Zuriza. La carretera Na-2000, que comunica Isaba con Zuriza, es la principal vía de comunicación que atraviesa la Hoja, junto con la HUV-2024, entre Ansó y Zuriza, en la parte aragonesa. El número de caminos, sendas y pistas forestales está muy reducido debido a la abrupta topografía de la zona.

La actividad antrópica es muy escasa, quedando reducida a tareas agrícolas y ganaderas en las áreas llanas del valle del Veral. El desarrollo industrial en la Hoja es inexistente, sin embargo, las actividades turísticas de montaña tienen en esta zona abundantes posibilidades, como son la práctica del montañismo y del esquí de fondo.

Las cotas en esta hoja, en su parte navarra, oscilan entre los 1.491 m de Maze y el valle de Belabarce, que se sitúa a cotas de 1000 m.

La red fluvial está reducida al Belabarce y al río Veral en Aragón. El clima es alpino con temperaturas medias anuales de alrededor de 8º y precipitaciones que llegan hasta 1820 mm anuales.

Desde el punto de vista geológico, la zona estudiada se encuentra situada en el sector occidental del Pirineo central. La Cordillera Pirenaica, consiste en un cinturón de pliegues y cabalgamientos de orientación aproximada Este-Oeste, desarrollados entre el Cretácico superior y el Mioceno inferior, como resultado de la convergencia entre las placas Ibérica y Europea. Su límite con el antepaís meridional o cuenca del Ebro se localiza en el cabalgamiento surpirenaico, visible en el sector de la Sierra de Alaiz.

Concretamente, esta zona, forma parte del Pirineo Axial, Sierras Interiores, y la parte mas meridional forma parte del gran surco del “Flysch Eoceno”, conocido como Cuenca de Jaca, que queda enmarcado entre las Sierras Interiores al Norte y las Sierras Exteriores al Sur

Los materiales aflorantes, están involucrados en la deformación alpina e incluyen un conjunto de depósitos sinorogénicos, comprendidas entre el Cretácico terminal y el Terciario, estructurados en láminas cabalgantes.

Esta zona, enclavada en la Montaña Oriental Navarra, presenta continuidad con el Pirineo aragonés. Está afectada por tres cabalgamientos importantes: Roncesvalles, al Norte, en donde el Macizo de Quinto Real cabalga sobre los terrenos mesozoicos y cenozoicos, el de Aoiz, cabalgamiento poco definido que se empasta en los sedimentos turbidíticos, sin llegar a la superficie y el de las Sierras de Illón y Leyre. CAMARA, P. y KLIMOWITZ, J. (1985) han relacionado los cabalgamientos de Aoiz y Illón con los de Boltoña y Biniés-Guara, respectivamente.

En este contexto, los materiales aflorantes más antiguos se localizan en el núcleo de los distintos anticlinales que surcan esta Hoja, estando constituidos por margas del Cretacico superior.

El Maastrichtiense está representado por margas y margocalizas en facies prodeltaicas, culminando este megaciclo con unos niveles de calizas arenosas, la potencia de este conjunto oscila entre 600 y 1.000 m.

La megasecuencia del Paleoceno es eminentemente calcárea y comienza por unas dolomías, posiblemente diagenéticas, que lateralmente se acuñan, dando paso a calizas tableadas que hacia el Norte pasan a facies de talud.

El techo del Paleoceno está constituido por margas y margocalizas correspondientes a depósitos de ambientes pelágicos, que en algunas zonas, se encuentran erosionados por las unidades suprayacentes. Por lo que respecta a los materiales del Eoceno,

estos, están representados por un conjunto de turbiditas terrígenas con siete intercalaciones de megaturbiditas, que presentan distinto desarrollo en cada zona.

## 2. 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.

### 2.1. MESOZOICO

#### 2.1.1. CRETÁCICO

##### **2.1.1.1. Calcarenitas y calizas con rudistas. Caliza de los Cañones (6). Coniaciense-Santoniense**

Esta unidad, denominada Caliza de los Cañones o Calizas de Larra, ocupa la práctica totalidad del macizo de Larra. Está formada en su mayor parte por calizas (wackestones-packestones) masivas de tonos claros, estratificación difusa y acumulaciones de corales y rudistas. Estas colonias forman bancos de tipo biostroma. También se encuentran calizas arenosas y bioclásticas de tipo “grainstone”.

La Unidad de Larra se dispone erosivamente sobre la Unidad de Calizas con prealveolinas o directamente sobre materiales paleozoicos.

El espesor es muy variable, aumentando progresivamente de sur a norte, alcanzando su potencia máxima en las áreas centrales del macizo de Larra y en el pico de Anie, donde muestran espesores de más de 300 m.

El contenido faunístico es muy abundante, con restos de *Lacacinas*, *Dicyclina schlumbergeri*, *Periloculina zitteli*, *Nummofallotia cretacea*, *Idalina antiqua*, *Cyclolina*

*cretacea*, *Dictyopsella kiliani*, *Cyclogyra cretacea*, *Pseudolacazina loeblichii*, *Lacazina pyrenaica*, *L. Elongata*, que caracteriza al Coniaciense superior-Santonense.

En esta hoja de Zuriza apenas aflora en una pequeña mancha al norte de la zona cartografiada, donde asoma el macizo de Larra.

#### **2.1.1.2. Calcarenitas ferruginosas (8)**

Esta unidad únicamente se encuentra en la alineación montañosa de la Mesa de los Tres Reyes, apenas un retaza en la zona norte de la Hoja. Aparece en contacto neto sobre las unidades inferiores formada por dos tramos. Uno nivel inferior de calcarenitas ferruginosas de 20 m de espesor, denominadas Calcarenitas de Quimboa y un nivel superior de calizas micríticas recrystalizadas de 30 m de potencia.

#### **2.1.1.3. Margas y limolitas. Margas y calizas de Zuriza (9). Campaniense-Maastrichtiense**

Esta unidad aflora en grandes extensiones en la hoja, ocupando la mayor parte de la zona cartografiada, en los relieves de Tamburín y Maze.

Este nivel ha sido denominado como “Margas y calizas de Zuriza” por TEIXELL, A. (1992); y consiste en un potente paquete de calizas margosas y margas de color amarillento. El espesor de este conjunto está comprendido entre 200 y 600 m, aunque al estar afectadas por una fuerte deformación interna, las determinaciones de espesor son difíciles de precisar.

Los tramos basales de este conjunto están constituidos por margas compactas y limolitas con abundante glauconita, granos de cuarzo y pirita. Con pequeños niveles de calizas margosas de tonos oscuros, que pasan a margas arcillosas TEIXELL, A. (1992), cita en estos niveles la presencia de fauna del Campaniense. Hacia techo pasa a una serie monótona de margas y margolimolitas de tonos grises y aspecto homogéneo y calizas margosas, con fauna de equínidos, bivalvos, briozoos, corales, gasterópodos, braquiópodos y foraminíferos. Además, presentan esporádicas intercalaciones de calcarenitas con nódulos de pirita y mica.

El contenido faunístico es muy abundante con: *Globotruncana contusa*, *G. gansseri*, *G. stuarti*, *G. rosseta*, *G. Fructiosa*, *G. elevata stuartiformis*, *Navarella joaquinii*, *Orbitoides media*, *Pseudosiderolites vidali*, *Siderolites calcitrapoides*, *Clypeorbis mamillata* y *Lepidorbitoides socialis*, que permiten datar este tramo como Maastrichtiense, aunque puede incluir parte del Campaniense superior.

Los tramos inferiores de esta unidad cartográfica se integran en un contexto de "shoreface - offshore" en régimen transgresivo. El tramo superior margoso, suele organizarse en ciclos de carbonatación de orden decamétrico, con secuencias integradas por margas limolíticas micáceas en la base, a veces con tableado granulométrico y margas más calcáreas a techo de aspecto más masivo y nodulización incipiente; los niveles de calcarenitas pertenecen a un contexto de "offshore" prodeltaico con desarrollo ocasional de capas de tormenta (calcarenitas margosas), muy afectadas por bioturbación. Entre el tramo inferior y superior, TEIXELL, A. (1992), indica la presencia de un límite que separa dos secuencias de distinta importancia.

Los niveles glauconíticos de muro, han determinado una composición mediante análisis petrológicos que se concreta en los siguientes porcentajes: 10% de cuarzo, 70% de fósiles, 14% de micrita, 2% de glauconita y 4% de arcillas. El contenido en carbonatos es del 70%.

El resto del conjunto, presenta un 5% de cuarzo, un 35% de fósiles y el 60% restante es micrita, en parte recristalizada. Hacia techo comienza a incorporarse un porcentaje de arcilla que puede llegar a alcanzar el 30%. El contenido en carbonatos es del orden del 50-60%.

Los estudios de nannofósiles calcáreos han determinado: *Watzmaweria barnesae* (BLACK), *Eiffelithus Turreiffele* que indican el Cretácico superior.

#### **2.1.1.4. Areniscas de Marboré (11)**

La unidad Areniscas de Marboré, definida por SOUQUET (1967) está constituida por areniscas cuarzosas y bioclásticas de grano fino que se alternan con niveles de

margas arenosas, todo ello muy bioturbado. Se disponen en bancos tabulares métricos, que, en conjunto, llegan a alcanzar un espesor máximo de 125 m.

Aparece por encima y pasando lateralmente al miembro superior margoso de la Fm. Margas y Calizas de Zuriza. Sedimentológicamente, esta unidad se interpreta como depósitos de plataforma marina terrígena progradante sobre la Unidad de Zuriza.

Su edad es Maastrichtiense, como se deduce de su posición estratigráfica y la presencia de los foraminíferos *Lepidorbotoidea socialis*, *Simplorbites gensacicus* (VAN ELSBERG, 1968), *Orbitoides media*, *Hellenocyclina visserae* (JEURISSEN, 1968) y *Siderolites Calcitrapoides*.

Aflora en una estrecha banda al sur de la zona cartografiada.

#### **2.1.1.5. ANÁLISIS SECUENCIAL DEL CRETÁCICO SUPERIOR**

En términos generales, resulta evidente la división del Cretácico superior en tres ciclos deposicionales mayores: Albiense-Cenomaniense, Santoniense, y Maastrichtiense. Por otra parte, la estructuración de la cuenca abierta hacia el NO, como se deduce de los estudios sedimentológicos realizados tanto en esta Hoja como en la de Garralda (nº 116). Para el Maastrichtiense, tanto por distribución de facies como por potencias; se aprecia una estructuración similar que la observada en los ciclos precedentes,

El ciclo Santoniense está representado exclusivamente por depósitos calcáreos asimilados a facies de plataforma carbonática con abundantes bioconstrucciones. El límite superior viene marcado por cambios importantes en la cuenca, con emersión y karstificación de las calizas de Larra.

El Maastrichtiense define en esta zona una cuenca abierta hacia el NO, con desarrollo de plataformas somerizantes. Se distinguen dos secuencias, correspondientes al Maastrichtiense inferior y al superior. La primera presenta facies turbidíticas bien desarrolladas con depósitos desorganizados, constituyendo los términos de nivel del

más bajo ("low stand system tract"). Los depósitos transgresivos y de somerización de la secuencia ("Trangresive" y "High stand system tract") están representados en el surco por la entrada de turbiditas calcáreas con influencia de tormentas, y en la plataforma, por términos margolimolíticos prodeltaicos que gradan a complejos calcareníticos de capas de tormenta y "goullies". La secuencia del Maastrichtiense superior muestra una organización similar, con turbiditas terrígenas en el surco algo más diluidas, en términos generales que las de la secuencia precedente, y margas prodeltaicas a continuación. En los sectores meridionales la secuencia termina con depósitos prodeltaicos litorales y en el surco, con margas que presentan posibles rasgos edáficos.

## **2.2. Terciario**

El Terciario de este sector nororiental navarro está representado por depósitos marinos del Paleógeno, con un registro estratigráfico comprendido entre Daniense-Montiense y Luteciense .

Se diferencia una parte inferior constituida por plataformas carbonatadas del Paleoceno, con unos 100-150 m de potencia. A techo se observa un tramo esencialmente margoso, de potencia variable (20-150 m) y edad Ilerdiense, en facies de prodelta-talud, equivalente a la Fm. Millaris, que se correlaciona con un potente complejo calcáreo, mas desarrollado hacia el NO de la Hoja. La mayor parte del Paleógeno está representada por las turbiditas terrígenas del Grupo de Hecho, desarrolladas desde el Ilerdiense terminal hasta el Luteciense superior y procedentes de la erosión de las plataformas deltaicas orientales. El Grupo Hecho, intercala ocho megacapacarbonáticas que constituyen excelentes niveles-guía en todo el surco turbidítico Eoceno pirineico, aunque en esta Hoja solo se puede determinar la presencia de tres de ellas

## **2.2.1. PALEOCENO**

### **2.2.1.1. Calcarenitas y calizas de algas inferiores (12)**

La primera unidad terciaria descansa sobre los últimos tramos de margas y areniscas maastrichtienses mediante contacto concordante neto. Se trata de una unidad formada por dos tramos: uno inferior de alternancia de calizas arenosas y calizas bioclásticas y otro superior compuesto por calizas masivas micríticas con algas rodofíceas y corales. En zonas próximas, los espesores máximos del primer tramo alcanzan 25 m, mientras que el segundo llega a potencias máximas de 45 m.

La edad de estos materiales es Daniense-Montiense hasta el Thanetiense y sus facies equivalentes a las calizas de Abaurrea definidas por Robador (1990).

Los análisis petrológicos realizados en los términos calcáreos han determinado un 0-15% de intraclastos, 5-35% de fósiles, 10-80% de micrita y 0-20% de esparita, generalmente dolomítica, mientras que el contenido en  $\text{CO}_3\text{CaMg}$  puede alcanzar valores del 95% en los términos dolomíticos.

Desde el punto de vista sedimentológico se integra en un medio de plataforma somera con predominio de los ambientes de baja energía, de acuerdo con los escasos elementos aloquímicos preservados, (intraclastos, oolitos, fósiles) y ausencia de estructuras tractivas destacables.

### **2.2.1.2. Calcarenitas y calizas de algas superiores (13)**

Se dispone sobre un contacto neto sobre la unidad anterior y con litologías similares de calcarenitas bioclásticas y calizas masivas de algas.

Esta unidad constituye los resaltes calcáreos que se observan en los flancos de los anticlinales de Belabarce y Ezcaurre, localizándose los mejores afloramientos en la pista del barranco de Mintxate, que corta al anticlinal de Belabarze.

La potencia de esta unidad oscila entre 50 y 150 m, dependiendo en parte del espesor de las unidades cartográficas adyacentes.

En hojas adyacentes se distinguen claramente dos dominios deposicionales para esta unidad cartográfica: Un Dominio meridional que presenta un claro predominio de facies de plataforma carbonatada somera si bien a techo se reconocen términos de calizas tableadas algo más margosas propias de ambientes sedimentarios más distales. El Dominio septentrional se caracteriza por el desarrollo de calizas tableadas progresivamente más margosas y con más intercalaciones pelíticas hacia el Norte que intercalan niveles carbonatados desorganizados e incluyen abundantes foraminíferos planctónicos, indicando medios de margen de plataforma-talud a fondos pelágicos.

En Zuriza los términos del Dominio meridional se reconocen en el anticlinal de Ezcaurre y en el flanco meridional del anticlinal de Belabarze formando una serie de unos 100-150 m.

La parte inferior de la unidad está representada en este sector por calizas micríticas parcialmente recrystalizadas que presentan un aspecto masivo a tableado. Contienen abundantes restos de algas calcáreas rodófitas y miliólidos.

En los estudios microplaeontológicos se han determinado además: *Planorbolina antiqua*, *Rotalia* cf. *trochidioformis*, *Quinquelina* sp., *Lithothamnium* sp., *Ataxophragmiidae*, Solenoporáceas, políperos, briozoarios y gasterópodos. Los términos más masivos pueden incluir mounds de algas, briozoarios y corales que pueden alcanzar los 5-10 m de espesor. Los intervalos tableados están formados por capas cuyas potencias varían entre 10 y 40 cm, con base neta, estratificación ondulada o cruzada de bajo ángulo. Normalmente aparecen amalgamadas, aunque ocasionalmente se encuentran separadas por niveles de margas calcáreas. Texturalmente predominan los términos de wackestones y packstones con fósiles como principales componentes aloquímicos, que constituyen por término medio el 20-40 % de la roca, correspondiendo el 60-80 % restante a micrita, con una recrystalización media del 20 %, mientras que los granos de cuarzo aparecen por tramos en proporciones inferiores al 5%. Los términos más masivos caracterizan las

facies de plataforma más somera en la unidad distinguiéndose bioconstrucciones, facies de baja energía y secuencias de barras litorales que se reconocen en afloramiento como niveles de calizas bioclásticas con estratificación cruzada a gran escala. Los depósitos tableados se enmarcan en un contexto de plataforma carbonatada más abierta y se interpretan como complejos de capas de tormenta. En algunos casos están asociados a cicatrices erosivas muy laxas, organizándose en secuencias estrato decrecientes propias de rellenos de canales de offshore.

