

**ACTUALIZACIÓN E INFORMATIZACIÓN DE LA
CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE NAVARRA
A ESCALA 1:25.000 HOJA 118**

**CUADRANTE 118-I
RINCÓN DE BELAGUA**

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

0. INTRODUCCIÓN	5
1. ESTRATIGRAFÍA	7
1.1. PALEOZOICO	7
1.1.1. SILÚRICO-DEVÓNICO	7
1.1.1.1. Lutitas y areniscas (1). Manto de Lakora.....	7
1.1.2. CARBONÍFERO	7
1.1.2.1. Areniscas y lutitas (Facies “Culm”) (4).....	7
1.2. MESOZOICO	8
1.2.1. CRETÁCICO.....	8
1.2.1.1. Conglomerados cuarcíticos (Pudingas de Mendibeltza) (2). Manto de Lakora. Albiense -Cenomaniense.....	8
1.2.1.2. Brechas poligénicas (Brechas de Ibarrodoa) (3). Manto de Lakora. Santoniense	8
1.2.1.3. Calizas con prealveolinas (5).....	8
1.2.1.4. Calcarenitas y calizas con rudistas. Caliza de los Cañones (6). Coniaciense- Santoniense	8
1.2.1.5. Calizas micríticas con sílex. Calizas de la Piedra de San Martín (7).....	9
1.2.1.6. Calcarenitas ferruginosas (8).....	9
1.2.1.7. Margas y limolitas. Margas y calizas de Zuriza (9). Campaniense-Maastrichtiense ..	10
1.2.1.8. Areniscas y lutitas en facies turbidítica (10).....	11
1.2.1.9. ANÁLISIS SECUENCIAL DEL CRETÁCICO SUPERIOR.....	11
1.3. CUATERNARIO	12
1.3.1. PLIOCENO-ACTUAL.....	12
1.3.1.1. Arcillas pardas y pardo-rojizas de descalcificación (18). Plioceno-Actualidad.....	12
1.3.2. PLEISTOCENO	12
1.3.2.1. Bloques, cantos, arenas y arcillas. Morrenas (19 y 20). Pleistoceno	12
1.3.3. HOLOCENO	13
1.3.3.1. Bloques, cantos y arcillas. Coluviones (23). Holoceno	13
1.3.3.2. Bloques, arenas y arcillas. Canchales y pedrizas (24). Holoceno.....	13
1.3.3.3. Cantos, gravas y bloques con matriz arcilloso-arenosa. Fondos de valle (25). Holoceno 14	
1.3.3.4. Arcillas, arenas y cantos. Conos de deyección (26). Holoceno	14
1.3.3.5. Gravas, arenas y limos. Llanura de inundación fluvio-glaciar (27). Holoceno	14
1.3.3.6. Arcillas y arenas con cantos y bloques. Aluvial-coluvial (28). Holoceno.....	15
2. TECTÓNICA	16
2.1. DESCRIPCIÓN DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS	17
2.1.1. MANTO DE LAKORA	17
2.1.2. SISTEMA DE CABALGAMIENTOS DE LARRA	17
2.1.3. SISTEMA DE FALLAS DE LARRA	18
2.2. EDAD DE LAS DEFORMACIONES	18
3. GEOMORFOLOGÍA	20
3.1. DESCRIPCIÓN FISIAGRÁFICA	20
3.2. ANÁLISIS MORFOLÓGICO	21

3.2.1.	ESTUDIO MORFOESTRUCTURAL.....	21
3.2.2.	ESTUDIO DEL MODELADO	22
3.2.2.1.	FORMAS DE LADERA.....	22
3.2.2.2.	FORMAS FLUVIALES	23
3.2.2.3.	FORMAS KÁRSTICAS.....	23
3.2.2.4.	FORMAS GLACIARES Y PERIGLACIARES.....	25
3.2.2.5.	FORMAS POLIGÉNICAS.....	26
3.3.	FORMACIONES SUPERFICIALES	26
3.4.	EVOLUCIÓN GEOMORFOLÓGICA.....	28
3.5.	PROCESOS ACTUALES Y TENDENCIAS FUTURAS	30
4.	<u>HISTORIA GEOLÓGICA.....</u>	<u>32</u>
5.	<u>GEOLÓGÍA ECONÓMICA.....</u>	<u>35</u>
5.1.	RECURSOS MINERALES	35
5.2.	HIDROGEOLOGÍA.....	35
5.2.1.	INTRODUCCIÓN	35
5.2.2.	DESCRIPCIÓN DE LAS FORMACIONES	35
5.2.3.	UNIDADES ACUÍFERAS	37
5.2.3.1.	MANANTIALES.....	39
5.3.	GEOTECNIA	39
5.3.1.	INTRODUCCIÓN	39
5.3.2.	METODOLOGÍA.....	40
5.3.3.	ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA	41
5.3.3.1.	Criterios de división.....	41
5.3.3.2.	División en Áreas y Zonas Geotécnicas	41
5.3.4.	CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS.....	43
5.3.4.1.	Introducción.....	43
5.3.4.2.	ÁREA I.....	51
5.3.4.3.	ÁREA II.....	53
5.3.4.4.	ÁREA III.....	57
5.3.4.5.	ÁREA IV	58
6.	<u>BIBLIOGRAFIA.....</u>	<u>62</u>

0. INTRODUCCIÓN

La Hoja a escala 1:25.000 de Rincón de Belagua (118-I), forma parte de la Hoja a escala 1:50.000 de Zuriza (118), constituyendo su cuadrante noroccidental. La mayor parte de la Hoja se incluye en territorio francés, solamente su cuarto suroccidental forma parte de territorio español, y de esta porción española, la casi totalidad pertenece a Navarra. Todo el territorio navarro de la hoja, forma parte del Parque Natural de la Larra, uno de los principales espacios naturales de Navarra, y el más importante del Pirineo.

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, el Rincón de Belagua. La carretera Na-1370, que comunica Isaba con Arette, en Francia, es la única vía de comunicación que atraviesa la Hoja, estando así mismo muy reducido el número de caminos, sendas y pistas forestales 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 Belagua. 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.

Toda esta esquina nororiental de Navarra constituye una región donde la naturaleza calcárea del terreno ha labrado un paisaje cárstico muy característico, constituyendo uno de los principales macizos cársticos de España. Las cotas en esta hoja oscilan entre los 2.442 m en la Mesa de Los Tres Reyes, en la confluencia de Navarra, Aragón y Francia, siendo la mayor altitud de Navarra y la salida del valle del Belagua, que se sitúa a cotas de 950 m.

La red fluvial está reducida al Belagua y únicamente con ocasión de precipitaciones importantes, ya que la predominancia del acuífero de Larra hace que la mayor parte de las precipitaciones se infiltren en el acuífero.

El clima es alpino con temperaturas medias anuales de alrededor de 8° 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 más 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 Cretácico 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.

1. ESTRATIGRAFÍA

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

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

1.1. PALEOZOICO

1.1.1. SILÚRICO-DEVÓNICO

1.1.1.1. Lutitas y areniscas (1). Manto de Lakora

Los niveles más bajos que aparecen en el manto de Lákora se corresponden a lutitas y areniscas indiferenciadas pertenecientes al Silúrico y Devónico. Litológicamente se trata de pizarras negras metamorizadas con abundantes cristales de quistolita. Todo el afloramiento de esos materiales se encuentra en territorio francés, en la zona próxima a la frontera española.

1.1.2. CARBONÍFERO

1.1.2.1. Areniscas y lutitas (Facies “Culm”) (4)

En el extremo mas oriental de la zona cartografiada, al este y noreste de la Mesa de los Tres Reyes, aparece una alternancia de areniscas y lutitas negras con esporádicos niveles de conglomerados. Esta alternancia forma el núcleo del denominado sinclinal del Aragón-Subordán en esta zona.

