



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

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE NAVARRA  
ESCALA 1:25.000

**HOJA 115-II**

**OLAGÜE**

MEMORIA

---

La presente Hoja y Memoria, ha sido realizado por "Informes y Proyectos, S.A. (INYPSA)", durante los años 1994 y 1995, 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

Galán Pérez, G. Dirección del Proyecto

**Autores y Colaboradores (INYPSA)**

Díaz de Neira, J.A. Cartografía y Memoria

García de Domingo, A. Cartografía, Memoria e Hidrogeología

Cabra Gil, P. Geomorfología y Cuaternario

Solé Pont, J. Sedimentología

Gil Gil, J. Informática Geológica y Geotecnia

Matos Marcos, L.M. Informática Geológica

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>6</b>
<b>2. ESTRATIGRAFIA .....</b>	<b>9</b>
2.1. PALEOZOICO .....	9
2.1.1. Carbonífero superior .....	10
2.1.1.1. Pizarras y grauvacas (49). Formación Olazar. Namuriense B-Westfaliense.....	10
2.1.1.2. Análisis secuencial del Carbonífero superior.....	10
2.2. MESOZOICO .....	11
2.2.1. Triásico .....	11
2.2.1.1. Areniscas, conglomerados y lutitas de tonos rojizos (103). Facies Buntsandstein. Triásico inferior .....	11
2.2.1.2. Dolomías y calizas (107). Facies Muschelkalk. Triásico medio .....	13
2.2.1.3. Arcillas yesíferas abigarradas (109). Facies Keuper. Triásico superior .....	14
2.2.1.4. Análisis secuencial del Triásico.....	15
2.2.2. Cretácico .....	16
2.2.2.1. Areniscas y conglomerados (135). Aptiense - Albiense.....	16
2.2.2.2. Margas micáceas oscuras (140). Aptiense - Cenomaniense inferior.....	17
2.2.2.3. Alternancia de margas, areniscas calcáreas y calizas (166). Calcarenitas y areniscas calcáreas (167). Cenomaniense - Santoniense. ....	18
2.2.2.4. Conglomerados y areniscas (183). Campaniense.....	19
2.2.2.5. Margas y calizas margosas (185). Calcarenitas y margas (187). Campaniense....	20
2.2.2.6. Margas, calizas margosas y areniscas (184). Calcarenitas (191). Maastrichtiense	20
2.2.2.7. Margas (189). Maastrichtiense.....	21
2.2.2.8. Análisis secuencial del Cretácico .....	22
2.3. Terciario .....	23
2.3.1. Daniense - Montiense .....	23
2.3.1.1. Calizas y calizas con intercalaciones margosas (207). Daniense - Montiense.....	23
2.3.1.2. Análisis secuencial del Daniense - Montiense .....	24
2.3.2. Thanetiense - Ilerdiense .....	25
2.3.2.1. Calizas y margocalizas con intercalaciones margosas (215). Margas (214). ....	25
2.3.2.2. Margas y calizas margosas (212). Thanetiense .....	26
2.3.2.3. Calizas tableadas y alternancia de margas y calizas (213). Thanetiense-Ilerdiense 26	
2.3.2.4. Análisis secuencial del Thanetiense - Ilerdiense .....	27
2.3.3. Cuisiense - Luteciense inferior .....	28
2.3.3.1. Alternancia de areniscas y arcillas (nivel 218). Cuisiense - Luteciense inferior....	28
2.3.3.2. Calcarenitas y margas (235). Luteciense.....	29
2.3.3.3. Margocalizas y margas (239). Luteciense .....	29

2.3.3.4.	Análisis secuencial del Cuisiense - Luteciense inferior .....	30
2.4.	CUATERNARIO .....	30
2.4.1.	Pleistoceno - Holoceno .....	31
2.4.1.1.	Arcillas de descalcificación (nivel 523). Fondos de dolina. Pleistoceno - Holoceno	31
2.4.1.2.	Gravas, arenas y arcillas (niveles 508, 524 y 525). Terrazas. Pleistoceno -Holoceno	31
2.4.2.	Holoceno .....	31
2.4.2.1.	Arcillas, arenas y gravas (543). Coluviones. Holoceno.....	31
2.4.2.2.	Gravas, arenas y arcillas (536). Conos de deyección. Holoceno.....	32
2.4.2.3.	Limos, arenas y gravas (526). Llanuras de inundación. Holoceno .....	32
2.4.2.4.	Brechas calcáreas (548). Canchales. Holoceno .....	32
2.4.2.5.	Arcillas, gravas y arenas (545). Deslizamientos. Holoceno.....	33
<b>3.</b>	<b>TECTONICA .....</b>	<b>34</b>
3.1.	CONSIDERACIONES GENERALES .....	34
3.2.	DESCRIPCION DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS .....	35
3.2.1.	Discordancias .....	35
3.2.2.	Pliegues.....	36
3.2.3.	Fallas y cabalgamientos.....	38
3.3.	CRONOLOGIA DE LA DEFORMACION .....	38
<b>4.</b>	<b>GEOMORFOLOGIA .....</b>	<b>41</b>
4.1.	DESCRIPCION FISIOGRAFICA .....	41
4.2.	ANTECEDENTES .....	42
4.3.	ANALISIS MORFOLOGICO .....	42
4.3.1.	Estudio morfoestructural.....	42
4.3.2.	Estudio del modelado .....	44
4.3.2.1.	Formas fluviales.....	44
4.3.2.2.	Formas de ladera .....	46
4.3.2.3.	Formas cársticas .....	47
4.3.2.4.	Formas poligénicas.....	47
4.4.	FORMACIONES SUPERFICIALES.....	48
4.5.	EVOLUCION GEOMORFOLOGICA.....	50
4.6.	PROCESOS ACTUALES.....	51
<b>5.</b>	<b>PETROLOGIA.....</b>	<b>53</b>
5.1.	ROCAS IGNEAS .....	54
5.1.1.	Rocas subvolcánicas (1). Ofitas .....	54
<b>6.</b>	<b>HISTORIA GEOLÓGICA.....</b>	<b>56</b>

6.1. EL CICLO HERCINICO.....	56
6.2. EL CICLO ALPINO .....	56
<b>7. GEOLOGÍA ECONÓMICA .....</b>	<b>62</b>
7.1. RECURSOS MINERALES .....	62
7.1.1. Minerales metálicos y no metálicos .....	62
7.1.1.1. Cinc .....	62
7.1.1.2. Mercurio .....	62
7.1.1.3. Cerio .....	63
7.1.2. Sustancias energéticas .....	63
7.1.2.1. Carbón .....	63
7.1.3. Minerales y rocas industriales .....	63
7.1.3.1. Caliza .....	63
7.1.3.2. Caolín.....	64
7.1.4. Interés potencial de los recursos minerales .....	64
7.2. HIDROGEOLOGIA .....	65
7.2.1. Descripción de las formaciones .....	65
7.2.1.1. Pizarras, grauvacas, conglomerados y rocas subvolcánicas. Carbonífero.....	66
7.2.1.2. Areniscas, conglomerados y lutitas. Facies Buntsandstein. Triásico inferior.....	66
7.2.1.3. Dolomías y calizas. Facies Muschelkalk. Triásico medio .....	66
7.2.1.4. Arcillas yesíferas. Facies Keuper. Triásico superior .....	67
7.2.1.5. .Areniscas y conglomerados. Aptiense - Campaniense .....	67
7.2.1.6. Arcillas, margas con intercalaciones de calizas margosas y areniscas. Aptiense- Maastrichtiense .....	67
7.2.1.7. Calcarenitas. Turoniense - Santoniense.....	68
7.2.1.8. Margas y calizas. Campaniense .....	68
7.2.1.9. Calcarenitas. Maastrichtiense.....	68
7.2.1.10. Calizas y margas. Daniense - Ilerdiense .....	69
7.2.1.11. Margas y arcillas con intercalaciones de areniscas y calcarenitas. Thanetiense- Ilerdiense. 69	
7.2.1.12. Margas y alternancia de margas, areniscas y margocalizas. Cuisiense-Luteciense 69	
7.2.1.13. Formaciones superficiales. Cuaternario. ....	70
7.2.2. Unidades acuíferas.....	71
7.2.2.1. Acuífero triásico .....	71
7.2.2.2. Acuífero detrítico cretácico .....	72
7.2.2.3. Acuífero calcáreo del Cretácico superior .....	73
7.2.2.4. Acuífero calcáreo del Paleoceno .....	73
7.2.2.5. Formaciones permeables del Cuaternario .....	74
7.3. GEOTECNIA.....	75
7.3.1. Introducción.....	75

7.3.2. Metodología .....	76
7.3.3. Zonación geotécnica.....	77
7.3.3.1. División en Areas y Zonas Geotécnicas .....	77
7.3.4. Características geotécnicas .....	80
7.3.4.1. Introducción .....	80
7.3.4.2. Area I.....	87
7.3.4.3. Area II.....	90
7.3.4.4. Area III.....	106
7.3.4.5. Area IV .....	118
<b>8. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>129</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

La Hoja a escala 1:25.000 de Olagüe (115-II), incluida en la Hoja a escala 1:50.000 de Ansoáin (115), se encuentra situada en el sector septentrional navarro, concretamente en la zona de confluencia entre la comarca de La Ulzama (que ocupa la mayor parte de la superficie de la Hoja) y las elevaciones pirenaicas representadas por el macizo de Quinto Real, incluidas en el sector nororiental (Fig. 1).

En este último dominio se localiza su máxima elevación, concretamente al N del paraje de Goitean (1.244 m), en tanto que su cota más baja se encuentra en el valle del río Ulzama (480 m). Pese a estas notables diferencias topográficas, escasean los relieves abruptos, predominando por el contrario las formas suavizadas, acompañadas por una cobertera de bosques y prados que confieren al paisaje las típicas tonalidades verdosas de la Navarra húmeda.

En general se aprecia una progresiva disminución altimétrica de NE a SO, abortada por el valle del río Ulzama que, discurriendo de NO a SE, constituye el principal curso fluvial; otro tanto puede decirse del valle de su afluente, el río Mediano, que fluye de N a S por su margen izquierda. Aunque ambos constituyen el eje principal de la red hidrográfica, son muy numerosos los barrancos, cuyas longitudes y profundidades varían ostensiblemente; uno de ellos, el de Subarrondi se encuentra parcialmente anegado por las aguas del embalse de Eugui.

La densidad de población es muy baja, con numerosos núcleos dispersos y escasamente poblados, de entre los que destaca Olagüe, en cualquier caso con menos de 500 habitantes. La principal ocupación de la población se centra en las actividades rurales, fundamentalmente agricultura y ganadería, siendo prácticamente nula la actividad industrial. La mitad occidental posee aceptables vías de comunicación, basadas en la red de carreteras, constituyendo el principal eje la carretera nacional 121 que une Pamplona con Francia a través del paso de Dancharinea. No puede decirse lo mismo de la mitad oriental, donde la red presenta notorias deficiencias.

Desde un punto de vista geológico, la Hoja se enmarca en el Pirineo occidental, en su confluencia con el Arco Vasco (Fig. 2). A grandes rasgos, el orógeno pirenaico se caracteriza por un cinturón de pliegues y cabalgamientos de orientación E-O,

desarrollados entre el Cretácico superior y el Mioceno inferior como resultado de la convergencia entre las placas Ibérica y Europea; presenta una elevada simetría con respecto a su franja central, denominada Zona Axial, integrada fundamentalmente por rocas plutónicas y materiales paleozoicos, que constituyen el zócalo regional. Flanqueando a la Zona Axial se disponen las Zonas Nor y Surpirenaica, constituidas por materiales mesozoicos y paleógenos intensamente plegados, que integran la cobertera. Esta última zona cabalga sobre la Depresión del Ebro, cuenca de antepaís rellena por sedimentos neógenos postorogénicos.

En cuanto al Arco Vasco, se sitúa en el extremo oriental de la Cuenca Vasco-Cantábrica, considerada tradicionalmente como un sector marginal de la cadena pirenaica y constituida por materiales mesozoicos y paleógenos moderadamente deformados, que muestran cierta similitud con los de la Zona Norpirenaica. El límite entre El Pirineo occidental y la Cuenca Vasco-Cantábrica coincide con un accidente transversal a la cadena, de dirección NE-SO, conocido como falla de Pamplona (o de Estella-Elizondo), cuyo reflejo superficial es la alineación de diapiros navarros. Dicho accidente no supone un límite arbitrario, ya que a ambos lados del mismo se aprecia una importante variación de las características estratigráficas y estructurales de los materiales aflorantes.

La estructura de la Hoja se articula en torno a dos accidentes fundamentales: el cabalgamiento de Roncesvalles y la citada falla de Pamplona (Fig. 3). El cabalgamiento de Roncesvalles es el resultado del avance de los materiales del macizo de Quinto Real hacia el S, sobre la Zona Surpirenaica, como consecuencia de la compresión pirenaica; en relación con dicha compresión, también se generaron los pliegues y cabalgamientos de direcciones E-O y NE-SO, vergentes hacia el S, que caracterizan la mayor parte de la Hoja, de entre los que cabe destacar: la zona de escamas de Arizu, los cabalgamientos de Olagüe, Latasa y Usechi, el sinclinal de Barachueta y los anticlinales de Leránoz y Etuláin.

En cuanto a la falla de Pamplona, su presencia en las proximidades de la Hoja se pone de manifiesto por el cambio de orientación de las estructuras en el sector noroccidental, que pasan a directrices NO-SE, como puede apreciarse en el sinclinal de Urrizola o en el anticlinorio de Lizaso.



La cartografía de la presente Hoja está basada en la realizada por CARBAYO et al., para la DIPUTACION FORAL DE NAVARRA, habiendo sido actualizada en base a criterios estructurales y sedimentarios fundamentalmente.

Son muy numerosos los trabajos de carácter general que pueden encontrarse en la literatura regional acerca del Pirineo y la Cuenca Vasco-Cantábrica, tal como puede apreciarse en el capítulo correspondiente a bibliografía, si bien no puede afirmarse otro tanto de los que afectan de forma específica al territorio ocupado por la Hoja, una buena parte de los cuales se centran en el estudio de los materiales paleozoicos del macizo de Quinto Real. De entre todos ellos, han sido del máximo interés para la realización del presente trabajo los elaborados por: VILLALOBOS et al. (1974), relativo al flysch del Cretácico superior navarro; CARBAYO et al. (1978), con motivo de la realización de la Hoja geológica a escala 1:50.000 de Gulina (115) correspondiente al Plan MAGNA; MARTINEZ TORRES(1989), que en su tesis doctoral aborda el estudio de las estructuras existentes en el tránsito entre el Pirineo occidental y el Arco Vasco; y PAYROS et al. (1992), que centran su estudio en los depósitos turbidíticos eocenos de la cuenca surpirenaica.

## **2. ESTRATIGRAFIA**

Los materiales aflorantes en la Hoja de Olagüe (115-II) se encuentran comprendidos entre el Carbonífero y el Holoceno, si bien se constata la existencia de importantes lagunas estratigráficas que afectan fundamentalmente a los intervalos Carbonífero superior - Pérmico, Jurásico - Cretácico inferior y Eoceno superior - Plioceno.

El Carbonífero se encuentra deficientemente representado por pizarras y grauvacas que afloran exclusivamente en el ámbito del macizo de Quinto Real. El Triásico presenta sus tres litotipos clásicos de las facies germánicas, localizándose su principal afloramiento al NE de Arizu: facies Buntsandstein, integrada por areniscas, conglomerados y lutitas de colores rojizos, depositadas bajo un régimen continental; facies Muschelkalk, caracterizada por calizas y dolomías de ambientes marinos; y facies Keuper, constituida por arcillas yesíferas abigarradas, que representan un episodio litoral. Asociadas a los afloramientos de la facies Keuper, aparecen masas irregulares de rocas subvolcánicas denominadas tradicionalmente "ofitas".

Los depósitos cretácicos se encuentran ampliamente representados, evidenciando con frecuencia un acusado carácter turbidítico, si bien en las proximidades del macizo de Quinto Real se aprecian ciertas influencias continentales. Entre los materiales paleógenos se observa igualmente un predominio de los de naturaleza turbidítica, distribuyéndose de forma exclusiva por los sectores oriental y meridional. Por lo que respecta a los depósitos cuaternarios, su distribución es muy irregular, concentrándose fundamentalmente en los valles de los ríos Ulzama y Mediano.

### **2.1. PALEOZOICO**

Aflora exclusivamente en el sector nororiental de la Hoja, en las estribaciones suroccidentales del macizo de Quinto Real. Pese a que éste posee una serie paleozoica bastante completa, los materiales incluidos dentro de la Hoja representan únicamente una pequeña parte del Carbonífero superior.

### **2.1.1. Carbonífero superior**

La monotonía de la serie aflorante, unida a la deficiencia de los afloramientos, ha impedido su diferenciación, representándose el conjunto como una sola unidad en la que se aprecia un claro predominio de pizarras y grauvacas.

#### **2.1.1.1. Pizarras y grauvacas (49). Formación Olazar. Namuriense B-Westfaliense**

Se presenta en dos afloramientos, el mayor de los cuales ocupa el ángulo nororiental de la Hoja, donde cabalga sobre materiales turbidíticos del Cretácico superior. Se trata de una potente y monótona alternancia de pizarras grisáceas y grauvacas de carácter turbidítico, denominada Fm. Olazar (PILGER, 1974); las capas areniscosas muestran una incipiente granoselección positiva, laminación paralela y, ocasionalmente, ripples a techo. Esporádicamente se intercalan niveles areniscosos en bancos de orden métrico y, más raramente, conglomerados poligénicos. No es posible establecer su potencia de forma precisa, pero en zonas próximas se han estimado espesores máximos de 1000 m.

En lámina delgada, los niveles grauváquicos presentan proporciones altas de limo (60%), frente a arena (1%) y arcilla (10%), con cemento silíceo y, en ocasiones, matriz caolínico-sericítica. Dentro de la fracción arenosa, el constituyente principal es cuarzo (60%), constatándose también la presencia de plagioclasa.

Los hallazgos de Goniatites y Lamelibránquios en los tramos inferiores (KULLMAN, 1970) y de flora en los superiores (GOMEZ DE LLARENA, 1950) han permitido enmarcar la unidad en el intervalo Namuriense B-Westfaliense.

#### **2.1.1.2. Análisis secuencial del Carbonífero superior**

Son pocas las precisiones sedimentarias que pueden efectuarse sobre el Carbonífero superior a partir de las observaciones llevadas a cabo en la Hoja. No obstante, el carácter turbidítico de la Fm. Olazar sugiere que ésta se considere dentro de un megaciclo deposicional superpuesto al que representan las plataformas namurienses, tal como evidencia la presencia de olistolitos calizos y dolomíticos en la serie turbidítica.

## **2.2. MESOZOICO**

Los materiales mesozoicos pueden dividirse en dos conjuntos netamente contrastados. Por una parte, el Triásico presenta tres tramos característicos, con el intermedio (facies Muschelkalk) dispuesto a modo de cuña marina entre dos representantes continentales y transicionales (facies Buntsandstein y Keuper). Por otra, el Cretácico aparece con una extensión muy superior, apreciándose un claro predominio de los depósitos de naturaleza turbidítica.

### **2.2.1. Triásico**

La serie triásica se dispone sobre los materiales paleozoicos mediante una acusada discordancia, reconociéndose en ella sus tres litotipos clásicos: facies Buntsandstein, Muschelkalk y Keuper. Su principal afloramiento se encuentra situado al NE de Arizu, apareciendo también en relación con el anticlinorio de Lizaso y en pequeños pinzamientos ligados al cabalgamiento de Olagüe; asociadas a los afloramientos triásicos, aparecen las tradicionales masas ofíticas de la región. En cuanto a su relación con los sedimentos cretácicos suprayacentes, en los casos en que el contacto entre ambos no es de naturaleza tectónica, coincide con una importante discordancia, difícilmente observable en campo debido a las características de los afloramientos.

#### **2.2.1.1. Areniscas, conglomerados y lutitas de tonos rojizos (103). Facies Buntsandstein. Triásico inferior**

Al igual que los materiales paleozoicos, aparecen exclusivamente en el ámbito del macizo de Quinto Real, pero a diferencia de ellos, sus características pueden ser descritas con mayor detalle merced al corte del barranco Errecabi. La unidad posee un marcado carácter detrítico, así como una tendencia general granodecreciente y típicos tonos rojizos; su espesor, aunque muy variable, puede alcanzar 500 m.

Generalmente, su base está marcada por un tramo conglomerático muy cementado, de cantos subredondeados de cuarzo y cuarcita, con soporte clástico en matriz arenosa de tamaño grueso a muy grueso y cemento de naturaleza silíceo; en general, se organizan en niveles de tendencia tabular groseramente gradados, con eventual estratificación cruzada planar de láminas muy inclinadas. Aparecen a modo de orla de los afloramientos de materiales paleozoicos, con un espesor inferior a 20 m.

Sedimentológicamente, se integran en un contexto de orla proximal-media de abanicos aluviales en la que coexisten procesos de transporte en masa y por agua, con desarrollo de bancos de gravas en canales de baja sinuosidad, muy tractivas.

Sobre el tramo conglomerático se dispone un conjunto areniscoso rojo de potencia próxima a 200 m; en él predominan las areniscas de grano medio y composición cuarcítico-micácea, con cemento silíceo y a veces ferruginoso, así como matriz limosa frecuentemente alterada a limonita. Se organizan en secuencias positivas de relleno de canales fluviales de baja sinuosidad integrados por sets tabulares de láminas cruzadas y cosets de estratificación cruzada de mediana escala, de tipo surco y planar.

La serie continúa mediante la incorporación progresiva de tramos limolíticos rojos, que dan lugar a una alternancia de areniscas y limolitas cuyo espesor puede sobrepasar 250 m. Las areniscas, de grano medio a fino y cemento silíceo y carbonatado, se disponen en bancos de aspecto canalizado cuyo espesor no suele superar 30 cm, apreciándose una importante concentración de micas en los planos de estratificación; en la vertical existe un incremento progresivo de la sinuosidad de los canales como sugiere el paso de cosets tabulares de láminas cruzadas a superficies de acreción lateral propias de barras de meandro, con cosets de láminas cruzadas, enfrentadas o normales al sentido de acreción, y climbing ripples. Los niveles limolíticos poseen carácter masivo o bien intercalan capas decimétricas de areniscas de grano fino a muy fino, muy bioturbadas, asimilables a depósitos de desbordamiento de tipo "crevasse splay".

Culminando la unidad se aprecia la presencia de un tramo arcilloso rojo que puede alcanzar 40 m de espesor. Hacia la base se intercalan niveles de areniscas de orden decimétrico que presentan base canalizada con probables retoques mareales, como sugieren cierta bimodalidad en las láminas cruzadas, drappes y posibles wave-ripples, si bien predominan los procesos puramente fluviales; por contra, hacia el techo, se intercalan niveles calcáreos muy delgados que sugieren el tránsito a la facies Muschelkalk.

No se han encontrado restos fósiles que permitan la datación de la unidad, que de forma tentativa se ha asignado al Triásico inferior, sin que deba descartarse su pertenencia parcial al Triásico medio.

Los análisis petrológicos de areniscas han señalado ciertas variaciones composicionales y texturales, pero en general valores comprendidos entre 50 y 75% de cuarzo, e inferiores al 10% de fragmentos de rocas metamórficas y plagioclasa; en la mayor parte de los casos se observa matriz arcillosa (10-12%) y cemento silíceo o ferruginoso (15-30%). Dichos análisis han permitido su clasificación como sublitoarenitas en la mayor parte de los casos, con cuarzoarenitas en menor proporción.

#### **2.2.1.2. Dolomías y calizas (107). Facies Muschelkalk. Triásico medio**

Sus principales afloramientos se localizan en el sector septentrional, donde se disponen concordantemente sobre los niveles arcillosos rojos del techo de la facies Buntsandstein; no obstante, la intensa deformación que ha afectado a la zona de escamas de Arizu tan solo permite apreciar aspectos parciales de la unidad, tal como ocurre a lo largo del barranco Errecabi. En el anticlinorio de Lizaso, la unidad aparece bajo el típico aspecto de las zonas diapíricas, es decir a modo de pequeñas masas englobadas en las arcillas de la facies Keuper.

A grandes rasgos, se trata de una sucesión de dolomías y calizas tableadas y en bancos, de tonos oscuros, cuyo espesor máximo se aproxima a 70 m. El único corte completo de la unidad en las proximidades de la Hoja ha sido descrito en el puerto de Belate (EWERT, 1965), donde se ha señalado la existencia de tres tramos: inferior, constituido por 35 m de dolomías y calizas en bancos gruesos; medio, con 9,5 m de calizas laminadas; y superior, integrado por 10 m de calizas y margas dolomíticas. Las observaciones llevadas a cabo en el barranco Errecabi, han permitido la identificación de calizas dolomíticas en bancos gruesos de aspecto uniforme, dolomías tableadas de aspecto pulverulento, calizas en bancos gruesos de aspecto masivo, así como calizas tableadas con Lamelibránquios. Al microscopio aparecen como micritas, micritas biogénicas, dolomías y calizas recristalizadas.

La naturaleza de los afloramientos no permite precisiones sedimentológicas de la unidad, que parece haberse depositado en ambientes de plataforma somera. En cualquier caso, la tendencia transgresiva que reflejan los tramos basales de la unidad con respecto a los ambientes continentales de la facies Buntsandstein infrayacente, parece invertirse posteriormente, como sugiere el tránsito de los niveles margoso-

dolomíticos terminales a las arcillas yesíferas suprayacentes, pertenecientes a la facies Keuper y que reflejan condiciones litorales de tipo sebkha.

En lámina delgada, los niveles calizos aparecen fundamentalmente como micritas (>90%), con presencia ocasional de fósiles (<7%) y cuarzo (1%). En cuanto a los niveles dolomíticos, aparecen como dolomicritas (80-85%) con cemento esparítico (15-20%).

El hallazgo de *Fronicularia woodwardi* confirma la pertenencia de la unidad a la facies Muschelkalk al NE de Arizu, sin que exista este tipo de confirmación para las masas incluidas en la facies Keuper del sector de Lizaso. De cualquier forma, el contenido fosilífero no permite precisar la edad de la unidad que, tentativamente, se ha asignado al Triásico medio.

#### **2.2.1.3. Arcillas yesíferas abigarradas (109). Facies Keuper. Triásico superior**

Sus afloramientos poseen una reducida extensión, localizándose en la zona de escamas de Arizu, el anticlinorio de Lizaso y los cabalgamientos de Olagüe y Roncesvalles. Su deficiente calidad, debida a la intensa tectonización de los mismos, así como a su naturaleza litológica, con predominio de arcillas rojas y arcillas abigarradas con yesos, dificulta notablemente su reconocimiento en campo e imposibilita la determinación de su espesor aproximado.

Tradicionalmente, los afloramientos de la facies Keuper desligados de las zonas de cabalgamiento han sido interpretados como manifestaciones diapíricas; sin embargo, algunos hechos invitan a modificar dicha interpretación, al menos para algunos de ellos, tal como es el caso del de Lizaso, incluido en la Hoja. Por una parte, los materiales detríticos cretácicos del sector septentrional se apoyan indistintamente tanto sobre ofitas como sobre cualquier término triásico, sugiriendo una intensa fase erosiva previa al depósito de aquéllos. Por otra, los sedimentos cretácicos dispuestos en torno a arcillas triásicas, en algunos afloramientos de la región, no presentan las deformaciones típicas de los bordes de diapiros, tales como verticalizaciones e inversiones. También a nivel regional, los materiales prealbienses parecen haber sufrido una fase de plegamiento a la que son ajenos los materiales más modernos. Por último, algunos afloramientos de la facies Keuper muestran disposiciones

alargadas (Lizaso, Echalecu, etc.) y no las subcirculares propias diapiros (Estella, Ollo, etc.).

De acuerdo con todas estas consideraciones parece razonable suponer que afloramientos como el de Lizaso, y otros de sectores vecinos, corresponden a anticlinorios, o al menos a zonas de umbral, generados por deformaciones tectónicas prealbienses, y no a diapiros. Tras esta fase tendría lugar una intensa etapa erosiva que tendería a nivelar el relieve, favoreciendo el depósito de materiales albienses sobre la facies Keuper en las zonas de antifoma y sobre distintas unidades jurásicas o del Cretácico inferior en las zonas sinformes. Por todo ello, buena parte de los contactos entre materiales triásicos y cretácicos representados en cartografías previas con carácter mecánico, han sido modificados en la presente Hoja, pasando a tener carácter discordante.

No es posible realizar estudios sedimentológicos sobre la presente unidad, que regionalmente se ha enmarcado en un contexto litoral de tipo sebkha, en condiciones de aridez que permitieron la formación de evaporitas.

Su carácter azoico no permite precisión cronológica alguna, si bien de forma tentativa se ha atribuido al Triásico superior, excluyendo los últimos episodios de éste, representados en la región por niveles carbonatados tratados conjuntamente con la serie jurásica.

#### **2.2.1.4. Análisis secuencial del Triásico**

Pese a las imprecisiones relativas a la interpretación sedimentológica de las facies Muschelkalk y Keuper, ya aludidas, es posible señalar la existencia de tres ciclos sedimentarios principales dentro de la serie triásica.

El inicio del Ciclo Inferior, a comienzos del Triásico, se caracteriza por el desarrollo de orlas proximales y medias de abanicos aluviales correspondientes a la facies Buntsandstein (103), que reflejan la reactivación del relieve tras la reestructuración tardihercínica. La evolución secuencial está caracterizada por una disminución del tamaño de grano, relacionada con una degradación del relieve o con una mayor extensión del área de relleno en las fosas generadas en el período tardihercínico. Con ello se produce la aparición sucesiva de sistemas fluviales de alta sinuosidad,



sistemas fluviales de sinuosidad media y sistemas meandriformes, con episodios de desbordamiento.