La parte superior está constituida por calizas tableadas más o menos limosas en capas tabulares amalgamadas de potencia centimétrica y decimétrica y presentan rasgos estratigráficos más afines a las calizas desarrolladas en el Dominio septentrional. Contienen abundantes foraminíferos plantónicos entre los que se han determinado: *Globorotalia* cf. *angulata*, *Globigerina* sp., *Lenticulina* sp., *Chilogumbellina* sp., y *Rotalia* sp. Texturalmente corresponden a wackestones y wackestones-packstones a veces arcillosos que contienen fósiles, (20-45%), como principales aloquímicos, cuarzo, (0-10%) y micrita, (5-75%) con recristalización incipiente. Las capas presentan morfologías tabulares, base neta, gradación textural incipiente, y laminación ondulada a techo. Sedimentológicamente caracterizan complejos de capas de tormenta distales en plataforma abierta-margen de plataforma.

Los afloramientos de la Unidad 6 en el sector de Belagua caracterizan, en la Hoja de Isaba, el Dominio septentrional. Los afloramientos de la parte oriental en el flanco norte del anticlinal de Belabarze constituyen una zona de tránsito entre los dos dominios, predominando las facies de plataforma abierta y margen de plataforma observación que está conforme con la apertura generalizada de la cuenca hacia el N y NE.

La potencia de la Unidad en este Dominio se cifra en unos 50-75 m y litológicamente está representada por calizas micríticas tableadas, de aspecto sucio, que intercalan delgados niveles de margas más abundantes cuanto más al Norte. Los depósitos desorganizados son bastante frecuentes en los sectores más septentrionales y constituyen intervalos decimétricos a métricos de calizas brechoides con matriz margocálcarea movilizados mediante mecanismos de debris flow. Las capas de

calizas presentan morfologías tabulares a subtabulares por nodulización y potencias de orden centimétrico y decimétrico, (5 a 50 cm).. Petrográficamente corresponden a biomicritas y biogravelmicritas ligeramente arcillosas, presentan texturas de tipo mudstone-wackestone y en menor medida de wackestone-packstone, y su composición cuantitativa de los distintos elementos ofrece los siguientes registros: Cuarzo 0-20%, otros granos detríticos (feldespatos y fragmentos de rocas) 0-5%, fósiles 10-40%, otros aloquímicos (pellets e intraclastos principalmente) 0-10%, micrita 20-75% raramente recrystalizada y arcillas 0-15%. Los estudios micropaleontológicos han puesto de manifiesto la abundancia de foraminíferos plantónicos determinándose la presencia de: *Globorotalia* cf. *angulata*, *G.* cf. *velascoensis*, *G.* cf. *compressa*, *G. quadrata*, *G.* aff. *uncinata*, *G.* cf. *pseudobulloides*, *Globigerina* aff. *Velascoensis*, *G.* cf. *triloculinoides*, *G.* sp., *Globigerinoides* cf. *daubjergensis*, *Glomospira* sp., *Chillogumbellina* sp., *Rotalia* cf. *trochidioformis*, *R.* sp., *Trochammina* sp., *Marginulina* sp., *Lenticulina* sp., *Cibicides* cf. *subspiratus limbatus*, *C.* sp., *Dorothia* sp., *Tritaxilina* sp., *Polinomorfinidos*, *Ataxophragmiidae*, *Dentalina* sp., y espículas. Las estructuras sedimentarias son escasas y consisten en laminación paralela ocasional, pequeñas estructuras de deformación por carga y ondulaciones tractivas. Sedimentológicamente el conjunto de materiales de la Unidad 6 en el Dominio septentrional se sitúa en un ambiente de margen de plataforma-talud a cuenca pelágica.

Las determinaciones micropaleontológicas anteriormente indicadas junto con las realizadas por ROBADOR, (1990) en términos equivalentes desarrollados al SO de la Hoja, fuera de la misma, en contextos más someros del sistema de plataforma carbonatada, entre las que destaca la presencia de: *Microcodium*, *Globorotalia* cf. *velascoensis*, *G.* cf. *angulata*, *Orbitoclypeus seunesi*, *Operculina heberti*, *Miniacina multiformis*, *M. multicamerata*, *Alveolina primaeva* y *F. Aluensis*, facilitan su atribución al Dano-Montiense a Thanetiense inferior.

#### **2.2.1.3. Margas y brechas (14)**

Este nivel aflora con gran continuidad en los flancos de los anticlinales de Belabarce y Ezcaurre, constituyendo los niveles incompetentes en los que culminan estas elevaciones. El mejor afloramiento se localiza en la carretera de Ansó a Zuriza

Litológicamente se trata de un intervalo en el que dominan los términos margosos con aspecto homogéneo si bien se observan algunos tramos en los que alternan margas y calizas margosas o limolitas calcáreas. En algunos intervalos se desarrollan términos desorganizados consistentes en depósitos de mud flow y debris flow.

Litoestratigráficamente la unidad presenta unas buenas posibilidades de correlación con la Fm. Millaris, típica del Ilerdiense y descrita como un conjunto pelítico desarrollado en ambientes de prodelta-talud que incluye de forma aislada depósitos olistostrómicos carbonatados. La semejanza litológica y cronoestratigráfica justifica la equivalencia propuesta si bien hay que hacer notar el carácter más pelágico de la unidad en la zona de estudio.

Desde el punto de vista bioestratigráfico hay que indicar la abundancia de foraminíferos planctónicos: *Globorotalia aequa*, *G. aff. velascoensis*, *G. aff. Rex*, *G. sp.*, *Globigerina sp.*, *Chilogumbellina sp.*, y *Marginulina sp.* Esta asociación permite argumentar una edad Ilerdiense.

Los estudios de nannofósiles han determinado la presencia de *Cyclococcolithus formosus* KAMPTNER, *Coccolithus eopelagicus* (BRAMLETTE y RIEDEL), *Coccolithus\_\_pelagicus* (WALUCH), *Reticulofenestra sp.*, *Sphenolithus radians* DEFLANDRE, *Discoaster multiradiatus* (BRAMLETTE y RIEDEL). Esta asociación caracteriza la zona NP-10, del Ilerdiense.

#### **2.2.1.4. Brechas, calizas y areniscas (15)**

Esta unidad aparece en el sinclinal tumbado del Puerto de Navarra, formada por un tramo de megabrechas de bloques calcáreos de 90 m de espesor aproximadamente. Los bloques son de calizas algales y coralinas del Paleoceno inmersos en una matriz margosa. La unidad se atribuye al Paleoceno por su posición estratigráfica y la naturaleza de los clastos que contiene, siendo probablemente el resultado de la resedimentación en medios de talud de los materiales de plataforma paleocenos.

---

#### **2.2.1.5. ANÁLISIS SECUENCIAL DEL PALEOCENO-EOCENO BASAL.**

El conjunto estratigráfico del Paleoceno e Ilerdiense constituye un sistema deposicional carbonatado formado por depósitos de plataforma y cuenca pelágica correspondientes litológicamente a calizas y margas. Presenta en la zona una marcada tendencia a la profundización en el medio de depósito y una clara la apertura de la cuenca hacia el N y NNE.

De acuerdo con lo indicado los términos de plataforma más somera predominan en la parte base del conjunto y en los sectores meridionales. Las facies de margen de plataforma se desarrollan a techo de la serie Paleocena en los sectores meridionales mientras que hacia el Norte constituyen el equivalente de los términos de plataforma somera. Los depósitos de talud y cuenca pelágica se desarrollan ampliamente en los sectores septentrionales configurando la mayor parte y en algunos casos la totalidad de la sucesión paleocena.

Desde el punto de vista cicloestratigráfico el conjunto puede dividirse en dos secuencias principales, mediando entre ambas una importante discontinuidad sedimentaria: La secuencia inferior está integrada por las unidades cartográficas 4 a 7 y la superior por las unidades 9.

La secuencia inferior desarrolla en los sectores meridionales facies carbonatadas de plataforma somera (niveles 5 y 6) que hacia el N pasan a contexto de margen de plataforma y talud. El régimen profundizante de la serie paleocena se evidencia por la presencia, en los sectores meridionales, de facies de margen de plataforma desarrolladas a techo de la unidad 6 sobre los términos de plataforma somera.

La secuencia superior registra una sedimentación de talud y cuenca pelágica más expansiva, de modo que alcanza, en este medio de depósito, los sectores más meridionales. A techo se denota el tránsito a la sedimentación turbidítica terrígena del Gr. Hecho con la presencia de la unidad 9, esencialmente pelítica.

## 2.2.2.EOCENO

### 2.2.2.1. Lutitas y areniscas en facies turbidítica (16)

Esta unidad constituye la culminación de la serie terciaria aflorando en las zonas más altas de Maze, y sinclinales del Puerto de Navarra y Abizondo,

Este conjunto se encuentra afectado por un intenso proceso tectónico, dando lugar a pliegues invertidos, pliegues falla, buzamientos subverticales, etc.

Litológicamente se trata de una serie alternante de areniscas ferruginosas con contenidos variables de componentes carbonatados, distribuidas en capas de 15 a 20 cm, alternando con arcillas grises. En las zonas basales de este conjunto se pueden distinguir dos tipos de series, con un mayor predominio de los niveles arenosos o margosos, según sea su posición relativa respecto a la cuenca paleogeográfica, en esta zona y debido a la mala calidad de afloramiento, no ha sido posible diferenciar cartográficamente una serie de la otra, no obstante, predominan los términos más groseros, con relación areniscas/lutitas, superior a 1

La potencia de esta unidad en esta Hoja, es difícil de calcular, ya que estos materiales se encuentran intensamente plegados, no obstante, atendiendo a criterios regionales, puede llegar a alcanzar los 300 m.

Entre la microfauna encontrada en esta unidad se encuentran *Globorotalia* aff. *rex*, *G.* aff. *aragonensis* y *Globigerina* aff. *linaperta*, que datan del Cuisiense inferior.

Los análisis texturales han determinado un 20% de sílice, 20% de fósiles, 50% de micrita y el resto de micrita recristalizada. El contenido en carbonatos es del orden del 40%.

Los estudios mineralógicos de la arcilla, detectan una composición de 70-80% de Illita y 20-30% de Clorita

En esta unidad se incluye otra de brechas carbonáticas (17), que, litológicamente, está formada por niveles de megabrechas de clastos calcáreos similares a los de la unidad 15, constituyéndose en buenos niveles guía en la región.

## **2.3. CUATERNARIO**

El Cuaternario de la hoja de Zuriza está representado mayoritariamente por depósitos de origen fluvial, glacial y periglacial, aunque también se encuentran otros depósitos como los de gravedad y poligénicos.

### **2.3.1. Pleistoceno**

#### **2.3.1.1. Gravas, arenas y bloques. Terrazas (21 y 22). Pleistoceno**

Las terrazas se desarrollan exclusivamente en el valle del Veral. Se trata de tres pequeños afloramientos con forma de bandas alargadas y estrechas, paralelas al cauce del río. Se localizan en la confluencia con los barrancos de Eras y del Rincón de Maz y se encuentran a +10-15 m y a +20-25 m respecto al cauce actual y su dispositivo morfológico es el de terrazas colgadas. Su litología se caracteriza por contener cantos y gravas de caliza, dolomía y algunas cuarcitas. El tamaño medio de los cantos está entre 8 y 12 cm, con máximos observados de 40 cm. La matriz es arenoso-arcillosa, medianamente compactada. Los espesores observados no superar los 5 m. La edad asignada a ambos niveles es Pleistoceno.

### **2.3.2. Holoceno**

#### **2.3.2.1. Bloques, cantos y arcillas. Coluviones (23). Holoceno**

Suelen aparecer al pie de las vertientes de los principales valles – véanse los valles de Belabarze y de Veral – aunque también pueden encontrarse a media ladera. La morfología de estos depósitos es casi siempre muy similar, formando bandas alargadas, más o menos estrechas, y paralelas a los cauces. Su composición está definida por fragmentos calcáreos, de muy diverso tamaño, con una matriz arcillosos-limosa no muy abundante la cual, debido a los procesos de lavado, se acumula en la

base de los depósitos. Los clastos son muy angulosos por haber sufrido un transporte muy corto, pudiendo llegar a alcanzar tamaños próximos a los 40 cm. La potencia no es visible, pero por su disposición sobre el sustrato no debieran superar los 6 m. Se les ha asignado una edad Holoceno.

#### **2.3.2.2. Bloques y arcillas. Canchales y pedrizas (24). Holoceno**

Otros depósitos glaciares de importancia son las acumulaciones que se dan en las vertientes y que se han definido como canchales o pedrizas, aunque no se descarta la posibilidad de la presencia de corredores rocosos y campos de bloques. El proceso de formación que los ha originado es la gelifracción o crioclastia. En conjunto, se trata de acumulaciones de bloques de diferentes tamaños, de 10 a 60 cm, muy angulosos y con escasos elementos finos. A veces estos elementos no se ven en superficie, pareciendo que sólo existen bloques, pero en algunos cortes se observa que debido al lavado sufrido, los elementos finos se acumulan en la parte inferior del depósito. La edad asignada es Holoceno.

#### **2.3.2.3. Cantos, gravas y bloques con matriz arcilloso-arenosa. Fondos de valle (25). Holoceno**

Los fondos de valle que existen en la hoja, se han desarrollado a favor del valle del río Veral y de sus afluentes. Este río se encuentra fuera del territorio navarro, en la provincia de Huesca, pero dentro de la zona cartografiada. El fondo es muy estrecho y su trazado presenta una forma sinuosa, discurriendo casi en paralelo al límite provincial. La litología de los fondos de valle está compuesta por cantos y gravas de calizas, dolomías y algunas cuarcitas, empastados por una matriz arcilloso-arenosa. El tamaño medio de los cantos está comprendido entre 5 y 15 cm y el tamaño máximo puede superar los 40 cm, sobre todo en las zonas más próximas a la cabecera, donde la capacidad erosiva es más elevada debido a las diferencias altimétricas y a la alta pluviometría. La potencia del depósito no es visible en la mayor parte de la zona, pero se estima que no debe superar los 2 o 3 m. Su edad se considera Holoceno.

#### **2.3.2.4. Arcillas, arenas y cantos. Conos de deyección (26). Holoceno**

Los conos de deyección aparecen asociados a los valles, pues se originan a la salida de barrancos y arroyos, cuando éstos alcanzan un cauce de rango superior. En los puntos de confluencia, la pérdida de pendiente produce la sedimentación de la carga arrastrada, formándose un depósito con forma de abanico. Los escasos conos existentes se localizan en el valle del río Belabarze, en la margen meridional del mismo. La génesis de estos depósitos es contemporánea a la de los fondos de valle puesto que unos y otros suelen interdentarse.

Los conos de deyección son depósitos de textura granular y heterométrica y apenas están consolidados. Su litología es muy similar a la de los fondos de valle pues el área madre es común, aunque pueden encontrarse diferencias locales. Por lo que se refiere al tamaño de grano, existe una gran diferencia dentro del mismo depósito que disminuye desde la zona apical a la distal. La potencia es difícil de calcular, pero pueden llegar a alcanzar unos 5 m. Se les asigna una edad Holoceno por su relación con la llanura de inundación fluvio-glacial que se considera de la misma edad.

#### **2.3.2.5. Gravas, arenas y limos. Llanura de inundación fluvio-glacial (27). Holoceno**

La llanura de inundación fluvio-glacial del río Belabarze se ha denominado así por tener características mixtas, siendo diferente a los valles de su entorno. Sus laderas están suavizadas y abiertas dando una sección transversal en artesa. También sus depósitos pueden asociarse a una génesis de este tipo pues se trata de un material heterométrico, constituido por cantos de naturaleza calcárea, de angulosos a subangulosos, con presencia de bloques removilizados. Depósitos de características similares han sido citados en la zona por LÓPEZ, J. (1981), al sur de la localidad de Isaba. En la propia hoja de Isaba (117-IV), vecina por el oeste, se describen también características de carácter kárstico, para el valle de Belabarze, ya que en un punto determinado de su recorrido, en esa hoja, se estrangula drásticamente, encajándose

en un sumidero, actualmente comunicado con otro valle que ya ofrece morfología fluvial en “v”.

El tamaño de los cantos están comprendidos entre 5 y 50 cm, con una media de 30 cm, observándose la presencia de bloques. La matriz arenoso-limosa es muy suelta y presenta estructuras de deformación por las acciones repetidas del hielo y deshielo. Los espesores visibles no superan los 5 m. La edad es Holoceno

#### **2.3.2.6. Bloques y arcillas. Deslizamientos (29). Holoceno**

Los mejores ejemplos se observan en los parajes de Pasos de Tamburin, Mazelarra, y en los valles de Belabarze y Veral, este último en territorio de Huesca. Los deslizamientos están formados por la acumulación caótica de bloques y materiales finos al pie de las laderas. El propio mecanismo de formación da lugar a un amasijo de naturaleza variable según la litología de la vertiente. Su potencia es variable, pero puede llegar a alcanzar los 10 m. Son de formación reciente por lo que se los incluye en el Holoceno.