Los niveles alternantes son centimétricos a métricos, formando una unidad que, en conjunto, alcanza una potencia de 400 m. En zonas próximas a esta, intercaladas en esta unidad aparecen grandes olistolitos constituidos por bloques de calizas negras que, sin embargo, en la zona cartografiada no se han encontrado.

La edad de esta unidad se ha establecido como Namuriense B-C, por su disposición por encima de las calizas de Chourique, de edad Namuriense A-C y también a partir del estudio de fauna resedimentada en el cercano valle de Aspe.

1.2. MESOZOICO

1.2.1. CRETÁCICO

1.2.1.1. **Conglomerados cuarcíticos (Pudingas de Mendibeltza) (2). Manto de Lakora. Albiense -Cenomaniense**

En la denominación de Pudingas de Mendibeltza se incluyen todos los materiales conglomeráticos que forman la cobertera de los macizos de Iguntze y Mendibeltza, macizos situados en territorio francés al norte-noreste de esta Hoja de Zuriza. Aquí afloran en el manto de Lákora.

1.2.1.2. **Brechas poligénicas (Brechas de Ibarrodoa) (3). Manto de Lakora. Santoniense**

Esta Unidad está formada por brechas caóticas de cantos angulosos de cuarcitas, grauwackas, pizarras y calizas, de origen paleozoico, pertenecientes al Silúrico, Devónico y Carbonífero, edades determinadas en bloques de calizas en el macizo de Mendibeltza.

Por su posición estratigráfica, estas brechas se consideran de edad Santoniense.

1.2.1.3. **Calizas con prealveolinas (5)**

Discordantemente sobre los materiales de la facies Culm se encuentra una estrecha franja calcárea formada por calizas micríticas masivas grisáceas. Con un espesor máximo de 40 m. desaparece por erosión hacia el Norte, con lo que la Unidad Caliza de los Cañones se apoya directamente sobre la serie siliciclástica de la facies Culm.

La asociación faunística que presenta, formada por miliólidos y prealveolínidos principalmente, sugiere una edad Cenomaniense, probablemente medio-superior. El contenido faunístico va desapareciendo progresivamente hacia techo, no habiéndose encontrado fauna representativa del Turoniense, como han propuesto algunos autores para el techo de la Unidad.

Esta unidad, correlacionable con la Formación Santa Fe de la Unidad Surpirenaica Central, se atribuye a depósitos de plataforma de tipo lagoon.

1.2.1.4. **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-Santoniense.

1.2.1.5. Calizas micríticas con sílex. Calizas de la Piedra de San Martín (7)

Son calizas micríticas de color gris oscuro, con abundantes nódulos silíceos que, en algunos casos, llegan a formar niveles enterolíticos continuos. La potencia es de 30-40 metros, apareciendo por encima de la Caliza de los Cañones, y son, en parte, equivalentes a sus tramos superiores.

Atribuidas inicialmente al Campaniense, RIBIS (1965) y RAMIREZ DEL POZO Y LOPEZ MARTINEZ (1988), su equivalencia lateral con la Caliza de los Cañones y la presencia de Lacazinas induce a considerarlas de edad Santoniense.

Se interpretan como equivalentes distales de las facies de plataforma carbonática somera de la parte superior de las calizas de los Cañones.

Afloran especialmente al Norte del Macizo de Larra, en los alrededores del puerto de Belagua.

1.2.1.6. Calcarenitas ferruginosas (8)

Esta unidad únicamente se encuentra en la alineación montañosa de la Mesa de los Tres Reyes. 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 recristalizadas de 30 m de potencia.

1.2.1.7. Margas y limolitas. Margas y calizas de Zuriza (9). Campaniense-Maastrichtiense

Esta unidad aflora en grandes extensiones en la hoja, bordeando todo el macizo de Larra en su parte occidental y en amplias zonas de los relieves de Arlas y Anielarra. Los mejores afloramientos se localizan en la carretera que desde Belagua asciende hasta la frontera francesa.

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 deca métrico, 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), *Eiffellithus Turreiffele* que indican el Cretácico superior.

1.2.1.8. Areniscas y lutitas en facies turbidítica (10)

Esta unidad, denominada Formación Longibar por SOUQUET (1984), consiste en alternancias decimétricas y centimétricas de areniscas y margas dispuestas en secuencias turbidíticas.

En la Hoja de Rincón de Belagua, únicamente aparece en las crestas del Pico de Arlás y Soum de.... y en Lákora, donde el klippe tectónico se apoya sobre esta unidad.

Los niveles arenosos, predominantes sobre los pelíticos, están formados por granos de cuarzo, y en menor medida, feldespato y mica y por bioclastos concentrados en la base de las capas. La potencia de estos niveles llega a ser de hasta 50 cm, y su estructura interna se corresponde con la secuencia de Bouma. Apenas aparecen marcas de base que puedan indicar la dirección de las paleocorrientes. Cuando aparecen, sugieren paleocorrientes hacia el NW.

La edad es Campaniense-Maastrichtiense Inferior, determinada a partir de la presencia de *G. Calcarata* y *G. Stuarti* (RIBIS, 1965)

1.2.1.9. 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 agracional con abundantes bioconstrucciones. El límite superior viene marcado por cambios importantes en la cuenca, con emersión y karstificación de parte 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 mar 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.

1.3. CUATERNARIO

El Cuaternario de la hoja de Belagua está representado mayoritariamente por depósitos de origen glacial y periglacial, aunque también se encuentran otros de carácter fluvial, kárstico, de gravedad o poligénicos.

1.3.1. PLIOCENO-ACTUAL

1.3.1.1. Arcillas pardas y pardo-rojizas de descalcificación (18). Plioceno-Actualidad

Se trata de las arcillas de descalcificación, producto residual del proceso kárstico. Rellenan el fondo de algunas dolinas y otras formas menores del karst. Su color es pardo o pardo rojizo. Contienen un cierto porcentaje de limo y arena, así como algunos fragmentos de rocas carbonatadas que a veces se desprenden de las paredes de las dolinas. Su espesor es difícil de determinar por la inaccesibilidad del relieve, pero se supone bastante reducido por el pequeño tamaño de las dolinas. La edad de estos materiales abarca desde el Plioceno a la actualidad, puesto que el proceso sigue funcionando hoy en día.

1.3.2. PLEISTOCENO

1.3.2.1. Bloques, cantos, arenas y arcillas. Morrenas (19 y 20). Pleistoceno

Los depósitos morrénicos del valle de Belagua son los de mayor desarrollo de la hoja. Consisten en una morrena central situada a una cota de 1010 m, alargada y orientada paralelamente al valle. Sus materiales están muy poco consolidados y ofrecen una gran heterometría, oscilando desde bloques de carácter métrico hasta arenas y arcillas. La litología, como en casi todo el sector, es calcárea y dolomítica y su aspecto general es el de un aglomerado con apenas organización, aunque a veces se reconocen estructuras de deformación por sobrepeso. La matriz arenosa puede presentar alteraciones locales. La potencia de este conjunto morrénico puede llegar a alcanzar los 20 m. Según LÓPEZ, J (1986), la edad de estos depósitos es Pleistoceno, estando directamente vinculados con el último máximo glacial.

Los depósitos morrénicos más altos, situados por debajo de los circos glaciares, presentan características algo diferentes. También consisten en una acumulación algo caótica de bloques, cantos, gravas, arenas y arcillas, pero tienen menor porcentaje en elementos finos. El grado de redondeamiento de los fragmentos es menor, debido a que han sufrido un transporte más corto. Su potencia parece no sobrepasar los 10 m. Estas morrenas situadas a cotas tan altas pueden tener un origen tardío con respecto al máximo glacial, relacionándose con una etapa tardiglacial (LÓPEZ, J., 1986).

1.3.3. HOLOCENO

1.3.3.1. Bloques, cantos y arcillas. Coluviones (23). Holoceno

Suelen aparecer al pie de las vertientes de los principales valles – véase el valle de Belagua – 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, al haber sufrido un transporte muy corto, pudiendo 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 debieran superar los 6 m. Se les ha asignado una edad Holoceno.