Los últimos episodios del depósito de la facies Buntsandstein reflejan cierta influencia mareal, precursora de la instalación de los ambientes de plataforma interna característicos de la sedimentación de la facies Muschelkalk (107). En un momento impreciso del depósito de ésta, posiblemente durante el Triásico medio, la tendencia transgresiva del Ciclo Inferior sufrió una inversión, dando paso a un ciclo de carácter regresivo que implica la progresiva desaparición de las facies típicamente marinas a expensas de las facies litorales de tipo sebkha, totalmente implantadas en el Triásico superior, cuando se produjo el depósito de la facies Keuper (109).

También en un momento impreciso de éste, la tendencia regresiva sufrió una inversión, dando paso al tercer ciclo, culminado a finales del Triásico superior con la implantación de un nuevo régimen marino, característico de la sedimentación jurásica de la región.

### **2.2.2. Cretácico**

Los materiales cretácicos presentan la mayor superficie de afloramiento de la Hoja, si bien son escasos los cortes de interés relativos a ellos (Egozcue, Olagüe, Guelbenzu y Urrizola). En general, poseen un marcado carácter turbidítico y se disponen discordantemente sobre cualquier término triásico, poniendo de manifiesto un intenso período erosivo acaecido, al menos, durante parte del Cretácico inferior.

#### **2.2.2.1. Areniscas y conglomerados (135). Aptiense - Albiense**

Sus principales afloramientos se encuentran adosados al macizo de Quinto Real, marcando el borde de la cuenca cretácica. Se trata de una unidad de acusado carácter detrítico, dispuesta discordantemente sobre las distintas unidades triásicas y cuya granulometría disminuye hacia el O, dirección en la que llega a desaparecer por paso lateral al nivel 140, con respecto al que destaca en el relieve debido a su mayor resistencia a la erosión.

En los niveles basales más próximos a los relieves, predominan los conglomerados y areniscas de grano grueso, de composición silíceo y tonos claros, entre los que se

observan algunos restos carbonosos. Por encima, y en zonas más alejadas de los relieves, la unidad aparece como un conjunto arenoso cuarzo-feldespático de grano medio a fino y matriz arcilloso-micácea; con frecuencia aparecen muy alteradas, con pátinas ferruginosas.

No se ha hallado corte alguno que aporte datos sedimentológicos sobre el depósito de la unidad, si bien su naturaleza litológica y disposición paleogeográfica sugieren que tuvo lugar en una zona costera bajo fuerte influencia de los relieves próximos; en relación con ello, en sectores cercanos (Hoja de Erro, 116-I) los niveles arenosos han sido interpretados como canales fluviomareales en régimen supra e intermareal.

En lámina delgada las areniscas presentan un predominio de cuarzo (60-70%) sobre fragmentos de rocas metamórficas (5-10%), con matriz arcillosa (5-10%) y cemento ferruginoso (15-20%).

Entre la fauna hallada se encuentran *Ammobaculites parvispira*, *A. subcretacea*, *Tritaxia pyramidata*, *Orbitolina (M) texana texana*, *Hyperammia*, *Haplophragmoides concavus* y *Trochamina oblicua* que señalan el Albiense inferior. En la presente Hoja se ha mantenido la edad Aptiense-Albiense asignada en trabajos previos, compatible con su posible asimilación a la Fm. Arrarás (GARCIA-MONDEJAR, 1982); sin embargo, su posible depósito en relación con la fase austriaca, sugiere su pertenencia al Albiense exclusivamente.

#### **2.2.2.2. Margas micáceas oscuras (140). Aptiense - Cenomaniense inferior**

Se trata de una unidad muy típica en la región, cuyos afloramientos se restringen al cuadrante noroccidental de la Hoja, donde da lugar a relieves suaves y alomados debido a su gran erosionabilidad; éstos contrastan con los relieves más destacados ligados a los afloramientos de las series suprayacentes, correspondientes al Cretácico superior, y a los materiales detríticos del Cretácico inferior, que representan su equivalente lateral hacia el borde de la cuenca (135). Se presentan como una monótona serie de margas negras con un importante contenido micáceo que confiere aspecto pizarroso al conjunto, del que tan solo se han podido efectuar observaciones parciales, pudiendo apreciarse la inclusión de pirita y nódulos ferruginosos. Su espesor se aproxima a 2.000 m, pudiendo correlacionarse, al menos parcialmente,

con las formaciones Arrarás y Alto de Huici (GARCIA MONDEJAR, 1982). Su carácter euxínico y marcada uniformidad, así como su elevada potencia, sugieren que su depósito tuvo lugar en una cuenca marina muy subsidente, abierta hacia sectores occidentales y que recibiría esporádicos aportes de los relieves emergidos al E. Entre los restos faunísticos que alberga la unidad se han citado Ammonites piritosos, Lamelibránquios y Gasterópodos, además de una rica microfauna que ha proporcionado una edad Albiense para la unidad: *Ammobaculites parvispira*, *Thalmanniella ticinensis*, *Rotalipora apenninica*, *Dorothia gradatta*, *Epistomina spinulífera*, *Cytherella ovata*, *Dentalina nana*, *Gravelinella intermedia*, *Textularia cf. adkinsi* y *Arenobulimina macfadyeni*. Igualmente, la presencia de *Neoiraquia convexa* en los niveles superiores señala su pertenencia a la base del Cenomaniense. A pesar de las dataciones señaladas, la presente unidad se ha asignado al Aptiense - Cenomaniense basal con el fin de respetar las dataciones propuestas en trabajos anteriores.

**2.2.2.3. Alternancia de margas, areniscas calcáreas y calizas (166). Calcarenitas y areniscas calcáreas (167). Cenomaniense - Santoniense.**

Se trata de una unidad característica del ámbito septentrional navarro, integrada en el tradicional "flysch surpirenaico" (LAMARE, 1936) del Cretácico superior, siendo parcialmente equivalente de la Fm. Larráinzar (GARCIA-MONDEJAR, 1982). Aparece en el terreno como un resalte morfológico respecto a los niveles predominantemente margosos de la unidad anterior (140). El tránsito entre ambas unidades se produce de una forma gradual, por la progresiva aparición de niveles areniscosos y calcáreos, acompañada de la desaparición de los tonos negruzcos característicos de la inferior; otro tanto puede decirse de su límite superior, si bien en este caso el tránsito tiene lugar de forma inversa, mediante la disminución en la proporción de los niveles competentes a expensas de los margosos. A grandes rasgos, se trata de una monótona alternancia de margas, areniscas calcáreas y calizas, cuya proporción relativa puede variar según las zonas; la reducción del contenido margoso en algunos tramos ha permitido la individualización de paquetes areniscosos y calcareníticos diferenciados en la cartografía como nivel 167, de los que el más moderno podría correlacionarse con las formaciones Urriza y Latasa (GARCIA-MONDEJAR, 1982). Su espesor disminuye hacia el E, como consecuencia de la presencia de los relieves del macizo de Quinto Real, habiéndose estimado valores cercanos a 400 m en Urrizola

frente a los 200 m de Olagüe; con frecuencia, la potencia de los tramos compactos intercalados (167), se aproxima a 50 m. La unidad se presenta bajo el aspecto de una alternancia rítmica de margas azuladas o grisáceas, con areniscas calcáreas, calcarenitas y calizas, de tonos ocres y beige. Se han observado cicatrices erosivas, convolute-lamination, ripple marks y huellas de carga, con esporádicos lags microconglomeráticos y eventuales slumps, que confirman su apariencia turbidítica, interpretándose su depósito en el contexto de un surco abierto hacia el ONO. Al microscopio, los tramos compactos presentan un alto contenido fosilífero (15-30%) e intraclástico (20-35%), con cemento esparítico (35-45%) y ocasional presencia de pellets (< 5%), cuarzo (< 10%) y micrita (< 20%). Los niveles calizos aparecen como micritas (55-75%) fosilíferas (15-20%), con cuarzo (< 10%) y fragmentos de roca (< 15%). Entre los abundantes restos faunísticos, se han observado *Praeglobotruncana stephani* y *Orbitolina conica*, del Cenomaniense medio - superior, así como *Phitonella sphaerica*, *Globigerina* cf. *cretacea*, *Gaudryna rugosa* y *Globotruncana concavata caridota* del Santoniense superior. Es preciso resaltar que en las finas dataciones micropaleontológicas existentes se ha puesto de manifiesto la presencia de hiatos en el intervalo Cenomaniense - Santoniense, cuya situación temporal y duración varían considerablemente según las zonas.

#### **2.2.2.4. Conglomerados y areniscas (183). Campaniense**

Constituye una unidad de dudosa interpretación, aflorante exclusivamente a techo de sinclinal de Urrizola, sin que se conozca la existencia de niveles semejantes en todo el ámbito navarro. Se apoya mediante contacto erosivo sobre las areniscas calcáreas del nivel 167, como puede apreciarse en el corte de Urrizola, donde son visibles algo menos de 35 m fundamentalmente conglomeráticos, de tonos rojizos, sin que pueda señalarse el espesor original de la unidad, al haber sido erosionado su techo. Predominan los conglomerados heterométricos de cantos calcáreos y cuarcíticos, observándose bloques superiores a 30 cm de diámetro y, en menor medida, niveles de areniscas; la matriz es arenosa y el cemento, calcáreo. La presente unidad ha sido atribuida tradicionalmente al Campaniense, tanto por su posición estratigráfica como por la presencia de *Globotruncana iapparenti* y *G. fornicata*. No obstante, la difícil correlación de la unidad con respecto a las series del Cretácico superior de la región, así como la posibilidad de que la fauna citada corresponda a niveles resedimentados, deben hacer tomar con cierta cautela dicha atribución, no debiendo descartarse una edad más reciente. El corte de Urrizola no ofrece rasgos sedimentológicos que

permitan enmarcar de forma concluyente este conjunto conglomerático que, en cualquier caso, muestra una clara influencia de los relieves emergidos, habiéndose interpretado en un contexto de fan-delta.

Los niveles areniscosos muestran al microscopio la presencia de matriz arcillosa (10%) y cemento silíceo (10-15%); entre la fracción arenosa el constituyente mayoritario es cuarzo (65-70%), con presencia de fragmentos de rocas metamórficas (5-10%).

#### **2.2.2.5. Margas y calizas margosas (185). Calcarenitas y margas (187). Campaniense**

Se trata de un conjunto escasa y deficientemente representado, debido a su carácter fundamentalmente margoso, incluido en el denominado "flysch surpirenaico" (LAMARE, 1936). Las margas intercalan delgados niveles carbonatados, que en Aróstegui aumentan su proporción, dando lugar a un ligero resalte morfológico que ha permitido su diferenciación cartográfica como nivel 187. Su paso a las unidades infra y suprayacente es gradual, habiéndose observado espesores próximos al centenar de metros. El mejor corte de la unidad se localiza en las inmediaciones de Olagüe, donde ofrece un aspecto típicamente turbidítico, alternando niveles de margas gris-azuladas y calizas margosas o calcarenitas, dispuestos en niveles de orden decimétrico a centimétrico. Al microscopio, los niveles carbonatados aparecen fundamentalmente como biomicritas arcillosas. Entre la abundante microfauna de la unidad se ha reconocido *Pseudovalvuneria monterelensis*, *Globotruncana elevata elevata*, *Tritaxia tricarinata* y *Guadomina rugosa*, que han permitido su atribución al Campaniense.

#### **2.2.2.6. Margas, calizas margosas y areniscas (184). Calcarenitas (191). Maastrichtiense**

Aparecen inmediatamente al sur de los cabalgamientos de Aróstegui, Olagüe y Roncesvalles, presentando un límite gradual con las unidades infra y suprayacente. Aunque en general aflora de forma deficiente, presenta excelentes cortes tanto al N de Guelbenzu como en la carretera de Olagüe al collado de Egozcue, apreciándose un aumento de espesor hacia el E, pasando de los 300 m del primero a los 700 m del segundo. Su aspecto más común es el de una monótona alternancia entre margas y areniscas de tonos cremas a marrones, en niveles de orden centimétrico a

decimétrico. También se aprecian intercalaciones de niveles métricos de calizas margosas, agrupadas en tramos de orden decamétrico. Excepto en el sector oriental, la serie intercala un nivel calcarenítico de espesor próximo a 50 m, que produce un resalte morfológico en el terreno que ha permitido su diferenciación cartográfica como nivel 191. Entre las estructuras más frecuentes se encuentran slumps, estratificación cruzada a pequeña escala y laminación paralela, habiéndose interpretado como depósitos turbidíticos de naturaleza terrígena relacionados con el tradicional "flysch surpirenaico" (LAMARE, 1936). El hallazgo de *Lepidorbitoides socialis*, *Nummofallotia cretacea*, *Orbitoides media*, *Globotruncana elevata stuartiformis* y *Clypeorbis mammillata*, entre los restos microfaunísticos, permite la asignación de la unidad al Maastrichtiense no terminal. Los niveles calizos aparecen al microscopio como micritas (85-90%), apreciándose la inclusión de granos de cuarzo (2-4%) y fósiles (< 10%).

#### **2.2.2.7. Margas (189). Maastrichtiense**

Afloran fundamentalmente en el ámbito del anticlinal de Etuláin, en general con baja calidad de exposición, pudiendo realizarse sus mejores observaciones en las proximidades del collado de Egozcue. Su límite inferior es gradual, en tanto que el superior tiene carácter neto con respecto a las calizas de la base del Paleoceno. En los casos en que su espesor ha podido ser determinado, se sitúa próximo a 150 m, aunque hacia el O podría superar 400 m. La base de la unidad se caracteriza por una monótona alternancia entre margas limolíticas y areniscas, dispuestas en niveles de orden centimétrico a milimétrico. Hacia techo se observa una progresiva dilución de los términos areniscosos a expensas de las margas, que llegan a constituir la única litología presente, con tonos grises característicos. La unidad culmina por medio de un tramo de margas limolíticas de típicos tonos rojizos, posiblemente como consecuencia de procesos edáficos, cuyo espesor no sobrepasa 20 m. El contenido micáceo de las margas confiere aspecto esquistoso a la unidad, que hacia el O intercala niveles de calizas margosas. Al microscopio, los niveles más compactos aparecen como biomicritas arcillosas, con un contenido micrítico alto (85-90%) y presencia de fósiles (5-10%) y cuarzo (3-6%). Los niveles basales poseen una clara afinidad turbidítica, con base neta, laminación paralela a muro y ripples de corriente a techo. Los niveles exclusivamente margosos de la parte alta de la unidad han sido atribuidos a un contexto de prodelta, con una acusada somerización de los niveles terminales, como sugieren los enrojecimientos edáficos. Entre la abundante microfauna hallada, se

encuentran *Racemigumbellina fructicosa*, *Globotruncana contusa* y *Rugoglobigerina* sp., que permiten atribuir la unidad al Maastrichtiense superior.

#### **2.2.2.8. Análisis secuencial del Cretácico**

La serie cretácica de la Hoja 115-II presenta una total continuidad tras la reestructuración producida por los movimientos austríacos, a finales del Cretácico inferior. Con ellos, la región queda configurada como una cuenca marina abierta, a modo de surco, hacia el ONO, con el macizo de Quinto Real dispuesto como relieve emergido al NE. Con este dispositivo, la sedimentación se reanudó en el surco, con evidente carácter turbidítico, si bien las zonas emergidas dejaron sentir su influencia a través de descargas terrígenas a la cuenca. Aunque los cortes existentes no permiten delimitar con claridad las secuencias deposicionales que han sido señaladas para el Cretácico superior en regiones próximas, sí puede señalarse la existencia de un megaciclo regresivo culminado por procesos de emersión próximos al límite Cretácico - Terciario. Las secuencias aludidas son:

Cenomaniense - Coniaciense

Constituye el intervalo con mayores variaciones de potencia y de registro. La sedimentación se llevó a cabo en un contexto de surco turbidítico, predominando las facies turbidíticas de basin-plain, con términos pelíticos de carácter anóxico y capas groseras ricas en areniscas. Intercalan niveles más competentes correspondientes a complejos de canales turbidíticos encajados sobre facies de talud-rampa distal.

.Santoniense Sus espesores presentan una mayor homogeneización que los de la secuencia infrayacente, presentándose esencialmente bajo la forma de depósitos turbidíticos de basin-plain, más calcareníticos que los infrayacentes. Intercalan niveles de facies turbidíticas canalizadas y probablemente, de lóbulo.

.Campaniense - Maastrichtiense

Se caracteriza por la continuidad de la sedimentación turbidítica hasta el Maastrichtiense inferior, en el que aparecen facies de rampa distal-talud y posteriormente, facies prodeltaicas que en la base pueden desarrollar intervalos turbidíticos canalizados que en algunos casos truncan los depósitos infrayacentes de

talud-rampa distal. El contacto con el Paleoceno, discordante y erosivo, está marcado por el desarrollo de horizontes de enrojecimiento con afinidad edáfica.

## **2.3. Terciario**

Los sedimentos terciarios, de naturaleza marina, afloran en los sectores meridional y oriental de la Hoja. Su depósito se restringe básicamente a tres ambientes sucesivos temporalmente: plataforma carbonatada, surco turbidítico carbonatado y surco turbidítico terrígeno, atribuidas a los intervalos Daniense - Montiense, Thanetiense - Ilerdiense y Cuisiense - Luteciense, respectivamente.

### **2.3.1. Daniense - Montiense**

Sobre los niveles margosos de techo de la serie cretácica se dispone un conjunto carbonatado característico de la zona, de gran continuidad en sentido ENE-OSO, continuidad observada a nivel regional, especialmente hacia el O.

#### **2.3.1.1. Calizas y calizas con intercalaciones margosas (207). Daniense - Montiense**

Se trata de un típico resalte morfológico dispuesto sobre los niveles margosos maastrichtienses, que presenta buenos cortes en Iragui, collado de Egozcue, repetidor de Olagüe, Ciáurriz, Guelbenzu, Gascue y en la ermita de San Urbano. El contacto entre ambas unidades, muy neto, posee carácter discordante, aunque resulta difícil de observar debido a la naturaleza de la unidad inferior. Por lo que respecta a su límite superior, posee carácter erosivo, como consecuencia de la naturaleza turbidítica de la unidad suprayacente (213). A grandes rasgos, la unidad se presenta como un conjunto de calizas bioclásticas grises dispuestas en niveles de orden decimétrico, que la confieren aspecto tableado, con paquetes de brechas calcáreas de aspecto masivo, de orden métrico. Hacia el O, intercala delgados niveles margosos que acentúan el aspecto tableado de la unidad.

El carácter erosivo de la unidad suprayacente hace que se observen importantes variaciones de espesor según las zonas. Así, se registran 71 m en la ermita de San Urbano, 15 m en Ciáurriz y 17 m en el collado de Egozcue, llegando a faltar la totalidad de la unidad al E de Iragui. En la ermita de San Urbano se reconoce un



tramo inferior de 8 m de calizas tableadas, con ripples de oscilación y bases netas, apreciándose la presencia de un paquete basal de brechas calcáreas. Por encima, aparece un tramo intermedio con 15 m de brechas calcáreas con finas intercalaciones margosas. El tramo superior, de 48 m, está integrado por calizas tableadas con estratificación cruzada de bajo ángulo y ripples de oscilación, entre los que se intercalan lags de brechas calcáreas y horizontes con nódulos de sílex.

En conjunto, se atribuye a un ambiente marginal de plataforma carbonatada, con episodios de borde de talud. En el collado de Egozcue se ha reconocido una sucesión de calizas bioclásticas y calizas margosas en niveles tableados, con estratificación cruzada de bajo ángulo y ripples de oscilación, enmarcándose en un ambiente de plataforma carbonatada. Son abundantes los restos de Algas, Briozoos y microfauna, entre la que destaca *Cuvillerina vallensis*, *Globigerina triloculinoides*, *Globorotalia compressa*, *G. trinidadensis*, *Gyroidina* cf. *gyardana* y *Planorbulina antiqua*, que señalan una edad Monticense. El hallazgo de *Globigerinoides* cf. *daubjergensis* en sectores próximos (sinclinorio de San Bartolomé) ha hecho que la unidad se enmarque en el Daniense - Monticense, aunque el Daniense tal vez esté ausente en la mayor parte de los casos como consecuencia de la erosión relacionada con los niveles brechoides montienses. Los estudios petrográficos han señalado el predominio de micritas y biomicritas, en las que se observa la presencia de fósiles (10-20%) y cuarzo (1-2%), junto al componente micrítico (80-90%).

#### **2.3.1.2. Análisis secuencial del Daniense - Monticense**

La sedimentación paleocena supone un cambio notable con respecto al final del ciclo cretácico, cuyas últimas manifestaciones corresponden a margas con posibles rasgos edáficos. La instalación de la plataforma Daniense, de gran extensión regional, es un evento rápido, como se deduce del carácter neto de su límite inferior. En el ámbito de la Hoja no se aprecia una tendencia clara dentro de la secuencia, pudiendo señalarse únicamente que la sedimentación tuvo lugar en los sectores externos de la plataforma, con esporádicos episodios de talud.

El final de la secuencia sobreviene de forma brusca a comienzos del Thanetiense, coincidiendo con la creación de un surco turbidítico alimentado a expensas de los materiales carbonatados de las plataformas precursoras, razón por la que el límite entre ambas secuencias posee un acusado carácter erosivo. 1.3.2.Thanetiense -

Ilerdiense La estabilidad preponderante durante la secuencia del Paleoceno inferior se aborta bruscamente coincidiendo con el comienzo de la secuencia Thanetiense - Ilerdiense. Así, en tanto que en el sector occidental de la Hoja persiste la sedimentación carbonatada en un ambiente de plataforma externa (niveles 214 y 215), hacia el E tiene lugar la creación de un surco turbidítico nutrido de los productos resultantes del desmantelamiento de las plataformas carbonatadas paleocenas (213).

### **2.3.2.Thanetiense - Ilerdiense**

#### **2.3.2.1. Calizas y margocalizas con intercalaciones margosas (215). Margas (214).**

En el ángulo suroccidental, al S de Aróstegui, sobre las margas maastrichtienses, se aprecia la existencia de un doble resalte calizo de disposición cartográfica alargada en el que se intercala una banda deprimida; de dichos resaltes, el inferior corresponde a la plataforma carbonatada paleocena ya descrita (207), en tanto que el superior (215) está integrado por unos 30 m de alternancia rítmica de calizas margosas blanco-grisáceas y margas grises dispuestas en niveles de orden decimétrico. Por lo que respecta al tramo blando intermedio (214), aparece prácticamente cubierto, estando constituido por 50-60 m de margas con esporádicas intercalaciones de capas areniscosas ocreas de espesor centimétrico a decimétrico.

Ya que el conjunto de las unidades 214 y 215 se sitúa entre los materiales carbonatados del Daniense - Montiense y las turbiditas terrígenas cuienses (nivel 218 ), se considera equivalente lateral de los depósitos de turbiditas calcáreas (213), que aparecen al E de Ciáuriz y Gascue. Este hecho, unido a la superposición del tramo margoso sobre distintas unidades, ha aconsejado la representación de su base con carácter discordante. La presencia de slumps, debris y mud-flow, así como su marco paleogeográfico, sugieren que el depósito de este conjunto tuvo lugar en un contexto de rampa distal carbonatada, con posible intercalación de episodios turbidíticos terrígenos en el nivel inferior (214) y carbonatados en el superior (215). El hallazgo de *Globigerina triloculinoides*, *Globorotalia angulata* y *G. abundacamerata* ha permitido la asignación de la unidad 215 al Thanetiense; de igual manera, la presencia de *Discocyclina seumesi*, *Globorotalia macknani*, *G. pseudomenardii* y *Operculina cf. canalifera* ha señalado la pertenencia de la unidad 215 al Ilerdiense. Los niveles

calizos presentan un elevado contenido micrítico (80-90%), con presencia de fósiles (10-15%) y cuarzo (1-2%), tal como han señalado los estudios petrográficos.

#### **2.3.2.2. Margas y calizas margosas (212). Thanetiense**

Se trata de una unidad escasa y deficientemente representada, exclusivamente en el núcleo del anticlinal de Leránoz, donde bajo el típico conjunto de turbiditas calcáreas de la zona (213), aparecen áreas deprimidas que evidencian una elevada proporción margosa. Su potencia estimada, que no debe considerarse máxima al no aflorar su muro, se aproxima a 30 m. No existe corte alguno que permita describir las características de la unidad, para lo cual ha sido necesario recurrir a los materiales correlacionables más cercanos (Hoja a escala 1:25.000 de Erro, 116-I). A grandes rasgos está formada por una alternancia entre margas y calizas margosas con gradación positiva incipiente, base neta y wave ripples a techo; se interpretan como complejos de capas de tormentas y en conjunto se incluyen en un medio de plataforma abierta, concretamente en un margen de plataforma dominada por tormentas. Al microscopio presentan valores inferiores al 10% de cuarzo y próximos al 20% de fósiles y al 55% de micrita, con un resto arcilloso; el contenido en carbonatos se acerca al 80%. Entre la microfauna hallada cabe destacar la asociación de *Globorotalia* cf. *gyrardana*, *G.* cf. *pseudobulloides* y *Globigerina* cf. *triloculinoides*, que señalan la pertenencia de la unidad al Thanetiense.

#### **2.3.2.3. Calizas tableadas y alternancia de margas y calizas (213). Thanetiense-Ilerdiense**

Afloran a lo largo de una banda que con dirección ENE-OSO se extiende desde el sector oriental de la Hoja hasta los entornos de Ciáurriz, donde desaparece a expensas de sus equivalentes margocalizos (niveles 215 y 214). Posee buena calidad de afloramiento en el ámbito del sinclinal de Barachueta y del anticlinal de Leránoz, donde existen buenos cortes, especialmente en las proximidades de Iragui. El espesor de la unidad es superior a 300 m en el sector oriental, disminuyendo progresivamente hacia el OSO. Litológicamente, se trata de una alternancia de calizas detríticas y margas, dispuestas en niveles tabulares de orden decimétrico, con un claro predominio de las primeras, que con frecuencia se amalgaman dando lugar a paquetes de calizas tableadas de orden decamétrico e incluso hectométrico. Hacia techo se intercalan esporádicos niveles de areniscas de espesor decimétrico. Su

límite inferior es claramente erosivo, pero con frecuencia difícil de establecer, debido a la similitud litológica que existe entre diversos tramos y los de la unidad infrayacente (207).

Por lo que respecta al límite superior, también de carácter erosivo, es mucho más evidente, debido a la variación litológica que supone la desaparición de los materiales carbonatados a expensas de los areniscosos de la unidad suprayacente (nivel 218), con la disminución de la resistencia a la erosión que supone el cambio. Las calizas pueden presentar bases erosivas y, ocasionalmente, canalizadas, así como gradación positiva con grainstones-packstones en la base y packstones-wackestones margolimosos a techo. Los componentes aloquímicos corresponden a intraclastos, bioclastos y partículas de cuarzo de grano muy fino.

Las estructuras tractivas observadas son flute y bounce cast, laminación paralela y ripples de corriente a techo; a muro se reconocen depósitos desorganizados con debris-flow, mud-flow y slumping que pueden alcanzar un centenar de metros, cuyo depósito se enmarca en un contexto de talud. El depósito del resto de la unidad se asocia con un ámbito de surco turbidítico, alimentado por el desmantelamiento de la plataforma carbonatada dano-Montiense. El hecho de que la unidad se disponga entre los materiales calcáreos montienses y las turbiditas terrígenas cuienses, ha hecho que la unidad se enmarque en el intervalo Thanetiense - Ilerdiense.

#### **2.3.2.4. Análisis secuencial del Thanetiense - Ilerdiense**

A comienzos del Thanetiense, un brusco cambio paleogeográfico condujo al inicio de una nueva secuencia sedimentaria. A lo largo de ella, se aprecia una retirada de la plataforma hacia el O, con creación de un surco turbidítico en los sectores orientales, cuyos aportes procederían de los materiales carbonatados de la plataforma precursora. En este contexto regional, dentro de los límites de la Hoja, tan solo en el sector occidental se constata la persistencia de los ambientes de plataforma externa con eventual desarrollo de facies de talud, en tanto que en el resto, tras un episodio inicial de depósitos desorganizados ligados al talud, se produjo la entrada de aparatos turbidíticos de naturaleza carbonatada, fundamentalmente. El final de la secuencia, a finales del Ilerdiense, va acompañado por un nuevo cambio en el dispositivo paleogeográfico, implantándose en toda la Hoja un sistema turbidítico cuya naturaleza terrígena refleja una variación de las áreas de aporte.

### **2.3.3. Cuisiense - Luteciense inferior**

En general, la serie eocena surpirenaica en sus sectores aragonés y navarro oriental, está caracterizada por una potente sucesión turbidítica de naturaleza terrígena en la que se intercalan depósitos olistostrómicos carbonáticos, conocidos en la literatura regional como Grupo Hecho (MUTTI et al., 1972), atribuido al Cuisiense - Luteciense. No obstante, en el ámbito de la Hoja tan solo afloran los niveles inferiores del Grupo, constituidos exclusivamente por turbiditas terrígenas asignadas al Cuisiense - Luteciense inferior (niveles 218 y 235); tan solo en el sector occidental afloran materiales margocalizos (239) que suponen un equivalente lateral de tránsito hacia los depósitos de plataforma de áreas más occidentales de la región (Fig. 4). El Grupo Hecho se ajusta al modelo de surco turbidítico desarrollado en una cuenca de antepaís flanqueada en sus márgenes por una plataforma carbonatada. Los sistemas de turbiditas terrígenas se nutren de la erosión de las plataformas siliciclásticas orientales, desarrolladas en la cuenca de Tresp-Graus, si bien algunos autores sugieren aportes siliciclásticos de procedencia septentrional.