### **3. TECTÓNICA**

#### **2.1. CONSIDERACIONES GENERALES**

La cadena Pirenaica se divide tradicionalmente en tres grandes zonas. La zona central pirenaica, zona axial, corresponde a una gran estructura de origen alpino y tipo antiformal caracterizada por el afloramiento de rocas paleozoicas en su eje. En la zona más occidental, donde se localiza la hoja de Belagua, los materiales paleozoicos aparecen recubiertos por materiales cretácicos y terciarios, quedando los afloramientos paleozoicos al

Al norte de la zona axial pirenaica, se encuentra la Zona Norpirenaica, caracterizada por la presencia de una serie de materiales del basamento varisco, que corresponden a bloques desenraizados conocidos con el nombre de Macizos Norpirenaicos, con los que se incluyen afloramientos del Mesozoico plegado. Esta zona se separa de la Zona Axial por el denominado Cabalgamiento Frontal Norpirenaico.

Por último, la Zona surpirenaica incluye todos los materiales post-variscos de vergencia sur que forman

La Hoja de Rincón de Belagua, desde el punto de vista tectónico, se incluye en la terminación occidental de la Zona Axial Pirenaica.

En esta hoja también aparecen materiales de la Zona Norpirenaica representados por rocas paleozoicas y mesozoicas del manto de Lakora, estructura cabalgante sobre la cobertera cretácica de la Zona Axial.

Las rocas paleozoicas prevariscas están afectadas por dos etapas de deformación, por una parte las estructuras pertenecientes a la orogenia varisca, originada durante el Carbonífero, y por las estructuras originadas durante la orogenia alpina en el Paleógeno.

La escasez de afloramientos de rocas paleozoicas en la zona cartografiada impide determinar con exactitud las características estructurales y tectónicas en estos materiales y, mas concretamente, los efectos de la deformación producida por la orogenia varisca. En general, se reconoce en zona adyacentes que las principales estructuras variscas son pliegues apretados, a veces isoclinales y asimétricos cuya traza axial tiene una dirección NW-SE (Teixell, 1994).

Sobre este plegamiento se superpone otro, de pliegues abiertos con vergencia normal hacia el sur, y plano axial buzando unos 50° al norte. Este segundo plegamiento, de origen alpino, ha deformado las estrcuturas variscas como se puede observar en zona orientales a Belagua y Zuriza.

La principal deformación de los materiales cartografiados corresponde a la orogenia alpina. Esta estructura alpina se carcateriza por cabalgamientos y pliegues orientados aproximadamente WNW-ESE y vergentes hacia el sur, según numerosos autores.

### **3.1. DESCRIPCIÓN DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS**

#### **3.1.1. sistema de cabalgamientos de larra**

El sistema de cabalgamientos de Larra incluye una serie de numerosos cabalgamientos imbricados y enraizados en uno basal que afectan a los materiales del Cretácico Superior. El cabalgamiento basal, denominado cabalgamiento inferior de Larra, aparece paralelo a la estratificación en la mayor parte de su trazado, por lo que no origina repetición de la serie.

Sin embargo, tal y como señala TEIXELL (1994) no siempre aparece en el mismo nivel estratigráfico, ascendiendo en la serie de Norte a Sur, del modo que, en Larra, está localizado en las calizas santonienses, en Peña Ezcaurre, en la contigua Hoja 118-III, aparece a techo de las margas del Maastrichtiense.

Por debajo de este cabalgamiento, no parece ninguna otra estructura similar, por lo que el contacto entre los materiales paleozoicos y cretácicos es de naturaleza estratigráfica y no involucra ninguna superficie de despegue de importancia.

El sistema de cabalgamientos imbricados, especialmente en los macizos de Larra y de la Piedra de San Martín, aparece como un conjunto de pequeños cabalgamientos que afectan principalmente a la parte superior de la Unidad de la Caliza de los Cañones y los niveles inferiores de la Fm. Margas de Zuriza. La orientación predominante de estos cabalgamientos es NW-SE, con un buzamiento medio de 30° hacia el Norte.

El cabalgamiento inferior de Larra se localiza a favor del contraste existente entre las calizas de los Cañones y las calizas micríticas superiores con nódulos de sílex, de carácter menos competente. En general, los cabalgamientos se aprecian en campo por la existencia de bandas de rocas de falla, que llegan a alcanzar el metro de espesor en algunos casos.

Los cabalgamientos aparecen deformados por el antiformal de la zona Axial de tal forma que el flanco norte, el sistema de fallas está basculado hacia el norte, mientras que el flanco sur está basculado hacia el sur. Esta deformación anticlinal afecta a todos los materiales de la cobertura de la zona axial en Larra, incluyendo el manto de Lágora.

El clivaje asociado al plano axial del plegamiento tiene carácter pizarroso en los materiales pelíticos, como se aprecia muy claramente en la Margas de Zuriza mientras que apenas se diferencia en las rocas más competentes, calizas y areniscas. Su orientación dominante es WNW-ESE con buzamientos de 50-70° hacia el Norte.

Estos pliegues en la hoja de Zuriza son de Norte a sur los siguientes: Sinclinal del Puerto de Navarra, Anticlinal de Belabarce, Sinclinal de Abizondo y Anticlinal de Ezacurre.

### **3.2. EDAD DE LAS DEFORMACIONES**

La deformación varisca, apenas representada en las Hojas de Belagua y Zuriza, estaría comprendida entre el Namuriense terminal y el Stephaniense-Pérmico. Por lo que respecta a la deformación sobre las rocas post-carboníferas, en la zona cartografiada no se encuentran materiales contemporáneos a la deformación, por lo

que las asignaciones de edad de las distintas etapas debe hacerse en función de datos obtenidos en zonas adyacentes.

Así, el cabalgamiento de Lákora se ha relacionado con la subsidencia de la cuenca de Jaca durante el Eoceno inferior y medio (Labaume, 1985), por lo que su emplazamiento debió tener lugar aproximadamente en dicha época. Por lo que hace referencia al sistema de cabalgamientos de Larra, debería haber comenzado también en el mismo periodo de tiempo, ya que el cabalgamiento inferior se entronca con el de Lákora a nivel de cobertera. El resto del sistema puede continuarse, según varios autores, hasta el cabalgamiento del Monte Perdido, a su vez relacionado con el anticlinal de Boltaña, de edad Luteciense a Bartonense, por lo que este periodo de tiempo puede asignarse a los cabalgamientos de Larra.

Por último, los pliegues de segunda generación que aparecen en la zona deforman los cabalgamientos, por lo que consecuentemente son más recientes.

## **4. GEOMORFOLOGÍA**

### **4.1. DESCRIPCIÓN FISIAGRÁFICA**

La superficie aquí cartografiada pertenece a la Comunidad Autónoma de Navarra y está representada en la hoja de Zuriza (118-III), escala 1:25.000, ocupando una parte importante del cuadrante noroccidental y una parte menor del cuadrante suroccidental. Al este está limitada por la provincia de Huesca de la que se ha cartografiado una banda, de aproximadamente 1 km de ancho, a partir del límite provincial y paralela al mismo.

Geográficamente, la zona se encuentra situada en el Pirineo Central. En esta región, la topografía es muy accidentada, encontrándose las máximas alturas al este, en el límite con el territorio aragonés, destacando Peña Ezcaurre con 2045 m, el Pico Maze con 1941 m y Punta Abizondo con 1673 m. Las cotas más bajas se sitúan en el barranco de Belabarze, donde descienden hasta los 1050 m, en el borde oeste de la hoja.

Desde el punto de vista geológico, los materiales del sustrato son de edad Cretácico-Terciario y están representados por una serie carbonática, en la parte inferior y arenoso detrítica, de carácter turbidítico, en la superior, aunque esta última presenta unos afloramientos de pequeñas dimensiones. Los depósitos cuaternarios apenas suponen una pequeña representación

El relieve de este sector pirenaico puede definirse como de alta montaña, caracterizado por un dominio de relieves acusados y fuertes cambios de pendiente. Las mayores alturas son las que marcan el nivel de cumbres principal que constituye a su vez el límite provincial entre Navarra y Huesca y una destacada divisoria de aguas. Aunque este nivel de cumbres presenta una dirección general N-S, aunque ofrece algunas irregularidades en su trazado.

Desde un punto de vista morfológico, la zona se caracteriza por una serie de elevaciones de dirección general ONO-ESE, como Pacos de Tanburin, Selva de Otsobieta, Uturburua y Peñas de Ezcaurre, separadas por los cursos de agua que

circulan por el sector como son los barrancos de Maz, Otsobieta y Belabarze, siendo este último el de mayor desarrollo. Todos estos cursos de agua, de régimen estacional, dirigen sus aguas hacia la vecina hoja de Isaba (117-IV).

Los valores de las pendientes son muy altos pues casi un 70% de la superficie supera valores del 30%. Las áreas de pendientes más suaves se encuentran en el valle de Belabarze y en algunos sectores más altos, donde se han desarrollado las superficies de erosión.

Las características climatológicas de la zona hacen que se incluya dentro del Dominio Mediterráneo Templado, con precipitaciones medias anuales entre los 1000 y 1500 mm y temperaturas medias anuales de 10-12°C. Las temperaturas máximas alcanzan los 36°C en los meses de verano y las mínimas descienden hasta los -8°C. Sin embargo, al tratarse de una zona de alta montaña, se generan microclimas producidos por las alturas y se originan precipitaciones y temperaturas diferentes de las que marcan las medias. Así, en la estación de Belagua, en la contigua hoja del mismo nombre (118-I), las precipitaciones registradas indican que se pueden alcanzar precipitaciones de 2000 mm y temperaturas medias de 7°C.

Los núcleos de población son inexistentes dentro del área cartografiada, aunque existen algunos caseríos aislados. La red de comunicaciones es muy reducida, destacando la NA-2000 que atraviesa discurre por el valle de Belabarze, con dirección E-O. El resto se reduce a una red de caminos forestales muy escasos que no permiten el acceso a la totalidad de la superficie de la hoja.

## **4.2. ANÁLISIS MORFOLÓGICO**

En este apartado se analiza y describe el relieve teniendo en cuenta sus dos aspectos más importantes, uno estático, relacionado con las características estructurales de la zona y también llamado morfoestructural, y otro dinámico, relativo a la actuación de los procesos exógenos sobre el sustrato existente y bajo unas condiciones climáticas determinadas.

#### 4.2.1. ESTUDIO MORFOESTRUCTURAL

Desde el punto de vista morfoestructural, el área de estudio se sitúa en el Pirineo Central, en el dominio de la Zona Surpirenaica, entre la Zona Axial y la Cuenca del Ebro. Lo accidentado de su relieve se debe, en gran parte, a la estructura geológica o a la combinación de litología y tectónica.

Desde el punto de vista tectónico, el conjunto se caracteriza por una serie de estructuras de cabalgamiento y plegamiento vergentes hacia el sur. Por lo general, se trata de estructuras alargadas, de gran longitud y de dirección ONO-ESE. La diferente naturaleza de los materiales, el tamaño de las estructuras y los procesos erosivos dan como resultado un relieve muy abrupto en el que las formas se orientan según las direcciones tectónicas principales.

Las formas estructurales se limitan a algunos escarpes y crestas. Los primeros se han separado en los que tienen un salto superior a 100 m, como el que se sitúa al sur, en el paraje de Agua de los Pastores y otros de menor tamaño como los de las Peñas de Ezkaurre. En algunos puntos se pueden ver líneas de capa que indican la diferente competencia de los materiales. También se han señalado aquellas fallas o fracturas que tienen expresión morfológica en el relieve. Una de ellas es la que se ubica al sur, próxima al paraje de la Loma de Chitón.

No hay que olvidar la red de drenaje que, con su morfología, refleja muy bien la influencia de la estructura en la configuración del relieve y en la distribución de los conjuntos fisiográficos. La linealidad de algunos cauces, su escasa sinuosidad, en la mayoría de los casos, así como los cambios bruscos en los perfiles longitudinales, son el reflejo de que las aguas circulan preferentemente por las zonas de mayor debilidad o de máxima pendiente.

El río de mayor envergadura que aparece dentro del territorio navarro es el Belabarze, con una dirección dominante ONO-ESE, coincidente con la de las principales estructuras. El resto de los cauces son de pequeña importancia y también se adaptan a las principales direcciones de fracturación. El otro río importante es el Veal, situado en la provincia de Huesca.

De la morfología de la red de drenaje puede decirse que es de tipo “dendrítico” y de mediana densidad como corresponde a litologías más o menos homogéneas o con materiales estratificados. La red secundaria tiene una tendencia subparalela como consecuencia de las altas pendientes.

#### **4.2.2. ESTUDIO DEL MODELADO**

En este apartado se analiza el conjunto de las formas cartografiadas en el mapa geomorfológico, ya sean sedimentarias o erosivas. Estas formas son el resultado de la acción de una serie de procesos exógenos que también descritos aquí y que han sido ordenados según su génesis y la importancia de su representación. En lo relativo a las formas, se han considerado el tamaño, la morfología, su distribución espacial y su relación con otras formas.

##### **4.2.2.1. FORMAS DE LADERA**

Dentro de este grupo se han reconocido coluviones, deslizamientos, canchales y bloques caídos.

Los coluviones suelen aparecer al pie de las vertientes de los principales valles – véase el valle de Belabarze – aunque también pueden encontrarse a media ladera. La morfología de estos depósitos es casi siempre muy similar, presentándose en bandas alargadas, más o menos estrechas y paralelas a los cauces. Por otra parte, los coluviones también están relacionados con zonas de fuertes pendientes por lo que allí pueden ofrecer cualquier tipo de morfología, al adaptarse a la forma de las laderas, como se observa en algunas zonas de cabecera. Es posible que algunos de los depósitos cartografiados correspondan a “derrubios ordenados” es decir, depósitos en los que se produce una imbricación de los cantos a favor de la pendiente, debida al lavado de la matriz en los momentos de deshielo, aunque no siempre es posible saberlo por la espesa vegetación y la dificultad de acceso.

Los deslizamientos son frecuentes y se producen como consecuencia de las fuertes pendientes y de la existencia de materiales blandos. Se pueden reconocer varios tipos, destacando aquellos de carácter erosivo, o superficiales, en los que el material

desplazado es el suelo o la alterita. En ocasiones se trata de antiguos deslizamientos que han sido retocados y en los que se puede identificar con claridad la cicatriz de despegue seguida por la superficie de caída, pulida por erosión y lavado.

En otros deslizamientos, como los de la mitad norte de la zona, se identifica perfectamente la masa deslizada, dando en las laderas una morfología muy característica de pequeños replanos. Los mejores ejemplos se observan en los parajes de Pacos de Tanburin, Mazelarra, y en los valles de Belabarze y Veral, este último en territorio de Huesca.

Las caídas de bloques se producen a partir de los grandes escarpes rocosos. La intensa fracturación, las altas pendientes y los cambios bruscos de temperatura favorecen, sin duda, la individualización y caída de los grandes fragmentos.

Como consecuencia del proceso anterior, repetido de forma continuada, se originan los canchales. Son muy parecidos a los coluviones, pero han sufrido un intenso lavado en épocas de deshielo, de manera que el resultado es una acumulación de bloques y cantos angulosos, sin matriz superficial.

#### **4.2.2.2. FORMAS FLUVIALES**

Tienen gran desarrollo en el ámbito de la hoja, pero dominan las de carácter erosivo. Las formas de sedimentación se limitan a fondos de valle, conos de deyección y terrazas

Los fondos de valle que existen en la hoja, se han desarrollado a favor del valle del río Veral y de sus afluentes. Este río se encuentra fuera del territorio navarro, en la provincia de Huesca, pero dentro de la zona cartografiada. El fondo es muy estrecho y su trazado presenta una forma sinuosa, discurriendo casi en paralelo al límite provincial.

Los conos de deyección aparecen asociados a los valles, pues se originan a la salida de barrancos y arroyos, cuando éstos alcanzan un cauce de rango superior. En los

puntos de confluencia, la pérdida de pendiente produce la sedimentación de la carga arrastrada, formándose un depósito con forma de abanico. Los escasos conos existentes se localizan en el valle del río Belabarze, en la margen meridional del mismo. La génesis de estos depósitos es contemporánea a la de los fondos de valle puesto que unos y otros suelen interdentarse.

Las terrazas se desarrollan exclusivamente en el valle del río Veral. Se trata de tres pequeños afloramientos con forma de bandas alargadas y estrechas, paralelas al cauce del río. Se localizan en la confluencia con los barrancos de Eras y del Rincón de Maz y se encuentran a +10-15 m y a +20-25 m, respecto al cauce actual, con un dispositivo morfológico de terrazas colgadas.