1.3.3.2. Bloques, arenas 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. El agua de lluvia entra por las fracturas y grietas, transformándose en hielo cuando desciende la temperatura. Entonces se aumento de volumen y la roca se fractura. Si este fenómeno se repite muchas veces, los fragmentos se individualizan y si se encuentran en posición de inestabilidad, caen por gravedad desplazándose de su situación original. En esta movilización las acumulaciones de bloques se adaptan a la morfología del terreno, recubriendo laderas, casi siempre por debajo de los escarpes rocosos calizos o de los escarpes originados por los circos glaciares. En estos últimos casos, suelen interdentar sus depósitos con las morrenas o superponerse a ellas.

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 que se les supone es Holoceno.

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

El único fondo de valle pertenece al valle de Belagua, estando encajado en la llanura de fluvio-glaciar. Es muy estrecho y presenta un trazado sinuoso. Las características litológicas se pueden describir como un conjunto de cantos y gravas de naturaleza mayoritariamente calcárea, con una matriz arenoso-arcillosa. El tamaño medio de los clastos está comprendido entre 5 y 15 cm, con un máximo de 40 cm. A veces y de forma aislada, se observa algún bloque de mayor tamaño, sobre todo en la zona de cabecera donde la capacidad erosiva es más elevada por las diferencias altimétricas y la alta pluviometría. La potencia del depósito no es visible. Su edad se considera Holoceno superior.

1.3.3.4. Arcillas, arenas y cantos. Conos de deyección (26). Holoceno

Los conos existentes se localizan en el valle del río Belagua, en la margen meridional, no superando en ningún caso los 800 m de longitud. 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, al tratarse de una zona tan reducida, el área madre es común, aunque siempre pueden encontrarse pequeñas diferencias locales. Por lo que se refiere al tamaño de grano, existe una gran diferencia dentro del mismo depósito, disminuyendo desde la zona apical a la distal. Los únicos ejemplos de conos se encuentran en el valle del río Belagua, destacando el más occidental de todos, con una superficie aproximada de 500 m cuadrados. La potencia es difícil de calcular y depende de cada uno de ellos, pero el mencionado anteriormente puede llegar a alcanzar unos 10 m. Se les asigna una edad Holoceno por su relación con la llanura de inundación fluvio-glaciar que se considera de la misma edad.

1.3.3.5. Gravas, arenas y limos. Llanura de inundación fluvio-glaciar (27). Holoceno

La llanura de inundación fluvio-glaciar del río Belagua se ha denominado así por sus características mixtas. Tiene el fondo más ancho que cualquiera de los cursos de la zona y su gran acarreo de carga ha dado lugar a aplanamientos sobreelevados donde, en la actualidad, se encaja el río Belagua con un cauce activo de morfología medianamente trenzada. 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 70 cm, con una media de 40 cm, observándose la presencia de algunos 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 8 m.

**1.3.3.6. Arcillas y arenas con cantos y bloques. Aluvial-coluvial (28).
Holoceno**

La única formación superficial de origen poligénico es un depósito de carácter aluvial-coluvial, situado en el Majadal de Julia Marco, al norte del valle de Belagua. El depósito está formado por clastos, de angulosos a subredondeados, de diferentes tamaños, de naturaleza calcárea y dolomítica, además de una matriz arenoso-arcillosa poco consolidada. Tienen una potencia entre 3 y 7 m y la edad asignada es Holoceno.

2. 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, más 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 estructuras 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 caracteriza por cabalgamientos y pliegues orientados aproximadamente WNW-ESE y vergentes hacia el sur, según numerosos autores.

2.1. DESCRIPCIÓN DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS

2.1.1. MANTO DE LAKORA

El manto de Lakora representa el borde sur de la Zona Norpirenaica y está formado por los macizos de Mendibelza e Iguntze, al norte de la Hoja de Belagua y el klippe del pico Lakora, situado en esta Hoja, entre Francia y España y de donde toma el nombre. Se considera el cabalgamiento más bajo de los existentes en estos macizos y aunque se ha asociado con el cabalgamiento de Eaux-Chaudes (LABAUME et al. 1985), el cabalgamiento que origina una superposición de facies similar se encuentra al norte, el cabalgamiento de Cinq Monts, definido así por MAJESTE-MENJOULAS (1979). (TEIXELL, 1994).

En el pico Lakora el plano de cabalgamiento buza hacia el norte unos 5-10°, mientras que al norte, en el valle de Ste. Engrâce, lo hace en unos 30-40°. Los materiales cretácicos implicados en el klippe de Lakora muestran una estructura anticlinal, en el que las capas de flanco sur aparecen fuertemente verticalizadas.

2.1.2. 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 antiforme 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 cobertera de la zona axial en Larra, incluyendo el manto de Lákora.

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.

2.1.3. SISTEMA DE FALLAS DE LARRA

En todo el macizo de Larra, además de los sistemas imbricados de cabalgamientos y de los pliegues que les acompañan, se ha desarrollado un tupido sistema de fracturas que cortan las estructuras anteriores.

Se aprecian dos familias principales, una de ellas se sitúa entre NNE-SSW y ENE-WSW, mientras que la dirección predominante de la segunda familia es WNW-ESE. En ambos casos, la disposición de sus planos de falla es muy vertical y su salto de varias decenas de metros.

Estos sistemas de falla controlan en gran medida el importante sistema kárstico desarrollado en estos macizos.

2.2. 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.

3. GEOMORFOLOGÍA

3.1. DESCRIPCIÓN FISIAGRÁFICA

La superficie representada en la hoja de Belagua (188-I), escala 1:25.000, se sitúa en el Pirineo Central, con una parte perteneciente a España y otra a Francia. El territorio español, mayoritariamente navarro, ocupa el cuadrante suroccidental y parte del sector central, con una pequeña representación, al sur, de territorio aragonés. El sector francés abarca las áreas norte y este de la hoja. La frontera entre ambos países la constituye una gran divisoria de aguas.

La cartografía geomorfológica aquí realizada corresponde, en su mayoría, a territorio español, pero también se ha cartografiado una banda de 1 km de ancho, dentro del país vecino, a partir de la línea fronteriza.

En esta región, la topografía es muy accidentada, encontrándose las máximas alturas al este, en el límite con Francia, de las cuales destacan La Mesa de los Tres Reyes con 2448 m y el Pico de Añelarra con 2326 m. También existen otras alturas importantes como el Alto de Budoguia con 2367 m, el Pico Lakora con 1857 m y Portillo de Pescamú con 1921 m. Las cotas más bajas se sitúan en el valle de Belagua, donde se desciende hasta los 950 m, en el borde oeste de la hoja.

El relieve de este sector del Pirineo 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, nivel que marca la frontera y constituye una gran divisoria de aguas. Aunque este nivel de cumbres presenta una dirección general E-O, suele ofrecer algunas irregularidades en su trazado que en ocasiones dan lugar a pasos naturales que permiten acceder al país vecino.

Los principales relieves los constituyen un conjunto de sierras y un valle. Entre las primeras, destaca la Sierra Longa, la Sierra de Añelarra y el Macizo de Larra, este último muy afectado por procesos de karstificación que le confieren un aspecto ruiforme a su superficie. Por otra parte, en el cuadrante suroeste aparece el único valle de cierta envergadura, el Valle de Belagua, de suave relieve, con una anchura de aproximada 1 km y al que accede gran parte del drenaje de este sector.

Los valores de las pendientes son muy altos pues casi un 90% de la superficie supera valores del 30%. Las áreas de pendientes más suaves se encuentran en el valle de Belagua y en algunas depresiones kársticas.