#### **2.3.3.1. Alternancia de areniscas y arcillas (nivel 218). Cuisiense - Luteciense inferior**

Aflora en los sectores meridional y oriental de la Hoja, disponiéndose sobre diversos términos de la secuencia Thanetiense - llerdiense, pero fundamentalmente sobre la unidad turbidítica calcárea (213); sus mejores afloramientos se encuentran en las proximidades de Usechi. Su límite inferior, de carácter discordante y erosivo, coincide con un notable cambio litológico y morfológico, con aparición de términos areniscosos y arcillosos en sustitución de los calcáreos infrayacentes, con una consiguiente disminución de la resistencia a la erosión. Por lo que respecta a su límite superior, es un límite secuencial que coincide con un cambio litológico que supone la aparición de términos margocalizos (239) o un apreciable aumento del contenido margoso (235). Litológicamente, se trata de una serie alternante de areniscas ferruginosas con contenidos variables de componentes carbonatados, distribuidos en capas de 15 a 20 cm, alternando con arcillas grises, de evidente carácter turbidítico. En la vertical aumenta la proporción pelítica, apreciándose un aspecto más diluido de las turbiditas. Su potencia varía notablemente, de tal modo que sobrepasa 500 m en el sector oriental, disminuyendo progresivamente hacia el O. Entre la microfauna encontrada

en la unidad se encuentran *Globorotalia aff. rex*, *G. aff. aragonensis* y *Globigerina aff. linaperta*, que datan el Cuisiense inferior. Por otra parte, diversos niveles de megaturbiditas intercalados en la unidad en la vecina Hoja de Ansoáin (115-IV) han señalado una edad Luteciense inferior, razón por la que la presente unidad ha sido asignada al Cuisiense - Luteciense inferior. Los análisis texturales han determinado un 20% de sílice, 20% de fósiles y 50% de micrita, con el resto integrado por micrita recristalizada.

#### **2.3.3.2. Calcarenitas y margas (235). Luteciense**

Aparecen exclusivamente al S de Ciáurriz, donde sobre las turbiditas terrígenas del nivel 218 se dispone un nuevo tramo turbidítico de acusado carácter margoso; el contacto entre ambos coincide con un límite secuencial, en tanto que su techo aflora al S, fuera de los límites de la Hoja, donde la presente unidad es cortada por canales turbidíticos. Se trata de un conjunto de turbiditas margosas, constituido por calcarenitas dispuestas en capas próximas a 25 cm y margas de tonos claros, cuyo espesor conjunto se aproxima a 300 m. Se trata de un conjunto turbidítico influido por depósitos de talud, situado al N de la plataforma. Entre la fauna hallada se encuentran *Alveolina stipes* y *Nummulites obesus* que señalan una edad Luteciense.

#### **2.3.3.3. Margocalizas y margas (239). Luteciense**

Representan un cambio lateral con respecto al nivel anterior, exiguamente representado al S de Aróstegui, disponiéndose, por tanto, sobre las turbiditas terrígenas del nivel 218, mediante un límite secuencial. A grandes rasgos, se trata de una monótona sucesión de margas y margocalizas blanquecinas de aspecto rítmico, distribuidas en capas de orden decimétrico. No poseen corte alguno de calidad en el ámbito de la Hoja, apareciendo como un tramo blando y deprimido dispuesto sobre los resaltes calcáreos del Paleoceno - Ilerdiense en el núcleo del sinclinal de San Bartolomé, sin que pueda precisarse su espesor, que en dicho afloramiento parece inferior al centenar de metros. Son escasos las estructuras sedimentarias halladas, pese a lo cual la unidad se ha atribuido a un ambiente de rampa distal carbonatada, reflejando el retroceso de los sistemas turbidíticos hacia sectores orientales de la región. Su atribución a la zona de *Textularia praetopilensis* ha aconsejado su inclusión en el Luteciense (PUJALTE et al., 1994).

#### **2.3.3.4. Análisis secuencial del Cuisiense - Luteciense inferior**

Las turbiditas terrígenas del sector surpirenaico navarro-aragonés pueden considerarse como constituyentes de una megasecuencia comprendida entre las turbiditas calcáreas infrayacentes (Thanetiense - Ilerdiense) y las denominadas Margas de Pamplona suprayacentes (Biarritziense - Priaboniense). A su vez, dicha megasecuencia está integrada por diversas secuencias cuyos límites son establecidos por la presencia de megaturbiditas, constituidas por tres niveles característicos, que de muro a techo son: brechas calcáreas, margas y calcarenitas (PAYROS et al., 1994). En el ámbito de la Hoja, la megasecuencia aparece incompleta y tan solo están representados materiales del intervalo Cuisiense - Luteciense inferior, que comprenden tres de las secuencias señaladas. El inicio de la megasecuencia coincide con un cambio paleogeográfico caracterizado por el cese de los aportes carbonatados al surco surpirenaico, sustituidos por aportes terrígenos procedentes del desmantelamiento de las plataformas siliciclásticas orientales. Las dos secuencias inferiores (nivel 218) son indiferenciables dentro de los límites de la Hoja, al no aparecer la megaturbidita que establece su separación en la Hoja meridional (115-IV), pudiendo señalarse tan solo una mayor dilución de los términos areniscosos hacia techo. En cuanto a la tercera secuencia, su base está caracterizada por un cambio litológico que representa la progradación de ambientes de plataforma externa (239) desde sectores occidentales, con retroceso y una mayor dilución de los sistemas turbidíticos (235).

#### **2.4. CUATERNARIO**

Son escasos los depósitos cuaternarios de la Hoja de Olagüe, especialmente en el ámbito del macizo de Quinto Real, ciñéndose fundamentalmente a los valles de los ríos Ulzama y Mediano. Predominan los sedimentos de fondo de valle y llanura de inundación, así como los relacionados con las vertientes de dichos valles, especialmente coluviones y conos de deyección.

## **2.4.1. Pleistoceno - Holoceno**

### **2.4.1.1. Arcillas de descalcificación (nivel 523). Fondos de dolina. Pleistoceno - Holoceno**

Se encuentran escasamente representadas al NE de Olagüe en relación con procesos cársticos favorecidos por la fracturación y la existencia de un sustrato carbonatado. Sus reducidas dimensiones tan solo han permitido la diferenciación de dos afloramientos de forma ovalada, constituidos fundamentalmente por "terra rossa" con cierto contenido en limos y arenas. Su espesor, difícilmente calculable, debe ser inferior a 2 m. Por consideraciones regionales, estos depósitos se han atribuido al Pleistoceno - Holoceno, sin descartar su génesis durante el Plioceno.

### **2.4.1.2. Gravas, arenas y arcillas (niveles 508, 524 y 525). Terrazas. Pleistoceno - Holoceno**

Se encuentran escasamente representadas en las proximidades de Arraiz-Orquín y Alcoz, correspondiendo en todos los casos al río Ulzama. Las más recientes se disponen a cotas de +5 -7 m sobre el cauce actual (525), en tanto que las más antiguas se ubican a a +20 - 25 m (508), con un conjunto intermedio a +10 - 15 m (524). Poseen un dispositivo morfológico de terrazas colgadas, con su superficie plana y un marcado escarpe hacia el valle actual. Predominan los depósitos de gravas de caliza, cuarcita, cuarzo y arenisca, con una matriz areno-arcillosa, cuyo espesor suele oscilar entre 1,5 y 3 m. Entre las estructuras observadas se encuentran cicatrices erosivas, imbricaciones de cantos, estratificación cruzada y rellenos de fondo de canal, ocasionalmente, incluyen finos niveles de concentración de carbonatos. Se atribuyen al Pleistoceno, siendo muy probable que la terraza más baja pueda corresponder al Holoceno.

## **2.4.2. Holoceno**

### **2.4.2.1. Arcillas, arenas y gravas (543). Coluviones. Holoceno**

Presentan una reducida extensión superficial, apareciendo al pie de las laderas de los principales valles, tratándose en todos los casos de manifestaciones de poca entidad, próximas a los conos de deyección (536). Su litología está directamente relacionada



con la del área madre, observándose cantos angulosos a subangulosos heterométricos en una abundante matriz arcillo-arenosa. Se trata de depósitos poco compactados, heterogéneos y de espesor variable. Por su posición a pie de las laderas, superpuestos o interdentados con los depósitos fluviales más recientes, se asignan al Holoceno.

#### **2.4.2.2. Gravas, arenas y arcillas (536). Conos de deyección. Holoceno**

Se encuentran relacionados con los fondos de valle y las llanuras de inundación, localizándose sus principales afloramientos en el valle del río Ulzama. Se forman en la salida de barrancos y arroyos a valles de rango superior. Cuando los barrancos se encuentran próximos entre sí, los conos de solapan, dando lugar a formas coalescentes de mayor desarrollo. Se trata de depósitos heterométricos poco consolidados cuya litología depende del área madre, por lo que predominan los cantos de composición calcarenítica y caliza en una matriz arcillo-arenosa. La potencia es muy variable en función de la propia morfología de los conos, con valores máximos cercanos a 10 m. Por su relación con los depósitos fluviales más recientes se han atribuido al Holoceno.

#### **2.4.2.3. Limos, arenas y gravas (526). Llanuras de inundación. Holoceno**

Están ampliamente representadas en los valles de los ríos Ulzama y Mediano, si bien hacia el S desaparecen al estrecharse los valles; en el sector de Alcoz llegan a alcanzar 1 km de anchura. Su trazado muestra en planta una figura más regular que la de los fondos de valle que discurren con formas sinuosas por su interior. Su litología es muy similar a la de éstos, pero con una mayor proporción de finos (limos y arcillas) con respecto a gravas y arenas. A techo presentan un nivel arcilloso-limoso de 30-40 cm que corresponde a las facies de desbordamiento; sobre el depósito suele aparecer un suelo pardo de vega poco evolucionado. Se atribuyen al Holoceno.

#### **2.4.2.4. Brechas calcáreas (548). Canchales. Holoceno**

Este tipo de depósitos se encuentran relacionados con grandes desniveles, habiéndose observado tan solo un caso en que su envergadura haya permitido su

diferenciación cartográfica, concretamente en la ladera del pico Chuchurro. Se trata de brechas calcáreas heterométricas procedentes de los crestones de calizas paleocenas adyacentes, asignadas al Holoceno.

#### **2.4.2.5. Arcillas, gravas y arenas (545). Deslizamientos. Holoceno**

Poseen escasa representación en la Hoja, existiendo un claro ejemplo a pie de la cantera abandonada en las inmediaciones del collado de Egozcue. Están favorecidos por las litologías blandas y las altas pendientes, acompañadas por la saturación en agua del terreno. Su espesor es muy variable, pudiendo alcanzar la decena de metros; aunque predomina el componente arcilloso, su litología varía en función del área madre. Por su relación con el relieve actual, se han incluido en el Holoceno.

1.4.2.6. Gravas, arenas y limos (527). Fondos de valle. Holoceno Sus principales representantes se encuentran relacionados con los valles de los ríos Ulzama y Mediano, dando lugar a formas alargadas que pueden alcanzar 200 m de anchura. Predominan las gravas calcáreas, cuarcíticas y areniscas en una matriz areno-limosa; el tamaño medio de los cantos está comprendido entre 5 y 8 cm, si bien se llegan a observar bloques de más de 40 cm, debido a la alta competencia de los cursos, favorecida por el contrastado relieve de la zona. Aunque la potencia no es cuantificable en la mayor parte de los casos, no parece superar los 8 m. Se han asignado al Holoceno.

### **3. TECTONICA**

#### **3.1. CONSIDERACIONES GENERALES**

La presente Hoja forma parte del sector occidental de la cadena pirenaica, alineación montañosa que con dirección E-O se extiende desde el Golfo de Vizcaya hasta el Mediterráneo, resultante de la compresión producida entre las placas Europea e Ibérica. Aunque se han realizado diversos intentos de clasificación, una de las más utilizadas es la de MATTAUER y SEURET (1971), basada en criterios estructurales y estratigráficos, en la que se diferencian: la Zona Axial, constituida fundamentalmente por materiales paleozoicos, dispuesta a modo de eje de simetría de la cadena, dos zonas mesoterciarias despegadas, denominadas Nor y Surpirenaica, y dos antepaíses terciarios plegados. La cobertera mesozoico-terciaria ubicada al O de la terminación occidental de la Zona Axial es conocida tradicionalmente como Cuenca Vasco-Cantábrica, dividida en tres zonas: Bloque Alavés, Bloque Santanderino y Arco Vasco.

El límite entre el Arco Vasco, de características semejantes a la Zona Norpirenaica, y las Zonas Surpirenaica y Axial, viene determinado por la falla de Pamplona, coincidente con la alineación de diapiros navarros, de dirección NE-SO. El diferente comportamiento de los materiales frente a la deformación permite distinguir los siguientes dominios estructurales: zócalo, constituido por los materiales hercínicos; tegumento, formado por los depósitos de las facies Buntsandstein y Muschelkalk; nivel de despegue, integrado por la facies Keuper; y cobertera, constituida por la serie sedimentaria jurásico - paleógena. En general, el zócalo y la cobertera se han deformado independientemente gracias al nivel de despegue triásico, con una deformación mucho más acusada de la cobertera, si bien en la Zona Axial el zócalo también ha sido estructurado e incorporado a las estructuras alpinas.

A grandes rasgos, el área de estudio se ubica en el sector occidental pirenaico, en el que las estribaciones occidentales de la Zona Axial, representadas por el macizo de Quinto Real, cabalgan hacia el S sobre la Zona Surpirenaica, mediante la prolongación occidental del cabalgamiento de Roncesvalles, principal accidente de la Hoja (Fig. 2). El estilo estructural de ésta se caracteriza por una serie de cabalgamientos y pliegues apretados de dirección E-O a NE-SO y vergentes hacia el S (Fig. 3). Tan solo en el sector noroccidental predominan los pliegues laxos de

orientación NO-SE, como consecuencia de la acción de la falla de Pamplona, situada al O, fuera ya de la Hoja.

## **3.2. DESCRIPCION DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS**

Las manifestaciones más destacadas de la deformación sufrida por el territorio comprendido en la Hoja están determinadas por los elementos estructurales siguientes: discordancias, pliegues, fallas y cabalgamientos.

### **3.2.1.Discordancias**

Atendiendo a su orden cronológico, las principales discordancias de la Hoja son las delimitadas por el muro de los materiales triásicos, cretácicos, danienses y cuienses. La discordancia existente entre los materiales paleozoicos y triásicos del macizo de Quinto Real no es fácilmente visible, en virtud de la naturaleza de sus afloramientos, aunque es sencilla su deducción merced a la historia geológica de la zona. De las observaciones generales se desprende que los materiales paleozoicos han sido afectados por las últimas etapas de deformación hercínica, por lo que se encuentran ligeramente metamorfizados, a diferencia de los sedimentos de la facies Buntsandstein. Esta discordancia está relacionada con la acción de los movimientos tardihercínicos.

La discordancia más evidente a nivel cartográfico es la relacionada con la disposición de los materiales Aptiense - albienses sobre cualquier unidad triásica. Ello implica la acción de procesos deformativos postríasicos seguidos por etapas erosivas afectando a dichos materiales. Por criterios regionales es sabido que la deformación aludida se llevó a cabo en varias etapas durante el intervalo Oxfordiense - Albiense, la última de las cuales es conocida como fase austriaca; de acuerdo con lo expuesto, parece razonable suponer que los materiales depositados tras dichas etapas, conocidas globalmente como fase prealbiense (MARTINEZ TORRES, 1989), son de edad Albiense y no Aptiense - Albiense como se había señalado anteriormente. A techo del sinclinal de Urrizola aflora un tramo conglomerático atribuido al Campaniense, discordante sobre turbiditas santonienses. No obstante, la posibilidad de que dicha datación se deba a fauna resedimentada, junto al hecho de que en la región no se hayan encontrado signos de discontinuidades equiparables, ni facies correlacionables

con los niveles conglomeráticos, deben hacer tomar con cautela la edad de la discordancia, que podría ser más moderna que la asignada hasta ahora.

El límite Cretácico - Terciario coincide con una nueva discordancia, tal como se ha señalado en otros puntos de la región, pero que no es evidente en la Hoja, debido en buena medida a la deficiente calidad de afloramiento de los niveles margosos maastrichtienses; esta discordancia cretácico - terciaria estaría relacionada con los movimientos larámicos, mucho más evidentes en el sector oriental pirenaico. La existencia de una discordancia relacionada con el paso Monticense - Thanetiense también ha sido señalada en algunos puntos de la región; sin embargo, al menos en la Hoja, dicho paso va acompañado de una intensa erosión relacionada con la creación de un surco turbidítico, sin que se haya constatado en ningún caso su carácter discordante, por lo que dicho límite debe ser considerado como una disconformidad. La discordancia más reciente de la Hoja marca el límite Ilerdiense - Cuisiense y coincide con la sustitución de los episodios turbidíticos calcáreos por los de naturaleza terrígena. Se trata de una discordancia poco pronunciada, puesta de manifiesto exclusivamente por un ligero cambio en el buzamiento de los estratos infra y suprayacentes; su génesis está relacionada con los primeros episodios de la orogenia pirenaica propiamente dicha, en la zona.

### **3.2.2. Pliegues**

Son muy numerosos, presentando distintas características según las zonas, pudiendo señalarse como más destacados, los anticlinales de Etuláin y Leránoz, así como los sinclinales de Barachueta y Urrizola. Es preciso señalar que aunque en los materiales paleozoicos del macizo de Quinto Real no se han reconocido estructuras de gran envergadura, son los más intensamente deformados de la Hoja, estando afectados por pliegues de pequeño tamaño. En general, las estructuras paleozoicas de dicho macizo se orientan según NO-SE a N-S, habiéndose generado durante los movimientos astúricos de la orogenia hercínica.

El pliegue con mayor representación es el anticlinal de Etuláin, situado en el sector meridional, cuyo eje se dibuja a través de más de 10 km sobre materiales margosos maastrichtienses, lo que hace que su geometría tan solo pueda ser reconstruida a partir de las observaciones de sus flancos, constituidos por resaltes calcáreos paleógenos. Su eje posee una dirección próxima a E-O hasta la falla de Gascue, al O

de la cual sufre una inflexión, adquiriendo una orientación NE-SO; muestra una clara vergencia hacia el S, puesta de manifiesto por los buzamientos suaves a moderados observados en el flanco septentrional, en contraste con los buzamientos subverticales e incluso invertidos del flanco meridional.

El anticlinal de Leránoz aparece en planta como la prolongación del de Etuláin, con dirección E-O, si bien esta apreciación es errónea al interponerse entre ambos el cabalgamiento de Usechi. A diferencia del anterior, su geometría es perfectamente visible en los afloramientos de turbiditas calcáreas de su núcleo, entre las localidades de Leránoz y Usechi. En este caso, su vergencia meridional es aún más evidente por los bajos buzamientos de su flanco septentrional, en contraste con los moderados a invertidos del meridional.

El sinclinal de Barachueta es la estructura más representativa de la Hoja, al ser visible desde numerosos puntos de la misma, cuando su eje transcurre por materiales carbonatados del Paleoceno - Ilerdiense. En el paraje de Oyarzábal, al S de Egozcue, el sinclinal aparece como una estructura simétrica cuyos flancos poseen buzamientos moderados. Sin embargo, hacia el E y coincidiendo con la mayor proximidad del macizo de Quinto Real, el flanco N se invierte, apareciendo como un pliegue volcado vergente hacia el S, como se puede observar desde diversas elevaciones de la zona o en las inmediaciones de Iragui. Por su parte, el sinclinal de Urrizola, situado en el sector noroccidental, está orientado según NO-SE, afectando a materiales del Cretácico superior. Además de su orientación, su geometría laxa y simétrica difiere notablemente de las anteriormente descritas, con flancos de buzamientos suaves a moderados. Al O del sinclinal de Urrizola aparece una estructura de interpretación poco evidente, ubicada en una zona de relieve poco pronunciado, constituida fundamentalmente por materiales margosos albienses; se trata de un sector anticlinorial cuya deficiente calidad de afloramiento impide precisar su geometría, aunque sí permite señalar su orientación NO-SE.

En su núcleo afloran materiales triásicos pertenecientes a la facies Keuper, que tradicionalmente han sido interpretados como manifestaciones diapíricas; sin embargo, el reconocimiento de una etapa de plegamiento prealbiense (MARTÍNEZ TORRES, 1989), seguida por importantes procesos erosivos ha sugerido que en realidad algunos asomos triásicos son núcleos anticlinales erosionados y los materiales albienses circundantes se disponen sobre ellos discordantemente; de

acuerdo con esta interpretación, la tradicional "zona diapírica de Lizaso" debería considerarse como el núcleo de un anticlinal cuyo borde occidental podría estar afectado por una falla inversa.

### **3.2.3. Fallas y cabalgamientos**

La estructura más destacada de la Hoja es el cabalgamiento hacia el S de los materiales del macizo de Quinto Real sobre los de la Zona Surpirenaica, en el sector nororiental. Constituye la prolongación occidental del cabalgamiento de Roncesvalles y posee una orientación E-O hasta el NO de Egozcue, donde un accidente transversal desplaza su traza hacia el N; al O del mismo, adquiere una orientación NE-SO, limitando por el S a la denominada "zona de escamas de Arizu", área compleja en la que se apilan diversos cabalgamientos y se aprecian numerosas fallas transversales. Su continuación suroccidental parece estar constituida por el cabalgamiento de Olagüe hasta alcanzar la falla de Gascue, al O de la cual parece prolongarse mediante el cabalgamiento de Músquiz. El salto de esta serie de cabalgamientos aumenta hacia el E, donde los materiales paleozoicos y triásicos cabalgan sobre los depósitos maastrichtenses. Otros cabalgamientos dignos de mención son los de Usechi y Latasa, dispuestos paralelamente a los anteriores, pero con un salto considerablemente menor. El segundo limita por el N una compleja zona, afectada por numerosas fracturas, de orientaciones diversas.

### **3.3. CRONOLOGIA DE LA DEFORMACION**

La evolución tectónica de la región puede referirse a dos grandes ciclos, desigualmente representados en la Hoja: el ciclo hercínico, puesto de manifiesto por los materiales paleozoicos del macizo de Quinto Real, y el ciclo alpino, caracterizado por los materiales mesozoicos y terciarios de la Zona Surpirenaica. El ciclo hercínico está caracterizado tan solo por sus manifestaciones más tardías, consistentes en pliegues y cabalgamientos orientados de NO-SE a N-S, junto con dos familias de esquistosidades.

Durante el intervalo Estefaniense - Pérmico tuvo lugar una fase de fracturación de escala continental, conocida como etapa tardihercínica y caracterizada por la génesis de desgarres de direcciones NE-SO y NO-SE, si bien esta fase es poco evidente en la Hoja. Entre los accidentes tardihercínicos más destacados en la historia posterior de la

región, se encuentran las fallas de Pamplona y Norpirenaica, esta última actuando como límite entre las placas Ibérica y Europea, y desempeñando un papel fundamental en la apertura del golfo de Vizcaya, y como línea transformante durante la deriva de Iberia. En general, los accidentes tardihercínicos constituyen un elemento fundamental durante el posterior ciclo alpino, puesto que su reactivación durante la distensión mesozoica controló la geometría de las cuencas de sedimentación y durante la compresión terciaria actuaron como zonas de debilidad, a favor de las cuales se produciría el desplazamiento de cabalgamientos y desgarres. A grandes rasgos, el ciclo alpino comprende dos periodos de carácter geodinámico diferente: una larga etapa coincidente con el Mesozoico, en la que la región se encontraba situada en un dominio de divergencia y traslación de placas, con creación de cuencas de sedimentación, y un período más corto, que abarca parte del Terciario, en el que la convergencia y posterior colisión de las placas Ibérica y Europea daría lugar a la génesis del orógeno pirenaico. La historia tectónica de la zona durante el Mesozoico, sólo puede reconstruirse a través de algunos rasgos fragmentarios, entre los que se encuentra la etapa distensiva reconocida a comienzos del Jurásico por el ascenso de magmas basálticos de composición toleítica, que dieron lugar a las masas ofíticas englobadas en los materiales triásicos.

La denominada fase prealbiense (MARTINEZ TORRES, 1989), acaecida en el intervalo Oxfordiense-Albiense, dio lugar a pliegues en un contexto de cizalla sinestra, tales como el de Lizaso. La deformación durante este período está relacionada con la apertura del golfo de Vizcaya mediante un proceso de rifting. Las últimas manifestaciones distensivas de esta etapa acontecen en el Albiense, siendo su efecto más evidente la configuración de diversos dominios sedimentarios característicos del Cretácico superior, período caracterizado por la deriva de la Placa Ibérica hacia el SE.

A comienzos del Terciario, la región se encontraría situada en el ámbito de una cuenca marina comprendida entre las placas Ibérica y Europea, habiendo finalizado la rotación antihoraria de Iberia con respecto a Europa. Con esta configuración, se produjo el acercamiento definitivo entre ambas placas, culminando con su colisión durante el Eoceno, coincidiendo con la denominada fase pirenaica, si bien el régimen compresivo perduró hasta comienzos del Mioceno. La estructura alpina de la región es función de la orientación e intensidad de las fases compresivas, la distribución de los accidentes del zócalo y la naturaleza y disposición de los materiales de la cobertera sedimentaria. Así, en el marco de la Hoja, la compresión alpina se refleja



por el desplazamiento hacia el S de cabalgamientos, en general de bajo ángulo, de dirección E-O a NE-SO, así como por las estructuras de plegamiento generadas, vergentes hacia el S y paralelas a aquéllos. Siguiendo el esquema general de la región, la facies Keuper actuó como nivel de despegue a favor del cual tuvieron lugar las aloctonías de la cobertera, tal como se desprende de sus pequeños afloramientos ligados a la traza del cabalgamiento de Olagüe. Por contra, en el ámbito del macizo de Quinto Real, el nivel de despegue se encuentra en el zócalo hercínico, entre otras causas por la desaparición de los niveles plásticos de la serie mesozoica. La intensidad de los esfuerzos decreció de E a O como se deduce del menor salto del cabalgamiento de Músquiz frente al de Roncesvalles. Las notables aloctonías del macizo de Quinto Real a favor de éste dieron lugar a un mayor apretamiento de las estructuras al S del mismo, tal como señalan el sinclinal tumbado de Barachueta y el cabalgamiento de Usechi, este último en la prolongación oriental del anticlinal de Etuláin. Durante el período compresivo, la falla de Pamplona se mostró activa, con un comportamiento complejo que en cualquier caso dio lugar a la "virgación de Ulzama" (MARTINEZ TORRES, 1989), cuyo reflejo en la Hoja son los pliegues de dirección NO-SE del sector noroccidental. Por lo que respecta a la evolución tectónica posterior al Eoceno, poco puede decirse en la zona ante la ausencia de materiales generados durante el intervalo Oligoceno - Plioceno, pero por consideraciones regionales parece probable que la compresión perdurase al menos hasta el Mioceno inferior.

## **4. GEOMORFOLOGIA**

### **4.1. DESCRIPCION FISIOGRAFICA**

La Hoja de Olagüe (115-II), se sitúa en una zona de relieves importantes en la que los contrastes altimétricos son frecuentes debido a una profunda incisión de la red fluvial. Fisiográficamente se pueden diferenciar dos zonas: una al NE, donde se localizan las cotas más altas junto con valles estrechos y cerrados, y otra, de mayor amplitud, al S y al O de la anterior, que corresponde a la región de La Ulzama, donde las cotas descienden bastante y los ríos ofrecen valles más abiertos y amplios.

Las cotas del sector nororiental oscilan entre 700 y algo más de 1.200 m, destacando el pico de Goitean (1.222 m). Se trata de un relieve muy apretado con valles estrechos y encajados que constituyen auténticos barrancos. El sector de La Ulzama proporciona un relieve más abierto, aunque también son patentes las diferencias altimétricas. Destacan las elevaciones de Arañoz (841 m), Epaizburu (834), Montejurra (741 m) y Chuchurro (804 m) como puntos sobresalientes, encontrándose las zonas más bajas en los valles de los ríos Ulzama y Mediano, con cotas cercanas a 500 m en el extremo S de la Hoja. Existe un tercer dominio que ocupa el sector SE, constituido mayoritariamente por materiales paleocenos y eocenos y que se caracteriza por una serie de relieves estructurales de dirección E-O, con características crestas entre 600 y 800 m.

La red de drenaje se ordena en torno a los ríos Ulzama y Mediano, su principal afluente. Ambos ríos dan lugar a valles amplios en los que se pueden reconocer depósitos cuaternarios que ofrecen vegas aceptables. Los principales afluentes del Ulzama por la margen derecha son los barrancos de Alcomorro y Berva, y por la izquierda, el citado río Mediano. A él afluyen el barranco de Arañoz, por la margen derecha, y los de Ilunsain, Mendirriain, Seidea y Echuvinda. Otros barrancos de importancia son los de Subarrondi e Imbuluzqueta, tributarios del río Arga.

La precipitación media anual está comprendida entre 1.200 - 1.450 mm, correspondiendo los valores más altos al sector septentrional y los más bajos al meridional. Las temperaturas medias oscilan entre los 10-12°C, con máximas de 37°C y mínimas de -8°C en los meses de invierno. Aunque estos datos definen un tipo climático Mediterráneo con el régimen de humedad Mediterráneo Húmedo, lo cierto es

que hay una cierta tendencia a la continentalidad y, en el sector nororiental, una cierta influencia del clima de montaña, con precipitaciones de carácter sólido.