En cuanto a las formas fluviales de carácter erosivo, se han reconocido: incisión vertical bastante generalizada, surcos debidos a la arroyada difusa, numerosas cárcavas, con sus respectivas cabeceras, al este y noreste del pico de Maz y, finalmente, interfluvios en arista dispersos por toda el área.

#### **4.2.2.3. FORMAS KÁRSTICAS**

Son las que alcanzan menor desarrollo en la hoja de Zuriza, limitándose a pequeñas dolinas y sumideros al sur de la hoja porque los procesos de disolución afectan a las calcarenitas del Paleógeno de forma muy discreta. En las dolinas de mayor tamaño, de han instalado unos pequeños lagos o ibones tal y como puede observarse en el sector de Peña Ezcaurre.

En el desarrollo de los procesos de disolución hay una gran influencia de la estructura, de la fracturación y del diaclasado debido a que las zonas y líneas de debilidad o discontinuidad favorecen la entrada del agua al macizo rocoso y la circulación de la misma dentro de él.

#### **4.2.2.4. FORMAS GLACIARES Y PERIGLACIARES**

Se analizan conjuntamente las formas glaciares y periglaciares porque en la hoja no existe una diferenciación muy clara entre ambos dominios morfoclimáticos, ya que la

última glaciación y removilizaciones posteriores han dado lugar a una serie de procesos fluvioglaciares muy activos que han afectado a morfologías y depósitos anteriores. No obstante, pueden observarse formas glaciares bien desarrolladas que son más abundantes en el territorio aragonés que en el navarro.

Dentro de las formas sedimentarias se han reconocido canchales o pedrizas y una llanura fluvio-glaciar.

Los canchales o pedrizas son acumulaciones de bloques y cantos muy angulosos que se depositan en las vertientes como consecuencia de los episodios continuados de hielo-deshielo. El proceso de formación que los ha originado es la gelifracción o crioclastia. El agua de lluvia entra por las fracturas y grietas y, con la bajada de temperaturas, se transforma en hielo. El aumento de volumen que sufre el agua al helarse produce la ampliación de grietas y fracturas. Si este hecho se multiplica en el tiempo, la roca se fragmenta individualizando bloques que, si se encuentran en posición de inestabilidad, caen por gravedad desplazándose desde su situación original a zonas más bajas topográficamente. En esta removilización las acumulaciones de bloques se adaptan a la morfología del terreno recubriendo laderas, casi siempre por debajo de los escarpes rocosos que dan las calizas o los escarpes glaciares.

La llanura de inundación fluvio-glaciar del río Belabarze se ha denominado así por tener características mixtas, siendo algo diferente que los valles de su entorno. Sus laderas están suavizadas y abiertas dando una sección trasversal en artesa. También sus depósitos pueden asociarse a una génesis de este tipo pues se trata de un material heterométrico, constituido por cantos de naturaleza calcárea, de angulosos a subangulosos, con presencia de bloques removilizados. Depósitos de características similares han sido citados en la zona por LÓPEZ, J. (1981), al sur de la localidad de Isaba (117-IV). En es misma hoja, vecina por el oeste, se describen también características kársticas para este valle, ya que en un punto determinado de su recorrido, se estrangula drásticamente, encajándose en un sumidero y actualmente comunicado con otro valle que ya ofrece morfología fluvial.

En cuanto a las formas de erosión, se han reconocido circos o nichos de nivación, formas erosivas esculpidas por el hielo y caracterizadas por su morfología semicircular. En la hoja de Zuriza son escasos y los que existen se instalan en las cabeceras de arroyos y torrentes y en las áreas más elevadas, es decir, en las cumbres mayores.

Con menor presencia pero contribuyendo a definir la morfología local, se encuentran los grandes bloques caídos, situados por debajo de los escarpes y producto de la gelifración, así como una serie de pequeños lagos o ibones originados por la acumulación de agua de deshielo en pequeñas depresiones. A pequeña escala existen otro tipo de formas consistentes en deformaciones del suelo originadas por acumulación de agua en el mismo, lo que provoca movimientos de tipo fluidal, favorecidos por las altas pendientes.

#### **4.2.2.5. 3.2.2.5.- FORMAS POLIGÉNICAS**

Las formas de carácter poligénico son aquellas en las que han intervenido varios procesos en su formación. En la hoja de Zuriza se han reconocido una Superficie de Erosión, sobre la que destacan algunos relieves principales, y una serie de hombreras o rellanos. Todas ellas son formas de carácter erosivo por lo que no llevan ningún depósito asociado, a lo sumo algunos suelos o removilizaciones.

La Superficie de Erosión es una de las unidades más importantes del relieve pues suele ser un excelente nivel de referencia a partir del cual definir la evolución geomorfológica. En este caso, se localiza en la zona central de la hoja, ligeramente inclinada hacia el noreste, y se sitúa entre los 1500 y 1600 m de altitud, encontrándose algo más alta que en la vecina hoja de Isaba (117-IV), donde se encuentre entre 1300-1400 m. El problema que se plantea es conocer si ambas son la misma superficie, pero desplazada por causas estructurales, o si son dos superficies diferentes. Lo cierto es que ambas definen periodos de erosión y arrasamiento en los que el clima tiene un papel fundamental al ser la fuente de los numerosos procesos que la modelan. También hay que suponer una serie de retoques, posteriores a su

formación, que han producido su degradación. Los bordes de la superficie dan un escarpe suave.

Por debajo de esta unidad se desarrollan una serie hombreras, también de carácter erosivo, colgadas y ligeramente inclinadas hacia los valles. Se pueden reconocer unas, al norte de la hoja, y otras, al sur de la superficie. Suelen estar relacionadas con el encajamiento de la red fluvial.

#### **4.3. FORMACIONES SUPERFICIALES**

Se consideran como formaciones superficiales todos aquellos materiales coherentes o no, o incluso que han podido sufrir una consolidación posterior, y cuya formación está relacionada con la evolución del relieve existente en la actualidad (GOY et al, 1981).

La principal característica que deben tener es ser cartografiables a la escala de trabajo, además de una serie de atributos como geometría, tamaño, textura, potencia, génesis y, siempre que sea posible, edad.

En la hoja de Zuriza las formaciones superficiales no son demasiado abundantes, sin embargo las existentes son de gran importancia para la caracterización de los procesos que han dirigido el modelado local y regional.

En primer lugar se describen las formaciones superficiales de ladera, constituidas por coluviones y deslizamientos. Los coluviones tienen sus mejores ejemplos en los valles de Veral y Belabarze, así como en otros valles de menor envergadura. Su composición está definida por un conjunto de fragmentos calcáreos de muy diverso tamaño con una matriz arcilloso- limosa, no muy abundante. Los clastos son muy angulosos, por el escaso transporte sufrido, y pueden llegar a alcanzar tamaños próximos a los 40 cm. La potencia no es visible en ningún caso, pero por su disposición sobre el sustrato no debiera superar los 6 m. Se les ha asignado una edad Holoceno.

Los deslizamientos están formados por la acumulación caótica de bloques y materiales finos al pie de las laderas. El propio mecanismo de formación da lugar a un

amasijo de naturaleza variable según la litología de la vertiente. Su potencia es variable, pero puede llegar a alcanzar los 10 m. Son de formación reciente por lo que se los incluye en el Holoceno.

Las formaciones superficiales de origen fluvial están constituidas por fondos de valle, terrazas y conos de deyección.

La litología de los fondos de valle está compuesta por cantos y gravas de calizas, dolomías y algunas cuarcitas, empastados por una matriz arcilloso-arenosa. El tamaño medio de los cantos está comprendido entre 5 y 15 cm y el tamaño máximo puede superar los 40 cm, sobre todo en las zonas más próximas a la cabecera, donde la capacidad erosiva es más elevada debido a las diferencias altimétricas y a la alta pluviometría. La potencia del depósito no es visible en la mayor parte de la zona, pero se estima que no debe superar los 2 o 3 m. Su edad se considera Holoceno.

Las terrazas tienen un desarrollo muy restringido, limitándose sola y exclusivamente al valle de Veral, donde se han reconocido hasta dos niveles, situados a +10-15 m y +20-25 m sobre el cauce actual. Su litología se caracteriza por contener cantos y gravas de caliza, dolomía y algunas cuarcitas. El tamaño medio de los cantos está entre 8 y 12 cm, con máximos observados de 40 cm. La matriz es arenoso-arcillosa, medianamente compactada. Los espesores observados no superar los 5 m. La edad asignada es Pleistoceno.

Los conos de deyección también son depósitos de textura granular y heterométrica y apenas están consolidados. Su litología es muy similar a la de los fondos de valle pues el área madre es común, aunque puedan encontrarse diferencias locales. Por lo que se refiere al tamaño de grano, existe una gran diferencia dentro del mismo depósito que disminuye desde la zona apical a la distal. Los únicos ejemplos de conos se encuentran en el valle del río Belabarze,. La potencia es difícil de calcular, pero pueden llegar a alcanzar unos 5 m. Se les asigna una edad Holoceno por su relación con la llanura de inundación fluvio-glaciar que se considera de la misma edad.

Las formaciones superficiales de origen glaciar y periglacial tienen importancia dentro de la hoja. Una de las más llamativas es la llanura de inundación fluvio-glaciar del valle de Belabarze. Se ha denominado así por sus características mixtas. Tiene el fondo más amplio que los otros cursos de la zona y la gran carga de material transportado ha dado lugar a aplanamientos sobreelevados donde, en la actualidad, se encaja el río. La morfología del valle es en artesa con un fondo algo convexo. Sus depósitos presentan características torrenciales. Los elementos constituyentes tienen un alto grado de heterometría y son de naturaleza calcárea y dolomítica. Los tamaños están comprendidos entre 5 y 50 cm, con una media de 30 cm, observándose la presencia de bloques. La matriz arenoso-limosa es muy suelta y presenta estructuras de deformación por las acciones repetidas del hielo y deshielo. Los espesores visibles no superan los 5 m. La edad es Holoceno

Los últimos depósitos a considerar, de origen glaciar y periglacial, son los canchales o pedrizas. Están constituidos por acumulaciones de bloques de diferentes tamaños, de 10 a 60 cm, muy angulosos y con escasos elementos finos. A veces, la matriz no se ve en superficie por lo que parece que sólo existen bloques, pero en algunos cortes se observa que debido al lavado del depósito, los elementos finos se acumulan en la parte inferior del mismo. Su edad es Holoceno.

#### **4.4. EVOLUCIÓN GEOMORFOLÓGICA**

La evolución geomorfológica pretende establecer la historia y el tipo de procesos que han sido responsables de esculpir del relieve que se observa en la actualidad. Establecer esta evolución para una pequeña porción del territorio es una labor difícil si la zona no se considera integrada dentro de un contexto general más amplio.

Por ello es necesario situar este sector dentro del ámbito geomorfológico regional. En este sentido, el nivel de referencia más claro lo constituye una vieja superficie de erosión, desarrollada en la región que aparece a cotas comprendidas entre 900 y 1.200 m y no presente en la hoja. El problema que plantean las superficies es determinar su edad cuando, como en este caso, no existen sedimentos próximos que

puedan relacionarse con el arrasamiento. También ha sufrido modificaciones por erosión o tectónica pero, por sus características y por las cotas a las que se presenta, podría pensarse que es equivalente a la Superficie de Erosión Fundamental de la Cordillera Ibérica (PEÑA et al,1984), a la que se le atribuye una edad Vallesiense-Plioceno. El techo de esta superficie enrasaría con el final del ciclo neógeno, representado en la mayor parte de las grandes cuencas por la "Calizas del Páramo".

La superficie que aparece en la hoja, ligeramente inclinada hacia el noreste, se sitúa entre los 1500 y 1600 m de altitud y en la vecina hoja de Isaba (117-IV), entre 1300-1400 m. El problema que se plantea es conocer si estas dos superficies son la misma y si lo son, si equivalen a la Superficie de Erosión Fundamental pero desplazada en altura por estar más alejada de las cuencas o por movimientos estructurales, o si corresponden a niveles de arrasamientos diferentes. Es posible que la que aparece en las hojas de Isaba y, en esta, de Zuriza sea un nivel más antiguo, en cuyo caso su edad sería anterior al Vallesiense.

Retomando la finalización del ciclo neógeno, hay que indicar que tiene lugar otro hecho extraordinario, dentro de la historia de las grandes cuencas, y es el paso de un régimen de carácter endorreico, que acaece durante el proceso de relleno, a otro exorreico en el que la acción remontante de los grandes ríos hace que éstos irrumpen en las cuencas y se inicie el trabajo de erosión de las mismas, con evacuación de los sedimentos a través de las venas de agua. Ahora bien, este cambio de régimen no es sincrónico en todos los bordes de las cuencas, pero se supone que marcaría el paso del Terciario al Cuaternario, periodo, este último, que ha dejado suficientes testigos para poder afirmar que está marcado por el encajamiento de la red fluvial.

A partir de entonces y simultáneamente a las primeras etapas de encajamiento, en los bordes montañosos se empiezan a formar grandes sistemas de glaciares, entre los cuales destaca, sobre todo en las cuencas del Duero y Tago, "La Raña" que ya presenta un carácter claramente erosivo. Estos sistemas de glaciares, que dan superficies suavemente inclinadas hacia las cuencas y hacia los niveles de base, tienen características similares aunque con algunas diferencias locales.

Dentro del territorio que representa la hoja, no existen sedimentos postorogénicos, a excepción de los cuaternarios. Si se considera que la zona de estudio pertenece a un área de alta montaña donde la actividad principal es la erosiva, el relieve resultante es abrupto, con grandes incisiones y profundos encajamientos y en el que se generan grandes diferencias altimétricas con existencia de formas poco suavizadas.

Además de la erosión fluvial, los procesos más interesantes que aquí han tenido lugar son los de carácter fluvial, los de laderas y los glaciares y periglaciares. Todos están relacionados con la altura y con la climatología y caracterizan el relieve de la hoja, sin olvidar otras actuaciones que, aunque de menor importancia, contribuyen, sin duda, a perfilar la morfología local.

#### **4.5. PROCESOS ACTUALES Y TENDENCIAS FUTURAS**

En la hoja de Zuriza existen varios procesos que se reconocen como funcionales en la actualidad. Son los siguientes:

- Movimientos de ladera
- Erosión fluvial
- Alteración mecánica

Los movimientos de ladera son uno de los procesos más activos de la hoja y están representados por las caídas de bloques que dan lugar a canchales y pedrizas, mayoritariamente. Los mecanismos generadores de estos bloques son: la rotura de las rocas y la caída de los fragmentos por gravedad. La rotura se debe a los procesos de hielo y deshielo que hacen que el agua meteórica que entra por grietas, planos de estratificación y fracturas, se hiele y al helarse aumenta de volumen produciendo la fracturación. Cuando este hecho ocurre muchas veces, de forma sucesiva, las grietas y fracturas se van ampliando en las distintas direcciones hasta conseguir el aislamiento de los bloques. Si esto se produce en bordes de grandes escarpes, como los que se pueden encontrar en la hoja de Belabarze, los bloques, una vez aislados,

quedan en situación inestable, desprendiéndose y cayendo por gravedad hasta depositarse en cotas inferiores de la vertiente. Estas acumulaciones pueden ser de diferente desarrollo y morfología, esta zona tal y como sucede en.

También hay que resaltar la importancia que tiene, en este sector, el glaciario cuaternario que, acompañado de una intensa actividad fluvio-glaciario, ha originado profundos encajamientos en el relieve y cierta carga de sedimentos. Por otra parte, la presencia de hielo favorece, además de los procesos descritos mas arriba, otros movimientos de ladera como la solifluxión y la reptación.

En cuanto a la acción fluvial, hay que destacar la incisión vertical, cuya intensidad varía en las diferentes épocas, según sean el clima, los movimientos tectónicos, la naturaleza de la roca o el nivel de base general. En las zonas de materiales menos competentes se llegan a producir cárcavas.

Aunque los procesos mencionados, puntualmente pueden ser de gran envergadura, no se prevén grandes cambios del relieve en un futuro inmediato. Sin embargo, a largo plazo, todos estos procesos van a seguir actuando para suavizar el relieve en algunas áreas y accidentarlo en otras.

## 5. HISTORIA GEOLÓGICA

En este capítulo se proporciona una visión generalizada de la evolución tectónica y sedimentaria del sector abarcado por la Hoja 1:25.000 de Zuriza, considerando que esta Historia Geológica se realiza en común con la hoja contigua de Rincón de Belagua (118-I).

Los materiales más antiguos que aparecen en estas hojas son paleozoicos y corresponden a depósitos del Silúrico-Devónico involucrados en la escama tectónica de Lákora y materiales del Carbonífero, al oeste del macizo de Larra, que forman parte de la Zona Axial de los Pirineos.

Las rocas pelíticas del manto de Lákora se depositaron en medios marinos poco oxigenados durante el Silúrico.