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, 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, pero a lo largo del valle del Belagua existen algunos caseríos y bordas. La red de comunicaciones es muy reducida, destacando la NA-1370 que atraviesa el valle de Belagua, dirigiéndose hacia el norte hasta atravesar la divisoria y pasar a Francia por el Collado de Piedra de San Martín. El resto se reduce a una red de caminos forestales y pistas pero, que en ningún caso, permiten el acceso a la totalidad de la superficie de la hoja.

3.2. 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.

3.2.1. 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 general 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 destacan los escarpes estructurales de largo recorrido con saltos de variadas dimensiones. En la cartografía geomorfológica, sólo se han separado los que tienen un salto superior a 100 m, como el que se sitúa en la margen derecha del río Belagua, de los que tienen un salto inferior a dicha cantidad, como los originados en el paraje de Picarras de Sanchogarde. En la parte más oriental, el karst que afecta al Macizo de Larra, ha logrado borrar algunas de estas estructuras, sin embargo, todavía quedan algunos ejemplos. Lo mismo sucede con las líneas de capa pero, aún así, todavía puede verse la estructura.

En cuanto a las fallas y fracturas, también juegan un papel importante dentro de la superficie de la hoja. La abundancia de las mismas es un elemento fundamental para

el desarrollo del karst en el Macizo de Larra, pues la disolución de la roca se canaliza a través de estas líneas de debilidad, de manera que las formas resultantes, como dolinas, uvalas y poldjes, se orientan según las principales direcciones de fracturación. Entre éstas, destacan las direcciones SSO-NNE a SO-NE y las próximas a E-O. Otras de menor desarrollo son ONO-ESE y NO-SE.

También la red de drenaje, con su morfología, refleja muy bien la influencia de la estructura en la configuración del relieve y en la distribución de los conjuntos fisiográficos. A excepción del macizo kárstico de Larra, donde los cauces apenas existen y los que existen se pierden, la mayoría de los cursos de agua, estacionales o no, presentan una acusada linealidad y unos cambios de pendiente muy bruscos en sus perfiles longitudinales. Todo ello indica que los cauces que hay en la hoja eligen como recorrido las líneas de máxima debilidad, en este caso fallas y fracturas, o de máxima pendiente. Los saltos en los perfiles longitudinales insinúan, no sólo que se trata de una zona de alta montaña, sino que los cauces se acomodan a los saltos producidos por las fallas y fracturas.

El único río de importancia en la hoja es el río Belagua que nace en el borde meridional de la hoja para tomar una dirección SE-NO hasta la Fuente de la Mata de la Haya donde cambia bruscamente de dirección para acomodarse a la NE-SO. El resto lo constituyen cauces de pequeña importancia que se adaptan a las principales direcciones de fracturación.

De la morfología de la red de drenaje poco puede decirse debido a la presencia del macizo kárstico que actúa como un colador, impidiendo el reconocimiento de líneas con una cierta continuidad.

3.2.2. 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.

3.2.2.1. FORMAS DE LADERA

Dentro de este grupo se han reconocido coluviones y bloques caídos. Los primeros suelen aparecer al pie de las vertientes de los principales valles – véase el valle de Belagua – aunque también pueden encontrarse a media ladera. La morfología de estos depósitos es casi siempre muy similar, en bandas alargadas más o menos estrechas y paralelas a los cauces.

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

3.2.2.2. FORMAS FLUVIALES

No tienen gran desarrollo en el ámbito de la hoja, pero destacan, entre ellas, las de carácter erosivo. Las formas de sedimentación se limitan a fondos de valle y conos de deyección.

El único fondo de valle que existe en la hoja, se sitúa en el valle de Belagua y está encajado en la llanura de fluvio-glacial de dicho río. Este fondo es muy estrecho y su trazado presenta una forma sinuoso-rectilínea. Las características litológicas de su depósito se pueden describir como un conjunto de cantos y gravas de naturaleza mayoritariamente calcárea, con una matriz arenoso-arcillosa. Cronológicamente parecen situarse en la parte alta del 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 Belagua, en la margen meridional del mismo, no superando en ningún caso los 800 m de longitud. La génesis de estos depósitos es contemporánea a la de la llanura del río Belagua, por lo que se les ha asignado una edad Holoceno.

En cuanto a las formas fluviales de carácter erosivo, destacan la incisión vertical al oeste, algunas cárcavas, con sus respectivas cabeceras, en la esquina suroccidental y pequeñas aristas en el sector septentrional. Fuera del territorio español, al norte del área estudiada, existe una garganta de mediano desarrollo.

3.2.2.3. FORMAS KÁRSTICAS

Son las que alcanzan mayor desarrollo en la hoja de Belagua, algunas de ellas de gran espectacularidad. Los procesos de disolución afectan a los extensos afloramientos de las calizas cretácicas de Larra y originan dolinas, uvalas, poldjes y lapiazes que por su densidad, dan un aspecto ruiforme a la superficie de las calizas.

Desde un punto de vista hidrogeológico, no se debe obviar la importancia de este macizo kárstico que ofrece características muy significativas. En primer lugar, destaca la ausencia de escorrentía superficial a pesar de ser una zona de alta pluviosidad (2000-3000 mm/año, LÓPEZ MARTÍNEZ, 1983). Los cauces existentes no llevan agua la mayor parte del año, agua que debido al grado de disolución de las calizas, penetra en ellas circulando de forma subterránea y saliendo al exterior por manantiales y surgencias.

Este sistema kárstico ocupa más de la mitad del territorio cartografiado en la hoja de Belagua, extendiéndose por el país vecino y constituyendo uno de los macizos kársticos de alta montaña mejor desarrollados. Por ello, ha sido objeto de numerosos trabajos como los reunidos en ARSIP (1980), así como los de MAIRE (1983) y LÓPEZ MARTÍNEZ (1983 y 1986).

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. Si a ello se añade la existencia de una estación fría, de gran duración y abundante precipitación sólida, el proceso de disolución se potencia por la agresividad de las aguas de deshielo.

En cuanto a las formas exokársticas, como ya se ha señalado anteriormente, son las más espectaculares, destacando las dolinas. Son muy abundantes afectando a la casi totalidad de la superficie del macizo. Su morfología en planta es circular u ovoide, con bordes irregulares. Algunas de ellas parecen abiertas, es decir alimentadas por un emisario y, por lo general, son pequeño tamaño. No es frecuente ver arcillas de descalcificación en su fondo.

Las uvalas son similares a las dolinas pero su forma en planta es alargada o irregular, suelen tener mayor tamaño y el fondo suele ser algo más plano que las anteriores. Como puede observarse en la cartografía la orientación de estas formas está fuertemente controlada por la fracturación. A veces, al igual que las dolinas, funcionan como sumideros aportando agua al drenaje subterráneo y generando, también, fuentes y manantiales a cotas más bajas.

Con formas similares, pero de gran tamaño y con un control estructural patente, tiene lugar el desarrollo de poldjes. Uno de los más llamativos se encuentra al norte del la zona, abarcando parte de territorio navarro y parte del francés, incluyendo los parajes de Camalonga, Sima de San Martín, Collado de Piedra de San Martín y Fuente de La Contienda. Este poldje tiene una longitud de aproximada de 3 km, sus bordes son rectilíneos, marcados por fallas o fracturas y en su interior pueden apreciarse una topografía irregular cierto originada por sucesivos procesos de disolución que dan lugar a dolinas y uvalas encajadas, dejando zonas intermedias elevadas.

Existen otro tipo de formas erosivas, de muy pequeño tamaño o microformas, que son muy invasivas, alterando grandes superficies. Son los lenares o lapiaces. Su formación en áreas de montaña es muy frecuente al ser favorecidas por las fases de hielo-deshielo. Se presentan con morfología aserrada, en zig-zag o en acordeón, siguiendo las direcciones del diaclasado, el buzamiento de las capas o la verticalidad de las laderas. Las aguas de deshielo, con una alta concentración de CO₂, son muy agresivas y tienen una gran capacidad para disolver el carbonato. El resultado son unas microformas de relieve acusado, que se instalan preferentemente en la vertiente meridional del macizo.