La vegetación es muy abundante, con grandes ocupaciones de bosque alto ofreciendo magníficos ejemplos de hayas, tejos, serbales y una gran variedad de arbustos y plantas herbáceas. Este tipo de vegetación alta y arbustiva, se intercala con algunas praderas de amplio desarrollo. En los valles más anchos, además de la vegetación de ribera se encuentran cultivos de regadío.

## **4.2. ANTECEDENTES**

Los trabajos geomorfológicos relativos a este sector del Pirineo navarro, son muy escasos por no decir prácticamente inexistentes, aunque sí hay algunos textos de carácter general o regional que han servido de partida a este estudio.

Un gran avance, en este sentido, es el que se produce en las últimas décadas con motivo de la realización de las Hojas geológicas, a escala 1:50.000, del Plan MAGNA. En ellas se aportan, al menos, nuevos datos sobre las características de los depósitos más recientes, concretamente de edad cuaternaria. Por otra parte, la realización por el I.T.G.E. y ENRESA del "Mapa Neotectónico y Sismotectónico de España, a escala 1:1.000.000" arroja algunos datos complementarios sobre este sector de Navarra.

## **4.3. ANALISIS MORFOLOGICO**

En este apartado se tienen en cuenta dos aspectos fundamentales: uno de carácter estático o morfoestructural y otro dinámico. El primero considera el relieve como una consecuencia del sustrato geológico y la disposición del mismo, y el segundo analiza la importancia de los procesos exógenos sobre dicho sustrato y las características de los mismos.

### **4.3.1. Estudio morfoestructural**

Desde el punto de vista morfoestructural, la Hoja de Olagüe se sitúa al E de la falla de Pamplona (o de Estella-Dax), que separa el Arco Vasco, de la Zona Surpirenaica (figura 2). Las características del relieve, bastante accidentado, están muy condicionadas por la estructura, además de por la litología y la tectónica.

Los mayores relieves se localizan en la margen izquierda del río Mediano, donde los niveles más duros de los sedimentos paleocenos, dan lugar a grandes resaltes de carácter estructural como escarpes y crestas, en general con más de 100 m de desnivel. Así sucede en los parajes de Apeite, Ollasqui, Baldegui y Barachueta. Las crestas se hacen más frecuentes en el sector meridional donde con dirección ENE-OSO reflejan grandes estructuras anticlinales. Hay que destacar por su gran longitud la que se extiende desde el paraje de Aztiriguibirdi hasta Arronomendi, así como la que se desarrolla desde el paraje de Begui hasta el N de Montejurra. Entre una y otra se pueden observar algunos magníficos ejemplos de crestas y "hog backs" en el sector de la Borda de Pedrona, al E de Ripa. Estas formas son debidas a la estructura general de la zona y a la diferente competencia de los materiales.

Existen dos relieves estructurales al O del río Mediano, en el sector septentrional, que se desarrollan sobre materiales detríticos albienses. Igualmente, en las proximidades de Arizu, destaca en el paisaje un cerro más o menos redondeado, correspondiente a rocas de naturaleza subvolcánica.

Otras formas de carácter estructural son: resaltes de capas duras, fallas con expresión morfológica que desplazan capas, escarpes y crestas.

La morfología de la red de drenaje es otro aspecto que refleja magníficamente la influencia de la estructura en la configuración del relieve. También la linealidad de algunos cauces, la orientación preferente de muchos de ellos según determinadas directrices, así como los cambios bruscos en los perfiles longitudinales, indican que las aguas circulan preferentemente por las zonas de mayor debilidad o de máxima pendiente.

En la Fig. 5 se presenta un esquema de la red de drenaje a escala 1:100.000, en el que se indican las principales direcciones de flujo de los tramos más rectilíneos y donde se observa la existencia de varias direcciones importantes.

En primer lugar destaca la dirección NNO-SSE a NO-SE seguida por los principales ríos como el Ulzama y gran parte del río Mediano. Los afluentes menores de estos ríos presentan en su mayoría una dirección NE-SO y son de mediano y corto recorrido. También es muy frecuente la dirección E-O, en general paralela a las principales estructuras de plegamiento. Lo más normal es el encajamiento de los

cauces por los materiales menos competentes. Finalmente, la dirección N-S corresponde a la máxima pendiente, que va desde los grandes relieves hacia la Cuenca de Pamplona; se acoplan a ella algunos tramos del río Mediano y cauces de la red menor, así como algunas fracturas.

La morfología de la red es de tipo dendrítico, subtipo angular, con una densidad media general. Las redes de tipo dendrítico son características de áreas con litologías muy homogéneas o con sedimentos estratificados en los que alternan materiales de diferentes competencia, dispuestos en series monoclinales. Este último hecho es muy frecuente en todo este sector del territorio navarro.

#### **4.3.2. Estudio del modelado**

En este apartado se describen todas las formas cartografiadas en el mapa geomorfológico, tanto si son erosivas como sedimentarias, y que han sido originadas por la acción de los procesos externos. Se describen también dichos procesos según su importancia, considerando, en todas aquellas que tienen depósitos, el tamaño, la potencia, la distribución espacial y su relación con otras formas.

##### **4.3.2.1. Formas fluviales**

El desarrollo de la morfología fluvial es muy importante, destacando principalmente la de carácter erosivo. Los depósitos son bastante escasos limitándose a los fondos de valle, algunos conos de deyección y unos pocos afloramientos de terrazas.

Los fondos de valle están constituidos por un depósito de gravas calcáreas, mayoritariamente, pero con componentes cuarcíticos y areniscosos, empastados por una matriz arenoso - arcillosa. La morfología en planta es la de bandas alargadas y estrechas con un trazado muy variable, a veces rectilíneo, a veces ondulado o serpenteante.

En la zona N, los valles de los ríos Ulzama y Mediano dan lugar al desarrollo de llanuras de inundación, que en algunos puntos llegan a superar 500 m de anchura, como sucede entre Alcoz y Venta Bolloun. La forma en planta es más regular y rectilínea que la de los fondos de valle, aunque el cauce actual discurre, dentro de

ella, con un trazado sinuoso y a veces meandriforme. La litología es muy similar a la de los fondos de valle pero con un mayor contenido en finos.

Muy relacionados con los fondos de valle y las llanuras de inundación, aparecen los conos de deyección. Son formas bastante frecuentes y se generan a la salida de algunos barrancos y arroyos, al desaguar en un cauce de rango superior. Su tamaño es muy variable dependiendo de diversos factores: clima, pendiente del cauce que lo forma, longitud, anchura, cambio de pendiente y tamaño de la zona de recepción. Los de mayores dimensiones se pueden observar a lo largo de todo el valle del Ulzama, donde algunos superan 1 km<sup>2</sup> de superficie, como sucede en las proximidades de Elso y Guerendiáin. También es frecuente, cuando los barrancos están muy próximos, que los conos se solapen unos con otros dando un conjunto coalescente de amplio desarrollo.

Otras formas de sedimentación significativa son las terrazas, aunque aquí no dan lugar a grandes superficies de afloramiento. Los únicos ejemplos se presentan en el sector NO y pertenecen al río Ulzama. Los depósitos más orientales son los de mayor tamaño y se sitúan en el paraje de Venta Bolloun, a unos +5 -7 m del cauce actual; a +10 -15 m se ubica el afloramiento más occidental, ofreciendo menores dimensiones. En general son formas con una superficie extremadamente plana y con un escarpe muy neto dirigido hacia el cauce; el dispositivo morfológico que ofrecen es el de terrazas colgadas. Se trata de depósitos conglomeráticos en los que domina la litología calcárea pero en los que también se encuentran cuarcitas, cuarzos y areniscas.

Por lo que se refiere a las formas erosivas de carácter fluvial, aunque son muy abundantes, no presentan una gran variedad. Destaca sobre todo una importante red de incisión fluvial, más efectiva en los cauces menores, y que da lugar en algunos puntos a procesos de retroceso en las cabeceras. Este proceso da lugar a la unión de cabeceras opuestas, pero contiguas, produciendo un interfluvio acusado y agudo de una sola línea, denominado en geomorfología "arista", muy frecuente en gran parte de la Hoja.

Por otra parte, en los sectores de menor relieve, se producen pequeñas incisiones en el terreno, de funcionamiento estacional y morfología cambiante que se conocen como regueros y que están originados por dichos procesos de arroyada difusa.

Los procesos de erosión lateral se dan en las zonas de meandro de los principales cauces, desplazando la pared cóncava hacia atrás con formación de escarpes que a veces se desestabilizan dando lugar a pequeños deslizamientos y desprendimientos.

#### **4.3.2.2. Formas de ladera**

Son cuatro las formas incluidas en este grupo: coluviones, canchales, desprendimientos y deslizamientos.

Los coluviones se produce al pie de las laderas de los principales valles, aunque también aparecen en otros, de menor envergadura. Se presentan en forma de bandas alargadas, paralelas a los valles y ofrecen una estrecha relación con los conos de deyección, como sucede en el sector de Guerendiáin, donde se interdentan unos con otros e incluso con los depósitos de la llanura aluvial o del fondo de valle.

Otros depósitos reconocidos y cartografiados son los canchales, que aparecen por lo general a distintas alturas de la ladera, siempre relacionados con grandes escarpes, cuestas o crestas. Se producen por la rotura y caída por gravedad de los niveles calizos paleocenos, acumulándose en puntos inferiores de la vertiente. La participación del agua en el transporte provoca la presencia de diferentes lechos de aporte en el sedimento, unos con mayor cantidad de finos y otros con total ausencia de ellos, por lavado.

Igual origen tienen las acumulaciones de grandes bloques o desprendimientos, aunque su manifestación morfológica es algo diferente, pues se trata de grandes bloques, a veces superiores a los 2 m, que aparecen en las laderas de los grandes escarpes de forma aislada, aunque a veces pueden llegar a ser muy numerosos. Todos estos movimientos en los que la componente principal es la gravedad, son frecuentes por las pendientes elevadas.

Los deslizamientos también se produce por este motivo y por la existencia de litologías blandas o alternantes. En la Hoja son bastante escasos y de pequeñas dimensiones; se ha reconocido uno al N de Aperdoqui, otro en el collado de Egozcue y un tercero, en el barranco de Arañoz. Aparte de la pendiente y la litología necesarias, su origen tiene lugar cuando una ladera alcanza su límite de estabilidad, sobre todo cuando se produce una importante infiltración de agua y con ello una saturación del

suelo que en un momento hace que se produzca una superación de las fuerzas de rozamiento y la rotura del material. Se trata normalmente de deslizamientos rotacionales en los que se puede distinguir bien la masa deslizada de la cicatriz de despegue.

#### **4.3.2.3. Formas cársticas**

El proceso de disolución es uno de los que produce resultados más espectaculares desde el punto de vista geomorfológico, pero no lo hace así en la Hoja de Olagüe, aunque sí en otras contiguas, como la de Irurzun, donde aparece con una gran diversidad de formas y paisajes cársticos. La única manifestación clara tiene lugar entre los parajes de Ollasqui y Chorrotá donde ha desarrollado un lapiaz. En él se reconocen una serie de formas menores como pasillos, alveolos, crestas, senos, oquerosidades, chimeneas, etc., que pueden aparecer parcial o totalmente cubiertos por arcillas de descalcificación.

En el desarrollo de los procesos cársticos existe una gran influencia de la litología, la estructura y sobre todo de la fracturación, puesto que la existencia de líneas de debilidad o discontinuidad favorece la penetración del agua y la circulación de la misma dentro del macizo. La presencia de una estación fría, con precipitación sólida, acelera en este caso el proceso, ya que las aguas de fusión son muy agresivas.

#### **4.3.2.4. Formas poligénicas**

En este grupo sólo se han reconocido los restos de un antiguo arrasamiento, situado aproximadamente entre los 700 y 850 m y que aparece en los parajes de Epaizburu, Capana, Echaide y Apeite. Erosiona diversos niveles estratigráficos y ofrece muy poca continuidad por lo incidido del relieve. A este arrasamiento se le ha denominado Superficie de Erosión Inferior, pues existe otra superficie más antigua que se manifiesta en Hojas vecinas, como la de Cizur (141-I) y que se ha asimilado por sus semejanzas con la Superficie de Erosión Fundamental de la Cordillera Ibérica (PEÑA et al., 1984) situada a cotas superiores, entre los 900 y 1050 m, con un mayor desarrollo.

La Superficie Inferior, en las zonas donde afecta a las calizas desarrolla un pequeño carst que se manifiesta por la formación de un lapiaz, sin dar lugar a grandes formas



de disolución. La edad de dicha superficie podría considerarse como Mioceno terminal (Turolense) o Plioceno.

#### **4.4. FORMACIONES SUPERFICIALES**

Se definen como tales todos aquellos materiales coherentes o no, que han podido sufrir una consolidación posterior y que están relacionados con la evolución del paisaje que se observa en la actualidad (GOY et al., 1981). Sus características principales son, que deben ser cartografiables a la escala de trabajo y estar definidas por una serie de atributos tales como geometría, textura, litología, potencia, génesis y, en ocasiones, edad.

En la Hoja de Olagüe, las formaciones superficiales son muy escasas, puesto que se trata de un área donde domina la erosión sobre la sedimentación, pero, dentro de esta escasez, son las formaciones de origen fluvial y las de gravedad, las que proporcionan algunos materiales de interés.

Por lo que se refiere a las formaciones superficiales de origen fluvial, son los depósitos de fondo de valle y los de llanura de inundación los de mayor desarrollo. Están constituidos por cantos y gravas de calizas y dolomías y, en menor proporción, de calcarenitas, cuarcitas y areniscas, dentro de una matriz arcillosa - arenosa con cierto contenido en carbonatos. El tamaño medio de los cantos está comprendido entre 5 y 8 cm, observándose en el terreno tamaños máximos superiores a 40 cm.. Existen por tanto abundantes bloques debido a que se trata de una zona montañosa, donde la capacidad erosiva de los cauces es elevada por las grandes diferencias altimétricas y la alta pluviometría. La presencia de una estación fría, con precipitación sólida, favorece la alteración mecánica y la puesta en movimiento de los fragmentos de roca a través de los cauces. La potencia no es visible en la mayoría de los casos pero parece no superar los 7-8 m.

Las llanuras de inundación presentan características similares a los aluviales, pero el porcentaje en finos (limo y arcilla) es algo más alto. A techo suelen presentar un nivel arcillo-limoso de unos 30-40 cm que corresponde a las facies de desbordamiento. Sobre el depósito se suele originar un suelo pardo de vega poco evolucionado.

Las terrazas también son muy similares tanto textural como litológicamente. La potencia oscila entre 1,5 y 3 m, aunque en otros sectores puede ser algo mayor. En algunos puntos observados, se distinguen estructuras típicamente fluviales como: rellenos de fondo de canal, estratificaciones cruzadas, cicatrices erosivas e imbricaciones de cantos. En ocasiones, dentro del depósito, se observan algunos nivelillos de concentración de carbonatos. La edad que se asigna a estos depósitos es Pleistoceno, aunque es muy posible que la terraza más baja pueda llegar al Holoceno.

Los conos de deyección son depósitos de textura granular, muy heterométricos y poco consolidados. Litológicamente son similares a los depósitos de fondo de valle, debido a que en la mayoría de los casos tienen un área madre común, aunque pueden aparecer pequeñas diferencias locales. En cuanto al tamaño de los granos existe, dentro del mismo depósito, una gran diferencia entre la zona distal y apical, disminuyendo desde la primera a la segunda. La potencia también varía de igual forma, desde 8-10 m hasta unos pocos centímetros. Los ejemplos mejores se localizan en los valles de los ríos Ulzama y Mediano. Se les asigna una edad holocena por interdentarse con los depósitos aluviales más recientes.

Las formaciones superficiales de ladera están constituidas por coluviones y canchales. Los primeros aparecen al pie de las laderas por lo que su litología está fuertemente condicionada por la naturaleza del sustrato, teniendo en común, todos ellos la escasa compacidad, la heterogeneidad y la potencia irregular, que dependen de la pendiente, litología de la roca madre y clima. Texturalmente se trata de fragmentos angulosos y subangulosos, de diverso tamaño, en una matriz arcillosa. La edad que se atribuye a estos depósitos es Holoceno, por su situación en la parte inferior de las laderas, interdentándose o superponiéndose a los depósitos de fondo de valle o de llanura de inundación.

Los canchales son escasos y están constituidos por una simple acumulación de bloques de calizas, calcarenitas y dolomías. La edad que se les asigna es Holoceno, siendo algunos de ellos funcionales en la actualidad. La potencia es muy variable, pues puede oscilar desde una delgada capa de bloques hasta 6-7 m.

#### 4.5. EVOLUCION GEOMORFOLOGICA

La evolución geomorfológica de la Hoja de Olagüe se encuentra inmersa dentro de la evolución regional, por lo que siempre hay que enmarcarla en un contexto más amplio, debido a la necesidad de tener puntos de referencia claros, de carácter regional. Es por ello que hay que indicar, en primer lugar que, desde un punto de vista geológico - estructural, se sitúa en la confluencia entre las Zonas Axial y Surpirenaica, con la falla de Pamplona al O (Fig. 2).

Geomorfológicamente no existen en la Hoja puntos de referencia conocidos que puedan servir como base de partida para establecer la evolución de procesos y formas, por lo que es necesario salirse de este ámbito de estudio. En zonas próximas, se reconocen una serie de retazos de una antigua superficie de erosión que, por las cotas a las que se sitúa (900-1.000 m), se sugiere su equivalencia a la Superficie de Erosión Fundamental de la Cordillera Ibérica (PEÑA et al., 1984) a la que se atribuye una edad Vallesiense - Plioceno, aunque, por el conocimiento que ya se va teniendo de la misma, algunos autores suponen que no sobrepasa el Tuoliense. Es decir, a grandes rasgos, esta superficie indicaría el final de la erosión, así como la culminación del relleno neógeno, representado en la mayoría de las cuencas, por las "Calizas del Páramo".

Al finalizar la sedimentación terciaria, existe un período en el que tienen lugar una serie de procesos edáficos con formación de costras, carsts, etc., que dejan su huella en las calizas terminales de las principales cuencas. Quizás en este período podría integrarse la superficie de erosión que aquí aparece y que se ha denominado Superficie de Erosión Inferior, puesto que es más joven que la superficie de Erosión Fundamental y más antigua que el inicio de la erosión fluvial. Este inicio supone que los grandes ríos, en su proceso de erosión remontante, llegan a las cuencas, capturando los pequeños cauces recién instalados y comienza la erosión de las mismas con evacuación de los sedimentos fuera de ellas. Este cambio no es sincrónico en todos los puntos de las grandes cuencas, pero se supone que marca el paso del Terciario al Cuaternario.

En un área como la de estudio, que constituye la cabecera y el área madre de una gran cuenca, como es la Cuenca del Ebro, no existen sedimentos postorogénicos, a excepción de los cuaternarios. Esto hace que el encajamiento produzca profundas

incisiones y valles muy encajados, dando lugar a un relieve con grandes diferencias altimétricas, en el que son frecuentes barrancos, cañones, hoces, aristas, como corresponde a una morfología abrupta.

Paralelamente al proceso de encajamiento de la red, en las laderas se originan áreas de erosión y áreas de sedimentación, ocupando estas últimas las partes más bajas de los valles, donde se desarrollan coluviones, glaciares, deslizamientos, etc.

A medida que avanza el Cuaternario (Pleistoceno medio y superior), la red fluvial continúa su proceso de instalación, dejando en algunos tramos depósitos aluviales (terrazas). Se inicia además la formación de nuevos cauces, es decir, la red secundaria. Mientras tanto, la morfología que se va elaborando, tanto en las laderas (cóncavas, convexas, regularizadas, etc.), como en los valles (simétricos, asimétricos, en artesa, en "v", en "u", etc.), depende en cada punto de la litología, del clima y de la tectónica local.

#### **4.6. PROCESOS ACTUALES**

Se reconocen tres tipos de procesos funcionales que, por orden de importancia, son:

.Erosión fluvial

.Movimientos de ladera (gravedad)

.Alteración química (carstificación)

Dentro de la erosión fluvial, uno de los procesos más acusados y generalizados es el de la incisión vertical de la red fluvial, que ha dado lugar a profundos barrancos, sin depósito alguno, como sucede en muchos tramos de la red menor. La causa de esta erosión tan intensa es la pertenencia de este sector a un área de montaña, próxima a una gran divisoria, donde se instalan numerosas cabeceras, haciendo dicha erosión dominante, al menos en un futuro inmediato. La erosión es más o menos intensa, según las zonas, dependiendo del clima, del nivel de base local, de los movimientos tectónicos recientes y sobre todo de la competencia e incompetencia de los sedimentos. Existe una mayor densidad de líneas de flujo en los sectores central y suroriental.

También es importante, aunque muy localizada, la erosión lateral de los cauces. Se da sobre todo en los dos cursos principales, Ulzama y Mediano, en las laderas cóncavas de algunos meandros. A veces, la socavación en la base de la ladera, provoca inestabilidad y pequeños movimientos.

Son activos también algunos de los procesos desarrollados en las laderas, como desprendimientos o caídas de bloques y algunos deslizamientos. Los primeros se producen a partir de los escarpes de caliza, o calcarenitas del Cretácico - Paleoceno, debido a la gran exposición superficial y a su alto grado de fracturación. El agua meteórica penetra por las numerosas discontinuidades (grietas, fracturas, diaclasas, planos de estratificación, etc.) provocando la ampliación de las mismas, durante las heladas de la estación fría. Este proceso tiende al aislamiento de bloques que, al encontrarse en posición de inestabilidad, como sucede en el borde del escarpe, tienden a caer por gravedad, depositándose en cotas inferiores.

Los deslizamientos no son frecuentes, pero forman parte de la dinámica actual. La naturaleza blanda o alternante de algunos materiales, unida a las fuertes pendientes y al clima, favorecen la inestabilidad de algunas laderas, aunque la gran abundancia de vegetación arbórea, parece frenar bastante el proceso. Una vez que el agua ha entrado por los planos de discontinuidad y se produce una saturación del material, se origina un desequilibrio en el sistema, rompiéndose los límites de rozamiento interno y es entonces cuando tiene lugar la caída del material.

Los procesos cársticos son funcionales pero no producen importantes manifestaciones.

Aunque todos los procesos aquí considerados puedan ser puntualmente de gran envergadura, no se prevén grandes cambios en el relieve en un futuro inmediato, pero deben tenerse en cuenta puesto que, en casos de clima extremo o movimientos tectónicos, pueden llegar a constituir un riesgo geológico. La tendencia a muy largo plazo es a una suavización de las formas por las diferentes acciones erosivas, con evacuación del material hacia los grandes cursos de agua.

## 5. PETROLOGIA

A continuación se aborda la descripción de las rocas ígneas aflorantes en la Hoja. Las rocas paleozoicas del macizo de Quinto Real se encuentran afectadas por procesos metamórficos de grado muy bajo, que en ningún caso superan la zona de la clorita, siendo escasos sus rasgos tipomórficos y casi exclusivos los relictos, razón por la que dichas rocas no han sido tratadas en el presente capítulo.

### 4.1. ROCAS IGNEAS

Están representadas exclusivamente por las masas de rocas subvolcánicas, tradicionalmente denominadas ofitas, que aparecen relacionadas con los afloramientos de materiales triásicos.

#### 4.1.1. Rocas subvolcánicas (001). Ofitas

Son los únicos representantes de rocas ígneas en la Hoja, apareciendo asociadas a los afloramientos de materiales triásicos situados en la "zona de escamas de Arizu" y al S de Lizaso. Bajo la clásica denominación de ofitas, se engloba una serie de familias de rocas de composición basáltico-andesítica, aflorantes como masas irregulares de pequeñas dimensiones, de tonos verdosos oscuros y aspecto homogéneo.

En ellas predomina la textura ofítica, con plagioclasa y clinopiroxeno como minerales fundamentales, junto a los que pueden aparecer apatito, magnetita, feldespato potásico, anfíbol, epidota, ilmenita y esfena como accesorios, siendo la clorita el mineral secundario más frecuente, en buena parte como producto de alteración de olvino. El grado de alteración es muy variable, siendo máximo en las zonas de diaclasas.

No existe acuerdo entre los diversos autores, con respecto a su edad de emplazamiento. Así, las dataciones absolutas aportadas por WALGENWITZ (1976) sugieren su ubicación durante el Sinemuriense, en tanto que otros autores han señalado su emplazamiento próximo al límite Triásico - Jurásico. En líneas generales, las masas ofíticas pueden considerarse como sills andesítico - basálticos muy

espilitizados, cuyo emplazamiento ha sido favorecido por la plasticidad de las arcillas de la facies Keuper.

A continuación se aborda la descripción de las rocas ígneas aflorantes en la Hoja. Las rocas paleozoicas del macizo de Quinto Real se encuentran afectadas por procesos metamórficos de grado muy bajo, que en ningún caso superan la zona de la clorita, siendo escasos sus rasgos tipomórficos y casi exclusivos los relictos, razón por la que dichas rocas no han sido tratadas en el presente capítulo.

## **5.1. ROCAS IGNEAS**

Están representadas exclusivamente por las masas de rocas subvolcánicas, tradicionalmente denominadas ofitas, que aparecen relacionadas con los afloramientos de materiales triásicos.

### **5.1.1. Rocas subvolcánicas (1). Ofitas**

Son los únicos representantes de rocas ígneas en la Hoja, apareciendo asociadas a los afloramientos de materiales triásicos situados en la "zona de escamas de Arizu" y al S de Lizaso. Bajo la clásica denominación de ofitas, se engloba una serie de familias de rocas de composición basáltico-andesítica, aflorantes como masas irregulares de pequeñas dimensiones, de tonos verdosos oscuros y aspecto homogéneo.

En ellas predomina la textura ofítica, con plagioclasa y clinopiroxeno como minerales fundamentales, junto a los que pueden aparecer apatito, magnetita, feldespatos potásico, anfíbol, epidota, ilmenita y esfena como accesorios, siendo la clorita el mineral secundario más frecuente, en buena parte como producto de alteración de olvino. El grado de alteración es muy variable, siendo máximo en las zonas de diaclasas.

No existe acuerdo entre los diversos autores, con respecto a su edad de emplazamiento. Así, las dataciones absolutas aportadas por WALGENWITZ (1976) sugieren su ubicación durante el Sinemuriense, en tanto que otros autores han señalado su emplazamiento próximo al límite Triásico - Jurásico. En líneas generales,

las masas ofíticas pueden considerarse como sills andesítico - basálticos muy espilitizados, cuyo emplazamiento ha sido favorecido por la plasticidad de las arcillas de la facies Keuper.



## **6. HISTORIA GEOLÓGICA**

El presente capítulo pretende dar una visión generalizada de la evolución paleogeográfica del sector abarcado por la Hoja a escala 1:50.000 de Ansoáin (115), dentro de la cual se encuentra localizada la presente Hoja a escala 1:25.000 de Olagüe. Para ello, se ha prestado especial atención a los eventos tectónicos principales y a los ciclos sedimentarios de mayor envergadura que afectan a la región. A grandes rasgos, la historia puede referirse a dos ciclos orogénicos principales: hercínico y alpino.

### **6.1. EL CICLO HERCINICO**

El registro aflorante más antiguo se remonta al Carbonífero, durante el cual la región estaba afectada por episodios turbidíticos correspondientes al depósito de la Fm. Olazar, alimentados a partir del desmantelamiento de las plataformas namurienses. El primer proceso de estructuración a gran escala sobrevino a finales del Carbonífero, durante la fase astúrica de la orogenia hercínica, cuyo principal resultado es la generación de sistemas de plegamiento y cabalgamiento de directrices NO-SE a N-S, observables en el macizo de Quinto Real.

### **6.2. EL CICLO ALPINO**

El denominado período tardihercínico, acaecido en el intervalo Estefaniense - Pérmico, constituyó un episodio de envergadura continental fundamental para la evolución posterior, correspondiente al ciclo alpino. Los desgarres generados, de direcciones NE-SO, NO-SE y E-O, controlaron la geometría de las cuencas de sedimentación mesozoicas y más tarde, durante la compresión terciaria, actuaron como zonas de debilidad a favor de las cuales se produjeron los desplazamientos de cabalgamientos y desgarres. Entre dichos accidentes se encuentran las fallas de Pamplona y Norpirenaica, esta última actuando como límite entre las placas Ibérica y Europea.

La estructuración tardihercínica configuró la región como una serie de horsts y grabens paralelos a los accidentes principales. El relleno sedimentario de los surcos dio comienzo por las zonas más deprimidas, durante el Pérmico y su progresión en la vertical aumentó paulatinamente el área sedimentaria, favoreciendo una disminución

energética, como sugieren los depósitos fluviales y aluviales de la facies Bustsandstein, que constituyen el primer representante del ciclo alpino en la Hoja.

Tras este episodio, la región habría sido nivelada y un ascenso relativo del nivel del mar propiciaría la instalación de una plataforma carbonatada somera en la que se produjo el depósito de la facies Muschelkalk (107). El retroceso marino del Triásico superior permitió la creación de una extensa llanura costera en un ambiente de gran aridez, con característicos depósitos de evaporitas atribuibles a la facies Keuper (109).

Los procesos que tuvieron lugar en el intervalo Triásico terminal - Albiense tan solo pueden ser reconstruidos a partir de los afloramientos de la sierra de Aralar, ante la ausencia de registro en el macizo de Quinto Real, sin que pueda asegurarse si dicha ausencia se debe a falta de depósito o a la acción de procesos erosivos posteriores.