Los materiales de la zona axial comenzaron a depositarse en el Devónico Inferior, en un momento en el que la sedimentación era predominantemente terrígena. Posteriormente, esta sedimentación terrígena evolucionó hacia ambientes de plataforma carbonática somera, de tipo arrecifal durante el Givetense-Frasnense inferior. Después de este periodo no existe registro sedimentario en toda esta zona, debido a que en toda la región se produjo una interrupción de la sedimentación acompañada de un basculamiento generalizado hacia el NE, con erosión de los materiales previamente sedimentados.

El registro carbonífero comienza con la sedimentación de calizas nodulosas con cefalópodos, en medios marinos de cierta profundidad, dispuestas en discordancia angular sobre los materiales siluricos y devónicos. Evoluciona hacia condiciones más someras en el Namuriense con la formación de calizas laminadas. Esta sedimentación carbonática termina bruscamente debido a nuevos hundimientos de las plataformas que ocasionan la llegada de un periodo de marcadas condiciones detríticas.

Durante esta etapa se produjo la sedimentación de la potente serie pelítico-arenosa de carácter turbídico que aparece en la zona occidental de la zona cartografiada (facies

“Culm”). Esta serie refleja un incremento importante de la subsidencia que pudiera estar relacionada con los primeros estadios de la orogenía varisca, producida durante el Namuriense B-C y Stephaniense. Como señala Teixell (1994), en comparación con otras zonas del Pirineo donde se observa el Paleozoico, esta zona occidental del Pirineo Axial representaría una zona relativamente externa de la cordillera varisca, dominada por una única generación de pliegues en condiciones poco metamórficas, a diferencia de otras zonas del Macizo Ibérico, donde esta orogenia tuvo carácter polifásico y complejo. Hacia el Este de la zona cartografiada aparecen materiales pérmicos posteriores a la orogenia, que se depositaron en medios continentales áridos que has sido interpretados (Bixel y Lucas, 1983), como cuencas intramontañosas relacionadas con fallas activas.

En esta región de la terminación occidental de la zona Axial existe una importante laguna estratigráfica que abarca desde el Triásico hasta el Cretácico Inferior. Únicamente en el manto de Lákora, perteneciente a la Zona Norpirenaica, se encuentran materiales triásicos, formados por lutitas y calizas sedimentadas en medios continentales palustres y marinos someros. Se desconoce si esta laguna es debida a falta de sedimentación o a erosión, siendo lo más probable una situación intermedia de ambas.

Según Teixell (1992), al inicio de la sedimentación del Cretácico superior en este sector de la Zona Axial, comienza por una importante transgresión de edad Cenomaniense, disponiéndose los materiales de esta edad (calizas con prealveolinas) sobre un substrato erosionado. Una vez depositados estos primeros materiales cretácicos, la sedimentación se detiene nuevamente en el periodo comprendido entre el Turoniense y parte del Coniaciense, para más tarde iniciarse un nuevo ciclo que duraría hasta el Santoniense inferior, representado por depósitos de una plataforma marina somera, con señales de actividad biológica intensa, con rudistas foraminíferos y corales. Es en este periodo cuando se depositan las Calcarenitas y calizas de Los Cañones o de Larra. Los materiales de esta unidad indican subsidencias moderadas y homogéneas, coherentes con regímenes de subsidencia térmica subsecuentes al periodo extensional del Cretácico Inferior (Teixell, 1992).

Con el inicio de la sedimentación Santoniense superior, la cuenca se hace expansiva y subsidente, retrocediendo las plataformas carbonatadas hacia el sur con una mayor influencia de sedimentos terrígenos, produciéndose un basculamiento del sustrato hacia el Norte, lo que provocó el hundimiento y profundización de la cuenca en la zona de la Piedra de San Martín, depositándose calcarenitas ferruginosas y calizas nodulosas en las áreas más meridionales y calizas con sílex hacia el norte.

En el Campaniense-Maastrichtiense, se depositaron las Margas y Calizas de Zuriza y las Areniscas de Marboré. Según Teixell, 1992, el límite inferior de este conjunto constituye una nueva secuencia deposicional, definiendo una cuenca abierta hacia el NO con desarrollo de plataformas somerizantes que comienza por la sedimentación de margas de plataforma externa y talud, y que culmina con la implantación de una plataforma más proximal en donde se depositaron las Areniscas de Marboré, que representan la parte más regresiva de la secuencia.

Estos cambios coinciden con los primeros movimientos compresivos alpinos en todo el dominio pirenaico, quedando la sedimentación controlada, a partir de este momento, por la evolución tectónica del orógeno pirenaico, teniendo lugar la sedimentación en la cuenca surpirenaica a partir del Paleoceno. Esta cuenca quedó individualizada como un surco de antepaís de orientación paralela a la de la cordillera. Estaba delimitada por un frente cabalgante al norte (zona axial) y un margen distal en el sur. En esta zona, este surco correspondería a un surco turbidítico de alimentación procedente de los relieves de la zona axial y limitado al sur por plataformas carbonáticas.

En esta zona de Belagua, el Paleoceno se dispone discordante sobre los materiales cretácicos, caracterizándose por la sedimentación de plataforma somera antes aludida en las zonas más meridionales, con zonas de talu y pié de talud hacia el norte, donde donaban los procesos de resedimentación.

A comienzos del Eoceno, durante el Ilerdiense, se desarrollan de norte a sur facies turbidíticas calcáreas, depósitos de margen de plataforma-talud y de plataforma distal

prodeltaica, es decir una evolución hacia facies más someras en el sur y facies de mayor profundidad en el norte.

Las estructuras alpinas tuvieron un desarrollo notable durante este periodo, cuando el cabalgamiento de Lákora se transfirió hacia el cabalgamiento inferior de Larra, provocando la imbricación progresiva de los materiales cretácicos y del Terciario inferior. A partir del Eoceno medio, se formaron estructuras relacionadas con cablgamientos mas profundos que causaron el apilamiento de láminas cabalgantes de basamento responsables de la disposición en antiformal de la zona axial (Teixell, 1992). Esta deformación continuó hasta el Oligoceno, transfiriendo el desplazamiento hacia el sur, y causando la emergencia del frente montañoso de las Sierras Exteriores.

Finalmente, durante el Terciario superior y el Cuaternario tuvo lugar el desarrollo kárstico de toda la zona sobre las calizas de Cretácico Superior.

## **6. GEOLOGÍA ECONÓMICA**

### **6.1. RECURSOS MINERALES**

En la Hoja a escala 1:25.000 de Zuriza (118-III) no se ha inventariado ningún indico de recursos minerales.

### **6.2. HIDROGEOLOGÍA**

#### **6.2.1.Introducción**

En este apartado se describen las características hidrogeológicas de las distintas unidades de la Hoja a escala 1:25.000 nº 118-I correspondiente a Rincón de Belagua, y se establecen las características hidrogeológicas de distintas unidades acuíferas que aparecen.

#### **6.2.2.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.

- Calizas Cretácicas

La mayor parte de la Hoja está formada por materiales calcáreos cretácicos: Calizas de los Cañones y Calizas de la Piedra de San Martín sobre los que se ha desarrollado un karst de notable importancia, con gran riqueza de formas exokársticas (simas, dolinas, valles ciegos, campos de lapiaz, etc.)

#### Funcionamiento hidráulico

El acuífero calizo se recarga por infiltración directa de agua de lluvia y a partir del deshielo de acumulaciones de hielo o nieve en su superficie. La descarga se produce a través de manantiales, en mayor medida fuera de los límites de la Hoja, hacia el territorio francés.

### Parámetros hidráulicos

En esta formación, mediante ensayos con trazador, se ha podido determinar una permeabilidad aproximada de 500 m/día, aunque se debe tener en cuenta la anisotropía de este dato en el contexto del acuífero kárstico. La porosidad calculada con este mismo método es del 2%.

- Calizas y dolomías terciarias

### Geometría

Estas unidades se sitúa entre el paquete margoso del Maastrichtiense y los niveles arcillo-arenosos que constituyen los niveles turbidíticos eocenos. Se trata de un primer tramo de calcarenitas arenosas que pasan a techo a calizas tableadas y masivas y un tramo superior constituido por calizas y calizas margosas.

Este acuífero se encuentra muy replegado con un espesor que supera los 150 metros (150-250 m) en los afloramientos observados en esta hoja y adyacentes.

### Funcionamiento hidráulico

En cuanto al funcionamiento hidráulico, la recarga se produce mediante infiltración directa del agua de lluvia sobre los afloramientos del acuífero. La descarga se produce por manantiales, o directamente a los cursos superficiales a través de materiales cuaternarios. Las vías de drenaje de la unidad son los ríos Esca y Veral principalmente. Los manantiales son muy caudalosos en las épocas lluviosas y de deshielo, mientras que en estiaje los caudales se reducen considerablemente.

Es importante destacar el grado de fracturación y karstificación existente en la unidad evidenciado por la presencia de formas exokársticas.

### Parámetros hidráulicos

En Hojas adyacentes se ha efectuado un ensayo de bombeo en un sondeo de investigación llevado a cabo por el Servicio de obras Públicas del Departamento de Obras Públicas Transportes y Comunicaciones del Gobierno de Navarra.

En el informe de la interpretación se señala que la baja transmisividad del acuífero deducida a partir de este ensayo, parece provocada más por la falta de desarrollo del pozo y la existencia de pérdidas de carga, que por una baja permeabilidad del acuífero.

Se debe apuntar que en este tipo de acuíferos no es conveniente generalizar un análisis de carácter puntual dado al carácter anisotrópico del mismo. Aunque no existen datos concretos para este acuífero se estima una permeabilidad media-alta para la unidad en su conjunto.

- Formaciones Cuaternarias

### Geometría

Como se ha indicado en el apartado de la descripción de formaciones superficiales, éstas son muy variadas aunque en general de escaso desarrollo en cuanto a profundidad y extensión se refiere.

Las geometrías son las típicas de los depósitos de terraza, fondos de valle, depósitos coluviales y aluviales poligénicos, etc.

### Funcionamiento hidráulico

La recarga de estos acuíferos aislados se produce por infiltración directa del agua de lluvia o por transferencia de los niveles permeables del Cretácico o Terciario, con los que contactan actuando como transmisores de los aportes procedentes de dichos

niveles, como en el caso de los aluviales asociados a los ríos Belagua, Esca y Veral y demás cursos superficiales (barrancos).

La descarga se produce a través de pequeños manantiales en las áreas de cota inferior, a favor del contacto con materiales arcillosos o limosos, bien del mismo depósito o bien de los materiales terciarios infrayacentes. Hay numerosos pozos, o incluso zanjas de drenaje, que explotan directamente los recursos de estas formaciones permeables del Cuaternario. Como es lógico también se dan descargas difusas en los cauces que intersectan dichas formaciones.

Los restantes acuíferos cuaternarios presentan recursos muy limitados debido a su reducida extensión y potencia implican pequeños volúmenes capaces de almacenar agua.

#### Parámetros hidrogeológicos

No se han recopilado datos de ensayos o test hidráulicos realizados en estos materiales. De forma general se ha estimado una permeabilidad media-alta para estos depósitos por porosidad intergranular, dado el bajo grado de consolidación y la granulometría de los depósitos.

#### **6.2.3. 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. Únicamente se encuentra una unidad hidrogeológica, la Unidad Hidrogeológica de Larra, definida en el Proyecto Hidrogeológico desarrollado entre 1975 y 1977 por la Diputación Foral de Navarra (D.F.N.).

Las principales características hidrogeológicas de la Unidad de Larra son las siguientes:

- Geometría

La Unidad de Larra está formada por materiales del Cretácico Superior, esencialmente materiales carbonatados, de los cuales la Formación Calizas de los Cañones o de Larra es la formación principal. El espesor de las calizas es de 350 m aproximadamente. Las rocas cretácicas que forman la unidad se disponen tectónicamente sobre el zócalo paleozoico y triásico y se encuentran recorridas por una extensa red de fallas principales y una serie de escamas de cabalgamiento que compartimentan el macizo en una serie de bloques. La disposición estructural de este conjunto se adapta al antiformal del Pirineo Axial, con inmersión hacia el Oeste, hecho que, junto al buzamiento general de la serie hace que el drenaje se dirija hacia la vertiente francesa.

En Larra, el drenaje se realiza principalmente en el valle de Santa Engracia, y, en menor medida hacia los ríos Belagua y Veral, en la vertiente española.

Sobre esta cobertera calcárea mesozoica se ha instalado un karst de notable importancia, con gran profusión formas exokársticas (lapiaces, dolinas, valles ciegos, etc.) y un complejo entramado de simas y cavernas. Este importante aparato kárstico condiciona el funcionamiento hidrogeológico del macizo.

- Funcionamiento hidrogeológico

Las entradas al acuífero de Larra se producen por infiltración pluviométrica y de escorrentía de fusión nival. Los valores de pluviosidad son superiores a 2000 mm/año, llegando a ser en ocasiones de 3000 mm anuales. Sin embargo apenas existe escorrentía superficial debido a la abundancia de cavidades en el medio subaéreo. El medio subterráneo es muy anisótropo, con rápida renovación del agua. La circulación se realiza a lo largo del contacto de la base de las calizas cretácicas con el zócalo paleozoico. Puntualmente, donde existe presencia de calizas devónicas o carboníferas el agua puede circular por estos niveles.

El área de recarga es de unos 120 km<sup>2</sup>, de los cuales 55, se encuentran en territorio español, 40 km<sup>2</sup> en Navarra, que constituyen el macizo de Larra propiamente dicho.

- Parámetros hidráulicos

Los datos del Proyecto Hidrogeológico desarrollado entre 1975 y 1977 por la Diputación Foral de Navarra (D.F.N.) indican una permeabilidad aproximada de 500 m/día, señalando que esta cifra varíe considerablemente dependiendo de las zonas. En el mismo estudio se señalan trasmisividades que, puntualmente, pueden superar los 2500 m<sup>2</sup>/día.

El nivel de recursos se estima en 263 hm<sup>3</sup>/año. El total de los recursos de Navarra supone un caudal específico de 65 l/seg/km<sup>2</sup>

#### 6.2.3.1. MANANTIALES

Los manantiales que se han inventariado en la Hoja 118-I (Rincón de Belagua) se encuentran todos ellos fuera del macizo de Larra, ya que, en el interior de este complejo kárstico no se encuentra ningún manantial.

Los manantiales inventariados son los siguientes:

CODIGO	NOMBRE	TIPO	CUENCA	RIO	UNIDAD	MUNICIPIO
9636	MACE I	Manantial	EBRO	ESKA	92	ISABA
9672	IZQUITURREA II	Manantial	EBRO	ESKA	92	ISABA
9674	BELABARCE I	Manantial	EBRO	ESKA	92	ISABA
9681	ULURBURUA	Manantial	EBRO	ESKA	92	ISABA
9682	RETOLA I	Manantial	EBRO	ESKA	92	ISABA
9683	RETOLA II	Manantial	EBRO	ESKA	92	ISABA
9688	MACE II	Manantial	EBRO	ESKA	92	ISABA
9689	MACE III	Manantial	EBRO	ESKA	92	ISABA
9690	MACE IV	Manantial	EBRO	ESKA	92	ISABA
9691	MACE IV	Manantial	EBRO	ESKA	92	ISABA
9692	MACE VI	Manantial	EBRO	ESKA	92	ISABA
9693	MACE VII	Manantial	EBRO	ESKA	92	ISABA
9694	OSOVIETA	Manantial	EBRO	ESKA	92	ISABA
9678	ELORRIAGA I	Manantial	EBRO	ESKA	92	ISABA

CODIGO	NOMBRE	TIPO	CUENCA	RIO	UNIDAD	MUNICIPIO
9680	ELORRIAGA II	Manantial	EBRO	ESKA	92	ISABA
9673	ELURRAQUIETA	Manantial	EBRO	ESKA	92	ISABA
9677	ELURRAQUIETA II	Manantial	EBRO	ESKA	92	ISABA
9679	LA CONTIENDA	Manantial	EBRO	ESKA	92	ISABA

### 6.3. GEOTECNIA

#### 6.3.1. Introducción

En este apartado se describe la cartografía geotécnica de la Hoja a escala 1:25.000 nº 118-I correspondiente a Rincón de Belagua, y se establecen las características geomecánicas de los materiales que la componen.

No existen datos geotécnicos en la Hoja que permitan caracterizar las distintas unidades por lo que esta caracterización geotécnica se ha realizado en función de 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.

#### 6.3.2. Metodología

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

1. 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
2. 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).
3. 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.

### **6.3.3. Zonificación geotécnica**

#### **6.3.3.1. Criterios de división**

Se ha dividido la superficie de la Hoja en función de criterios geotécnicos, en cuatro Áreas que presentan una entidad propia y cierta homogeneidad. Posteriormente, estas áreas han sido divididas a su vez en un total de ocho Zonas, siguiendo criterios básicamente litológicos, morfológicos e hidrogeológicos, ya que son estos los que permiten diferenciar desde un punto de vista geotécnico, los materiales de cada área.

De aquellas unidades de las que se dispone información, se aportan datos de identificación, estado, resistencia, deformabilidad y análisis químico.