3.2.2.4. FORMAS GLACIARES Y PERIGLACIARES

Se analizan conjuntamente las formas glaciares y periglaciares porque en esta 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 fluvio-glaciares 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 francés que en el navarro.

Dentro de las formas sedimentarias se han reconocido morrenas, canchales o pedrizas y una llanura fluvio-glaciar. En las primeras, aunque se han incluido en un mismo grupo, hay que hacer una diferenciación entre los depósitos morrénicos del valle del río Belagua y otras morrenas más altas, situadas por debajo de los circos glaciares.

Las morrenas del valle del Belagua corresponden a morrenas de fondo y se limitan a un único depósito, en el paraje de Mata de Haya, que alcanza una cota de 1011 m. Su morfología es alargada, sus bordes son redondeados tiene y una longitud aproximada de 1 km. Tiene un perfil longitudinal en lomo de ballena, sobresaliendo sobre la llanura fluvio-glaciar.

Las morrenas situadas por debajo de los circos glaciares se sitúan a cotas mucho más altas y tienen también formas alargadas, a modo de lenguas, que van disminuyendo su anchura hacia las zonas más bajas. Alcanzan altas pendientes, tienen depósitos menos potentes y su potencia es también inferior.

Otros depósitos glaciares importantes son las acumulaciones que se producen en las vertientes y que han sido definidos como canchales o pedrizas, además de corredores rocosos y campos de bloques. 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 temperatura, se transforma en hielo. El aumento de volumen del agua sólida produce la ampliación de las grietas y fracturas. Si este hecho se produce muchas veces, 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. En estos últimos casos, suelen interdentarse con los depósitos morrénicos o superponerse a ellos.

La llanura de inundación fluvio-glaciar del río Belagua se ha denominado así por sus características mixtas. Tiene el fondo más ancho que cualquiera de los cursos de la zona y su gran acarreo de carga ha dado lugar a aplanamientos sobreelevados donde, en la actualidad, se encaja el río Belagua con un cauce activo de morfología medianamente trezada. La morfología del valle es en artesa con un fondo algo convexo.

En cuanto a las formas de erosión se han reconocido circos, nichos de nivación, cubetas de sobreexcavación, cordales o divisorias montañosas y aristas. Los circos glaciares son las formas erosivas más importantes de la hoja y se caracterizan por la morfología semicircular. Se instalan en las cabeceras de arroyos y torrentes, en las zonas más elevadas de la hoja, esculpiendo las cumbres mayores. Destacan los circos situados al este de la zona estudiada, en la vertiente francesa, entre el Pico de Anelarra y la Mesa de los Tres Reyes. También, en la vertiente francesa, pero esta vez al noroeste, existen algunos circos de buen desarrollo, al norte del Pico Coreplana. En este mismo sector se observa una cubeta de sobreexcavación, al noreste del Pico Lakora.

Las grandes divisorias montañosas o cordales tienen una morfología muy afilada, casi cortante, debido a la erosión glacial, destacando en el sector noroccidental, donde constituyen la frontera con el país vecino. Con características semejantes, se han cartografiado algunas divisorias o aristas de menor envergadura, en cuyo modelado también han intervenido procesos glaciares y periglaciares.

Con menor presencia pero contribuyendo a definir la morfología local, se señalan los grandes bloques caídos, situados por debajo de los escarpes, producto de la gelifracción, así como una serie de pequeños lagos o ibones originados por la acumulación de agua de deshielo en pequeñas depresiones. A otra escala, existen formas originadas por procesos de reptación y algunas terracillas de soliflucción.

3.2.2.5. FORMAS POLIGÉNICAS

En este apartado se ha incluido un único depósito situado al norte del río Belagua, en el paraje de Majadal de Julia Marco. Su situación en la cabecera de un pequeño arroyo, donde es difícil separar el aporte de material fluvial del que cae por gravedad, ha llevado a incluirlo en este grupo.

3.3. 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 Belagua 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. El tipo de depósitos da cuenta de la importancia de los procesos climáticos de hielo-deshielo que han producido una importante alteración mecánica, con el consiguiente suministro de material fragmentado.

En primer lugar se describen las formaciones superficiales de ladera, constituidas por los coluviones. Los escasos ejemplos se ubican al norte del valle de Belagua donde adquieren forma de bandas alargadas y estrechas. Su composición está definida por un conjunto de fragmentos calcáreos de muy diverso tamaño con una matriz arcilloso-limosa, no muy abundante, que se acumula mayoritariamente en la base de los depósitos debido a los procesos de lavado. 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.

Las formaciones superficiales de origen fluvial están constituidas por el fondo de valle del río Belagua y los conos de deyección. El fondo fluvial está encajado en la llanura fluvio-glaciár del mismo valle. Es estrecho y de trazado suavemente sinuoso. Su litología está compuesta por cantos, gravas y bloques 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 la zona de 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. Su edad se considera Holoceno superior.

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, al tratarse de una zona tan reducida, el área madre es común, aunque siempre pueden encontrarse pequeñas diferencias locales. Por lo que se refiere al tamaño de grano, existe una gran diferencia dentro del mismo depósito, disminuyendo desde la zona apical a la distal. Los únicos ejemplos de conos se encuentran en el valle del río Belagua, destacando el más occidental de todos, con una superficie aproximada de 500 m cuadrados. La potencia es difícil de calcular y depende de cada uno de ellos, pero el mencionado anteriormente puede llegar a alcanzar unos 10 m. Se les asigna una edad Holoceno por su relación con la llanura de inundación fluvio-glaciár que se considera de la misma edad.

La única formación superficial de origen kárstico son las arcillas de descalcificación, producto residual del proceso kárstico. Rellenan el fondo de algunas dolinas y las formas menores del karst. Su color es pardo o pardo rojizo y contienen un cierto porcentaje de limo y arena, así como algunos fragmentos de rocas carbonatadas que a veces se desprenden de las paredes de las dolinas. Su espesor es difícil de determinar por la inaccesibilidad del relieve, pero se supone que es bastante reducido por el pequeño tamaño de las dolinas. La edad de estos depósitos va desde el Plioceno a la Actualidad.

Las formaciones superficiales de origen glaciár y periglaciár son las más desarrolladas de la hoja. Una de las más llamativas es la llanura de inundación fluvio-glaciár del valle de Belagua. Se ha denominado así por sus características mixtas. Tiene el fondo más ancho que cualquiera de los cursos de la zona y su gran acarreo de carga ha dado lugar a aplanamientos sobreelevados donde, en la actualidad, se encaja el río Belagua con un cauce activo de morfología medianamente trenzada. 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 70 cm, con una media de 40 cm, observándose la presencia de algunos 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 8 m.

Por lo que se refiere a los depósitos morrénicos, los del valle de Belagua son los de mayor desarrollo. Consisten en una morrena central situada a una cota de 1010 m, alargada y orientada paralelamente al valle. Sus materiales están muy poco consolidados y ofrecen una gran heterometría oscilando desde bloques de carácter métrico hasta arenas y arcillas. La litología, como en casi todo el sector, es calcárea y dolomítica y su aspecto general es el de un aglomerado con apenas organización, aunque a veces se reconocen estructuras de deformación por sobrepeso. La matriz arenosa presenta alteraciones locales. La potencia de este conjunto morrénico puede llegar a alcanzar los 20 m. Según LÓPEZ, J (1986), la edad de estos depósitos es Pleistoceno, estando directamente vinculados con el último máximo glaciar.

En cuanto a los depósitos morrénicos situados por debajo de los circos glaciares, hay que señalar que presentan características algo diferentes. También se trata de una acumulación algo caótica de bloques, cantos, gravas, arenas y arcillas, pero los elementos finos están en menor proporción. El grado de redondeamiento de los fragmentos es menor que en los depósitos anteriores, debido a que han sufrido un menor transporte. Su potencia parece no sobrepasar los 10 m. Estas morrenas, situadas a cotas tan altas, pueden tener un origen tardío con respecto al máximo glaciar, relacionándose más bien con una etapa tardiglaciar (LÓPEZ, J., 1986).