En cualquier caso, al menos en el sector de Aralar, a finales del Triásico se produjo un nuevo avance marino con el que tuvo lugar la instalación de una plataforma marina, característica de la sedimentación jurásica. En primera instancia son típicos los medios restringidos y salobres, con formación posterior de brechas de colapso, que darían paso a ambientes carbonatados someros, aún en el Lías inferior (113). La homogeneidad de la plataforma se perdió en el Sinemuriense, debido a un proceso de fragmentación posiblemente relacionado con el ascenso de magmas andesítico-basálticos, cuyo emplazamiento a favor de los niveles plásticos de la facies Keuper generó las típicas masas ofíticas de la región (1).

Tras la ruptura de la plataforma, un impulso transgresivo provocó la instalación de ambientes de plataforma externa durante el resto del Lías (114), iniciándose a partir del Dogger una secuencia regresiva caracterizada por sedimentación en condiciones de plataforma interna (115), con progradación de facies proximales (125), secuencia que perduró, aunque con interrupciones, hasta el Kimmeridgiense. No obstante, ya a finales del Dogger o comienzos del Malm, se inició un nuevo proceso de estructuración regional, prolongado durante parte del Cretácico inferior, puesto de manifiesto mediante movimientos distensivos, relacionados con el proceso de rifting del golfo de Vizcaya y el comienzo de la deriva de la placa Ibérica hacia Europa.

Dicha estructuración coincide con los tradicionales movimientos neokiméricos, erigidos como protagonistas principales de la evolución paleogeográfica hacia el O de la

cuenca Vasco-Cantábrica durante el tránsito Jurásico - Cretácico, pero no así hacia el sector de Aralar donde los cambios eustáticos adquirieron una influencia mayor. En este contexto, a lo largo del intervalo Portlandiense - Berriasiense se produjo el depósito de la facies Purbeck bajo condiciones salobres con cierta influencia continental, dentro de una secuencia transgresiva culminada en el Valanginiense inferior con el depósito de facies carbonatadas en un ambiente de lagoon (126).

La fase neokimérica más tardía, intravalanginiense, coincidió con el inicio de un evento regresivo caracterizado por el depósito de la facies Weald (128), en un contexto salobre con fuerte influencia continental, finalizado en el Barremiense.

El Aptiense marcó el comienzo de una importante transgresión, mediante la instauración de condiciones marinas someras con aportes detríticos (139), que al disminuir permitirían la construcción de los arrecifes urgonianos característicos del dominio de Aralar (133). Por contra, al N y E de la plataforma urgoniana, la sedimentación tuvo lugar en una cuenca subsidente, mediante episodios de naturaleza turbidítica cuyo resultado son las potentes sucesiones de margas micáceas negras (140) características del dominio de La Ulzama.

La deriva antihoraria de Iberia con respecto a Europa tuvo su principal reflejo durante el Albiense, con la denominada fase austriaca que dio lugar a una nueva reestructuración general. Su principal efecto es la elevación de los macizos paleozoicos, con una distribución próxima a la actual; como consecuencia de una tectónica de bloques y, tal vez, el ascenso diapírico de los materiales plásticos de la facies Keuper, la cuenca quedó compartimentada por una serie de umbrales cuyas manifestaciones más evidentes son los anticlinorios de Lizaso y Echalecu.

En el sector de Aralar se produjo una invasión generalizada de terrígenos que determinó la muerte de los arrecifes, en tanto que el área de cuenca se transformó en un surco alimentado por episodios turbidíticos; esta distribución con una plataforma hacia el SO y un surco turbidítico al N y E, se vio completada con la presencia del macizo de Quinto Real como un relieve emergido al NE, haciéndose sentir por sus descargas terrígenas (135) a la cuenca, caracterizada aún por el depósito de materiales margosos.

La plataforma, fundamentalmente carbonatada, evolucionó en función de las oscilaciones del nivel eustático. La sedimentación se mantuvo en un contexto de plataforma interna (niveles 154, 158 y 161), si bien los máximos transgresivos del Turoniense (156) y Campaniense (186) propiciaron el retroceso de las zonas más externas de la plataforma.

Simultáneamente, en el dominio del surco predominaron los depósitos de naturaleza turbidítica (niveles 166, 167, 185, 187, 184 y 191), si bien la tendencia regresiva general del Cretácico superior dejó sentirse a finales del Maastrichtiense, al uniformizarse la sedimentación de margas de plataforma en toda la zona (niveles 190 y 189), e incluso desarrollarse rasgos edáficos.

A comienzos del Terciario, la deriva de la placa Ibérica con respecto a Europa, habría provocado la colisión de ambas en el sector NE peninsular, habiendo comenzado a configurarse el sector oriental del orógeno pirenaico.

Sin embargo, en el sector occidental, aún no habría comenzado la estructuración pirenaica propiamente dicha, con presencia de un surco turbidítico abierto hacia el NO entre ambas placas, flanqueado por plataformas carbonatadas. En este contexto, el registro Daniense de la Hoja está caracterizado por depósitos calcáreos de plataforma (207), reconociéndose episodios de talud; hacia el O se reconocen facies de alta energía y depósitos arrecifales de tendencias somerizantes.

A finales del Montiense se produjo una independización de los dominios vasco-cantábrico y pirenaico, caracterizados por ambientes de plataforma (niveles 215 y 214) y cuenca turbidítica, respectivamente, de modo que la evolución sedimentaria posterior estuvo condicionada por los avances y retrocesos de la plataforma. Con este dispositivo, el relleno del surco turbidítico durante el Thanetiense - Ilerdiense tuvo lugar a expensas de los materiales procedentes del desmantelamiento de las plataformas carbonatadas del Paleoceno inferior.

Con el Cuisiense se inició un nuevo ciclo, caracterizado por la llegada de materiales terrígenos al surco turbidítico, procedentes de plataformas siliciclásticas orientales, que reemplazaron los aportes carbonatados previos. Estas turbiditas terrígenas, conocidas en la literatura regional como Grupo Hecho, implican una ampliación del surco (nivel 218) y reflejan cierta actividad tectónica, posiblemente con reactivación de

algunos diapiros generados durante el Cretácico (Anoz, Iza,...); en relación con la ampliación del surco, tuvo lugar el evidente retroceso de la plataforma hacia el O, así como la erosión parcial de la plataforma ilderdiense.

El dispositivo anterior se mantuvo durante el Luteciense, destacando únicamente la génesis de eventos megaturbidíticos en el seno del Grupo de Hecho, que permitirían la individualización de varias secuencias de menor rango en la zona de surco. Estas secuencias menores estarían representadas en el ámbito central de la Hoja por diversos avances y retrocesos de la plataforma, dentro de una tendencia global regresiva (niveles 237, 239 y 254).

En las proximidades del límite Luteciense - Biarritziense se produjo una nueva homogeneización de buena parte de la zona, como consecuencia del máximo avance de los ambientes de plataforma hacia el E (260). Ya en el Biarritziense, el esquema anterior cambió ostensiblemente, a consecuencia del hundimiento de la plataforma, estableciéndose una típica sedimentación margosa en la cuenca de Pamplona; posiblemente, este nuevo cambio paleogeográfico estaría relacionado con una etapa de actividad tectónica, precursora de las fases principales de estructuración de la cordillera pirenaica occidental.

La ausencia de depósitos terciarios posteriores al Biarritziense en la Hoja impide establecer una secuencia precisa de acontecimientos, aunque el conocimiento de sectores próximos a ella, permite señalar a grandes rasgos los principales acontecimientos ocurridos. Así, a finales del Eoceno, la compresión pirenaica, manifestada en el sector de Aralar por la creación de estructuras vergentes hacia el N, provocó la retirada del mar hacia el NO, favoreciendo en la cuenca de Pamplona la instalación progresiva de lagunas costeras, caracterizadas por depósitos evaporíticos y, finalmente, ambientes continentales que perdurarían hasta la actualidad.

En el Oligoceno, bajo un régimen continental generalizado, tuvo lugar una nueva fase compresiva, caracterizada por sus vergencias meridionales, con importantes aloctonías, algunas de ellas evidentes en la Hoja, entre las que se encuentra el desplazamiento de la cuenca de Pamplona.

El aspecto que ofrece la región en la actualidad es el resultado de los procesos de modelado cuaternarios sobre la estructura alpina del orógeno pirenaico, culminada

durante la compresión miocena. De entre dichos procesos destacan el encajamiento de la red fluvial, articulada fundamentalmente en torno al río Arga, y, en menor medida, los procesos de gravedad asociados a las vertientes.

## **7. GEOLOGÍA ECONÓMICA**

### **7.1. RECURSOS MINERALES**

No existe signo alguno de actividad minera actual en el ámbito de la hoja de olagüe (115-ii), que no parece haber sido objeto de excesivo interés tampoco en épocas pasadas. Tan solo se reconocen dos explotaciones abandonadas de caliza y una de caolín, así como dos de lignito, junto a tres indicios de mercurio, uno de cinc y otro de cerio.

#### **7.1.1. Minerales metálicos y no metálicos**

se incluyen en el presente apartado los indicios de cinc, mercurio y cerio, de escaso interés.

##### **7.1.1.1. Cinc**

Su único indicio se localiza en el río Erreca-beliz, correspondiendo a una mineralización de blenda encajada en materiales triásicos. Posee poca importancia, en buena parte por el abandono de la minería de componentes metálicos en Navarra, así como por su desconocimiento, provocado por la falta de estudios geológico - mineros. Se carece de datos que permitan estimar las leyes y reservas de los yacimientos, sin que exista hecho alguno que haga pensar en su futuro aprovechamiento.

##### **7.1.1.2. Mercurio**

Se incluyen en el presente apartado tres indicios obtenidos durante el "programa de exploración sistemática de recursos minerales en los macizos de cinco villas y quinto real"; se trata de indicios de escaso interés localizados en el río Erreca-beliz y en el barranco de Subarrondi.

La morfología de los yacimientos es desconocida, aunque el conocimiento de otras mineralizaciones metálicas en los macizos paleozoicos navarros sugiere que debe tratarse de filones con orientaciones variadas, correspondiendo la mena a cinabrio. No se poseen datos sobre las posibles reservas de mercurio, lo que unido al desinterés

mostrado por la minería de metálicos en general, hacen pensar en un futuro poco prometedor en relación con su aprovechamiento.

#### **7.1.1.3. Cerio**

posee un indicio localizado en el río erreca-beliz, correspondiente a una mineralización de monacita. Al igual que en el caso de las sustancias anteriores, se carece de datos relativos a leyes y reservas, ofreciendo escasas perspectivas sobre su futura explotación.

#### **7.1.2. Sustancias energéticas**

Este grupo de sustancias está representado exclusivamente por los indicios de carbón.

##### **7.1.2.1. Carbón**

Presenta dos explotaciones abandonadas de naturaleza lignitífera y disposición estratiforme dispuestos entre materiales detríticos del Aptiense - Albiense, localizados en los parajes de Aperdoqui y Arcegui.

Aunque se carece de datos precisos sobre los yacimientos, en general se ha señalado la escasa calidad del carbón en la región, razón por la que las demandas de la comunidad de Navarra son cubiertas mediante material procedente del exterior, sin que existan razones que hagan pensar en una variación futura de la situación.

#### **7.1.3. Minerales y rocas industriales**

Pertenecen a este grupo las explotaciones abandonadas de caliza y caolín.

##### **7.1.3.1. Caliza**

Al igual que en el resto de Navarra, se trata de la sustancia con más evidencia de aprovechamiento, con dos canteras abandonadas. En ambos casos las explotaciones beneficiaban calizas paleocenas, localizándose en la venta de Etuláin y en las



inmediaciones del collado de Egozcue. Su utilización estuvo enfocada hacia el campo de la construcción, fundamentalmente como árido de machaqueo.

En los últimos años, la explotación de calizas ha sido sustituida parcialmente en la región por otras sustancias que presentan ciertas ventajas según los casos (ofitas y gravas calcáreas, fundamentalmente). Pese a ello, la amplia representación superficial y volumétrica de los materiales calizos y su necesidad específica en algunos casos, hacen pensar en un posible aprovechamiento futuro, tal como ocurre en zonas próximas.

#### **7.1.3.2. Caolín**

Tan solo se ha constatado la existencia de una explotación abandonada de caolín, localizada en las inmediaciones de Aarizu. Aunque en principio fueron varias las explotaciones que se consideraron caolínicas en Navarra, análisis posteriores señalaron que en realidad se trataba de asociaciones de pirofilita y clorita (Gobierno de Navarra, 1988).

Se cual fuere la composición de la sustancia explotada, su origen estaría relacionado con la alteración y descomposición de los feldspatos de las ofitas, proceso que se desarrollaría preferentemente en las zonas de fractura, siendo su origen hidrotermal.

No existen estudios referentes a sus posibles reservas, pero es posible que la realización de estudios de detalle pusiera de manifiesto la importancia de las reservas relacionadas con los afloramientos de ofita. A pesar de ello, su rentabilidad parece cuando menos cuestionable debido a su calidad inferior, en relación con los caolines nacionales e internacionales, lo que hace prever un futuro poco esperanzador en cuanto a su futuro aprovechamiento.

#### **7.1.4. Interés potencial de los recursos minerales**

Todas las sustancias que parecen poseer un interés minero potencial dentro de la hoja de olagüe, pertenecen al grupo de minerales y rocas industriales. Dentro de ellas cabe destacar: calizas, con una posible utilidad dentro de la construcción y los campos químico-industrial, metalúrgico, agrícola, etc.; dolomías, aplicables a los campos de la construcción y de las industrias metalúrgica, química y agrícola; margas, cuyo uso

primordial se relaciona con la fabricación de cemento; y ofitas, aplicables al campo de la construcción.

## **7.2. HIDROGEOLOGIA**

Hidrológicamente, la hoja de olagüe pertenece a la cuenca del Ebro, situándose en el sector septentrional de la misma.

El régimen de humedad oscila entre el tipo húmedo y el mediterráneo húmedo y en cuanto al régimen térmico, es de tipo templado cálido. La combinación de estos parámetros permite determinar para esta zona, según Papadakis, un clima que oscila entre marítimo templado cálido y mediterráneo templado, con una temperatura media anual comprendida entre 10 y 14°C, y una precipitación media anual que oscila entre 800 y 1.200 mm.

La evapotranspiración potencial, según Thornthwaite oscila entre 600 y 750 mm, mientras que la evapotranspiración real oscila entre 580 y 620 mm.

La red hidrográfica incluye los ríos Ulzama, Araquil y Mediano. El Ulzama, cuya cabecera se asienta en las proximidades del puerto de Belate, es el curso fluvial más importante que recorre esta hoja, con una aportación anual de 267 hm<sup>3</sup> en Olave. Sus afluentes, el Araquil, por la margen derecha, aporta 31 hm<sup>3</sup> y el Mediano, por la margen izquierda, 68 hm<sup>3</sup>.

De acuerdo con la zonación establecida en el proyecto hidrogeológico realizado por la diputación de Navarra (1982), la hoja forma parte de las unidades de Pamplona - ochagavía, aralar y norte.

### **7.2.1. Descripción de las formaciones**

En el presente apartado se realiza una breve descripción de las formaciones diferenciadas en la cartografía hidrogeológica desde el punto de vista hidrogeológico. Básicamente se atiende a tres criterios fundamentales: litología, geometría y permeabilidad

#### **7.2.1.1. Pizarras, grauvacas, conglomerados y rocas subvolcánicas. Carbonífero**

Este tramo comprende los niveles cartográficos 1 y 49. Está formado por un conjunto de pizarras, conglomerados y grauvacas paleozoicas, así como por las rocas ofíticas englobadas por los materiales triásicos. Sus afloramientos principales se sitúan en el vértice nororiental.

Hidrogeológicamente se consideran de baja a muy baja permeabilidad y sólo las rocas de alteración, ligadas a los tramos detríticos pueden llegar a constituir pequeños acuíferos libres, con manantiales de caudal inferior a 1 l/s.

#### **7.2.1.2. Areniscas, conglomerados y lutitas. Facies Buntsandstein. Triásico inferior**

Esta unidad comprende el nivel 103 de la cartografía geológica, que aflora bordeando el macizo de Quinto Real. Litológicamente está formada por un tramo conglomerático en el muro, que pasa en la vertical a areniscas con cemento silíceo y lutitas en el techo. El espesor medio supera los 500 m.

Hidrogeológicamente se asigna a este tramo una permeabilidad media - baja, aumentando en los niveles más cercanos a la superficie, en los que la alteración es más efectiva y, especialmente, en las zonas próximas a grandes fracturas. En profundidad, los valores decrecen considerablemente, al desaparecer la permeabilidad secundaria superficial y encontrarse las areniscas más cementadas y por lo tanto más compactas.

#### **7.2.1.3. Dolomías y calizas. Facies Muschelkalk. Triásico medio**

Se localizan en el sector septentrional de la Hoja, adosadas a los niveles arenoso-arcillosos descritos anteriormente, y en el anticlinal de Lizaso, englobadas en arcillas de la facies Keuper. Litológicamente, la unidad está formada por dolomías y calizas tableadas, predominando las primeras a muro de la unidad. Estos materiales afloran como pequeños resaltes de escasa extensión, con una potencia máxima observable de unos 70 m.

Hidrogeológicamente se estima para este tramo una permeabilidad media - alta por fisuración y carstificación, aumentando en las zonas donde la fracturación es más abundante.

#### **7.2.1.4. Arcillas yesíferas. Facies Keuper. Triásico superior**

Litológicamente está formada por arcillas versicolores con intercalaciones de yesos. Los afloramientos de estos materiales se localizan en la zona de Arizu, el anticlinorio de Lizaso y los cabalgamientos de Olagüe y Roncesvalles, apareciendo en general muy tectonizados; su geometría es elongada.

Hidrogeológicamente constituyen una barrera impermeable que independiza y aísla los acuíferos limítrofes. Como se ha indicado, la permeabilidad de estos niveles es prácticamente nula superficialmente, al predominar los materiales arcillosos. En profundidad pueden alcanzar cierta permeabilidad por disolución de material salino al contactar con fluidos de los materiales encajantes, creándose salmueras saturadas.

#### **7.2.1.5. Areniscas y conglomerados. Aptiense - Campaniense**

Comprende los niveles 135 y 183 de la cartografía geológica. La unidad 135 aflora adosada al macizo de Quinto Real, mientras que la unidad 183 se puede observar en el techo del sinclinal de Urrizola. Litológicamente, está formada por un conjunto de areniscas y conglomerados de composición silíceas en la unidad cartográfica inferior y poligénicos en la unidad superior.

Aunque en general se encuentran muy cementados, se considera a este nivel con una permeabilidad media - baja por porosidad intergranular

#### **7.2.1.6. Arcillas, margas con intercalaciones de calizas margosas y areniscas. Aptiense-Maastrichtiense**

Esta unidad está constituida por los niveles cartográficos arcillosos y margosos que constituyen la mayor parte de los afloramientos que conforman la Hoja. La característica común de todos estos niveles es su naturaleza arcilloso-margosa, dando lugar en general a afloramientos de mala calidad. Como se ha indicado anteriormente,

se trata de un conjunto de arcillas y margas con intercalaciones de niveles areniscosos, o de calizas margosas.

Hidrogeológicamente, el conjunto de esta unidad se considera de permeabilidad baja a muy baja, considerando que las intercalaciones de materiales más permeables, de pequeña extensión y espesor, no modifican sustancialmente esta valoración.

#### **7.2.1.7. Calcarenitas. Turoniense - Santiense**

Estos niveles se encuentran incluidos entre los materiales margosos de la unidad hidrogeológica anterior, correspondiendo al nivel cartográfico 167. Litológicamente están constituidos por calcarenitas con intercalaciones areniscosas, con un espesor medio del centenar de metros, acuña lateralmente.

Hidrogeológicamente se consideran de permeabilidad alta - media por fisuración y carstificación, muy abundante en algunos sectores.

#### **7.2.1.8. Margas y calizas. Campaniense**

Constituyen el nivel cartográfico 187, que aflora como un nivel intercalado entre las margas del nivel 185. Este nivel, con una potencia máxima de un centenar de metros, se acuña lateralmente, hasta resultar incartografiable. Litológicamente está compuesto por una alternancia de calcarenitas y margas, variando el porcentaje entre ellas según su posición geográfica.

Hidrogeológicamente se considera a este conjunto con una permeabilidad media - baja, variando según el contenido en niveles calcáreos.

#### **7.2.1.9. Calcarenitas. Maastrichtiense**

Comprenden el nivel cartográfico 191, que se encuentra intercalando en el nivel 184. Litológicamente está formado por calcarenitas con una potencia aproximada de 50 m, que se acuñan hacia el E hasta llegar a desaparecer.

Hidrogeológicamente, se considera a este tramo de permeabilidad media - alta en función de su carstificación y fisuración.

#### **7.2.1.10. Calizas y margas. Daniense - Ilerdiense**

Este tramo comprende los niveles cartográficos 207, 215 y 213 aflorando en la mitad meridional, dando lugar a un resalte morfológico. El nivel 207 está constituido por un conjunto de calizas y calizas bioclásticas de aspecto tableado, dispuestas en capas de orden decimétrico con un espesor de unos 50 m; el nivel 215 está constituido por 30 m de alternancia entre calizas y margas; por su parte el nivel 213 presenta una litología similar a las anteriores con un espesor del orden de 300 m.

Hidrogeológicamente, se considera a esta unidad como de permeabilidad media, pudiendo llegar a formar un nivel acuífero constituido fundamentalmente por los tramos calcáreos.

#### **7.2.1.11. Margas y arcillas con intercalaciones de areniscas y calcarenitas. Thanetiense-Ilerdiense.**

Esta unidad está constituida por los niveles 214 y 215 de la cartográfica geológica, intercalados entre las calizas y margas descritas anteriormente. Litológicamente está formada por una serie de margas en la base con intercalaciones de esporádicos niveles arenosos sustituidos hacia techo por niveles de calizas margosas. El espesor total de esta unidad es del orden de 80 m.

Hidrogeológicamente se considera a esta unidad como de permeabilidad baja a muy baja, en función de los niveles margosos masivos.

#### **7.2.1.12. Margas y alternancia de margas, areniscas y margocalizas. Cuisiense-Luteciense**

El nivel 218 está integrado por una serie alternante de areniscas ferruginosas ocre y arcillas grises, que en conjunto presenta carácter turbidítico, con una potencia de unos 500 m. El nivel 235, también de naturaleza turbidítica, está formado por margas y calcarenitas, con una potencia de unos 300 m. El nivel 239 está constituido por margas y margocalizas de aspecto rítmico con un espesor del orden del centenar de metros.

Hidrogeológicamente se considera a esta unidad como de permeabilidad baja a muy

baja, debido al carácter prácticamente impermeable de los materiales que la componen.

#### **7.2.1.13. Formaciones superficiales. Cuaternario.**

El Cuaternario está representado fundamentalmente por los depósitos de carácter fluvial, entre los que se encuentran los sistemas de terrazas, habiéndose diferenciado tres niveles formados por un conjunto de gravas y cantos de naturaleza calcárea y cuarcítica. La permeabilidad de estos materiales es media - alta, debido fundamentalmente a su porosidad intergranular.

Los fondos de valle presentan una litología similar a la descrita para los niveles de terraza, aunque en algunas ocasiones poseen una gran abundancia de limos. Hidrogeológicamente se considera la permeabilidad de estos niveles media - alta, predominando la permeabilidad media cuando las facies lutíticas aumentan su proporción.

Las conas de deyección son frecuentes en la salida de los barrancos y arroyos que fluyen a un cauce de rango superior. Su litología es similar a la de las terrazas, pero con mayor abundancia de material detrítico fino, que rellena los huecos entre cantos, por lo que se ha considerado para ellos una permeabilidad media - baja.

Los coluviones, canchales y deslizamientos están formados por acumulaciones de materiales al pie de los relieves montañosos, con espesor y ordenamiento dependientes del grado de madurez del depósito. Litológicamente están formados por cantos y bloques con matriz lutítico-arenosa, que dificulta la percolación. Hidrogeológicamente presentan una permeabilidad media-baja en función de su litología, la potencia en general es pequeña, no superando los 10 m, con una escasa extensión superficial.

Las arcillas de descalcificación constituyen el producto residual de la disolución de los carbonatos y aparecen tapizando el fondo de las dolinas. La naturaleza de estas formaciones es mayoritariamente arcillosa, aunque es probable que contengan un cierto porcentaje de limo, arena e incluso algunos fragmentos de rocas carbonatadas desprendidos de las paredes de las dolinas.

Su potencia es irregular y variable, aunque debido a la inaccesibilidad del terreno no ha sido posible su observación directa. Se estima una permeabilidad baja-muy baja para estos depósitos dado el predominio de material arcilloso. Esto no quiere decir que la dolina sea impermeable, sino el fondo únicamente; sus paredes son de permeabilidad media-alta.

### **7.2.2. Unidades acuíferas**

A continuación se definen una serie de unidades que agrupan a formaciones susceptibles de almacenar y transmitir agua y por lo tanto de constituir acuíferos. De esta manera, se han diferenciado cuatro unidades con un funcionamiento hidrogeológico independiente; estas unidades son:

- . Acuífero triásico
- . Acuífero detrítico cretácico
- . Acuíferos calcáreos del Cretácico superior
- . Acuífero calcáreo del Paleoceno
- . Formaciones permeables del Cuaternario

#### **7.2.2.1. Acuífero triásico**

##### Geometría

Está constituido por los niveles de dolomías y calizas en facies Muschelkalk. En la "zona diapírica de Lizaso", estas calizas y dolomías se encuentran englobadas en las arcillas y yesos de las facies Keuper, disminuyendo su valor hidrogeológico. En el sector nororiental, estos niveles calcáreos aparecen dispuestos sobre los materiales arenoso-arcillosos en facies Buntsandstein, con geometría tabular, aunque se encuentran muy compartimentados por causas tectónicas.

##### Funcionamiento Hidrogeológico

La recarga se realiza por la infiltración directa del agua de lluvia y la descarga, a través de varios manantiales como los de Aizturdin, con 9,15 l/s e Iturri-ondo, con 5,88



l/s; además, existen otros cuyos caudales oscilan entre 1 y 5 l/s. Es posible que este acuífero tenga conexión hidráulica con el acuífero detrítico cretácico.

#### Parámetros Hidrogeológicos

No se poseen datos de parámetros hidrogeológicos que caractericen este acuífero; no obstante, con carácter general se estima para este conjunto una permeabilidad media - alta con desarrollo de sistemas cársticos, más desarrollados en las zonas de fractura.

### **7.2.2.2. Acuífero detrítico cretácico**

#### Geometría

Está constituido por los niveles 12 y 23 de la cartografía geológica, cuya litología está constituida fundamentalmente por areniscas y conglomerados; se encuentran intercalados entre materiales margosos que los confinan. Su geometría es variable, siendo frecuentes las bases erosivas y los acuñamientos laterales, especialmente en el nivel 12.

#### Funcionamiento Hidrogeológico

La recarga se produce por infiltración directa del agua de lluvia, y la descarga, mediante manantiales que surgen en las cotas inferiores, en el contacto con materiales de naturaleza margosa. Destaca el manantial Iturri Zarra, con 28 l/s, además de varias surgencias con caudales comprendidos entre 1 y 5 l/s.

#### Parámetros Hidrogeológicos

No se tienen datos de parámetros hidrogeológicos establecidos en base a ensayos o test hidráulicos. En términos generales se estima una permeabilidad media - baja para la unidad, dependiendo del mayor o menor grado de cementación de las areniscas.

### **7.2.2.3. Acuífero calcáreo del Cretácico superior**

Esta unidad acuífera está formada por varios niveles calcáreos, comprendidos entre el Turoniense y el Maastrichtiense. Litológicamente está formada por niveles de calcarenitas, incluidas entre grandes masas de margas y margocalizas. En conjunto, cada nivel carbonatado presenta una geometría lenticular, con espesores del orden de los 100 m, acuñándose lateralmente tanto hacia el E como hacia el O.

#### Funcionamiento Hidráulico

La recarga se efectúa a partir de la infiltración directa del agua de lluvia en las zonas donde aflora. La descarga se produce por varios manantiales situados a lo largo de los afloramientos de los materiales calcáreos, con caudales que oscilan entre 1 y 5 l/s.

#### Parámetros Hidrogeológicos

No se poseen datos de los parámetros hidrogeológicos que caracterizan este acuífero; no obstante, con carácter general, se estima para este conjunto una permeabilidad media - alta, con desarrollo de sistemas cársticos, más abundantes en las zonas de fracturas.

### **7.2.2.4. Acuífero calcáreo del Paleoceno**

#### Geometría

Este acuífero está formado por el nivel cartográfico 31; presenta una geometría tabular, desapareciendo hacia el E por la erosión ocasionada por el nivel turbidítico superior, y hacia el O, por enriquecimiento en el contenido margoso de la unidad.

#### Funcionamiento Hidráulico

En cuanto al funcionamiento hidráulico, la recarga se produce mediante infiltración directa del agua de lluvia sobre los afloramientos del acuífero y la descarga mediante manantiales, en general con caudales que no sobrepasan los 5 l/s.

### Parámetros Hidráulicos

No se tiene información procedente de ensayos o test hidráulicos. Al igual que en el caso anterior, se estima para esta unidad una permeabilidad media, siempre en relación con la densidad de fracturación y los procesos cársticos relacionados con ella, aumentando en las zonas donde estos factores presentan un mayor desarrollo.

### **7.2.2.5. Formaciones permeables del Cuaternario**

#### Geometría

Las formaciones permeables cuaternarias, están representadas fundamentalmente por los depósitos fluviales del río Ulzama y sus afluentes Arquil y Mediano; su geometría es fundamentalmente lineal, restringiéndose a los valles.

#### Funcionamiento Hidrogeológico

Su recarga se produce por infiltración directa del agua de lluvia y por transferencia de los cursos de agua superficiales. La descarga se efectúa 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 y cretácicos infrayacentes; existen numerosos pozos que explotan directamente sus recursos y además, se producen descargas difusas en los cauces que interceptan estas formaciones.