#### **6.3.3.2. División en Áreas y Zonas Geotécnicas**

Área I: Representa los materiales paleozoicos

Área II: Comprende a los materiales cretácicos

Área III: Incluye los materiales terciarios

Área IV: Se han agrupado los depósitos cuaternarios

Estas áreas se han dividido en las siguientes zonas:

Área I: Zona I<sub>1</sub>

Área II: Zona II<sub>1</sub>, II<sub>2</sub>, y II<sub>3</sub>

Área III: Zona III<sub>1</sub> y III<sub>2</sub>

Área IV: Zona IV<sub>1</sub> y IV<sub>2</sub>

En el Cuadro 5.1, se presenta la correlación entre las unidades cartográficas y las áreas geotécnicas.

**CUADRO 5.1. HOJA DE RINCÓN DE BELAGUA**

<b>UNIDAD CARTOGRÁFICA</b>	<b>ZONACIÓN GEOTÉCNICA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
21,22,23,25,26,27,28 y 29	IV <sub>2</sub>	Gravas, arenas, limos y arcillas
19,20 y 24	IV <sub>1</sub>	Bloques, cantos, arenas y arcillas
16	III <sub>2</sub>	Lutitas y areniscas
12,13,14,15 y 17	III <sub>1</sub>	Calizas, margas y brechas carbonáticas
10 y 11	II <sub>3</sub>	Areniscas
5, 6, 7 y 8	II <sub>2</sub>	Calizas y dolomías
2 y 3	II <sub>1</sub>	Conglomerados y brechas
1 y 4	I <sub>1</sub>	Areniscas y lutitas

#### **6.3.4. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS**

##### **6.3.4.1. 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.
- 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

- 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.

- 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<sup>2</sup>). 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<sup>2</sup>). 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  $Q_u < 500$  Kp/cm<sup>2</sup>, 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	$\sigma_{tb}$ , Kp/cm <sup>2</sup>
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

- **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

- **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.

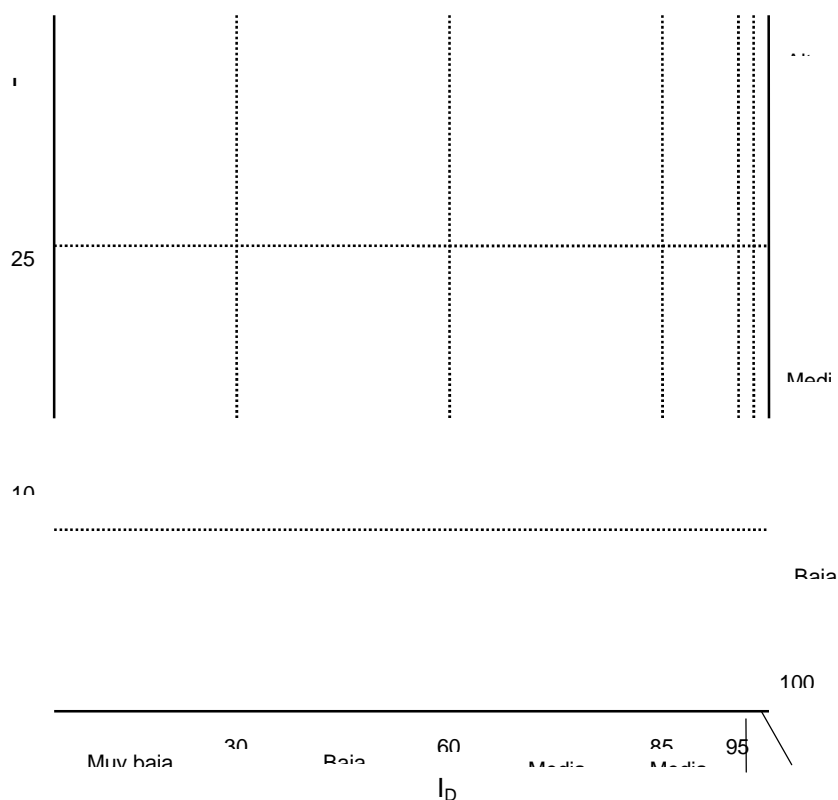


Fig. 6.3. Clasificación de durabilidad-plasticidad en rocas arcillosas propuesta por GAMBLE (ISRM, 1972).

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  $15 \text{ Kp/cm}^2$  y de  $30 \text{ Kp/cm}^2$  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	$\text{Kp/cm}^2$
------------------------	------------------

Roca ígnea o gnéissica 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 Difícil" para suelos muy blandos por debajo del nivel freático o suelos potencialmente expansivos; "Difícil" designa terrenos blandos o arenosos limpios bajo el nivel freático; y "Medio", suelos firmes, casi rocas blandas, que sólo a veces presentan problemas de nivel freático, con cierta capacidad de auto soporte 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

#### **6.3.4.2.    ÁREA I**

No aparecen materiales de esta área en la Hoja de Rincón de Belagua

#### **6.3.4.3.    ÁREA II**

##### **6.3.4.3.1. Zona II<sub>1</sub>**

No aparecen materiales de esta área en la Hoja de Rincón de Belagua

##### **6.3.4.3.2.    Zona II<sub>2</sub>**

- Localización

Constituyen la práctica totalidad del macizo de Larra, ocupando más de 80% de la extensión cartografiada de la hoja.

- Características litológicas

La Zona II<sub>2</sub> está constituida por depósitos carbonatados del Cretácico superior. En al Hoja de Zuriza se encuentran las calcarenitas y calizas con rudistas de la Fm. Calizas de los Cañones que apenas aflora en el extremo nororiental de la Hoja

- Características geotécnicas

La característica fundamental del macizo rocoso que constituye esta Zona lo representa la predominancia de materiales calcáreos que han dado lugar a un importante desarrollo kárstico, especialmente en la unidad Calizas de los Cañones, factor que condiciona decisivamente el comportamiento geomecánico del conjunto.

- Características constructivas

#### **6.3.4.3.3. Zona II<sub>3</sub>**

- Localización

En esta hoja, únicamente aparece una estrecha banda de las Areniscas de Marboré en el núcleo del anticlinal de Ezcaurre, fuera del territorio de la Comunidad Foral,

- Características litológicas

Son areniscas cuarzosas y bioclásticas de grano fino alternantes con niveles de margas arenosas

- Características geotécnicas

Los valores más característicos de areniscas y lutitas similares a estas son los siguientes:

#### **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

1. 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.

2. Excavabilidad.

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

### 3. Estabilidad de taludes.

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

### 4. Empuje sobre contenciones.

Las contenciones serán necesarias en zonas de alteración fuerte de las areniscas. Pueden esperarse empujes de tipo Medio.

### 5. Aptitud para préstamos.

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

### 6. Aptitud para explanada en carreteras.

En desmontes, la categoría de explanada en roca corresponde a la E-3.

### 7. 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.

## **6.3.4.4. ÁREA III**

### **6.3.4.4.1. Zona III<sub>1</sub>**

- Localización

- Características litológicas

Esta zona está constituida exclusivamente por calcarenitas de tonos grises, con potencias mínimas de 30 metros, disminuyendo lateralmente hasta potencias del orden métrico. En su muro, se pueden observar un conjunto de margas con bloques y brechas calcáreas. Esta unidad ha sido denominada como Megaturbiditas por LABAUME (1983).

- Características geotécnicas

Las calcarenitas deben poseer resistencia entre baja ( $q_u$  60-200 kp/cm<sup>2</sup>) y moderada ( $q_u$  = 200-600 kp/cm<sup>2</sup>), con eventuales zonas Muy Malas (RQD = 0-25).

Cualquier estudio de detalle que precise la definición geomecánica del macizo rocoso deberá atender a la caracterización completa de sus discontinuidades (orientación, continuidad, espaciado, abertura, relleno y rugosidad), con especial atención a la localización de zonas laminadas o intercalaciones margosas.

- Características constructivas

1. Condiciones de cimentación

De acuerdo con los valores orientativos que da la norma DIN 1054 y el código inglés CP2004/1972, teniendo en cuenta el buzamiento de los estratos, pueden considerarse, también con carácter orientativo, presiones admisibles del orden de 10 kp/cm<sup>2</sup>. Sin embargo, para un diseño correcto de la cimentación y para edificios altos o con cargas concentradas altas, será necesario un estudio de fracturación del macizo rocoso.

Para edificios habituales, con cargas máximas de unos 3-4 kp/cm<sup>2</sup>, la resistencia del terreno es suficiente, el tipo de cimentación más probable será el superficial mediante zapatas aisladas, cuya área no debe ser inferior a 4 veces el ancho del pilar o 1 x 1 m<sup>2</sup> para prever excentricidades y concentración de tensiones.

Respecto a cimentaciones próximas a bordes de taludes puede ser necesario recurrir a anclajes o bulonados en función de la disposición de la estratificación y de la red de diaclasado, para evitar inestabilidades debidas a la aplicación de cargas en coronación.

## 2. Excavabilidad

La ripabilidad de los materiales, viene condicionada por su fracturación, en general no se consideran ripables.

## 3. Estabilidad de taludes

No se ha observado inestabilidad importante.

## 4. Empujes sobre contenciones

En general, serán de tipo Bajo o Nulos.

## 5. Aptitud para préstamos

Se trata de rocas adecuadas para su empleo en pedraplenes de acuerdo con los conceptos establecidos en el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales anteriormente citado.

## 6. Aptitud para explanada de carreteras

Pueden constituir explanada tipo E-3.

## 7. Obras subterráneas

Según la clasificación de Bieniawski (1979), considerando una orientación de las diaclasas entre media y desfavorable, se clasifican los materiales de  $II_4$ , entre las categorías III (Media) y II (Buena).

**6.3.4.4.2. Zona III<sub>2</sub>**

- Localización
- Características litológicas

La zona está constituida íntegramente por la alternancia de areniscas, calcarenitas y arcillas, correspondiendo a depósitos de origen turbidíticos. Los tramos arcillosos constituyen la mayor parte del depósito, condicionando, por lo tanto, las características geotécnicas. Para la definición geotécnica en estos materiales se dispone de una completa información referente al Flysch de Irurozqui, cuyo comportamiento geotécnico en conjunto es similar a los materiales de esta zona.

Análisis mineralógico efectuado en estos materiales, indican la siguiente composición mineralógica :

Minerales de la arcilla	<b>37%</b>
Cuarzo	17%
Plagioclasa	Indicios
Calcita	33%
Dolomita	10%
Hematites	< 1,5%
Ankerita	2%
Yeso	Indicios

Por lo que respecta a los minerales de la arcilla su composición es la siguiente

Illita	73%	27% total de la muestra
Clorita/Caolinita	27%	10% del total de la muestra
Sepiolita	Indicios	

○ Características geotécnicas

En esta formación podemos distinguir los siguientes niveles : una capa superficial de arcilla limosa gris plástica con cierta proporción de materia orgánica (tierra vegetal) y que alcanza en torno a 0,40 m de profundidad; el nivel de alteración del material sano subyacente constituido por arcilla marrón claro con niveles de areniscas, su espesor varía entre 1,5 y 6 m con un promedio de 3 m aproximadamente; una transición al flysch de color más grisáceo que el nivel alterado, su espesor se cifra en 1,50 m aproximadamente (oscilando entre 4,0 m y su práctica inexistencia); flysch sano formado por una alternancia de margas y arcillas calcáreas gris oscuro muy duras y niveles de areniscas gris, con abundantes diaclasas subverticales en toda la serie paralela a la estratificación.

En el Sistema Unificado corresponden fundamentalmente al tipo CL, con límite líquido comprendido entre 33.2 y 47.1 e índice de plasticidad entre 13.0 y 26.3.

El contenido de carbonatos se sitúa entre 24,0 y 51,3%. A efectos de agresividad de los suelos se ha determinado su contenido en sulfatos, expresado en tanto por ciento de  $\text{SO}_3^{=}$  de diversas muestras obteniéndose generalmente que el porcentaje es inapreciable.

Los ensayos de penetración dinámica tipo SPT indican que estos materiales, incluso alterados, son generalmente de resistencia compacta a dura ya que en todos los casos se alcanza el rechazo (para profundidades menores de 3,5 m).

Los ensayos de rotura a c. simple disponibles, se han efectuado en muestras alteradas y sanas, por lo que se ha podido valorar el diferente comportamiento. Se ha observado que los resultados son un reflejo del grado de alteración. Para los materiales arcillosos más alterados se obtienen resistencias de 1.22 y 1.51 kp/cm<sup>2</sup>. En el nivel de transición al sustrato sano el valor de la resistencia a compresión simple ha sido de 0,07 kp/cm<sup>2</sup>, en las margas relativamente sanas este ensayo ha dado valores entre 49 y 428 kp/cm<sup>2</sup> siendo los valores más bajos generalmente los de muestras a menos profundidad, con una media cercana a 200 kp/cm<sup>2</sup>. Respecto a las areniscas pueden alcanzar hasta 795 kp/cm<sup>2</sup> de resistencia compresión simple.

Tomando como punto de partida los valores de la resistencia a compresión simple y empleando la correlación de Butler para arcillas sobreconsolidadas ( $ER = 130 \times q_u$ ) se obtiene un valor de módulo de deformación a largo plazo de las margas alteradas de cerca de 100 kp/cm<sup>2</sup>. No obstante, será probablemente algo más alto teniendo en cuenta que las correlaciones con los valores del golpeo en el ensayo SPT, como la enunciada por Stroud, permite deducir un módulo no inferior a 540 kp/cm<sup>2</sup>. En la zona menos alterada, el módulo de deformación deducido a partir de la resistencia a compresión simple (9,97 kp/cm<sup>2</sup>) se cifra en 650 kp/cm<sup>2</sup>.

La resistencia a compresión simple está bien correlacionada con la densidad seca de estos materiales. Ambos parámetros junto con la humedad natural sirven como indicadores del grado de alteración del flysch.

Respecto al comportamiento en deformación, en los dos ensayos edométricos llevados a cabo se han obtenido los siguientes parámetros. El índice de poros inicial  $e_0$ , ha tomado valores de 0,566 y 0,611, mientras que los índices de compresión  $C_c$  resultantes han sido de 0,153 y 0,161, estos valores nos indican una consistencia del material definida como dura.

Para estimar problemas de expansividad se han consultado ensayos Lambe, clasificándose las muestras como marginales o no críticas. Por ello, no son de esperar problemas de este tipo.

La caracterización del macizo rocoso en cuanto a resistencia a compresión y módulo de deformación se realiza a partir de los parámetros de la roca matriz minorándolos mediante reglas empíricas que tienen en cuenta la existencia de discontinuidades en el macizo. La resistencia a compresión del macizo se estima a  $25 \text{ kp/cm}^2$ , mientras que el módulo de deformación a adoptar se cifra en  $10.500 \text{ kp/cm}^2$ .

Igualmente se dispone de perfiles sísmicos realizados en esta formación, en los cuales se deduce que en el nivel más superficial correspondiente a la tierra vegetal y parte más alterada de este flysch, la velocidad de propagación de la onda sísmica es de  $400 \text{ m/s}$  aproximadamente. En la capa de flysch margoso comprimido y algo alterado esta velocidad puede oscilar entre  $1000$  y  $1500 \text{ m/s}$ , siendo en la zona sana superior a  $3000 \text{ m/s}$ .

Para la obtención o parámetros relacionados con obras de tierra, se han consultado ensayos de compactación con los materiales de calicatas y cuyos resultados se reflejan en el cuadro siguiente.

SONDEO	PROFUNDIDAD		TAMIZ 200 (%)	LL	PROCTOR		C.B.R.		M.O. (%)	USCS
	De	a			D.M. ( $\text{t/m}^3$ )	H.O. (%)	INDICE (100% p)	HIN. (%)		
C-116	0,50	0,70	80,0	34,9	1,89	12,4	4,3	1,80		CL
C-113	1,00	1,10	89,0	37,2	1,88	13,9				CL
C-111	0,50	0,75	71,0	33,2	1,87	14,8				CL
C-106	3,00	3,20	93,0	39,2	1,87	14,9	2,8			CL
C-115	1,20	-	95,0	40,8	1,81	16,1				CL
C-112 <sup>a</sup>	0,80	1,00	97,0	39,1	1,80	15,3	3,0	1,71	0,32	CL
C-103	1,50	2,40	92,0	42,8	1,78	16,2	0,6			CL
C-110	2,30	2,65	97,0	41,0	1,73	17,5	2,5	1,64		CL
C-112	1,20	1,30	94,0	46,2	1,67	15,5	0,7	1,59		CL

Estos datos indican que los materiales de esta formación son generalmente inadecuados, en algún caso tolerables, de acuerdo con la clasificación establecida en el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puertos (PG-4) del MOPT.

De las determinaciones de humedad realizadas se deduce que el contenido de agua de las muestras superficiales alteradas es sólo ligeramente superior al óptimo exigido en la compactación. Este contenido desciende en las muestras de materiales sanos por lo que sería necesario su humectación para su empleo, además de algún tratamiento que resolviera el problema de su evolutibilidad.