Los últimos depósitos a considerar, de origen glaciar y periglaciar, 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. La edad que se les supone es Holoceno.

La única formación superficial de origen poligénico es un depósito de carácter aluvial-coluvial, situado en el Majadal de Julia Marco, al norte del valle de Belagua. El depósito está formado por clastos, de angulosos a subredondeados, de diferentes tamaños y de naturaleza calcárea y dolomítica, además de una matriz arenoso-arcillosa poco consolidada. La potencia está comprendida entre 3 y 7 m y la edad asignada es Holoceno.

3.4. 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 y más antiguo lo constituye una vieja superficie de erosión, desarrollada fuera del ámbito de la hoja, pero que aparece en áreas próximas, por ejemplo en las hojas, a escala 1:25.000, de Isaba (117-IV) y Zizur (141-I). El problema que plantea esta superficie es determinar su edad puesto que no existen sedimentos próximos que puedan relacionarse con el arrasamiento. Además, esta superficie ha sufrido modificaciones por la erosión o la 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 finalización del ciclo neógeno supone, además, otro hecho extraordinario dentro de la historia morfodinámica 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 estas 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 Tajo, "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, la actividad principal es erosiva y además de gran intensidad, por ello el relieve resultante es muy abrupto, con grandes incisiones y profundos encajamientos, en el que se generan grandes diferencias altimétricas y las formas están muy poco suavizadas.

Además de la erosión fluvial, los procesos más interesantes que aquí han tenido lugar son los de carácter glacial, periglacial y kárstico. Los primeros están relacionados con la altura y con la climatología y el último con la naturaleza del sustrato y la agresividad de las aguas de deshielo. Ambos caracterizan mayoritariamente el relieve de la hoja, sin olvidar otras actuaciones que, aunque de menor importancia, contribuyen, sin duda, a perfilar la morfología local.

3.5. PROCESOS ACTUALES Y TENDENCIAS FUTURAS

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

- Movimientos de ladera
- Erosión fluvial
- Alteración química
- 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 mismos 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 Belagua, 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 tal y como sucede en esta zona que nos ocupa.

También hay que resaltar la importancia que tiene, en este sector, el glaciario cuaternario, acompañado de una intensa actividad fluvio-glacial, lo que ha originado profundos encajamientos en el relieve y una generosa carga de sedimentos. Por otra parte, la presencia de hielo favorece, además de los procesos descritos mas arriba, otros movimientos de ladera como la soliflucción 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 la hoja de Belagua, aunque la incisión es acusada en algunos puntos, la intensa karstificación que tiene lugar en el Macizo de Larra, hace que la roca absorba gran parte del agua meteórica, creando una red de drenaje subterráneo. Se producen, entonces, otro tipo de procesos como son los de alteración química, destacando la disolución. Estos procesos son intensos pues los favorece la agresividad de las aguas de deshielo, dando en el relieve las formas más espectaculares. El comienzo de la disolución se supone en el Plioceno, pero el agua de lluvia, el clima frío y las calizas siguen estando ahí, de forma que el karst sigue su evolución.

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.

4. 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 Rincón de Belagua, considerando que esta Historia Geológica se realiza en común con la hoja contigua de Zuriza (118-III).

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-Frasniense 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 orogénia 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 orogénia tuvo carácter polifásico y complejo. Hacia el Este de la zona cartografiada aparecen materiales pérmicos posteriores a la orogénia, que se depositaron en medios continentales áridos que han 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 trasladó 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 cabalgamientos más 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, trasladando 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.

5. GEOLOGÍA ECONÓMICA

5.1. RECURSOS MINERALES

En la Hoja a escala 1:25.000 de Rincón de Belagua (118-I) no se ha inventariado ningún indicio de recursos minerales.

5.2. HIDROGEOLOGÍA

5.2.1. 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.

5.2.2. DESCRIPCIÓN DE LAS FORMACIONES

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

- 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.

5.2.3. UNIDADES ACUÍFERAS

A continuación se describen las Unidades Hidrogeológicas que albergan formaciones geológicas susceptibles de almacenar y transmitir el agua, y por lo tanto capaces de constituir acuíferos. 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 area de recarga es de unos 120 km², de los cuales 55, se encuentran en territorio español, 40 km² en Navarra, que constiruyen 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 m²/día.

El nivel de recursos se estima en 263 hm³/año. El total de los recursos de Navarra supone un caudal específico de 65 l/seg/km²

5.2.3.1. 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
8500	TXAMANTXOIA I	Manantial	EBRO	ESKA	91	ISABA
9636	MACE I	Manantial	EBRO	ESKA	92	ISABA
9643	PUERTO GRANDE	Manantial	EBRO	ESKA	91	ISABA
9644	PUERTO GRANDE II	Manantial	EBRO	ESKA	91	ISABA
9645	PUERTO GRANDE III	Manantial	EBRO	ESKA	91	ISABA
9646	PUERTO GRANDE IV	Manantial	EBRO	ESKA	91	ISABA
9647	PUERTO GRANDE V	Manantial	EBRO	ESKA	91	ISABA
9648	PUERTO GRANDE VI	Manantial	EBRO	ESKA	91	ISABA
9649	PUERTO GRANDE VII	Manantial	EBRO	ESKA	91	ISABA
9651	CARA SOL SARASTOYA	Manantial	EBRO	ESKA	92	ISABA
9652	PUERTO GRANDE IX	Manantial	EBRO	ESKA	91	ISABA
9653	PUERTO GRANDE X	Manantial	EBRO	ESKA	91	ISABA
9654	PUERTO GRANDE XI	Manantial	EBRO	ESKA	91	ISABA
9664	LADRONDA I	Manantial	EBRO	ESKA	92	ISABA
9751	TXAMANTXOIA III	Manantial	EBRO	ESKA	94	ISABA
9752	TXAMANTXOIA II	Manantial	EBRO	ESKA	94	ISABA

5.3. GEOTECNIA

5.3.1. 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.

5.3.2. METODOLOGÍA

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

- Recopilación de los datos existentes: Dado que en la Hoja no se han podido recoger datos procedentes de obras y proyectos, realizados en Navarra por organismos públicos y empresas privadas, se ha acudido a las hojas contiguas donde existen datos geotécnicos sobre las mismas unidades
- Tratamiento de los datos: En esta etapa se trata de establecer, de la manera más adecuada posible la naturaleza actual de la roca, su comportamiento mecánico y/o hidráulico y, la evolución y propiedades de la roca bajo los procesos de meteorización. Los datos recopilados se clasifican en los siguientes grupos:
 1. Identificación; establecen la naturaleza de la roca y su estado natural aparente (granulometría, límites de Atterberg, densidad y humedad, absorción, grado de meteorización).
 2. Clasificación; intentan establecer una idea general del comportamiento de la roca en relación a criterios previamente establecidos. Algunos de estos criterios se fijan en base a resultados de ensayos de resistencia. (Índice de Calidad, resistencia a compresión simple, point load test).
 3. Resistencia, compactación y deformación; determinan parámetros resistivos y relaciones tensión-deformación. Algunos de estos ensayos se utilizan como base para múltiples clasificaciones (CBR, proctor normal, corte directo, Brasileño).
 4. Alterabilidad; evalúa el comportamiento del macizo rocoso frente a los procesos de meteorización, una vez modificados sus condiciones originales de estabilidad. (análisis químicos, hinchamiento, durabilidad).
- Zonificación en áreas de iguales características: A partir de los datos anteriormente comentados e interpretando las unidades geológicas cartografiadas, se procede a la zonificación de la superficie de la Hoja en áreas de iguales características (geotécnicas y litológicas). Como se ha señalado con anterioridad, cuando no ha sido posible disponer de ensayos, los criterios

seguidos para establecer esta zonificación, han sido las características litológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas de los materiales, observadas durante los reconocimientos de campo.