#### Parámetros Hidrogeológicos

No se poseen datos de ensayos o test hidráulicos realizados en estos materiales. De forma general se ha estimado una permeabilidad media - alta para ellos, reduciéndose el valor en los depósitos de fondo de valle, al concentrar un mayor contenido en materiales finos.

## **7.3. GEOTECNIA**

### **7.3.1. Introducción**

En este apartado se describe la cartografía geotécnica de la Hoja a escala 1:25.000 nº 115-II, correspondiente a Olagüe, y se establecen las características geomecánicas de los materiales que la componen.

Esta caracterización geotécnica se ha realizado en función de la disponibilidad de datos geotécnicos que se han podido recopilar en obras y proyectos. En el caso de no disponer de esta información, se efectúa una valoración geotécnica según su caracterización litológica, geomorfológica e hidrogeológica.

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 postura iniciales en temas de ordenación del territorio, o prever problemas en el planteamiento y diseño de campañas geotécnicas puntuales.

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

-Recopilación de los datos existentes

Se han recopilado ensayos de laboratorio procedentes de obras y proyectos, realizados en Navarra por organismos públicos y empresas privadas.

En esta Hoja no existe ninguna obra ni proyecto de construcción que aporte datos geotécnicamente válidos para este estudio; no obstante, se han extrapolado los ensayos de laboratorio procedentes de obras y proyectos realizados en Hojas contiguas, y que en este caso se concretan básicamente en los proyectos de construcción y explanación, así como en los estudios geotécnicos complementarios de la autovía de Leizarán a su paso por la Hoja nº 115-I correspondiente a Irurzun. También se ha utilizado la información que se dispone de algunas unidades geológicas en la Hoja 141-II correspondiente a Pamplona.

-Realización de la base de datos

Se ha realizado una ficha geotécnica, donde figuran los ensayos de laboratorio, destacando los siguientes:

### **7.3.2. Metodología**

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

-Recopilación de los datos existentes

Se han recopilado ensayos de laboratorio procedentes de obras y proyectos, realizados en Navarra por organismos públicos y empresas privadas.

En esta Hoja no existe ninguna obra ni proyecto de construcción que aporte datos geotécnicamente válidos para este estudio; no obstante, se han extrapolado los ensayos de laboratorio procedentes de obras y proyectos realizados en Hojas contiguas, y que en este caso se concretan básicamente en los proyectos de construcción y explanación, así como en los estudios geotécnicos complementarios de la autovía de Leizarán a su paso por la Hoja nº 115-I correspondiente a Irurzun. También se ha utilizado la información que se dispone de algunas unidades geológicas en la Hoja 141-II correspondiente a Pamplona.

-Realización de la base de datos

Se ha realizado una ficha geotécnica, donde figuran los ensayos de laboratorio, destacando los siguientes:

.Identificación y estado (granulometría, límites de Atterberg, densidad y humedad).

.Resistencia (Compresión simple, corte directo).

.Compactación y deformabilidad (CBR, proctor normal, edométrico).

.Químicos (contenido en sulfatos, carbonatos y materia orgánica).

.Hinchamiento (E. de Lambe).

Igualmente, se han consultado datos referentes a sondeos y penetrómetros, reseñándose, cuando es posible, el índice de calidad de la roca (R.Q.D.)

-Tratamiento estadístico de los datos incluidos en la base de datos

En esta fase se indexa la información de la base de datos geotécnica del apartado anterior, con la aportada por la cartografía geológica. Ello permite caracterizar geotécnicamente los diferentes materiales y obtener valores medios, máximos y mínimos de los diferentes ensayos.

-Zonación en áreas de iguales características

A partir de los datos anteriormente comentados e interpretando las unidades geológicas cartografiadas, se ha procedido a la zonación en áreas de iguales características (geotécnicas y litológicas). Como se ha señalado con anterioridad, cuando no ha sido posible disponer de ensayos, el criterio seguido para establecer la zonación, ha sido en base a las características litológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas, observadas durante los reconocimientos de campo.

### **7.3.3. Zonación geotécnica**

#### *1.1.1.1 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 una cierta homogeneidad. Posteriormente, estas áreas han sido divididas a su vez en un total de catorce Zonas, siguiendo criterios básicamente litológicos y morfológicos, ya que son 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.

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

AREA I: Representa los materiales Paleozoicos

AREA II: Engloba los materiales Mesozoicos

AREA III: Comprende los materiales Terciarios

AREA IV: Se han agrupado los depósitos Cuaternarios

Estas áreas se han dividido en las siguientes zonas:

AREA I: ZONA I<sub>1</sub>

AREA II: ZONA II<sub>1</sub>, II<sub>2</sub>, II<sub>3</sub>, II<sub>4</sub>, II<sub>5</sub>, II<sub>6</sub>

AREA III: ZONA III<sub>1</sub>, III<sub>2</sub>, III<sub>3</sub>,

AREA IV: ZONA IV<sub>1</sub>, IV<sub>2</sub>, IV<sub>3</sub>, IV<sub>4</sub>

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

<b>UNIDAD CARTOGRAFICA</b>	<b>ZONACION GEOTECNICA</b>	<b>DESCRIPCION</b>
527, 526, 536, 525, 524, 508	IV <sub>3</sub>	Gravas, arenas, limos, arcillas. Depósitos fluviales y aluviales
545, 548, 543,	IV <sub>2</sub>	Gravas, arenas y arcillas. Depósitos poligénicos y de gravedad
523	IV <sub>1</sub>	Arcillas de descalcificación
213, 207	III <sub>3</sub>	Brechas calcáreas, dolomías, calizas y calcarenitas
239, 235, 40, 212, 215	III <sub>2</sub>	Alternancia de areniscas, margas, calcarenitas, calizas y margocalizas
214	III <sub>1</sub>	Margas
191, 167, 107	II <sub>6</sub>	Calizas, dolomías, calcarenitas y brechas calcáreas
183, 135, 103	II <sub>5</sub>	Conglomerados, areniscas y lutitas
184, 187, 185, 166	II <sub>4</sub>	Alternancia de margas, margocalizas, calizas, areniscas y calcarenitas
189, 140	II <sub>3</sub>	Lutitas y margas
109	II <sub>2</sub>	Arcillas yesíferas abigarradas
1	II <sub>1</sub>	Rocas subvolcánicas (Ofitas)
49	I <sub>1</sub>	Pizarras arenosas, grauvacas y conglomerados



### **7.3.4. Características geotécnicas**

#### **7.3.4.1. Introducción**

De los materiales que se disponen ensayos 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. Asimismo, se señalan los principales problemas geotécnicos que pueden presentarse y que en general, van a estar relacionados con la presencia de: turbas o arcillas muy compresible, 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 ensayos de campo, obteniéndose los datos relacionados a continuación:

a) Ensayos de identificación y estado. Además de la densidad y el estado de humedad, se han utilizado 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 de la serie ASTM.

-Plasticidad. La clasificación de los suelos cohesivos según su plasticidad se ha efectuado con el límite líquido y el índice de plasticidad, utilizando la carta de plasticidad de Casagrande.

b)Análisis químico

-Agresividad. Se ha determinado 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

c)Análisis de Hinchamiento

-Expansividad. 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

d)Ensayos de resistencia, compactación y deformabilidad. Se han agrupado los ensayos de resistencia a compresión simple, resistencia al corte, CBR y Proctor Normal. A continuación se exponen algunos criterios que definen el grado de dureza de los materiales, en función de los diferentes ensayos tanto en campo como en laboratorio.

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
Med.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.

e)Consistencia del terreno según NTE, CEG, 1975. Con ensayos de campo, como el S.P.T. (Ensayo en penetración estandar) se puede valorar la compacidad del terreno, de la siguiente manera:

<b>Tensión de rotura a compresión simple en Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Consistencia</b>
< 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

<b>N30</b>	<b>Compacidad del terreno</b>
< 3	Muy suelto
4 a 10	Suelto
10 a 30	Compacto
20 a 50	Denso
> 50	Muy denso

f) Consistencia en arcillas. Se puede valorar, utilizando el índice de compresión (Cc) obtenido del ensayo edométrico. Los valores típicos de los suelos son los que se exponen en la siguiente tabla:

Indice de Compresión Cc	Consistencia
< 0,1	Duro
0,1 - 0,2	Semiduro
> 0,2	Fangos

g) Módulo de deformación y coeficiente de Poisson. El módulo de deformación se puede obtener en arcillas sobreconsolidadas, utilizando el valor de la resistencia al corte sin drenaje ( $C_u$ ) en la correlación  $E = 130 \times C_u$  definida por Butler. Para el coeficiente de Poisson se podría adoptar un valor entre 0,30 y 0,35, dependiendo de la consistencia blanda o densa.

Aparte de los ensayos anteriormente comentados, también se considera la densidad y humedad del Proctor Normal y el índice CBR, correspondiente al 100% en la densidad Proctor, y que definen la aptitud del material para su uso en obra civil. Las características constructivas de los diferentes materiales se estudian para condiciones de cimentación y para obras de tierra.

-Cimentación. Normalmente se ha utilizado el criterio expuesto en los códigos y normas (Código Británico y Norma DIN-1054). 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 y presencia de sulfatos en el sustrato, debido a la alta reactividad de los mismos con el hormigón.

-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. En algún caso ha sido observada en campo; en otros, el análisis de estabilidad es el que se refleja en estudios realizados en la zona. Se señalan además, los factores que pueden llegar a alterar las condiciones de equilibrio.

-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. Las rocas se han clasificado con los criterios que se establecen en el citado Pliego.

-Aptitud para explanada en carreteras. En este apartado se evalúa la capacidad de soporte de los materiales para constituir una explanada, es decir, la resistencia que ofrecen a la deformación bajo cargas. Esta resistencia depende de la naturaleza de los materiales, así como de su densidad y humedad. Para evaluar esta capacidad de soporte se utiliza tradicionalmente el Índice C.B.R. (California Bearing Ratio) que fue concebido para el dimensionamiento de firmes flexibles.

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. Aptos son terrenos frecuentemente adecuados y seleccionados; constituyen explanadas tipo E-3 (CBR > 20).

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

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

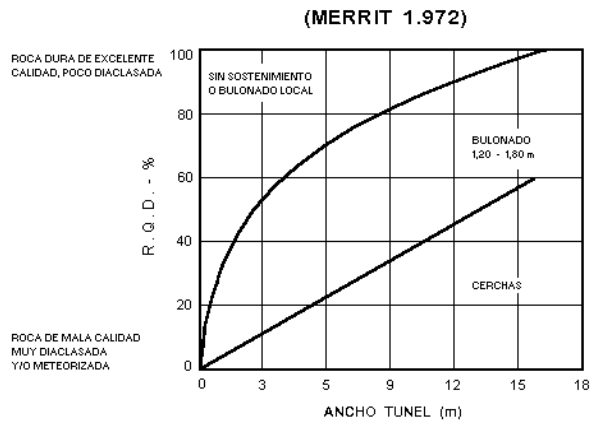
Clase II Roca buena: RMR = 61-80

Clase III Roca media: RMR = 41-60

Clase IV Roca mala: RMR = 21-40

Clase V Roca muy mala: RMR 20

En algunos casos, se ha utilizado también el "Abaco de Merrit" (1972) que relaciona la anchura de tunelación con el valor de R.Q.D. (Fig. 6).



**Fig. 6.** Modificado de Merrit (1972). Gráfico que evalúa el tipo de sostenimiento a realizar en un macizo rocoso en función de la anchura del túnel y de los valores de R.Q.D.

El objetivo de ambas clasificaciones es definir el tipo de sostenimiento a efectuar en obras subterráneas concretas.

#### 7.3.4.2. Area I

##### Zona I<sub>1</sub>

-Localización

Se localizan en dos afloramientos, el mayor de los cuales ocupa el ángulo nororiental de la Hoja. La naturaleza de los materiales y su disposición tectónica condiciona una buena expresión en el relieve definiendo las zonas topográficamente más elevadas de la Hoja (Macizo de Quinto Real).

-Características geológicas

Dentro de esta zona se encuentran los materiales de la Formación Olazar (Carbonífero superior), que corresponden a una alternancia monótona de pizarras y grauvacas de carácter turbidítico, y más ocasionalmente, de niveles métricos de areniscas y conglomerados.



## -Características geotécnicas

No se dispone de reconocimientos geotécnicos de interés. En general, en estos materiales se observa una alteración superficial variable de entre 1 y 2 m.

Según la terminología de la ISRM, la resistencia a compresión podría variar entre muy alta ( $> 800 \text{ kp/cm}^2$ ) para las grauvacas y los niveles de areniscas y conglomerados, y moderada ( $200 - 800 \text{ kp/cm}^2$ ) para las pizarras, que dependen en gran manera del grado de alteración que presenten y de la orientación de los planos de pizarrosidad.

En toda la Zona I<sub>1</sub>, la resistencia del macizo rocoso está condicionada por las características geomecánicas y la resistencia de las discontinuidades. Cualquier estudio de detalle que precise la caracterización geomecánica del macizo rocoso deberá atender al estudio completo de sus planos de discontinuidad (orientación, continuidad, espaciado, abertura, relleno y rugosidad).

## -Características constructivas

a. Condiciones de cimentación. Según el Código de Práctica Británico nº 4, la carga admisible para asientos tolerables que se puede aplicar en este tipo de rocas es superior a  $30 \text{ kp/cm}^2$ , valor que deberá reajustarse a la baja en función de la mayor o menor inclinación de los planos de estratificación. Según la Norma DIN 1054, la carga admisible que se puede aplicar se encuentra entre 7 y  $16 \text{ kp/cm}^2$ , dependiendo que la cimentación se efectúe sobre pizarra o sobre grauvacas y niveles detríticos duros. Entre los problemas que puede aparecer en 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 pizarrosidad 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 deben estudiarse la disposición y características de los planos de pizarrosidad y diaclasado para determinar la necesidad de recurrir a bulonados o anclajes que elimine posibles fenómenos de inestabilidad inducida por la aplicación de cargas.

## b. Condiciones para obras de tierra.

\*Excavabilidad. La excavación mecánica será función de la concentración e inclinación de los planos de pizarrosidad en las pizarras y del diaclasado en el resto de los materiales.

En general estos materiales se consideran como terrenos duros, según las definiciones dadas en la metodología, aunque el nivel de alteración superficial pueda ser ripable, la excavación deberá efectuarse por medio de explosivos.

\*Estabilidad de taludes. Se han observado fenómenos de inestabilidad en los taludes sometidos a la acción erosiva de los ríos. En el resto de zonas, los taludes naturales son estables. Los taludes artificiales van a depender de la orientación, inclinación y naturaleza de los planos de anisotropía y precisarán estudios detallados de campo en este sentido.

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

\*Empuje sobre contenciones. En general van a ser bajos, salvo en zonas muy fracturadas o meteorizadas en las que pueden ser de tipo medio.

\*Aptitud para préstamos. Las grauvacas, niveles de areniscas y conglomerados se consideran adecuados en uso para pedraplenes. Las pizarras requieren un estudio especial, pero en general pueden clasificarse como adecuados en núcleos y cimientos y, moderadamente adecuados para uso en coronación de pedraplenes, todo ello dependiendo de su grado de compacidad.

\*Aptitud para explanada en carreteras. Cabe distinguir 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 tipo H/50 para situar encima una base del firme de suelo seleccionado de al menos 30 cm de espesor. En desmontes en roca, la explanada tendrá la regularidad e

inclinación adecuada de modo que se asegure la evacuación del agua infiltrada a través de las capas o puntualmente del firme de la calzada y arcenes.

\*Obras subterráneas. Según la clasificación de Bieniawski, los materiales de la Zona I<sub>1</sub> se localizan entre las Clases III (media) y IV (mala).

### **7.3.4.3. Area II**

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

##### **-Localización**

Se dispone en una serie de afloramientos asociados a materiales triásicos que se localizan en la "zona de escamas de Arizu", anticlinorio de Lizaso y cabalgamiento de Roncesvalles.

##### **-Características geológicas**

Los materiales que definen esta Zona corresponden a un conjunto de afloramientos de pequeñas dimensiones asociadas a depósitos triásicos y que están formados por rocas ofíticas de composición basáltico-andesítica, tonos verdosos y aspecto bastante homogéneo.

##### **-Características geotécnicas**

No existen ensayos de laboratorio que ayuden a precisar las características geomecánicas de estos materiales. No obstante, para un cálculo a nivel de anteproyecto, se estima que la resistencia a compresión simple en estado sano es muy alta ( $> 1500 \text{ kp/cm}^2$ ). Presentan un grado de alteración superficial variable, siendo éste mayor en zonas de diaclasas.

##### **-Características constructivas**

a.Condiciones de cimentación. Según la clasificación de la ISRM, la carga admisible para este tipo de rocas en estado sano es de  $109 \text{ kp/cm}^2$ , mientras que la Norma DIN 1054 establece presiones admisibles no inferiores a  $30 \text{ kp/cm}^2$ ; en los niveles

superficiales alterados y degradados, estos valores disminuyen. Por lo tanto, pueden considerarse para la Zona II<sub>1</sub>, tomando valores conservadores, presiones admisibles superiores a 80 kp/cm<sup>2</sup>, es decir una capacidad portante muy alta y un tipo de cimentación en general, superficial. No se esperan problemas de cimentación.

b. Condiciones para obras de tierra.

\*Excavabilidad. Los niveles superficiales se consideran como Terreno Medio - Duro, en función del grado de alteración que presentan, es decir, podrán ser excavados por medios mecánicos. En profundidad se requerirá el uso de explosivos.

\*Estabilidad de taludes. Los taludes naturales están en equilibrio. En estado sano, los taludes artificiales pueden ser verticales. Ocasionalmente, en función del grado y estado de las diaclasas, puede existir algún bloque en estado crítico, que se podrá estabilizar con bulones y anclajes.

\*Empuje sobre contenciones. No será necesario.

\*Aptitud para préstamos. Según el PPTG los materiales de esta Zona constituyen Terrenos Seleccionados, es decir, presentan valores de C.B.R. > 10, su límite líquido es menor de 30 (LL < 30), su índice de Plasticidad es inferior a 10 (WP < 10) carecen de materia orgánica y de tamaño de partículas superior a 8 cm. En definitiva, son terrenos Aptos para su utilización en terraplenes y pedraplenes.

\*Aptitud para explanada en carreteras. En terraplenes y pedraplenes la categoría de la explanada es la E-3, ya que son materiales Aptos para su utilización en la coronación de los mismos. En el caso de desmontes, la categoría de explanada en roca es, de nuevo, la E-3. Se recomienda que la superficie de la explanada quede al menos 60 cm por encima del nivel más alto previsible de la capa freática, y el relleno de las depresiones que contengan agua con hormigón de tipo H-50

\*Obras subterráneas. Según la clasificación de Bieniawski estos materiales constituyen rocas muy buenas, encuadrándose dentro de la Clase I (RMR = 81 - 100); según el Abaco de Merrit (1972), para anchuras de tunelación moderada (3-8 m) no se esperan problemas de sostenimiento, aunque éste dependerá de la abundancia de familias de litoclasas.

## Zona II<sub>2</sub>

### -Localización

Se presenta en afloramientos reducidos y de deficiente calidad, como son el anticlinorio de Lizaso, la "zona de escamas de Arizu" y los cabalgamientos de Olagüe y Roncesvalles.

### -Características geológicas

Esta zona está definida por depósitos del Triásico superior en facies Keuper, constituidos por arcillas rojas y arcillas abigarradas con yesos. La potencia es indeterminada y se encuentran intensamente tectonizadas.

### -Características geotécnicas

No se han realizado reconocimientos geotécnicos detallados de estos materiales, en parte debido a que en función de su carácter diapírico y a la presencia de yesos, generalmente carecen de atractivo desde el punto de vista constructivo. No obstante, las observaciones de campo indican que se trata de arcillas alteradas que se comportan como un suelo de consistencia media-blanda. Normalmente, en superficie las arcillas del Keuper presentan una alteración y estructura más floja, alcanzando una profundidad variable entre 1 y 2 m.

### -Características constructivas

a. Condiciones de cimentación. A falta de datos de ensayos más precisos pueden considerarse los valores contenidos en las diferentes normas y códigos. Así, el Código de Práctica Británico, establece para este tipo de material presiones admisibles variables entre 0,75 y 3 kp/cm<sup>2</sup>, esperándose asientos de consolidación a largo plazo. Según la Norma DIN 1054 a profundidad de cimentación de 2 m las cargas admisibles en arcillas de una consistencia media son del orden de 2,3-3 kp/cm<sup>2</sup>, esperándose unos asientos en torno a 4 cm. En estas condiciones el tipo de cimentación más probable es el superficial.

Los problemas de cimentación que pueden surgir, están relacionados con la alta agresividad de estos materiales al hormigón debido a la presencia de sulfatos, sobre todo si existe circulación de aguas de escorrentía superficial. Se aconseja por este motivo realizar análisis sistemáticos del contenido en sulfatos, para determinar el grado de agresividad. Pueden producirse también problemas de asentamientos diferenciales en cimentaciones de superficie, provocadas por variaciones del grado de alteración superficial. Por último, la impermeabilidad de estos materiales puede provocar encharcamientos en superficie durante la ejecución de las obras de cimentación, lo que acentuaría los problemas de agresividad al hormigón.

#### b. Condiciones para obras de tierra.

\*Excavabilidad. De acuerdo con los criterios establecidos en la metodología, estos materiales se consideran medios; su excavación podrá realizarse por medios mecánicos sin problemas. Los niveles superficiales que presentan una estructura más floja y una menor consistencia son fácilmente excavables hasta una profundidad difícil de determinar con los datos disponibles, pero que en todo caso dependerá del grado y espesor del nivel de alteración superficial.

\*Estabilidad de taludes. En los taludes naturales se dan fenómenos de reptación. En los taludes artificiales se observan pequeños deslizamientos de carácter superficial. Normalmente, se deterioran con el tiempo por procesos de erosión y modelado, por lo que deberán adoptarse medidas para reducir la erosión superficial y sus efectos (hidrosiembra, escalonamiento). En general no serán estables taludes superiores a 2H: 1V.

\*Empujes sobre contenciones. Serán variables en función de la degradación del talud y del grado de saturación de los materiales; pueden considerarse de bajos a altos en zonas muy meteorizadas.

\*Aptitud para préstamos. Se consideran materiales No Aptos, como mucho marginales en cimientos y núcleos de terraplenes no en su coronación, según los criterios reflejados en la metodología.

\*Aptitud para explanada en carreteras. Se trata de materiales No Aptos, como máximo Marginales; precisarán por tanto, la extensión sobre ellos de una explanada mejorada.

\*Obras subterráneas. Según los criterios de la Clasificación de Bieniawski estos terrenos se definen como de Clase III: Roca Media (RMR = 41-60).

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

#### **-Localización**

Se localizan en afloramientos de gran extensión, que suponen algo más del 17% de la extensión total de la Hoja, coincidiendo con áreas topográficamente deprimidas que presentan relieves en general suavizados.

#### **-Características geológicas**

La Zona II<sub>3</sub> está constituida fundamentalmente por margas, si bien, secundariamente, incluye arcillas. La integran el conjunto de margas micáceas de carácter euxínico que dan relieves alomados del Aptiense - Albiense y las margas limolíticas micáceas que alternan con niveles areniscosos en la base, del Maastrichtiense.

#### **-Características geotécnicas**

No se dispone de ensayos geotécnicos de los materiales anteriores, pero sí de las arcillas y margas de la facies Weald aflorante en la vecina Hoja de Irurzun (115-I), de características litológicas, estratigráficas y morfológicas parecidas, lo que sugiere un comportamiento geomecánico similar.

Los ensayos se han realizado sobre niveles sanos, y hacen referencia a la determinación de la resistencia de estos materiales a compresión simple. Asimismo, se recogen valores del Índice de Calidad de la Roca (R.Q.D.). A continuación, se describen los valores más representativos.

### **Cuadro Resumen de Características Geotécnicas**

Densidad: 2,7 gr/ cm<sup>3</sup>

Resistencia a compresión simple: 386,33 kp/m<sup>2</sup>

Módulo de Young (Et):107604

Coeficiente de Poisson ( $\mu$ ):0,13

R.Q.D.:100%

Se puede decir que se trata de una roca blanda de rápida alteración, por lo que resulta lógico esperar un perfil de alteración importante. Se comportan como suelos de consistencia firme y dura (NTE-CEG, 1975), con una expansividad definida como marginal. En profundidad, los niveles en estado sano presentan un R.Q.D. óptimo y una resistencia media (250-500 kp/cm<sup>2</sup>).

#### -Características constructivas

a.Condiciones de cimentación. A partir de los valores de resistencia a compresión simple y parámetros de deformabilidad, se ha calculado la capacidad portante de estos materiales según los términos que establece la metodología.

Las presiones admisibles calculadas para una profundidad de cimentación de 1,5 - 2 m, que coincide generalmente con el nivel superficial de alteración, oscila entre unos valores de 1,3 y 3 kp/cm<sup>2</sup>. En niveles de margas sanas, los valores orientativos que aporta el Código Británico oscilan entre 6 y 10 kp/cm<sup>2</sup>, posiblemente superiores dada la resistencia a compresión simple superior a 100 kp/cm<sup>2</sup>, pero que para edificios habituales supone valores suficientes. No obstante, para edificios altos y cuando se prevean fuertes cargas concentradas, serán necesarios estudios de resistencia y deformabilidad puntuales y detallados.

El tipo de cimentación a emplear depende del espesor del horizonte alterado y de su grado de alteración. Se supone por otra parte, que la edificación carece de sótanos que obliguen a efectuar la excavación del terreno y puedan cambiar totalmente el planteamiento de la elección.

Normalmente, la cimentación será de tipo superficial (zapata o losa) o semiprofunda mediante pozos. Para edificios bajos, de menos de seis alturas, la cimentación en general, podrá realizarse mediante zapatas; para alturas superiores se deberá o bien acudir al empleo de losas, si la capacidad portante del terreno se sitúa en torno a 1,5



kp/cm<sup>2</sup>, o bien se deberá recurrir a niveles profundos más resistentes, eligiendo entonces una cimentación semiprofunda (siempre que estas profundidades se encuentren entre 3 y 6 m).

En ocasiones puede ser necesario el empleo de pilotes si el espesor del nivel de alteración es superior al esperado. También el empleo de losa de cimentación puede ser bastante adecuado cuando en el área ocupada por el edificio se produzcan variaciones importantes del espesor del horizonte alterado, que pudieran provocar asentamientos diferenciales no admisibles si se pretendiese cimentar mediante zapatas aisladas. No obstante, el empleo de losa de cimentación es una solución muy costosa para edificios bajos (6-8 plantas).

No se espera presencia de sulfatos en los materiales, por lo que en principio se descartan problemas de agresividad al hormigón. Por otro lado, la impermeabilidad de estos materiales permite suponer que tampoco existan problemas de afluencia de agua a las excavaciones.

#### b. Condiciones para obras de tierra.

En general, los problemas de cimentación están relacionados con variaciones importantes en el espesor del horizonte de alteración, que pueden dar lugar a asentamientos diferenciales importantes, y con la presencia de niveles de arcillas entre las margas sanas, que pueden causar fenómenos de punzonamiento.

\*Excavabilidad. De acuerdo con los términos designados en la metodología se trata de suelos medios, con una ripabilidad variable entre ripable y no ripable. Al tener una estructura más floja y menor consistencia, los niveles superiores de alteración, son fácilmente excavables

\*Estabilidad de taludes. Los taludes naturales son estables, aunque progresivamente se van deteriorando debido a la rápida alteración de las margas en superficie, observándose fenómenos de acarreamiento. Los taludes artificiales, en las zonas alteradas producirán flujos de barro y deslizamientos, mientras que los que se realizan en margas sanas presentarán con el tiempo un deterioro progresivo; así mismo, es posible la existencia de cuñas. En general, se deberán adoptar medidas encaminadas a reducir la erosión superficial y sus efectos (hidrosiembras, escalonamientos, etc.).

\*Empuje sobre contenciones. Será variable en función de la degradación del talud y de la protección que se da a la coronación del mismo. Dependerá también del grado de saturación de los materiales. Pueden considerarse de bajos (margas sanas) a altos en zonas muy alteradas.

\*Aptitud para préstamos. Se trata de materiales No Aptos para su uso en terraplenes y pedraplenes.

\*Aptitud para explanada en carreteras. En general constituyen terrenos No Aptos y, en el mejor de los casos, Marginales. Precisarán por tanto, la extensión sobre ellos de una explanada mejorada.

\*Obras subterráneas. Según los criterios de la Clasificación de Bieniawski (1979), los materiales de esta Zona, considerados como formación rocosa se encuadran en la Clase III: Roca Media (RMR 41-60). En función de los valores R.Q.D., este tipo de materiales no ofrecen en principio problemas de sostenimiento (MERRIT, 1972) para anchuras de tunelación moderadas.

## **Zona II<sub>4</sub>**

### **-Localización**

Se encuentra ampliamente representada en el sinclinal del Urrizola y al S del afloramiento triásico de Lizaso y de los cabalgamientos de Olagüe y Roncesvalles.

### **-Características geológicas**

La Zona II<sub>4</sub> está constituida por una alternancia rítmica de margas, calizas y areniscas calcáreas de origen turbidítico, correspondientes al Cretácico superior.

### **-Características geotécnicas**

Su característica fundamental es la alternancia de materiales de diferente litología, (y por tanto diferente comportamiento mecánico) en estratos y capas de espesor en general uniforme. Se dispone de ensayos de laboratorio realizados sobre las margas y calizas margosas del Campaniense (nivel geológico 24). No obstante, esta

información es extrapolable al conjunto de la Zona, ya que se espera de los materiales que la integran un mismo comportamiento mecánico.