Una característica fundamental de esta formación, que comparte con todas aquellas de carácter arcilloso y fuertemente preconsolidadas en su elevada susceptibilidad a la alteración inducida por la meteorización física-química. Así los desmontes observados presentan taludes de mediana pendiente, estando el material en superficie muy troceado formando escamas que se desprenden fácilmente con la mano, aunque, como señala Wilson, para este tipo de formaciones la alteración no suele profundizar mucho debido a la cubierta que forma el suelo residual formado.

A continuación se resumen las características geomecánicas de estos materiales :

<b>CUADRO RESUMEN DE CARACTERISTICAS LITOLOGICAS Y GEOMECHANICAS</b>		
<b>PROPIEDADES</b>	<b>Margas alteradas</b>	<b>Margas sanas</b>
Clasificación USCS	CL	
Porcentaje de finos (%)	99 - 71 (MEDIA = 90,4)	
Límite líquido	47,1 - 33,2 (MEDIA = 39,7)	
Índice de plasticidad	26,3 - 13,0 (MEDIA = 20,3)	
Porcentaje de carbonatos (%)	51,3 - 24,0 (MEDIA = 37,4)	
Porcentaje de sulfatos (%)	0,21 - IND (INAPRECIABLE)	
Porcentaje de materia orgánica	0,90 - 0,32	2,76 - 2,48

(%)	1,89-1,64 (MEDIA=1,74)	(MEDIA = 2,57)
Densidad seca ( $t/m^3$ )	19,6-15,4 (MEDIA=18,1)	5,2-1,2 (MEDIA=2,9)
Humedad natural (%)	9,97 - 1,22	795-49 (MEDIA=267)
$Q_u$ ( $kp/cm^2$ )	0,2 - 1,35	2 - 15
Cohesión ( $kp/cm^2$ )	22,3 - 32,6	30 - 35
Angulo de rozamiento interno	100 - 650	10500
Módulo de deformación ( $kp/cm^2$ )		
$Q_u$ = Resistencia a compresión simple		
<b>NOTA</b> : Parámetros de resistencia al corte similares a los de MARGAS DE PAMPLONA		

- Características constructivas

#### 1. Condiciones de cimentación

En función de los valores de la resistencia al corte, resistencia a compresión simple y parámetros de deformabilidad, se han calculado las presiones admisibles, en los términos que establece la Metodología, para los suelos superficiales de alteración de esta formación.

Las presiones admisibles calculadas en el nivel superficial reblandecido o saturado son en el peor de los casos superiores a  $1,4 \text{ kp/cm}^2$ , según se deduce de los ensayos de resistencia a compresión simple. Atendiendo a los resultados de los ensayos SPT serán probablemente mayores. En los niveles algo alterados y en los relativamente sanos, según los valores orientativos que se dan en el Código inglés CP2004/1972, pueden considerarse presiones admisibles entre 6 y  $10 \text{ kp/cm}^2$ , posiblemente superiores dada la resistencia a compresión, superior en muchos casos a los  $100 \text{ kp/cm}^2$ , pero que para edificios habituales suponen valores suficientes. No obstante,

como norma general, para edificios altos o cuando se prevean fuertes cargas concentradas, se requerirá un estudio de resistencia y deformabilidad.

El tipo de cimentación a emplear depende del espesor del horizonte alterado y de su grado de alteración, particularmente en las áreas donde su potencia sea mayor. Se supone por otra parte, que la edificación carece de sótanos, que obligan a efectuar la excavación del terreno y pueden cambiar totalmente el planteamiento de la elección.

Con mayor probabilidad la cimentación será de tipo superficial (zapatas o losa) o semiprofunda, mediante pozos. Para edificios bajos, de menos de seis alturas, la cimentación en general, podrá realizarse mediante zapatas; para alturas superiores se deberá o bien recurrir a losa si la capacidad portante del terreno se sitúa en torno a  $1,5 \text{ kp/cm}^2$ , o bien deberán buscarse niveles resistentes más profundos en cuyo caso se deberá recurrir a cimentación semiprofunda (mediante pozas) siempre que esos niveles se encuentren entre 3 y 6 m de profundidad. Ocasionalmente, puede ser necesario el empleo de pilotes si el espesor de margas alteradas es superior a 5-6 m y se precisen cargos admisibles superiores a las que posean dichas margas en el punto considerado.

El empleo de losa de cimentación puede ser particularmente adecuado cuando en el área ocupada por el edificio, se produzcan variaciones notables en el espesor del horizonte alterado, que den lugar a asientos diferenciales inadmisibles si se pretendiera cimentar mediante zapatas aisladas, por otra parte, la cimentación por losa es una solución costosa para edificios bajos (6-8 plantas).

En donde el espesor del horizonte alterado es más reducido, la ejecución de cimentaciones requerirá un acondicionamiento previo del terreno (desmontes) en función de sus condiciones topográficas y el tipo de cimentación más probable será el superficial.

En función de los resultados del análisis del contenido en sulfatos de los materiales de esta formación no se esperan problemas de agresividad; tampoco de afluencia de agua a las excavaciones.

Entre los problemas de cimentación pueden considerarse:

Variaciones importantes del espesor del horizonte compresible, que dan lugar a asientos diferenciales inadmisibles.

Alterabilidad del material que aconseja realizar las cimentaciones inmediatamente después de excavadas o al menos la protección del fondo con una capa de hormigón pobre.

Dificultad en la excavación al encontrarse el horizonte no ripable a poca profundidad que puede llegar a aparecer a 2,50 m.

## 2. Excavabilidad

A partir de 4,0 m de profundidad, como media, se deberá excavar con ayuda de explosivos ya que se detectan rocas en estado sano con velocidades de onda sísmica superiores a 3.000 m/sg. y no arrancables por medios mecánicos según los catálogos de distintos fabricantes de maquinaria de movimiento de tierras.

Los niveles suprayacentes son arrancables por medios mecánicos convencionales, es decir tractores o bulldozers de potencia superior a 240 CV en estado normal de uso.

Se recomienda además para evitar una intensa fracturación del macizo la utilización de técnicas especiales de voladura como el precorte o el control exhaustivo del volumen de explosivo. Esta precaución redundará además en una mejor conservación del talud de desmonte y una menor meteorización.

## 3. Estabilidad de taludes

En referencia a este punto, la problemática que presenta esta formación similar a la de las margas eocenas englobadas con la denominación de Margas de Pamplona.

Se observa en los taludes naturales la típica escamación y fisuración de estas formaciones que no impide sin embargo que existan taludes naturales abruptos, ya

que su resistencia es elevada. Soportan bien, salvo con estratificación desfavorable, cortes de elevada altura con taludes inclinados. La presencia de capas de areniscas calcáreas, que arman el talud, es un factor primordial para esta resistencia.

Desde el punto de vista de la estructura del macizo, la existencia de zonas con alto buzamiento de las capas de flysch margoso ( $60^\circ$  a  $70^\circ$ ) implica que ángulos de corte por debajo de los  $60^\circ$  darían lugar a taludes seguros ya que todos los estratos quedarían enclavados y encajados en el terreno sin posibilidades de rotura plana a favor de la estratificación. Sólo sería entonces posible roturas a favor de planos de continuidad (diaclasas) con orientación desfavorable, que da lugar al fenómeno de toppling o vuelco de estratos. Otras zonas, sin embargo, presentan buzamientos de  $25^\circ$  a  $45^\circ$ . En donde se dieran condiciones desfavorables de rumbos de desmonte y de la estratificación paralelos, deben adoptarse taludes suaves del orden de la inclinación de la estratificación para prevenir la rotura plana a favor del buzamiento de los estratos, máxime teniendo en cuenta la alterabilidad de estos materiales. El talud del lado contrario no presentaría problemas de estabilidad al dirigirse los estratos hacia el interior del macizo pudiendo adoptarse taludes abruptos.

En la zona de meteorización de la roca la rotura del talud puede llegar a ser circular, según se señala en el Capítulo 9 del libro "Rock Slope Engineering" de Hoek y Bray. Estos deslizamientos serían poco profundos dado que la alteración no es muy profunda.

#### 4. Empujes sobre contenciones

Se estiman entre Bajos y Medios, dependiendo de la alteración de los materiales y de la protección que se de a la coronación del talud.

#### 5. Aptitud para préstamos

Al igual que las Margas de Pamplona se consideran materiales No Aptos, ocasionalmente Marginales. Las condiciones de su posible uso deben ajustarse a lo que recomienda en el caso de las Margas de Pamplona.

## 6. Aptitud para explanada de carreteras

Se trata de suelos No Aptos, que precisarán la extensión sobre ellos de una explanada mejorada.

## 7. Obras subterráneas

Las obras subterráneas realizadas en estas Zonas afectarán a la formación sana que, de acuerdo con los términos descritos en la Metodología se consideran terreno medio. Considerada como formación rocosa, según la clasificación de Bieniawski (1979), corresponde a roca Media (Clase III).

### **6.3.4.5. ÁREA IV**

#### **6.3.4.5.1. Zona IV<sub>1</sub>**

##### ○ Localización

Las morrenas aparecen en el valle de Belagua, mientras que los depósitos de canchales se encuentran en las laderas de Láhora y en los relieves próximos a la Mesa de los Tres Reyes.

##### ○ Características litológicas

Corresponden a depósitos cuaternarios constituidos por morrenas y canchales. Los primeros están formados por bloques, cantos y gravas de materiales carbonatados, dolomíticos y areniscosos que se presentan sueltos con matriz arenosa y arcillosa, sin ningún tipo de cementación. En el caso de los canchales se trata de una acumulación de bloques muy heterométricos, sin apenas elementos finos.

Sus espesores son muy variables, aunque predominan los de reducido espesor

##### ○ Características geotécnicas

Se trata de depósitos escasamente consolidados, donde los problemas geotécnicos están condicionados por la nula compactación y la disposición geomorfológica y estratigráfica de los materiales,

- Características constructivas

1. Condiciones de cimentación.

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

2. Excavabilidad.

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

3. Estabilidad de taludes.

Constituyen depósitos no consolidados de muy baja estabilidad. Taludes de alturas superiores a 4 m no deberán superar los 30°.

4. Empuje sobre contenciones.

En general, serán de tipo Medio.

5. Aptitud para préstamos.

Prevía eliminación de la cubierta vegetal, constituyen suelos Marginales.

6. Aptitud para explanada en carreteras.

En desmontes en roca, para conseguir categoría de explanada tipo E-3 precisarán la extensión sobre ellos de un firme seleccionado.

#### 7. Obras subterráneas.

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

#### 6.3.4.5.2. Zona IV<sub>2</sub>

- Localización.

Los depósitos de origen fluvial aparecen en el valle de Belagua y en los barrancos afluentes, mientras que los depósitos de ladera se encuentran diseminados por toda la hoja.

- Características litológicas

Litológicamente los materiales de edad cuaternaria que aflora en esta Hoja; están formados en una gran parte por los sedimentos detríticos, conglomerados, arenas, limos y arcillas que conforman el aluvial del río Belagua. Además existen afloramientos de material procedente de laderas y arcillas de descalcificación.

- Características geotécnicas

Como se ha descrito anteriormente, se han agrupado dentro de esta zona todos los depósitos cuaternarios. No se dispone de ensayos de estos materiales, pero en general se tratan de depósitos escasamente consolidados, donde los problemas geotécnicos están condicionados a la disposición geomorfológica y estratigráfica.

- Características constructivas

#### 1. Condiciones de cimentación

Existe una amplia gama de valores en función del subsuelo donde se prevé cimentar.

A falta de ensayos geotécnicos puntuales, considerando los valores que aparecen en las diferentes Normas y Códigos se pueden diseñar cargas admisibles variables entre 1 y 5 kp/cm<sup>2</sup> dependiendo de que se trate de un limo de consistencia rígida a una grava de compacidad alta.

Igualmente, en los depósitos aluviales, deberá contemplarse, en el momento de diseñar la cimentación, la posición del nivel freático y sus posibles variaciones, que pueden dar lugar a subpresiones sobre las obras de cimentación.

Cuando se trata de depósitos coluviales, se aconseja llevar la cimentación al sustrato rocoso.

## 2. Excavabilidad

En general, son todos fácilmente excavables.

## 3. Estabilidad de taludes

Los taludes naturales en depósitos de terraza se mantienen estables, los artificiales, en ausencia del nivel freático, se mantienen verticales con alturas pequeñas 2-3 m, para mayores alturas deben proyectarse 3 H: 4 V, tomando eventualmente medidas correctoras.

Los taludes artificiales, en material aluvial, cuando está por encima del nivel freático se mantienen estables, si se corta el nivel freático se produce desmoramientos.

Por último en material coluvial, se aconseja no sobrepasar los 30°.

## 4. Empujes sobre contenciones

Varían entre Bajos y Altos.

## 5. Aptitud para préstamos

Existe una amplia gama en tipos de suelos, desde inadecuados a seleccionados.

#### 6. Aptitud para explanadas de carreteras

Los depósitos de terraza se consideran entre Aptos y Marginales, los materiales aluviales son marginales y el material que constituye coluviones se considera no apto.

#### 7. Obras subterráneas

En general las obras subterráneas importantes, afectarán al sustrato.

Obras de menor entidad, encontrarían un terreno difícil, según lo establecido en la Metodología.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- ADAN DE YARZA, R.1918.Descripción físico-geológica del País Vasco-Navarro. Geografía General del País Vasco Navarro. t.1., pp. 1-86. 49 fig., 1 mapa geol. 1:800.000, Barcelona.
- BARNOLAS, A.; SAMSO, J.M.; TEIXELL, S.A.; TOSQUELLA, J. y ZAMORANO, M. 1991. Evolución sedimentaria entre la cuenca de Graus-Tremp y la cuenca de Jaca-Pamplona. I Congreso Grupo Español del Terciario, Libro-Guía Excursión n 1, Vic, 1991, 123 pp.
- BARNOLAS, A. y TEIXELL, A. 1992. La cuenca surpirenaica de Jaca como ejemplo de cuenca de antepaís marina profunda con sedimentación carbonática en el margen distal. Simposio sobre Geología de los Pirineos, III Congr. Geol. de Esp. Salamanca 9 pp.
- BARRERE, P. 1962. Reliefs murs perches de la Navarre Orientale. Rev. Geogr. Des Pyrénées et Sur-Ouest. XXXIII, 26-40.
- BERTRAND, L.1911. Sur la structure géol. des Pyrénées occid. et leurs relations avec les Pyrénées orient. et cent.; essai d'une carte struct. Pyrén. Bull. Soc. Géol. France, 4 sér., 11, pp. 122-153, 6 figs., 1 pl., Paris.
- CAMARA, P. y KLIMOWITZ, J. 1985 Interpretación geodinámica de la vertiente centro-occidental surpirenaica. Estudios geológicos nº 41 391-404.
- CANUDO, J.L.; MOLINA, E.; RIVELINE, J.; SERRA-KIEL, J. y SUCUNZA, M. 1988. Les événements biostratigraphiques de la zone prépyrénéenne d'Aragon (Espagne), de l'Eocén moyen a l'Oligocène inférieur. Rev. de Micropl., 31.
- CARBAYO, A. et al. 1978 Mapa Geológico de España Esc. 1:50.000. 2ª Ser. Hoja nº 117. Ochagavia. IGME.
- CARTERAS, M. 1971.Carte geologique de la France 1:50.000, XIV-47, Larrau. Sev. Geol. National BRGM, Orleans.
- CASTIELLA, J.; SOLE, J. y DEL VALLE, J.1978. Memoria Explicativa de la Hoja 1:200.000. Mapa Geológico de Navarra. Servicio Geológico, Diputación Foral de Navarra.