5.3.3. ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

5.3.3.1. Criterios de división

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.

5.3.3.2. 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 I₁
- Área II: Zona II₁, II₂, y II₃
- Área III: Zona III₁ y III₂
- Área IV: Zona IV₁ y IV₂

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

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

5.3.4. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS

5.3.4.1. 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/cm²). 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 ²	Consistencia
< 0,25	Muy blando
0,25 a 0,50	Blando
0,50 a 1	Medio

1 a 2	Firme
2 a 4	Muy firme
> 4	Duro

- Ensayo de Carga Puntual (I_s , Kp/cm^2). Determina la resistencia de una muestra de testigo. Por su facilidad de realización se utiliza en aquellos casos en los que las muestras no reúnen las condiciones necesarias para realizar un ensayo de compresión simple (baja dureza, elevada anisotropía,). Requiere un elevado número de ensayos y un tratamiento estadístico de los mismos para obtener resultados fiables. Generalmente I_s presenta una buena correlación con el ensayo de resistencia a compresión simple (Q_u), mediante la siguiente relación: $Q_u = f \cdot I_s$, donde f es una constante que depende del diámetro del testigo de roca.
- Ensayo Proctor Normal. Permite calcular la densidad máxima y humedad óptima de compactación del suelo o material utilizado en explanada, con el fin de que adquiera las condiciones de estabilidad volumétrica, resistencia, indeformabilidad e inalterabilidad necesarias. En suelos granulares basta conseguir una alta densidad seca, pero en suelos con finos es preciso controlar también las condiciones humedad. La presencia de agua disminuye la presión intergranular, y actúa como lubricante, facilitando el deslizamiento y giro de las partículas entre sí y su agrupamiento en estructuras más compactas. El resultado es una densidad seca más elevada.
- Ensayo C.B.R. (California Bearing Ratio). Evalúa la capacidad de soporte de los materiales para constituir una explanada, es decir, la resistencia que ofrecen a la deformación bajo cargas. Se utiliza por tanto para el dimensionamiento de firmes. A mayor CBR, mayor es la capacidad de soporte de la explanada. Normalmente se expresa el valor de CBR para el 95 % y 100% de la densidad Proctor.
- Ensayo de tracción indirecta (σ_{tb} , Kp/cm^2). También conocido como “Brasileño”, es un ensayo normalizado de tracción más adecuado para clasificar la resistencia de la roca que la resistencia a tracción. La relación entre la resistencia a compresión simple (Q_u) y la resistencia a tracción (σ_{tb}) en el ensayo brasileño (Q_u/σ_{tb}) aumenta al hacerlo Q_u , pudiendo variar de 10 a 15 para $Q_u < 500 Kp/cm^2$, y de 15 a 25 para resistencias más elevadas. El criterio de clasificación de rocas con rotura frágil a partir de ensayos brasileños es como sigue:

Resistencia	σ_{tb} , Kp/cm ²
Muy débil	0-15
Débil	15-35
Media	35-65
Alta	65-100
Muy alta	> 100

- Ensayo de corte directo. Es un ensayo rápido y económico que permite determinar la cohesión (c) y el ángulo de rozamiento interno (ϕ) 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 (Cu) en la correlación $E = 130 \times Cu$ 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.

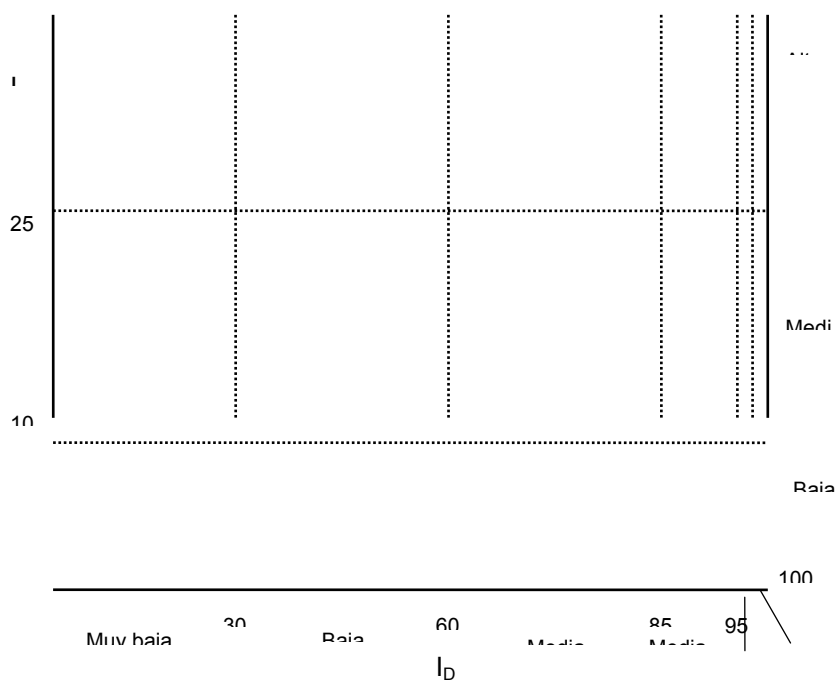


Fig. 6.3. Clasificación de durabilidad-plasticidad en rocas arcillosas propuesta por GAMBLE (ISRM, 1972).

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 Kp/cm² y de 30 Kp/cm² en estado masivo o columnar. (En caso de rocas diaclasadas o con disposición desfavorable de los planos de estratificación, estos valores deberán reducirse a la mitad.

Descripción de la roca	Kp/cm ²
Roca ígnea o gnéisica sana	109
Calizas masivas y areniscas duras	44
Esquistos y pizarras	33
Lutitas duras, limolitas y areniscas blandas	22
Lutitas arcillosas	11

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

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

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

Cuando en la excavación se encuentran mezclados los terrenos se establece el porcentaje de cada uno de los tres tipos.

- Estabilidad. Dos son los parámetros que condicionan estos procesos: litología (y estructura) y pendiente del talud. En consecuencia, en cuanto a la naturaleza de los materiales se evalúa su estabilidad en tres grupos (alta, media y baja), desechándose aquellas unidades geológicas que por su litología no son favorables a la aparición de situaciones de inestabilidad. Por lo que se refiere a la pendiente, se estima una inclinación del 10% como límite inferior a la aparición de estos fenómenos.
- Empujes sobre contenciones. Hacen referencia a contenciones del terreno natural, no de rellenos realizados con los materiales de cada zona.
- Aptitud para préstamos. Se ha utilizado básicamente el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales de la Dirección General de Carreteras (P.P.T.G.). El término No Apto designa suelos inadecuados; Marginal, designa suelos que unas veces son inadecuados y otras tolerables e incluso adecuados; el término Apto, designa suelos tolerables, adecuados e incluso seleccionados.
- Aptitud para explanada en carreteras. Se evalúa la capacidad de soporte de los materiales para constituir una explanada, es decir, la resistencia que ofrecen a la deformación bajo cargas.

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

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

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

Para las formaciones rocosas se da una idea de su categoría en las clasificaciones de Bieniawski (1979), que obtiene un índice de calidad (RMR, Rock Mass Rating), mediante la valoración de cinco parámetros:

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

Bieniawski establece cinco categorías en función del valor RMR:

Clase I	Roca muy buena: RMR = 81-100
Clase II	Roca buena: RMR = 61-80
Clase III	Roca media: RMR = 41-60
Clase IV	Roca mala: RMR = 21-40
Clase V	Roca muy mala: RMR 20

5.3.4.2. ÁREA I

5.3.4.2.1. Zona I₁

- Localización

Los materiales de esta zona únicamente aparecen en el klippe de Lákora y en la zona más occidental de la Hoja, en ambos casos, fuera del territorio de Navarra.