Los ensayos recopilados aportan datos tanto de los horizontes superficiales alterados, como de los niveles sanos más profundos. Están encaminados a la determinación del estado e identificación (Granulometría, Clasificación de Casagrande), resistencia (Compresión simple) e índice de calidad de la roca (R.Q.D.). A continuación se describen los valores más característicos.

### **Cuadro Resumen de Características Geotécnicas**

Clasificación de Casagrande:CL

Clasificación de ASSHTO:A-7/A-6

% tamiz nº 200:80,8

Límite líquido:41.9

Límite plástico:20,2

Índice de plasticidad:21,7

Densidad:2,55 - 2,69 gr/cm<sup>3</sup>

Resistencia a compresión simple:400,2 - 678,5 kp /cm<sup>2</sup>

Módulo de Young (Et):159279 - 628287

Coeficiente de Poisson ( $\mu$ ):0,34 - 0,54

Coeficiente desgaste de los ángulos:28

R.Q.D.:70 - 77,3%

Cohesión:0 - 2 T/m<sup>2</sup>

Angulo rozamiento interno ( $\mu$ ): 26 - 30°

% CO<sub>3</sub>: 38,06 - 79,45%

Se observan valores de resistencia a Compresión Simple que oscilan entre medianamente resistentes y resistentes (400 - 700 kp/cm<sup>2</sup>), aunque existe una alta dispersión de resultados con valores extremos que oscilan entre muy blandos (45,6 kp/cm<sup>2</sup>) y muy resistentes (1030 kp/cm<sup>2</sup>). Se puede considerar por tanto, que en estado sano, estas rocas presentan una resistencia a Compresión Simple del orden de 250 - 300 kp/cm<sup>2</sup> y un R.Q.D. bueno, aunque una vez excavadas sufren un alto grado de meteorización, principalmente en los niveles blandos intercalados.

Los horizontes edáficos superficiales están formados por unas arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media. Se trata de suelos limo-arcillosos con más de un 35% de material que pasa por el tamiz nº 200 (0,074 mm), elásticos y que experimentan normalmente grandes cambios de volumen entre los estados húmedo y seco. En general, presenta un límite líquido alto y cumple la relación:  $IP > LL - 30$ , por lo que su comportamiento en explanadas se considera de regular a malo. Presenta una consistencia firme y dura (NFE, CEG, 1975).

#### -Características constructivas

a. Condiciones de cimentación. A partir de los valores de resistencia a compresión simple y de los parámetros de deformabilidad, se calcula la capacidad portante de estos materiales, según los términos que establece la metodología. La Norma DIN 1054 presenta unos valores normalizados para sustratos rocosos sanos o poco alterados en un medio estratigráfico y diaclasado, que se sitúan en 20 kp/cm<sup>2</sup> de presión admisible, valores que deben reducirse a la mitad si aumenta el grado de diaclasado o la disposición espacial de los planos de estratificación es desfavorable.

Por otro lado, el Código de Práctica Británico nº 4 señala para materiales de naturaleza similar a los que componen esta Zona, presiones admisibles del orden de 20 kp/cm<sup>2</sup>. Pueden considerarse, tomando valores conservadores, y a tenor de los resultados de resistencia a compresión simple obtenidos en los ensayos de laboratorio, presiones admisibles entre 6 y 10 kp/cm<sup>2</sup>. De esta manera, se puede decir

que para el caso de edificios habituales con cargas proyectadas inferiores a 3-4 kp/cm<sup>2</sup>, la capacidad portante del terreno está garantizada.

El tipo de cimentación será en general superficial, previa eliminación del horizonte superficial alterado y del recubrimiento. Se utilizan zapatas cuya superficie no debe ser inferior a 4 veces el área del pilar para eliminar así la concentración de esfuerzos. El empleo de zapatas corridas será necesario cuando se desee evitar los efectos de la heterogeneidad litológica que supone la presencia de niveles margosos menos compactos que los materiales calizos, calcareníticos o areniscosos.

En cuanto a los problemas de cimentación que pueden surgir, destaca la presencia de niveles margosos intercalados entre materiales más competentes, que presentan un comportamiento mecánico diferencial entre los distintos puntos de apoyo, efecto éste que puede corregirse, como se dijo anteriormente, mediante la utilización de zapatas corridas. En el caso de que los apoyos estén próximos a taludes habrá que prestar especial atención a las características del diaclasado y a la disposición de los planos de estratificación, ante la posibilidad de que haya que recurrir a realizar trabajos de anclaje y bulonado para mitigar la posible inestabilidad que la aplicación de cargas pudiera provocar.

#### b. Condiciones para obras de tierra.

\*Excavabilidad. Según los criterios seguidos en la metodología, se trata de terrenos medios - duros. Los niveles margosos y calcomargosos son en general ripables y atacables por medios mecánicos.

\*Estabilidad de taludes. Son rocas que, salvo que se encuentren en estado muy sano, conllevan problemas de estabilidad ya que el porcentaje de carbonatos disminuye con los procesos de meteorización. En las margas pueden darse fenómenos de reptación. Las calcarenitas pueden alterarse con facilidad sufriendo fenómenos de disgregación a favor de la fisibilidad. La posible existencia de fracturas perpendiculares a los bancos, más frecuentes en niveles margosos laminados, puede favorecer el desprendimiento de bloques y fenómenos de vuelco. Este fenómeno es muy frecuente en depósitos turbidíticos.

Taludes artificiales excavados en estos materiales con pendientes de  $54^\circ$  (1V: 0,75H), se han mostrado en la práctica inestables, produciéndose deslizamientos, vuelco de estratos y descalces. En estos casos, se ha adoptado como solución, la de perfilar estos taludes a  $35^\circ$  -  $40^\circ$  (1V: 1,425 H) y recubrir con escollera; en general, al proyectar taludes en esta zona habrá que prestar especial interés al espesor de los suelos (alteración o coluviales) y a la orientación e inclinación de los planos de anisotropía (estratificación, juntas, discontinuidades, diaclasas) respecto al plano de talud, teniendo en cuenta que como norma, taludes superiores a  $45^\circ$  (1V: 1H) presentan problemas de estabilidad.

\*Empujes sobre contenciones. Serán de tipo bajo, ocasionalmente medio en zonas margosas alteradas, o en taludes con problemas de estabilidad.

\*Aptitud para préstamos. Las margas y calizas margosas se consideran rocas inadecuadas, a lo sumo marginales, para su uso en pedraplenes. Calizas, areniscas y calcarenitas constituyen por lo general terrenos adecuados y seleccionados.

\*Aptitud para explanada en carreteras. En terraplenes y pedraplenes, las margas y margocalizas se consideran No Aptas para su utilización en coronación de los mismos. La categoría de explanada en desmontes de calcarenitas, calizas y areniscas es la E-3; se recomienda que la superficie de la explanada quede al menos 60 cm por encima del nivel más alto de la capa freática y el relleno de las depresiones que contengan agua se realicen con hormigón de tipo H-50. En el caso de terrenos margosos o margo-calcáreos, la categoría de explanada en roca puede ser la E-3, precisando en este caso la extensión sobre ella de un firme seleccionado.

\*Obras subterráneas. Según los términos definidos en la metodología, se trata de un terreno medio. Utilizando la Clasificación de Bieniawski (1979) se encuadra entre las Clases III (Calidad media) y IV (Mala), jugando un papel importante la orientación de la estratificación. Al proyectar los valores de R.Q.D. en el ábaco de Merrit (1972) se observa que para anchuras de tunelación superiores a 5 m se deberá realizar sostenimiento mediante malla de bulones.

## **Zona II<sub>5</sub>**

### **-Localización**

Sus afloramientos se localizan en el ámbito del macizo de Quinto Real, así como en el sinclinal de Urrizola y al N del cabalgamiento de Olagüe.

#### -Características geológicas

En esta zona se engloban los materiales del Triásico inferior en facies Buntsandstein, que están constituidos por un conjunto de conglomerados y areniscas de composición cuarcítica y cemento siliceo en la base de las sucesiones, que dan paso a un potente conjunto de limos y arcillas rojas a techo. También se incluyen depósitos conglomeráticos y areniscosos del Aptiense - Albiense y del Campaniense.

#### -Características geotécnicas

Como en casos anteriores, no se dispone de ensayos de laboratorio que permitan caracterizar las propiedades geomecánicas de los materiales. No obstante, una vez realizado el reconocimiento de campo, se puede establecer de modo orientativo que la resistencia a compresión simple en los terrenos superficiales limolítico-arcillosos puede ser baja (60 - 200 kp/cm<sup>2</sup>), mientras que los terrenos más profundos pueden considerarse medianamente resistentes (250-500 kp/cm<sup>2</sup>).

#### -Características constructivas

a. Condiciones de cimentación. La Norma DIN 1054 da cargas admisibles para roca quebradiza o con huellas de alteración en un medio diaclasado iguales a 10 kp/cm<sup>2</sup>, valor este puede considerarse como válido siempre que la cimentación se realice previa eliminación del recubrimiento superficial y de los niveles superiores más alterados. Además se supone un espesor mínimo de areniscas del orden de dos veces el grosor de cimentación por debajo de la cota de éstas, ante la transmisión de esfuerzos o la posible presencia de niveles arcillosos intercalados que pueden dar lugar a asientos totales o diferenciales no admisibles.

Los posibles problemas de cimentación están en relación con un comportamiento mecánico desigual de los materiales, como consecuencia del grado de diaclasado y alteración de las areniscas, y de la distribución y espesor de los niveles arcillosos.

b. Condiciones para obra de tierra.

\*Excavabilidad. Según los criterios descritos en la metodología los niveles más superficiales de areniscas, por su alteración y diaclasado son ripables, pero en

profundidad, precisan el empleo de explosivos para su excavación. Las superficies de alteración superficial se consideran como terrenos Medios.

\*Estabilidad de taludes. En general, los taludes naturales sobre el conjunto de conglomerados y areniscas no ofrecen ningún tipo de inestabilidad, mientras que sobre el conjunto limolítico-arcilloso superior pueden producirse fenómenos de reptación.

La estabilidad de los taludes artificiales depende del grado de alteración y de la orientación espacial de los planos de diaclasado en las areniscas. En los tramos arcillosos, los taludes artificiales se degradan con el tiempo por la acción de procesos morfogenéticos (acarcavamiento, esorrentía, etc.).

\*Empuje sobre contenciones. Las contenciones serán necesarias en los tramos arcillosos y en zonas de alteración fuerte de las areniscas. Pueden esperarse empujes de tipo medio.

\*Aptitud para préstamos. De acuerdo con el P.P.T.G., los conglomerados y areniscas son rocas adecuadas para su uso en pedraplenes siempre que no se encuentren alterados y cumplan determinadas especificaciones relativas a granulometría y forma de las partículas. Por el contrario, limos y arcillas son considerados como No Aptos o a lo sumo marginales.

\*Aptitud para explanada en carreteras. Los recubrimientos superficiales y niveles arcillosos se considerarn suelos No Aptos y Marginales. En el caso de conglomerados y areniscas hay que distinguir entre pedraplenes y desmontes. En el primer caso, la categoría de la explanada depende de las características del material utilizado para la coronación. En desmontes, la categoría de explanada en roca corresponde a la E-3, es decir, suelos adecuados y seleccionados.

Se recomienda el relleno de las depresiones que existan y que retengan agua, con hormigón de tipo H-50. 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.



\*Obras subterráneas. Es difícil estimar el grado de fracturación y estado de las diaclasas en profundidad. No obstante, atendiendo a la Clasificación de Bieniawski, puede considerarse en conjunto como un terreno de Clase III (Media).

## **Zona II<sub>6</sub>**

### **-Localización**

Incluye los niveles calcareníticos santonienses y maastrichtienses que se disponen en extensas bandas, así como los materiales carbonatados en facies Muschelkalk que afloran en la "zona de escamas de Arizu" y en las proximidades de Lizaso.

### **-Características geológicas**

Esta zona está integrada por materiales carbonatados competentes del Mesozoico. Se ha agrupado las calizas y dolomías tableadas en facies Muschelkalk junto con calizas y calcarenitas del Cretácico superior.

### **-Características geotécnicas**

Se dispone en este caso de ensayos de laboratorio de los intervalos anteriores, pero sí de las calizas arrecifales masivas del Complejo Urgoniano (nivel geológico 14), de características extrapolables al conjunto de materiales que definen esta Zona, ya que se espera de ellos un mismo comportamiento geomecánico.

Los ensayos existentes están realizados sobre roca en estado sano y hacen referencia a la caracterización geomecánica de los mismos en cuanto a sus valores de resistencia (Compresión Simple). Asimismo, se recogen valores del Índice de Calidad de la Roca (R.Q.D.). A continuación se describen los valores más representativos.

## **Cuadro Resumen de Características Geotécnicas**

Densidad media: 2.675 gr/cm<sup>3</sup>

Resistencia Compresión Simple: 297,2 - 894,2 kp/cm<sup>2</sup>

Módulo de Young (Et): 234047 - 541933

Coefficiente de Poisson ( $\mu$ ): 0,23 - 0,16

R.Q.D.:99%

A grandes rasgos se puede decir que se trata de una roca que oscila desde medianamente resistente ( $250-500 \text{ kp/cm}^2$ ) a resistente ( $500-1000 \text{ kp/cm}^2$ ). No obstante, los valores bajos de resistencia pudieran deberse a la existencia de algún plano de anisotropía o de debilidad en algunas de las muestras, que favoreciese su rotura, obteniéndose así unos resultados sensiblemente inferiores a los esperados a tenor de los reconocimientos de campo efectuados. La resistencia del macizo rocoso estará condicionada por las características de las discontinuidades.

Un aspecto importante en estos materiales y que deberá contemplarse en posteriores estudios geotécnicos, es el grado de carstificación que presentan y por consiguiente, se analizarán en las situaciones más desfavorables los posibles hundimientos de cimentaciones y desprendimientos en taludes.

#### -Características constructivas

a. Condiciones de cimentación. En función de los valores de resistencia a compresión simple y parámetros de deformabilidad, se han calculado las presiones admisibles en los términos que establece la metodología. Según el Código de Práctica Británico, este tipo de roca admite cargas superiores a  $40 \text{ kp/cm}^2$ , mientras que la Norma DIN 1054 recomienda valores en torno a los  $30 \text{ kp/cm}^2$ .

En la práctica habitual pueden considerarse cargas superiores a  $10 \text{ kp/cm}^2$  según el grado de fracturación y carstificación. Presentan por tanto una buena capacidad portante, superior a los valores requeridos para la cimentación de edificios habituales.

El tipo de cimentación a realizar será con mayor probabilidad el superficial. En general, podrá realizarse mediante zapatas, no siendo necesario en principio, el empleo de losas, a no ser que las características particulares del edificio (altura) o del terreno (carstificación) así lo aconsejen.

No se espera presencia de sulfatos en estos materiales, con lo que los problemas de agresividad al hormigón quedan descartados.

b. Condiciones de obras de tierra.

\*Excavabilidad. Según los términos expuestos en la metodología, se consideran unos materiales duros. Su excavación precisa el empleo de explosivos.

\*Estabilidad de taludes. Se consideran estables, tanto los taludes naturales como los artificiales. Puntualmente pueden producirse desprendimientos puntuales de algunos bloques inestables. Al diseñar un talud en esta Zona, habrá que prestar especial interés a la orientación e inclinación de los planos de estratificación, respecto a la del plano del talud, por que pueden producirse desprendimientos importantes.

\*Empuje sobre contenciones. Las contenciones no serán necesarias.

\*Aptitud para préstamos. Según el PPTG este tipo de materiales carbonatados duros se consideran terrenos Aptos para su uso en terraplenes y pedraplenes.

\*Aptitud para explanada de carreteras. La categoría de la explanada en roca es la E-3, es decir, suelos adecuados y seleccionados. Se recomienda el relleno de las depresiones que contengan agua con hormigón de tipo H-50.

\*Obras subterráneas. Según la Clasificación de Bieniawski, estos materiales se encuadran entre la Clase II y Clase III: Roca Media (RMR = 41-60) a Buena (RMR = 61-80) en función del grado de fracturación y de la intensidad de los procesos de carstificación. Si hacemos caso de los valores de RQD disponible, para anchuras de tunelación moderadas (0-8 m) no se esperan problemas de sostenimiento.

#### **7.3.4.4. Area III**

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

-Localización

Aparece escasamente representada en el sector suroccidental, a modo de bandas deprimidas en el relieve.

-Características geológicas

Está constituida exclusivamente por margas atribuidas al Thanetiense, definiendo un conjunto de pobre expresión morfológica en el paisaje, donde los afloramientos son escasos y de mala calidad al estar normalmente cubiertos.

#### -Características geotécnicas

No se dispone de ensayos geotécnicos de estos materiales, pero sí de las Margas de Pamplona aflorantes en la vecina Hoja de Ansoáin (115-IV), de características litológicas y morfológicas comparables, lo que sugiere un comportamiento geomecánico similar.

Merced a los ensayos recopilados se dispone de datos de los niveles sanos y alterados, por lo que se hace referencia a ambos. A continuación se describen los valores más característicos:

### **Cuadro Resumen de Características Geotécnicas**

Clasificación de Casagrande:CL

Densidad seca (margas no alteradas):1,69 - 2,6 gr/cm<sup>3</sup>

Densidad seca (margas alteradas):1,70 - 1,87 gr/cm<sup>3</sup> Porcentaje pasa tamiz nº 200:82 - 95%

Límite líquido:33 - 50

Indice plasticidad:14 - 33

Humedad (margas no alteradas):5,5 - 16%

Humedad (margas alteradas):12 - 20%

Contenido en carbonatos (margas no alteradas):20-54%

Contenido en carbonatos (margas alteradas):45 - 52%

Contenido en sulfatos:< 0,01%

Densidad Proctor (margas no alteradas):1,62 - 2,14 gr/cm<sup>3</sup>

Densidad Proctor (margas alteradas):1,61 - 2,04 gr/cm<sup>3</sup>

Humedad óptima (margas no alteradas):9 - 21%

Humedad óptima (margas alteradas):10,6 - 18,8%

Indice C.B.R. (margas alteradas):0,8 - 3,7

Resistencia a compresión simple (margas no alteradas):188 - 308 Kp/cm<sup>2</sup>

Resistencia a compresión simple (margas alteradas):1,5 - 4,5 Kp/cm<sup>2</sup>

R.Q.D. medio:66%

Angulo rozamiento interno (margas no alteradas):25°

Angulo rozamiento interno (margas alteradas):28°

Cohesión (margas alteradas):0,05

Módulo de deformación (margas no alteradas):10.000

Módulo de deformación (margas alteradas):100 - 200

Coefficiente de Poisson (margas no alteradas):0,1

Coefficiente de Poisson (margas alteradas):0,3

Hinchamiento de Lambe:Marginal

En superficie y hasta una profundidad variable entre 2 y 12 m, las margas se encuentran alteradas y descomprimidas, con nódulos carbonatados dispersos y características de un suelo arcilloso. Se dispone de datos referentes a este nivel de alteración mezclado con materiales cuaternarios (suelos de alteración), cuyos valores

de resistencia y compactación se han agrupado con las margas alteradas. Estos ensayos (identificación y estado) se resumen a continuación.

### **Cuadro Resumen de Características Geotécnicas**

(Margas alteradas y depósitos cuaternarios)

Clasificación de Casagrande:CL

Porcentaje que pasa tamiz n° 200:23 - 89%

Límite líquido:31,2 - 45

Índice plasticidad:14 - 41,1

Humedad:11,2 - 21,3%

Densidad seca:0,84 - 2,13 gr/cm<sup>2</sup>

Contenido en carbonatos:26 - 49,6%

Contenido en sulfatos:Nulo

Se observa como el contenido en carbonatos disminuye hasta niveles superficiales debido a la disgregación y alteración de las margas por procesos de meteorización. El contenido en sulfatos es muy bajo por lo que se descartan problemas de agresividad.

Una característica importante de estas margas es su elevada alterabilidad al ponerse en contacto con la atmósfera, de modo que, a corto plazo la roca sana expuesta a los agentes atmosféricos sufre procesos de disgregación y fragmentación que favorecen la erosión superficial y los desprendimientos en taludes. Asimismo, las variaciones de espesor del nivel superficial de alteración, unidas a la presencia de niveles blandos (arcillosos) pueden dar problemas de cimentación.

A partir de los valores obtenidos en el porcentaje de material que pasa por el tamiz n° 200 y de los resultados de la Clasificación de Casagrande (CL), se puede decir que los niveles superficiales de alteración están constituidos por suelos limo-arcillosos,

pero con un cierto contenido en arenas y gravas que quedan retenidas en el tamiz nº 200. Pueden presentar grandes cambios de volumen entre los estados seco y húmedo. En general se consideran inadecuados para su uso en explanadas.

En función de los ensayos de compresión simple se observa que los materiales alterados presentan unos valores de resistencia comprendida entre 2 y 6 kp/cm<sup>2</sup>, que de acuerdo con las normas establecidas en la metodología corresponden a terrenos de consistencia muy firme y dura, aunque ocasionalmente se observen valores de resistencia (0,8 kp/cm<sup>2</sup>) muy bajos relacionados con niveles de arcillas blandas intercaladas entre los paquetes de margas. En términos generales, a partir de los 5 m de profundidad (ensayos SPT dan rechazo) aumenta notablemente la resistencia del terreno, alcanzando valores superiores a los 200 kp/cm<sup>2</sup>.

En cuanto a la expansividad de las margas alteradas, los resultados del análisis de hinchamiento permite clasificar estos materiales como "marginales". No obstante es aconsejable investigar con detalle este parámetro mecánico si se prevén cambios de humedad importantes en los materiales que van a soportar una cimentación determinada.

Desde el punto de vista hidrogeológico, el carácter impermeable de estos materiales determina la ausencia de agua en profundidad. Únicamente cabe considerar una saturación posible de los niveles superficiales alterados y la infiltración a través de fisuras, factores estos que no deben crear problemas de drenaje en excavaciones.

#### -Características constructivas

a. Condiciones de cimentación. En función de los valores de resistencia a compresión simple y parámetros de deformabilidad, se han calculado las presiones admisibles, en los términos que establece la metodología, para los suelos superficiales de alteración de las margas. Las presiones admisibles calculadas para profundidad de cimentación mínima de 1,5 - 2 m, que corresponde al nivel superficial reblandecido o saturado, varían generalmente para las margas alteradas (de consistencia firme y dura) entre 1,3 y 3 kp/cm<sup>2</sup>.

En las margas sanas, según los valores normalizados que se dan en el Código Británico, puede considerarse una capacidad portante entre 6 y 10 kp/cm<sup>2</sup>, y

posiblemente superior dada la resistencia a compresión, que en muchos casos es mayor que  $100 \text{ kp/cm}^2$ ; a pesar de ello, para edificios habituales, suponen valores suficientes. No obstante, se aconseja que para edificios altos o cuando se prevean fuertes cargas concentradas se realicen estudios de resistencia y deformabilidad específica.

El tipo de cimentación a realizar depende del espesor del horizonte superficial y del grado de disgregación del material. En general será de tipo superficial (zapata o losa) o semiprofundo, mediante pozos. Para edificios bajos de menos de seis alturas, la cimentación podrá realizarse mediante zapatas. Para alturas de edificación superiores se podrá recurrir al empleo de losa si la capacidad portante del terreno se sitúa en torno a  $1,5 \text{ kp/cm}^2$ , o de lo contrario, habrá que buscar niveles resistentes más profundos, recurriendo en este caso a una cimentación semiprofunda siempre que esos niveles se encuentren entre 3 y 6 m de profundidad. Ocasionalmente, puede ser necesario el empleo de pilotes cuando el espesor del nivel alterado es superior a lo admisible en el punto considerado. El empleo de losa de cimentación puede ser particularmente adecuado cuando en el área se produzcan variaciones notables en el espesor del horizonte alterado, que pudieran dar asientos diferenciales no admisibles si se pretendiese cimentar mediante zapatas aisladas. No obstante, la cimentación por losa es una solución bastante costosa para edificios de baja altura.

El contenido en sulfatos de los materiales de esta Zona es prácticamente nulo, por lo que no se esperan problemas de agresividad; tampoco se espera afluencia de agua a las excavaciones.

Los problemas de cimentación que pueden presentarse están relacionados con: variaciones importantes de espesor del horizonte alterado que, como ya se ha dicho, pueden provocar asientos diferenciales; presencia de niveles arcillosos blandos intercalados entre los paquetes de margas sanas, que pueden producir fenómenos de punzonamiento; y presencia de niveles de areniscas duras no ripables que dificulten la excavación.

-Condiciones para obras de tierra



\*Excavabilidad. Los horizontes de alteración se consideran terrenos Medios - Duros, es decir, atacables mediante medios mecánicos sin dificultad. Los niveles profundos de margas sanas se consideran, a efectos de ripabilidad, entre ripables y no ripables.

\*Estabilidad de taludes. Algunos taludes naturales con alturas de 35 m y 70° de inclinación, se muestran estables. Pero por lo general, tanto los taludes naturales como los artificiales son inestables, observándose fenómenos de flujo de barro, desprendimientos de bloques y deslizamientos, todos ellos de pequeña magnitud, que afectan únicamente al nivel superficial de alteración.

La elevada alterabilidad de las margas al aflorar obliga en muchos casos a adoptar medidas encaminadas a mitigar los efectos de la erosión superficial y los procesos de acarreamiento (hidrosiembras, bermas, escalonamiento, etc.).

En función de los informes consultados se recomienda que en los taludes artificiales que se realicen donde la estratificación tenga una cierta componente hacia la excavación, la pendiente del talud en la dirección de buzamiento no supere el valor de dicho buzamiento, siempre que éste sea superior al ángulo de rozamiento entre los estratos, que para estos materiales se sitúa en 12 - 15°.

\*Empuje sobre contenciones. Serán variables en función de la degradación del talud y del grado de alteración de los materiales. Pueden considerarse de bajos a altos en zonas muy meteorizadas.

\*Aptitud para préstamos. Según los términos definidos en la metodología, los materiales superficiales procedentes de la alteración del sustrato margoso se consideran Inadecuados y ocasionalmente Marginales, por lo que no se recomienda su uso como material de préstamo en terraplenes y pedraplenes. Tampoco se recomienda el uso de las margas sanas en la ejecución de pedraplenes debido a su elevada alterabilidad.

\*Aptitud para explanada en carreteras. En general, se trata de Suelos No Aptos, que precisan la extensión sobre ellos de una explanada mejorada.

\*Obras subterráneas. Las obras subterráneas realizadas en esta zona afectarán al sustrato no alterado que de acuerdo con la Clasificación de Bieniawski (1979) varía de Clase III (Media) a Clase IV (Mala).

### **Zona III<sub>2</sub>**

#### **-Localización**

Presenta una extensa superficie de afloramiento en el sector meridional de la Hoja.

#### **-Características geológicas**

Está constituida por depósitos variados del intervalo Thanetiense - Luteciense, entre los que se encuentran arcillas, margas, calizas, calizas margosas, areniscas y calcarenitas, que se disponen en alternancias, de naturaleza turbidítica en unos casos y de facies de plataforma externa, en otros. Se trata de un conjunto de materiales estratigráficamente complejos, que no admiten ser individualizados por razones de la escala de trabajo.

#### **-Características geotécnicas**

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

En esta ocasión no se dispone de ensayos de laboratorio que permitan caracterizar las propiedades geomecánicas de los materiales. No obstante, una vez realizado el reconocimiento de campo y de acuerdo con los criterios establecidos por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM), se estiman unos valores de resistencia a compresión simple para el conjunto de estos materiales entre muy baja ( $< 50 \text{ kp/cm}^2$ ) y baja ( $50 - 200 \text{ kp/cm}^2$ ), dependiendo del espesor de los bancos y de la proporción de niveles margosos.

Cabe esperar el desarrollo de niveles superficiales de alteración en los tramos margosos y calcomargosos, debido a la elevada alterabilidad que presentan estos materiales.

Desde el punto de vista hidrogeológico, dada la alta impermeabilidad del conjunto de estos materiales, no se espera la presencia de agua en profundidad.

#### -Características constructivas

a. Condiciones de cimentación. A falta de ensayos de laboratorio, se puede estimar la capacidad portante a partir de los valores normalizados en las diferentes Normas y Códigos. La Norma DIN 1054 establece para materiales sanos o poco alterados en medios estratificados y diaclasados, una presión admisible de  $20 \text{ kp/cm}^2$ , valores estos que deben reducirse a la mitad cuando el espesor de los tramos margosos aumenta o la disposición de la estratificación y el grado de diaclasado son desfavorables. El Código Británico señala para rocas de la mismas características y arquitectura estratigráfica, presiones admisibles del orden de  $20 \text{ kp/cm}^2$ . De esta forma y tomando valores conservadores, se estima que la capacidad portante de estos materiales se sitúa entre  $6$  y  $10 \text{ kp/cm}^2$ , valores suficientes para el caso de edificios habituales en los que las cargas proyectadas son inferiores a  $3 - 4 \text{ kp/cm}^2$ .

El tipo de cimentación será en general, superficial, previa eliminación del recubrimiento superficial de alteración. Se recomiendan el uso de zapatas con una superficie no inferior a cuatro veces el área del pilar, para evitar así la concentración de tensiones, y el empleo de zapatas corridas cuando sea necesario evitar los posibles efectos que se producen por la presencia de niveles margosos blandos intercalados entre materiales más competentes (asientos diferenciales).