- 
- CASTIELLA, J.; SOLE, J.; NIÑEROLA, S. y OTAMENDI, A. 1982. Las aguas subterráneas en Navarra. Proyecto hidrogeológico. Diputación Foral de Navarra, 230 pp.
  - CAVELIER, C. 1968. L'Eocene superieur et la base de l'Oligocene en Europe occidentale. Memoire du BRGM, Colloque sur L'Eocene.
  - CIRY, R. 1951. Observations sur le Crétacé de la Navarre espagnole au nord-ouest de Pamplone. C.R. Acad. Sc., 233, pp. 72-74, Paris.
  - COLOM, G. 1945. Estudio preliminar de las microfaunas de foraminíferos de las margas eocenas y oligocenas de Navarra. Est. Geol. nº 2 pp. 33-84. Madrid.
  - CHAVEZ, A.; NEURDIN, R.; MAROCCO, J.; DELFAUD, J. 1985 Sedimentary organization of the upper Eocene deep sea fan (Tubiditas de Yesa) of Sangüesa. 6th Europ Meeting of Sedimentology IAS-Lleida 84-87.
  - CHESTERIKOFF, A. 1964. Note sur l'existence d'un paléodome dans la region de Burguete - Arive - Arrieta (Pyrénées basques espagnoles) et ses relations métalogeniques avec les mineralisations peripheriques. Bull. Soc. Geol. de France (7), VI.
  - DELFAUD, J. 1969. Essais sur la géologie dynamique du domaine aquitano-pyrénéen durant le Jurasique et le Crétacé supérieur. Thèse Fac. Sc. Bordeaux, 5 vol., 820 pp.
  - DONEZAR, M.; ILLARREGUI, M.; DEL VAL, J. y DEL VALLE DE LERSUNDI, J. 1990. Mapas de erosión actual y erosión potencial en Navarra, a escala 1:200.000.. Inst. Suelo y Conc. Parc. de Navarra - I.T.G.E.
  - ESTRADA, M.R. 1982. Lóbulos deposicionales de la parte superior del Grupo de Hecho entre los anticlinales de Boltaña y el río Aragón (Huesca). Tesis Doct., Univ. Autónoma de Barcelona, 164 p.
  - FACI, E.; CASTIELLA, J.; DEL VALLE, J.; GARCIA, A.; DIAZ, A.; SALVANY, J.M.; CABRA, P. y RAMIREZ, J. 1997. Mapa Geológico de Navarra a escala 1:200.000. Gobierno de Navarra.
  - FEUILLEE, P. 1965. Contribution á la connaissance du Crétace moyen du Nord et de l'Oueste de la Navarre espagnole. Actes 4º Congrès Intern. Etudes Pyrénéenes, Pau-Lourdes, 11,16 sept.1962, 1, sect.1, pp.

- 
- FROUTE J.Y.1988. Le rôle de l'accident d'Estella dans l'histoire géologique Cretace superieur a Miocene des Navarra-Alavais. These. Universite de Pau.
  - GARCIA SANSEGUNDO, J. 1991. Estratigrafía y estructura de la Zona Axial Pirenaica en la transversal del Valle de Arán y de la Alta Ribagorça. Tesis Doct. Univ. de Oviedo.
  - HERNANDEZ SAMPELAYO, P.1933. El flysch en Yesa, Navarra. Not. y Comunicados del IGME.
  - HOTTINGER, L.1961. Acerca de las Alveolinas paleocenas y eocenas.N. y C. IGME, nº 64, p. 37, Madrid.
  - JOHNS, D.R., MUTTI, E., ROSELL, J. y SEGURET, M. 1981.Origin of a thick, redeposited carbonate bed in the Eoceno turbidites of the Hecho Group. South-Central Pyrenees. Geology, 9, pp. 161-164.
  - KLARR, K. 1971. Der geologische Ban des süclsthchen teslos vom Aldudes - Quinto Real - Massiv (Spanish Westpyrenäen).Clausthaler Geol. Abh. II Clausthal – Zefferfelof.
  - KLARR, K. 1974.La structure géologique de la partie sud-est du Massif des Aldudes - Quinto Real (Pyrénées Occidentales). Pirineos III.
  - KULLMANN, J. 1970.Oberdevonische und karbonische Goniatiten-Faunen in den Spanischen Westpyrenäen. Clausthaler Geol. Abh. H. 12.
  - LABAUME, P. 1983. Evolution tectono-sedimentaire et megaturbidites du bassin turbiditique eocene sud-pyrénéen. These 3 éme cicle, USTL, Montpellier, 170 p.
  - LABAUME, P.; MUTTI, E.; SEGURET, M. y ROSELL, J. 1983. Megaturbidites carbonatées du bassin turbiditique d l'Eocene inferieur et moyen sud-pyrénéen. Bull. Soc. Géol. France, (6), 25 pp.
  - LABAUME, P., SEGURET, M. y SYEVE, C. 1985. Evolution of a turbidite foreland basin an analogy with an accretionay prism : Example of the Eoceno South-Pyrenean basin. Tectonics 4 pp. 661-68.
  - LABAUME, P.; MUTTI, E.; y SEGURET, M. 1987. Megaturbidites : A Depositonal Model From the Eoceno of the SW-Pyrenean Foreland Basin Geo-Marine. Letters 7 pp. 91-101.

- 
- LAMARE, P. 1927. Sur la structure des Pyrénées navarraïsses. C.R. XIV<sup>o</sup> Congr. Geol. Intern., T. 2, p. 693-698, Madrid.
  - LAMARE, P. 1931. Sur l'age des couches á facies flysch de la zone sudpyrénéenne en Navarre. C.R. Somm. S.G.F., 4 mai 1931, 9-10, 107-109, Paris.
  - LEON, I.; MARROCCO, R.; NEURDIN, J. y DELFAUD, J. 1985. The tidal-flat of the Sangüesa zone, Uppermost Eocene (Areniscas de Liedana Formation) of the South Pyrenean Basin of Jaca-Pam. 6th European Reg. Meeting of Sediment. IAS, Lleida-85, pp.248-251 (Abstract).
  - LEON, O. I. 1972. Síntesis paleogeográfica y estratigráfica del Paleoceno del Norte de Navarra. Paso al Eoceno. Bol. Inst. Geol. Min. España t. 83, pp. 234-241, Madrid.
  - LEON, O. I. 1985. Etude sedimentologique et reconstitution du cadre geodynamique de la sedimentation detritique fini Eocene-Oligocene sud Pyreneen. These. Universite de Pau.
  - LÓPEZ MARTÍNEZ, J. 1981. Sedimentación y deformación de un depósito fluvio-glaciar en el valle del Roncal (Pirineo Navarro). V Reun. Gr. Español Trabajo del Cuaternario. Sevilla. Pp. 267-279.
  - LÓPEZ MARTÍNEZ, J. 1983. Geología, geomorfología, clima e hidrología del macizo de la piedra de San Martín. Reunión Monográfica sobre el karst de Larra – 82. Publ. Servic. Geol. Diput. Foral de Navarr, pp. 15-53.
  - LÓPEZ MARTÍNEZ, J. 1986. Geomorfología del Macizo kárstico de la Piedra de San Martín (Pirineo Occidental). Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 529 p.
  - MANGIN, J.P. 1960. Le Nummulitique sud.pyrénéen á l'Ouest de l'Aragon. Pirineos, 51-58, 631 p., 113 figs. 19 pls., 1 carte géol. au 1:200.000, Zaragoza.
  - MANGIN, J.P. 1965. Le segment Basco-Aragonais dun Front Sud-Pyrénéen. Actes IV Congrès Intern. Etudes Pyrénéennes Pau-Lourdes, 11-16, Set. 1962, 1 (1), pp. 69-73, 1 fig., Toulouse.
  - MIROUSE, R. 1967. Le Dévonien des Pyrénées occidentales et Centrales (France). Interm. Sympos. Devonian System. Vol., I, pp. 153-170, 1 fig., Calgary.

- 
- MOHR, R. y PILGER, A. 1965. Das Nord-Süd-streichende Lineament von Elizondo in den westlichen Pyrenäen. Geol. Rdsch., 54 (1964), 2, s. 1044-1060, 7 Abb., Stuttgart.
  - MULLER, J. 1967. Sur la superposicion des déformations dans les Pyrénées occidentales. C.R. Acad. Sc. 265, Sér. D. pp. 400-402, Paris.
  - MUÑOZ, J.A. 1992. Evolution of a Continental Collision Belt: ECORS-Pyrenees Crustal Balanced Cross-section. In: Mc. Clay, K.R. (Thrusts Tectonics), eds, pp.
  - MUTTI, E. 1977. Distinctive thin-bedded turbidite facies and related environments in the Eocene Hecho Group (south-central Pyrenees. Spain). Sedimentology, 24.
  - MUTTI, E. 1984. The Hecho Eocene Submarine Fan System. South-Central Pyrenees Spain. Geo-Marine Letters, 3.
  - MUTTI, E.; LUTERBACHER, H.; FERRER, J. y ROSELL, J. 1972. Schemas stratigrafico e lineament. Facies del paleog. marino della zona cent. Sudpirenaica tra Tresp (Catalogna) e Pamplona (Nav.). Mem. Soc. Gel. Ital., 11 : 391-416.
  - MUTTI, E. et al. 1975. Turbidite facies and facies associations?. In: Examples, of turbidite facies and facies association from selected formations of the northern. Appennines. Field trip Guidebook, IX Int. Congr. Sediment. A 11, pp. 21-36.
  - MUTTI, E., et al. 1979. The role of sedimentary by-passing in the genesis of fan fringe and basin plain turbidites in the Hecho Groups System (South-Central Pyrenees). Mem. Soc. Geol. Italia, 18, pp. 15-22.
  - MUTTI, E.; REMACHA, E.; SGAVETTI, M.; ROSELL, J.; VALLONI, R. y ZAMORANO, M. 1985. Stratigraphy and facies characteristics of the Eocene Hecho. Group turbidite systems. South-central Pyrenees. In : M.D. Milá y J. Rosell eds : 6th European Regional Meeting I.A.S. y Lleida.
  - PAYROS, A.; ORUE-ETXEBARRIA, X.; BACETA, J.J. y PUJALTE, V. 1994. Las "megaturbiditas" y otros depósitos de resedimentación carbonatada a gran escala del Eoceno surpirenaico : Nuevos datos del área Urrobi - Ultzama (Navarra). En prensa.
  - PILGER, A. 1974. Dévonien supérieur, Carbonifère inférieur et Namurien avec la magnésite d'Eugui au Sud Ouest du massif d'Aldudes Quinto Real dans les Pyrénées Occidentales espagnoles. Pirineos (C.S.I.C.) III: 129-145.

- 
- PLAZIAT, J.C.1969. La transgr. de l'Eocene moyen en Haut Arag. et Nav. et son role dans la defin. des grandes ensembles struct. en domaine subpy. 94º Cong. National del Societe savants. Pau 1969. Sciences vol. 2, pp. 293-304.
  - PUIGDEFABREGAS, C. 1975. La sedimentación molásica en la cuenca de Jaca. Tesis Doctoral. Pirineos, 104.
  - PUIGDEFABREGAS, C. y SOLER, M. 1973. Estructura de las Sierras Exteriores Pirenaicas en el corte del río Gallego (prov. de Huesca). Pirineos, 109: 5-15.
  - PUIGDEFABREGAS, C.;et al. 1978. Mapa Geológico de España. Escala 1:50.000. 2ª Ser. Hoja nº 143. Navascués. IGME.
  - PUIGDEFABREGAS, C.; MUÑOZ, J.A. y MARZO, M. 1986. Thrust belt development in the eastern Pyrenees and related depositional sequences in the southern foreland basin. In : P.A. Allen y P. Homewood (eds). Foreland Basins Secp. Publ. Int. Ass. Sediment., 8.
  - RAMIREZ DEL POZO, J. 1971. Bioestratigrafía y microfacies del Jurásico y Cretácico del Norte de España (región cantábrica). Mem. Inst. Geol. M.E. 78 (3 vol.) 357 p., 141 lám., Madrid.
  - REMACHA, E. 1983. Sand tongues de la Unidad de Broto (Grupo de Hecho) entre el anticlinal de Boltaña y el Río Osca (Prov. de Huesca). Tesis Doct. Univ. Autonoma de Barcelona, 163 p.
  - REMACHA, E.; ARBUES, P. y CARRERAS, M. 1987. Precisiones sobre los límites de la secuencia deposicional de Jaca. Evolución de las facies desde la base de la secuencia hasta el techo de la arenisca de Sabiñánigo. Bol. Geol. y Min. 98, pp 40-48.
  - REMACHA, I. y PICART, J. 1991. El complejo turbidítico de Jaca y el delta de la arenisca de Sabiñánigo. Estratigrafía. Facies y su relación con la tectónica. I Congreso del Grupo Español del Terciario, Libro Guía excursión nº 8. Vic. 117 pp.
  - REQUADT, M. 1974. Aperçu sur la stratigraphie et le facies du Devonien inferieur et moyen dans les Pyrénées Occidentales d'Espagne. Pirineos, III.
  - RIOS, J.M.; ALMELA, A. y GARRIDO, J. 1944. Datos para el conocimiento estratigráfico y tectónico del Pirineo Navarro. Notas y com. Inst. Geol. y Min. España. 13 (1944) : 141-164; 14 (1945) : 139-198; 16 (1946) : 57-119.

- 
- ROBADOR, A . 1990. Early Stratigraphy. In : Introduction to early Paleogene of the South Pyrenean basin. Field Trip guidebook. I.G.C.P. Project 286 (Early Paleogene Benthos). IUGS-UNESCO, Chap. 2.
  - ROBADOR, A.; SAMSO, J.M.; SERRA-KIEL, J. y TOSQUELLA, J. 1990. Field Guide. In: Introduction to the early Paleogene of the south Pyrenean basin. Field Trip Guidebook. L.G.C.P. Project 286 (Early Paleogene Benthos), IUGS-UNESCO, Chap, 4, pp. 131-159.
  - ROSELL, J. y PUIGDEFRABREGAS, C. 1975. The sedimentary evolution of the Paleogene south Pyrenean basin. IAS 9 th. International Congress. Nice, July 1975.
  - ROURE, F.; CHOUKRONE, P.; BERAESTEGUI, X., MUÑOZ, J.A.; VILLIEN, P. MATHERON, P.; BAREYT, M.; SEGURET, M., CAMARA, P. & DERAMOND, J. 1989. ECORS Deep Seismic data and balanced cross sections: Geometric constraints on the evolution of the Pyrenees. Tectonics, Washington, 8, 1, pp. 41-50.
  - RUIZ DE AGONA, M. 1947. Nota preliminar. El Bartonense en la cuenca de Pamplona. N. y C. IGME., nº 17, p. 159-166, Madrid.
  - RUPKE, N.A. 1976. Sedimentology of very thick calcarenite-marlstone beds in a flysch succession, southwestern Pyrenees. Sedimentology 23.
  - SANCHEZ CARPINTERO, I. 1972. Estudio Geológico de las Sierras de Leyre y Navascués. Contribución al conocimiento estratigráfico. Tesis Navarra.
  - SEGURET, M. 1972. Etude tectonique des nappes et séries décollées de la partie centrale du versant sud des Pyrénées. Caractère synsédimentaire, rôle de la compression et de la gravité. Publ. Ustela. Série Géol., Struct. 2, Montpellier, 155 P.
  - SEGURET, M.; LABAUME, P. y MADARIAGA, R. 1984. Eocene seismicity in the Pyrenees from megaturbidites in the south-Pyrenean Basin (North Spain). *Mem. Geol.*, 5, pp. 117-131.
  - SELZER, G. 1934. Geologie der Sudpyrenaische Sierren in Ober-aragonien. *Neues Jhrb. Geol. Pal. Min.* 88, Abt. B. 370-406. Traducción española (1948). Publ. Extranj. Sobre Geología de España, C.S.I.C. Madrid.
  - SIMO, A. 1989. Upper Cretaceous platform-to-basin depositional sequence development, Tresp basin, south-central Pyrenees. In: P. D. Crevello, J.L.

Wilson, J.F. Sarg y J. Read (eds), Controls on carbonate platform and basin development, S.E.P.NM. Spec. Publ. 44, pp. 365-378.

- SOLER, M. y PUIGDEFABREGAS, C. 1970. Líneas generales de la geología del Alto Aragón Occidental. Pirineos, 96.
- SOUQUET, P. 1967. Le Crétace Supérieur sud-pyrénéen en Catalogne, Aragon et Navarre. Thèse Doct. Sc. Nat. Arch. Orig. Centre Docum. C.N.R.S. Nr. 1.351, 488 p., 13 cartes, 86 pl., Toulouse 1967 (édit privat., 529, p., 29 pl. Toulouse, 1967).
- TEIXELL CACHARO, A. 1990. El Cretácico superior en la terminación occidental de la Zona Axial Pirenaica. Geogaceta, 8, pp. 84-86.
- TEIXELL CACHARO, A. 1992. Estructura Alpina en la transversal de la terminación occidental de la zona Axial Pirenaica. Tesis Doctoral, Departamento de Geología Dinámica, Geofísica y Paleontología. Facultad de Geología, Universitat de Barcelona.
- VAIL, P.R.; AUDEMARD, F.; EISNER, P.N. y PEREZ CRUZ, G.A. 1990. Stratigraphic signatures separating tectonic, eustatic and sedimentologic effects on sedimentary sections. AAPG Annual Convention, San Francisco. AAPG. Bul.
- VAN DE VELDE, E. 1967. Geology of the Spanish Pyrenees, North of Canfranc, Huesca province. Est. Geol.
- VAN ELSBERG, J.N. 1968. Geology of the upper Cretaceous and part of the lower Tertiary, North of Hecho and Aragües del Puerto (Spanish Pyrenees, province of Huesca). Est. Geol. 24, pp. 39-77.
- VAN LUNSEN, H.A. 1970. Geology of the Ara-Cinca region. Spanish Pyrenees. Province of Huesca. Geol. Utraiectina, 16.
- VILLALOBOS, L.; RAMIREZ, J. 1974. Contribución al estudio del Cretácico superior de facies flysch de Navarra. Pirineos III.