- Características litológicas

Dentro de esta zona se han agrupado los materiales de la Formación Paleozoica de Lákora, correspondiente al Silúrico-Devónico y la Facies Culm carbonífera constituidas por areniscas y lutitas.

- Características geotécnicas

Siguiendo la terminología de la ISRM, la resistencia a compresión podría variar entre la resistencia alta o muy alta ($> 600 \text{ kg/cm}^2$) para las areniscas y moderada ($200\text{-}600 \text{ kg/cm}^2$) para las lutitas, que dependen en gran medida de la disposición de los planos de esquistosidad.

En toda la Zona I₁, la resistencia del macizo está condicionada por las características geomecánicas y resistencia de las discontinuidades.

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).

- Características constructivas

1. Condiciones de cimentación

Según el Código de Práctica Británico nº 4, se puede aplicar una carga admisible, en este tipo de rocas, superiores a 30 kg/cm^2 y si consideramos la Norma DIN 1054, la carga admisible que se podría aplicar se encuentra entre 7 y 15 kg/cm^2 , dependiendo que la cimentación se efectúe en esquistos o brechas y calizas. Entre los problemas que puede encontrar una cimentación determinada destacan:

Variaciones del grado de diaclasado del macizo rocoso y del espesor de la estratificación, que pueden dar lugar a un comportamiento mecánico desigual en los distintos puntos de apoyo de la cimentación.

Fuerte buzamiento de la esquistosidad que puede obligar a la ejecución de pernos inyectados bajo los apoyos. Este hecho debe tenerse particularmente en cuenta si los apoyos se encuentran próximos al borde de taludes, en cuyo caso debe estudiarse la disposición y características de la esquistosidad y diaclasado para determinar la necesidad de recurrir a bulonados o anclajes que eliminen fenómenos de inestabilidad inducida por la aplicación de cargas.

2. Excavabilidad

La excavación mecánica estará en función de la disposición de la esquistosidad en las areniscas y lutitas y del diaclasado.

En general, la excavación deberá efectuarse por medio de explosivos.

3. Estabilidad de taludes

Los taludes naturales son estables.

En los taludes artificiales, la estabilidad estaría condicionada por la disposición de la esquistosidad y planos de diaclasado.

En general los desprendimientos eventuales de piedras y bloques sueltos pueden controlarse por medio de mallas de triple torsión.

4. Empujes sobre contenciones

En general serán bajos, salvo en zonas muy fracturadas o meteorizadas, en las que pueden ser de tipo medio.

5. Aptitud para préstamos

Estos materiales requieren un estudio especial.

6. Aptitud para explanada de carreteras

Cabe distinguirse entre pedraplenes y desmontes. En el primer caso, la aptitud y categoría de la explanada dependerá de las características del material utilizado en la coronación. En el caso de desmontes la categoría de la explanada que se realiza en roca corresponde a la E-3; se recomienda el relleno de las depresiones que puedan existir y que retengan agua, con hormigón de cemento para situar encima una base del firme de suelo seleccionado de al menos 30 cm de espesor. En los desmontes en roca, la explanada tendrá la regularidad e inclinación de modo que se asegure la evacuación del agua infiltrada a través de las capas o puntual del firme de la calzada y arceles.

7. Obras subterráneas

La estimación de la clasificación de Bieniawski, los materiales en la Zona I₁, es entre las Clases III (media) y IV (mala).

5.3.4.3. ÁREA II

5.3.4.3.1. Zona II₁

- Localización

Aparecen exclusivamente en el klippe de Lákora

- Características litológicas

Son conglomerados cuarcíticos y brechas poligénicas

- Características geotécnicas

La resistencia a compresión puede considerarse como medianamente resistente (250-500 kp/cm²).

- Características constructivas

1. Condiciones de cimentación

Los problemas de cimentación se relacionan con el posible comportamiento mecánico desigual como consecuencia de variaciones en el grado de diaclasado y alteración de los conglomerados.

2. Excavabilidad

Los suelos de alteración se consideran terreno medio, pero en profundidad, de cuantía no determinable de forma orientativa, precisarán el empleo de explosivos para su excavación.

3. Estabilidad de taludes

En los taludes naturales no se ha observado ningún tipo de inestabilidad. La estabilidad de los taludes artificiales, estará en función del grado de alteración y disposición de los planos de diaclasado. No se esperan problemas.

4. Empujes sobre contenciones

Las contenciones serán necesarias en el caso de que existan recubrimientos potentes (más de 1,5 - 2 m). Pueden esperarse empujes de tipo Bajo.

5. Aptitud para préstamos

De acuerdo con el P.P.T.G., los conglomerados son rocas adecuadas para su empleo en pedraplenes siempre que no se encuentren alterados.

6. Aptitud para explanada de carreteras

Los recubrimientos y niveles arcillosos se consideran Marginales según los términos definidos en la Metodología. En el caso de las areniscas, debe distinguirse entre pedraplenes y desmontes. En el primer caso, la categoría de la explanada dependerá de las características del material utilizado en la coronación y en desmontes de

categoría de la explanada, en roca, corresponde a la E-3. Se recomienda el relleno de las depresiones que existan y que retengan agua con hormigón de cemento tipo H-50 para situar encima una base del firme de suelo seleccionado de al menos 30 cm de espesor; la explanada tendrá la regularidad e inclinación necesarias de modo que se asegure la evacuación del agua infiltrada a través de las capas o juntas del firme de la calzada y arcenes.

7. Obras subterráneas

Si bien es difícil estimar el grado de fracturación y el estado de las diaclasas en profundidad, pueden considerarse en conjunto como terreno de Clase III (Media).

5.3.4.3.2. Zona II₂

- Localización

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

- Características litológicas

La Zona II₂ está constituida por depósitos carbonatados del Cretácico superior. Son calizas, calizas micriticas y calcarenitas con abundantes restos fósiles.

- 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

5.3.4.3.3. Zona II₃

- Localización

En esta hoja, únicamente aparece en las crestas del Pico de Arlás y Ernaz y en Lákora,

- Características litológicas

En la Hoja de Rincón de Belagua, esta zona incluye alternancias de areniscas y margas dispuestas en secuencias turbidíticas. Los niveles areniscos, predominantes, están formados por granos de cuarzo, y en menor medida, feldespato y mica y por bioclastos.

- 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 ³
Meteorización	2
R.Q.D.	80-100 %
Resistencia a Compresión Simple (Qu)	1010 Kp/cm ²
Qu a partir del Point Load Test	1354 Kp/cm ²
E. Brasileño (σ_{tb})	79,1 Kp/cm ²
Cohesión (c)	1,15 T/m ²
Ángulo de Rozamiento (ϕ)	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/cm²) en los horizontes inalterados de areniscas y conglomerados y baja en los niveles limolítico-arcillosos (60-200 Kp/cm²).

- Características constructivas

1. Condiciones de cimentación.

El Código de Práctica Británico establece cargas admisibles de 44 Kp/cm². 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.

5.3.4.4. ÁREA III

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

5.3.4.5. ÁREA IV

5.3.4.5.1. Zona IV₁

- 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/cm². En general, se debe cimentar sobre el sustrato rocoso, mediante cimentación superficial o semiprofunda por pozos, todo ello en función de la profundidad de los materiales, con el fin de evitar posibles fenómenos de inestabilidad, sobre todo en áreas con pendientes apreciables. Hay que prestar atención al contenido en humedad ante 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.

Previa 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.

5.3.4.5.2. Zona IV₂

○ 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/cm² 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.

6. 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. Ochagavía. 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 Jurassique 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^o 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 Pyreeneen. 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). Intern. 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 superposition 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 Tremp (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 form 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. 94^o 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. 2^a 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.; BERASTEGUI, 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). *Mr. Geol.*, 5, pp. 117-131.
- SELZER, G. 1934. Geologie der Sudpyrenaische Sierren in Ober-aragonien. *Neves 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, Tremp 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.