Los problemas de cimentación que pueden surgir son básicamente de tres tipos: presencia de niveles margosos que dan un comportamiento mecánico desigual al del conjunto, circunstancia ésta que, como ya se ha dicho, puede corregirse mediante el empleo de zapatas corridas; presencia de niveles arcillosos blandos intercalados entre niveles de margas o areniscas sanas, que pueden provocar fenómenos de punzonamiento; cuando los apoyos están próximos a taludes, la aplicación de cargas puede provocar la inestabilidad de los mismos, en cuyo caso habrá que estudiar las características y disposición espacial de la estratificación y diaclasado, y recurrir en

caso necesario a trabajos de anclaje y bulonado del talud, para garantizar su estabilidad.

b. Condiciones para obras de tierra.

\*Excavabilidad. Según los criterios seguidos en la metodología se trata de Terrenos Duros, atacables por medios mecánicos. Las margas, arcillas y niveles calcomargosos son en general ripables.

\*Estabilidad de taludes. Se consideran en conjunto estables, según las definiciones dadas en la metodología. Puntualmente se producen desprendimientos superficiales de los niveles margosos muy laminados, y fenómenos de vuelco de estratos, muy frecuentes en depósitos turbidíticos. Al proyectar un talud en esta zona, debe tenerse especial cuidado en la relación entre estratificación, el plano del talud y la pendiente del mismo. Como norma general la pendiente del talud no ha de superar el ángulo de rozamiento entre los estratos.

\*Empuje sobre contenciones. Será de tipo bajo, ocasionalmente de tipo medio en zonas margosas alteradas o en taludes con problemas de estabilidad.

\*Aptitud para préstamos. Las arcillas, margas y calizas margosas se consideran rocas inadecuadas para su uso en terraplenes y pedraplenes. Los niveles de areniscas, calizas y calcarenitas constituyen por el contrario, terrenos adecuados y seleccionados.

\*Aptitud para explanada en carreteras. Los terrenos margosos, arcillosos y calcomargosos se consideran No Aptos para su utilización en la coronación de terraplenes y pedraplenes. En el caso de desmontes, la categoría de la explanada en calizas, areniscas o calcarenitas es la E-3. Se recomienda el relleno con hormigón de tipo H-50 de las depresiones que contengan agua. La explanada deberá tener la inclinación y regularidad necesaria, de modo que se asegure la evacuación del agua infiltrada a través de las capas o juntas del firme de la calzada y arcenes.

\*Obras subterráneas. Según los Criterios de la Clasificación de Bieniawski (1979), estos terrenos se encuadran entre la Clase III (Calidad Media) y Clase IV (Calidad

Mala), jugando un papel importante la orientación de la estratificación y el grado de diaclasado.

### **Zona III<sub>3</sub>**

#### **-Localización**

Aflora a lo largo de una banda de dirección ENE-OSO, en general con buena calidad, disminuyendo en este último sentido su espesor y representación superficial.

#### **-Características geológicas**

Está integrada por materiales carbonatados, en general bastante competentes, agrupando un amplio número de unidades geológicas que presentan características litológicas, estratigráficas y morfológicas similares, y por tanto, con un mismo comportamiento geomecánico. Incluye un conjunto calcáreo de edad Daniense - Montense y una unidad turbidítica constituida por calizas con intercalaciones margosas, asignada al Thanetiense - Ilerdiense.

#### **-Características geotécnicas**

No se dispone en este caso de ensayos de laboratorio que permitan caracterizar geotécnicamente los materiales de esta Zona. No obstante, presentan una asociación de facies y arquitecturas deposicionales similares a la de los materiales que definen la Zona II6, por lo que cabe suponer unas características constructivas similares.

En función de los criterios establecidos por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM) se consideran estos materiales como resistentes ( $> 600 \text{ kp/cm}^2$ ). No obstante, la resistencia del macizo rocoso dependerá de las características de las discontinuidades.

Un aspecto importante en estos materiales, y que deberá interpretarse en posteriores estudios geotécnicos, es el grado de carstificación que presenten aquellas formaciones rocosas con potencia adecuada. Se analizarán en los casos más desfavorables los posibles hundimientos de cimientos y desprendimientos en taludes.

## -Características constructivas

a. Condiciones de cimentación. Según el Código de Práctica Británico este tipo de roca admite cargas superiores a  $40 \text{ kp/cm}^2$ , mientras que la Norma DIN 1054 recomienda valores en torno a los  $30 \text{ kp/cm}^2$ . En aquellos casos donde el grado de fracturación o carstificación sea elevado, se aplicarán cargas inferiores.

En cualquier caso, la capacidad portante de estos materiales queda asegurada para edificios habituales (6-9 plantas) en los que se estiman cargas proyectadas entre  $3-4 \text{ kp/cm}^2$ . El tipo de cimentación a realizar será con mayor probabilidad el superficial, utilizando zapatas individuales con una superficie nunca inferior a cuatro veces el área del pilar, evitando la concentración de tensiones. En principio, no se estima necesario el empleo de losas a no ser que las características particulares del edificio (altura) o del sustrato rocoso (carstificación) así lo aconsejen.

No se ha observado presencia de sulfatos en estos materiales, con lo cual se descartan problemas de agresividad al hormigón.

b. Condiciones para obras de tierra.

\*Excavabilidad. Según los términos expuestos en la metodología, se consideran materiales Duros. Su excavación precisa el empleo de explosivos.

\*Estabilidad de taludes. Se consideran estables, tanto los taludes naturales como los artificiales. Puntualmente pueden producirse desprendimientos puntuales de algunos bloques inestables. Al diseñar un talud en esta Zona, hay que prestar especial interés a la orientación e inclinación de los planos de estratificación respecto al plano del talud, ya que pueden producirse desprendimientos importantes.

\*Empujes sobre contenciones. Las contenciones no se consideran en principio necesarias.

\*Aptitud para préstamos. Según el PPTG, este tipo de materiales se consideran Terrenos Adecuados y Seleccionados para su uso en pedraplenes y terraplenes.

\*Aptitud para explanada en carreteras. La categoría de explanada en este tipo de rocas es la E-3, es decir suelos adecuados y seleccionados. Se recomienda el relleno con hormigón de tipo H-50 de las depresiones que pudieran contener agua. La explanada deberá tener la inclinación y regularidad 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.

\*Obras subterráneas. Según la Clasificación de Bieniawski, estos materiales se enmarcan entre la Clase II y Clase III, Rocas Medias (RMR = 41-60) a Buenas (RMR = 61-80), en función del grado de fracturación y de la intensidad de los procesos de carstificación.

Por otro lado son rocas que presentan un Índice de Calidad (R.Q.D.) alto, por lo que para anchuras de tunelación moderadas (6-8 m) no se esperan problemas de sostenimiento.

#### **7.3.4.5. Area IV**

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

-Localización

Se encuentra escasamente representada por dos pequeños afloramientos situados al E de Arizu.

-Características geológicas

Está definida por arcillas de descalcificación, un producto residual de la disolución de carbonatos en procesos cársticos, que carecen de una morfología determinada, ya que se disponen en afloramientos discontinuos tapizando el fondo de dolinas. Litológicamente se trata de arcillas pardo rojizas con un cierto contenido en limo y arena, así como fragmentos de rocas carbonatadas. Presentan una potencia variable que está en función de la intensidad del proceso de carstificación y del tamaño de la forma que rellenan.

Desde un punto de vista hidrogeológico se estima una permeabilidad baja a muy baja, debido a su carácter predominantemente arcilloso, dato que contrasta con la permeabilidad media-alta que presentan en general las formaciones carbonatadas sobre las que se desarrolla el carst.

#### -Características geotécnicas

No se han realizado reconocimientos geotécnicos detallados en estos materiales. No obstante, las observaciones de campo indican que se trata de depósitos arcillosos de extensión reducida y poco consolidados que se comportan como un suelo de consistencia media - blanda.

Dada su estrecha relación con procesos de carstificación, un aspecto importante a considerar y que deberá completarse en cualquier reconocimiento geotécnico de detalle es la intensidad de los procesos de cársticos que presentan los materiales carbonatados subyacentes, y por consiguiente, se analizarán en las situaciones más desfavorables los posibles hundimientos en cimentaciones.

#### -Características constructivas

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

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

b. Condiciones para obras de tierra.



\*Excavabilidad. De acuerdo con los criterios establecidos en la metodología, estos materiales se consideran terrenos Medios - Blandos; su excavación puede realizarse por medios mecánicos sin ningún tipo de problemas.

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

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

\*Aptitud para préstamos. Se consideran materiales Inadecuados según los criterios reflejados en la metodología. En algunas situaciones pueden constituir terrenos marginales en cimientos y núcleos de terraplenes, pero nunca en la coronación de los mismos.

\*Aptitud para explanada en carreteras. Se trata de Materiales No Aptos, como máximo marginales; precisarán por tanto la extensión sobre ellos de un firme mejorado.

\*Obras subterráneas. En general, las obras subterráneas importantes afectarán al sustrato. Obras de menor entidad, encontrarían un terreno difícil, según lo expuesto en la Metodología.

## **Zona IV<sub>2</sub>**

### **-Localización**

Los materiales coluvionares aparecen fundamentalmente al pie de los valles y barrancos principales, interdentados con los depósitos de conos de deyección y fondos de valle. Los canchales aparecen a pie de los principales escarpes, y las masas deslizadas en zonas de alta pendiente y sobre litologías blandas (recubrimientos superficiales y zonas de alteración) o alternantes.

### **-Características geológicas**

Corresponden a depósitos cuaternarios contituidos por canchales, coluviones y deslizamientos. Están formados por arcillas limosas o areniscas con abundantes cantos y gravas de materiales carbonatados y areniscosos que se presentan sueltos, sin ningún tipo de cementación. En el caso de los canchales se trata de una acumulación de bloques muy heterométricos, sin apenas elementos finos. Merecen mención especial las masas deslizadas, que se forman a partir de recubrimientos coluvionares, zonas de alteración superficial y litologías blandas o alternantes.

Aunque en conjunto son depósitos relativamente frecuentes, poseen un reducido espesor (3 - 7 m) y carácter errático.

#### -Características geotécnicas

Se trata de depósitos escasamente consolidados, donde los problemas geotécnicos están condicionados con la disposición geomorfológica y estratigráfica de los materiales. En esta ocasión se dispone de ensayos geotécnicos procedentes de catas realizadas en depósitos coluvionares. A continuación se describen los valores más significativos.

### **Cuadro Resumen de Características Geotécnicas**

Clasificación de Casagrande:CL

Clasificación de ASSHTO:A-7-6

Índice de grupo:15

P.G.-3Suelo tolerable

Densidad:1,55 gr/cm<sup>3</sup>

Humedad:22%

% pasa tamiz nº 200:68%

Límite líquido:55

Indice plasticidad:35

Densidad máxima Proctor:1.583 gr/c1091

Humedad óptima Proctor:22,5%

Indice C.B.R. 100% densidad Proctor:6

Indice C.B.R. 90% densidad Proctor:0,75

Hinchamiento de Lambe:1,71

A grandes rasgos y en base a los datos existentes, los materiales analizados están constituidos por suelos limo-arcillosos de alta plasticidad, que presentan un cierto contenido en grava y arena. Son materiales que constituyen terrenos tolerables. En cuanto a la expansividad, los resultados del análisis de hinchamiento permiten clasificar estos materiales como No Críticos. No obstante, es aconsejable investigar este parámetro mecánico si se prevén cambios de humedad importantes de los materiales que vayan a soportar una cimentación determinada.

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

#### -Características constructivas

a. Condiciones de cimentación. A falta de ensayos geotécnicos puntuales que permitan caracterizar los distintos tipos morfológicos de los depósitos que definen esta Zona, se pueden considerar los valores normalizados que contienen las diferentes Normas y Códigos. De esta forma, pueden considerarse presiones admisibles entre 1,5 - 2 kp/cm<sup>2</sup>. En general, se debe cimentar sobre el sustrato rocoso, mediante cimentación superficial o semiprofunda por pozos, todo ello en función de la profundidad de los materiales, con el fin de evitar posibles fenómenos de inestabilidad, sobre todo en áreas con pendientes apreciables.

Los problemas que se pueden plantear en obras de cimentación están relacionados con fenómenos de inestabilidad y erosión en aquellos depósitos que presenten pendientes acusadas.

b. Condiciones para obras de tierra.

\*Excavabilidad. De acuerdo con los conceptos establecidos en la Metodología, se trata de un Terreno Medio; su excavación puede realizarse por medios mecánicos sin dificultad.

\*Estabilidad de taludes. En estos depósitos, taludes con alturas superiores a 4 m no deberán superar los 30°.

\*Empuje sobre contenciones. Se consideran de tipo medio.

\*Aptitud para préstamos. En función de los criterios expuestos en la metodología, y previa eliminación de la cubierta vegetal, los materiales de esta zona se consideran Marginales (suelos unas veces inadecuados y otras tolerables, incluso adecuados).

\*Aptitud para explanada en carreteras. Según los términos establecidos en la metodología, se consideran Marginales. En el caso concreto de los suelos coluviales, de los que se tienen datos de ensayos, se pueden clasificar como suelos tolerables, en los que para conseguir una categoría de Explanada E-3, será necesaria la extensión sobre ellos de un firme de 50 cm de Suelo Seleccionado con C.B.R.  $\geq 20$  o bien, 35 cm de Suelo Adecuado y, por encima 15 cm más de Suelo Adecuado estabilizado in situ con cemento.

\*Obras subterráneas. En general, dado el reducido espesor de los materiales que integran esta Zona, las obras subterráneas afectarán a materiales del sustrato. No obstante, para obras de pequeña envergadura, según los criterios de la Clasificación de Bieniawski, nos encontraremos con Terrenos Difíciles, que en principio necesitarán entibación total.

### **Zona IV<sub>3</sub>**

-Localización

Constituyen los depósitos fluviales y aluviales de los principales valles y barrancos, alcanzando su máxima expresión en el río Ulzama.

#### -Características geológicas

Corresponden a depósitos de llanuras de inundación, cauces abandonados, terrazas, conos de deyección y depósitos de fondo de valle.

Desde el punto de vista litológico, se trata de materiales formados por gravas y cantos de naturaleza calcárea y cuarcítica, arenas, limos y arcillas. Su proporción y distribución es muy variable, desde los niveles de terraza, constituidos por gravas dentro de una matriz arenosa que presenta cierto contenido en finos; hasta los depósitos de llanuras de inundación, constituidos por materiales limo-arcillosos con niveles de arenas intercalados. Los depósitos de fondo de valle son litológicamente muy similares a los de terraza, pero con un mayor porcentaje de finos. En estos materiales, la naturaleza de la fracción gruesa dependen del área de procedencia.

#### -Características geotécnicas

En general, se trata de depósitos escasamente consolidados, donde los problemas geotécnicos están condicionados a la disposición geomorfológica y estratigráfica. Se dispone de ensayos geotécnicos procedentes de catas realizadas en materiales semejantes pertenecientes a la Hoja de Gulina (115-III), si bien los datos aportados no deben hacerse extensivos a la totalidad de los materiales de la Zona. Los resultados citados obtenidos fundamentalmente sobre depósitos arcilloso-limosos, son los siguientes.

### **Cuadro Resumen de Características Geotécnicas**

Clasificación de Casagrande:CL

Clasificación de ASSHTO:A-7-6

Índice de grupo:15

P.G. 3Suelo tolerable

Densidad:1,63 gr/cm<sup>3</sup>

Humedad:16%

% pasa tamiz n° 200:68%

Límite líquido:50

Indice plasticidad:29

Densidad máxima Proctor:1,64 gr/cm<sup>3</sup>

Humedad óptima Proctor:16,4%

Indice C.B.R. 100% densidad Proctor:3,85

Indice C.B.R. 90% densidad Proctor:2,6

Hinchamiento de Lambe:3,24

A grandes rasgos, y en función de los datos existentes, los materiales analizados están constituidos por suelos limo-arcillosos de plasticidad alta o baja según los casos, que presentan cierto contenido en arena y gravas, retenido en el tamiz n° 200. El comportamiento de estos materiales en explanadas puede clasificarse en general de regular a malo. Para constituir explanadas de tipo E-1, precisan sobre ellos la extensión de 50 cm de Suelo Adecuado. Los niveles de gravas, previa eliminación de los tamaños gruesos, pueden constituir Suelos Adecuados e incluso Seleccionados.

En cuanto a la expansividad, los resultados del análisis de hinchamiento permiten clasificar estos materiales como Marginales. No obstante, es aconsejable investigar este parámetro mecánico si se prevén cambios de humedad importante en los materiales que vayan a soportar un cimentación determinada.

Cabe considerar, antes de acometer cualquier tipo de obra en esta zona, el alto riesgo de avenidas periódicas e inundaciones torrenciales, debido a precipitaciones importantes concentradas, que presentan los principales cursos fluviales, tanto en

áreas de llanuras de inundación, como en fondos de valle y terrazas bajas. Por otro lado, pueden producirse pequeños desprendimientos de cantos de escasa relevancia en los bordes de taludes subverticales.

En general, la permeabilidad de estos materiales es muy variable, desde términos permeables a impermeables en aquellas áreas donde exista un alto contenido en finos. El drenaje se realiza bien por escorrentía (zonas de baja permeabilidad), infiltración (terrazas) o por la unión combinada de ambos (depósitos de fondos de valle).

Son materiales de fácil excavación, que presentan una capacidad de carga de baja a media, valor que varía en función del tamaño del grano, la naturaleza de la matriz y, en conjunto, de su densidad relativa.

El hecho de que afloren materiales agresivos en áreas circundantes, hace prever que puedan existir concentraciones de sulfatos que provoquen problemas de agresividad al hormigón. No obstante, el condicionante geotécnico más importante que puede presentar este tipo de depósitos es la presencia de asentamientos diferenciales, debido a la variabilidad litológica que muestran, tanto en la vertical como en la horizontal. Otro problema a tener en cuenta, sobre todo en la ejecución de zanjas, es la presencia de un nivel freático somero, que origina en muchas ocasiones problemas de agotamiento. En estos casos, se hace necesario el empleo de drenajes y otras técnicas para rebajar el nivel freático.

#### -Características constructivas

a. Condiciones de cimentación. A falta de un mayor número de ensayos geotécnicos, se pueden considerar los valores normalizados que continen las diferentes Normas y Códigos. De esta forma, en aquellas áreas donde predominan niveles arcillo-arenosos, con espesores apreciables ( $> 3$  m) para una profundidad de cimentación de 1,5 m, se pueden considerar presiones admisibles entre 1,3 y 2  $\text{kp/cm}^2$ . En los niveles de gravas, suponiendo un espesor no inferior al ancho de la zapata y en ausencia del nivel freático, se pueden considerar presiones admisibles entre 2,5 y 3,5  $\text{kp/cm}^2$ , valores que quedan reducidos a 1,5 - 2,1  $\text{kp/cm}^2$ , en presencia del nivel freático. Así, para el conjunto de los materiales que definen la Zona, se estima una capacidad

portante variable entre 1 y 3,5 kp/cm<sup>2</sup>, dependiendo de que se trate de un limo de consistencia más o menos rígida o una grava de compacidad alta.

No obstante, cuando no se reúnen las condiciones anteriores, las cargas proyectadas son superiores a las dadas; igualmente en el caso de depósitos aluviales (con alto riesgo de avenidas) es necesario encontrar niveles profundos más resistentes (incluso el sustrato). En estos casos, el tipo de cimentación será semiprofunda, mediante pozos, o si la profundidad de estos es superior a 5-6 m, mediante pilotes perforados. Por otro lado, la ejecución de pozos puede presentar problemas de agotamiento.

De lo dicho hasta ahora se deduce que los principales problemas de cimentación están relacionados con la posición del nivel freático, que puede dar lugar a subpresiones y fenómenos de inestabilidad en excavaciones y obras, así como agotamientos importantes. Por otro lado, la presencia de intercalaciones de arcillas blandas puede provocar asentamientos diferenciales no admisibles.

b. Condiciones para obras de tierra.

\*Excavabilidad. En general, todos los materiales que definen la Zona se consideran Terrenos Medios; su excavación podría realizarse por medios mecánicos, sin dificultad. Las paredes de zanjas, en función de su localización y profundidad pueden experimentar problemas de inestabilidad y agotamiento en presencia del nivel freático.

\*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 de 2 a 3 m; para alturas mayores deben proyectarse taludes 3H: 4V, tomando eventualmente medidas correctoras.

Los taludes artificiales en material aluvial se mantienen estables, cuando se sitúan por encima del nivel freático; si se corta el nivel freático se producen desmoronamientos.

\*Empujes sobre contenciones. En áreas de predominio de materiales finos son de tipo Medio. En zonas de gravas varían de Altos a Bajos en función de la posible presencia del nivel freático.



\*Aptitud para préstamos. Los depósitos de materiales finos (limos, arcillas) se consideran Marginales de acuerdo con las definiciones establecidas en la metodología. Los niveles de gravas se consideran Aptos, si bien precisan una clasificación que elimine los tamaños gruesos (8-10 cm).

\*Aptitud para explanada en carreteras. En general los depósitos de terraza se consideran entre Aptos y Marginales; los materiales aluviales, se consideran Marginales.

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

## 8. 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.

ARCE, R.; OLMEDO, F., PESQUERA, A. y VELASCO, F.

1984

Metamorfismo de grado bajo y muy bajo en la mitad occidental del macizo de Alduides (Navarra).

I Congr. Esp. Geol. T-II. 15-25.

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.

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.

BOER, H.V.; KRAUSE, H.F.; MOHR, K.; MULLER, R.; PILGER, A. y REQUADT, H.

1974

La région de magnesite d'Eugui dans les Pyrénées Occidentales. Pirineos (C:S:I:C:) 111:21-39.

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'Eocène moyen à l'Oligocène inférieur.

Rev. de Micropl., 31.

CARBAYO, A.; LEON, L. Y VILLALOBOS, L.

1978

Mapa Geológico de España. E. 1:50.000, 2ª Ser., Hoja nº 115 (Gulina).

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.

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.

CORPAS, J.R.

1991

Guía de Navarra.

Ed. El País-Aguilar, 231 pp., Madrid.

DAMESTOY, G.

1961

Etude de la serie devonienne de la vallee du Quinto (Basses - Pyrénées)

C.R. sonom. S.G.F., p. 75-76.

DEL VALLE, J. y PUIGDEFABREGAS, C.

1978

Mapa Geológico de España. E. 1:50.000, 2ª ser., Hoja nº 141. Pamplona

IGME.

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.

EWERT, F.K.

1964

Geologie des Südteiles des Baskischeu Pyrenäen.

Diss. Univ. Münster, pp 223. Münster.

FACI, E.; CASTIELLA, J.; DEL VALLE, J.; GARCIA, A.; DIAZ, A.; SALVANY, J.M.; CABRA, P. y RAMIREZ, J.

1992

Actualización del 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 superiere u Miocene des Navarra-Alavais.

These. Université de Pau

GARCIA DE DOMINGO, A.; BLAS, I. y CABRA, P.

1993

Actualización e informatización de la Cartografía Geológica de Navarra a escala 1:25.000. Hoja nº 116-I (Erro). Gobierno de Navarra. Inédito.

GARCIA DE DOMINGO, A.; BLAS, I. Y CABRA, P.

1993

Actualización e informatización de la Cartografía Geológica de Navarra a escala 1:25.000. Hoja nº 116-III (Arce).

Gobierno de Navarra. Inédito.

GARCIA DE DOMINGO, A.; BLAS, I. y CABRA, P.

1993

Actualización e informatización de la Cartografía Geológica de Navarra a escala 1:25.000. Hoja nº 141-I (Cizur).

Gobierno de Navarra. Inédito.

GARCIA DE DOMINGO, A.; BLAS, I. y CABRA, P.

1993

Actualización e informatización de la Cartografía Geológica de Navarra a escala 1:25.000. Hoja nº 141-II (Pamplona).

Gobierno de Navarra. Inédito.

GARCIA - MONDEJAR, J.

1982

Aptiense - Albiense.

In: El Cretácico de España. Univ. Compl. Madrid, pp 63-84.

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.

GOMEZ DE LLARENA, J.

1950

La magnesita de Eugui (Navarra).

Bol. Soc. Esp. Hist. Nat. Madrid, 48.

HEDDEBAUT, C.

1965

Recherches stratigraphiques et paléontologiques dans le massif des Aldudes (Basses - Pyrénées).

Bul. Soc. Geol. France, 7.

HEDDEBAUT, C.

1967

Observations tectoniques sur le massif des Aldudes (Basses Pyrénées).

C.R. Somm Seances Soc. Geol. France.

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 Eocene turbidites of the Hecho Group. South-Central Pyrénées.

Geology, 9, pp. 161-164.

KLARR, K.

1971

Der geologische Bau des südöstlichen Teiles vom Aldudes - Quinto Real - Massiv (Spanische Westpyrenäen).

Clausthaler Geol. Abh. II Clausthal - Zefferfeld.

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-sédimentaire et mégaturbidites du bassin turbiditique éocène sud-pyrénéen.

Thèse 3<sup>ème</sup> cycle, USTL, Montpellier, 170 p.

LABAUME, P.; MUTTI, E.; SEGURET, M. y ROSELL, J.

1983

Mégaturbidites carbonatées du bassin turbiditique de l'Eocène inférieur et moyen sud-pyrénéen.

Bull. Soc. Géol. France, (6), 25 pp.

LABAUME, P.; MUTTI, E. y SEGURET, M.

1987

Mégaturbidites: A Depositional Model From the Eocene of the SW-Pyrenean Foreland Basin Geo-Marine.

Letters 7 pp. 91-101.

LABAUME, P.; SEGURET, M. y SYEVE, C.

1985

Evolution of a turbidite foreland basin an analogy with an accretional prism: Example of the Eocene South-Pyrenean basin.

Tectonics 4 pp. 661-68.

LAMARE, P.

1927

Sur la structure des Pyrénées navarraises.

C.R. XIV<sup>o</sup> Congr. Geol. Intern., T. 2, p. 693-698, Madrid.

LAMARE, P.

1931

Sur l'âge des couches à faciès flysch de la zone sudpyrénéenne en Navarre.



C.R. Somm. S.G.F., 4 mai 1931, 9-10, 107-109, Paris.

LAMARE, P.

1936

Recherches géologiques dans les Pyrénées Basques d'Espagne.

Mem. Soc. Geol. France (N.S.) 12, 27; pp 464. Paris.

LEON, I.; MARROCCO, R.; NEURDIN, J. y DELFAUD, J.

1985

The tidal-flat of the Sangüesa zone, Uppermost Eocene (Areniscas de Liedana Formation) of the South Pyrenean Basin of Jaca-Pam.

6th European Reg. Meeting of Sediment. IAS, Lleida-85, pp.248-251 (Abstract).

LEON, O. I.

1972

Síntesis paleogeográfica y estratigráfica del Paleoceno del Norte de Navarra. Paso al Eoceno. Bol.

Inst. Geol. Min. España t. 83, pp. 234-241, Madrid.

LEON, O. I.

1985

Etude sedimentologique et reconstitution du cadre geodynamique de la sedimentation detritique fini Eocene-Oligocene sud Pyreneen.

These. Université de Pau.

MAGNESITAS DE NAVARRA, S.A.

1985

Mineralizaciones de magnesita en el anticlinal de Asturreta (Navarra).

Informe interno.

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.

MARTINEZ TORRES, L.M.

1989

El Manto de los Mármoles (Pirineo Occidental): Geología estructural y evolución geodinámica.

Tesis doctoral. Univ. País Vasco. 290 pp.

MATTAUER, M. y SEGURET, M.

1971

Les relations entre la chaîne des Pyrénées et le Golfe de Gascogne.

In: Histoire structurale du Golfe de Gascogne, t 1. Publ. Inst. Français Pétrole. Ed. Technip. Pp. IV-4-1 a IV-4-24.

MENSUAS, S.

1960

La Navarra media oriental. Estudio geográfico.

Inst. Príncipe de Viana, Dep. Geol. Aplic. Zaragoza, Serv. Reg. 8, 186, pp., 40 figs. y 25 láminas.

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.

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.; 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.

1992

Las "megaturbiditas" y otros depósitos de resedimentación carbonatada a gran escala del Eoceno surpirenaico: Nuevos datos del área Urrobi - Ultzama (Navarra).

Geogaceta.

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° 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.; 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, J.I.; OLIVE, A.; VILLALOBOS, L.; LEON, J. y CARBAYO, A.

1987

Mapa Geológico de España. E. 1:50.000, 2ª Ser., Hoja nº 114 (Alsasua).

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

RIBA, O. y PEREZ MATEOS, J.

1962

Sobre una inversión de aportes sedimentarios en el borde Norte de la cuenca Terciaria del Ebro (Navarra)

II Reunión del Grupo Español de Sedimentología. Sevilla.

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. Proyect 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.

RUIZ DE AGONA, M.

1947

Nota preliminar. El Bartoniense 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 Pyrénées.

Sedimentology 23.

SEGURET, M.; LABAUME, P. y MADARIAGA, R.

1984

Eoceno seismicity in the Pyrenees from megaturbidites in the south-Pyrenean Basin (North Spain).

Mr. Geol., 5, pp. 117-131.

SOLER y JOSE, R.

1971

Estudio geológico de la Sierra de Aralar (Cuenca Cantábrica Oriental).

Bol. Geol. Min. T. 82, V. Pp 406 - 428.

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, 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.

VILLALOBOS, L. y RAMIREZ DEL POZO, J.

1971

Estratigrafía del Jurásico del NO de Navarra

Cuad. Geol. Ibérica. Vol. 2. Pp, 541-558. Madrid.

VILLALOBOS, L. y RAMIREZ, J.

1974

Contribución al estudio del Cretácico superior de facies flysch de Navarra.

Pirineos III.

WALGENWITZ, R.

1976

Etude petrol. des roches intrusives trias. des ecailles du socle profond et gîtes de chlorite de la région d'Elizondo (Nav., Espag.).

These de l'Université de Besangon, pp. 172.