



**Gobierno de Navarra**

Departamento de Obras Públicas,  
Transportes y Comunicaciones

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE NAVARRA

ESCALA 1:25.000

**HOJA 174-II**

**LUMBIER**

MEMORIA

---

La presente Hoja y Memoria, ha sido realizado por "Informes y Proyectos, S.A. (INYPESA)", durante el año 1997, con normas, dirección y supervisión del Gobierno de Navarra, habiendo intervenido en ella los siguientes técnicos:

**Dirección y Supervisión (Gobierno de Navarra)**

Faci Paricio, Esteban	Dirección del Proyecto
-----------------------	------------------------

**Autores y Colaboradores**

López Olmedo, Fabian (INYPESA)	Cartografía y Memoria
--------------------------------	-----------------------

Solé Pont, Javier (INYPESA)	Cartografía y Memoria
-----------------------------	-----------------------

Gil Gil, Javier (INYPESA)	Memoria
---------------------------	---------

Cabra Gil, Pilar.	Geomorfología
-------------------	---------------

Juan Jose Gomez	Sedimentología
-----------------	----------------

Alfredo Garcia de Domingo	Geología regional
---------------------------	-------------------

Alberto Diaz de Neira	Geología regional
-----------------------	-------------------

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. ESTRATIGRAFIA .....</b>	<b>4</b>
2.1. CRETACICO .....	4
2.1.1. Crétacico superior .....	4
2.1.1.1. Margas y margocalizas grises y ocre. (185). Campaniense - Maastrichtiense .....	5
2.1.1.2. Calcarenitas y calizas arenosas con intercalaciones de areniscas hacia techo.(191). Campaniense - Maastrichtiense.....	6
2.1.1.3. Areniscas y conglomerados. Areniscas de Arén.(192). Maastrichtiense .....	7
2.1.2. Análisis secuencial y paleogeografico del Cretácico superior.....	8
2.2. Terciario Marino .....	9
2.2.1. Paleoceno - Ilerdiense .....	9
2.2.1.1. Dolomías ocre y grises. (204). Daniense - Thanetiense inferior .....	9
2.2.1.2. Calizas grises con Alveolinas. Nivel (211). Thanetiense superior - Ilerdiense .....	10
2.2.2. Eoceno.....	12
2.2.2.1. Calizas ocre y grises de aspecto masivo. Calizas de Guara.(215). Cuisiense superior - Luteciense inferior .....	13
2.2.2.2. Alternancia de margas y margocalizas y ocre. Ritmita. Nivel (212). Cuisiense superior. Luteciense inferior .....	15
2.2.2.3. Calcarenitas, margas y margocalizas ocre. Nivel (253). Luteciense superior .....	15
2.2.2.4. Margas y margocalizas con niveles de brechas y slumps (unidad 254) y Calizas ocre y grises. Olistolito (unidad 259). Luteciense superior.....	16
2.2.2.5. Margas margocalizas, calizas resedimentadas y calcarenitas. Megaturbiditas.(247). Luteciense superior .....	17
2.2.2.6. Margas y margocalizas grises con algunas intercalaciones de areniscas (turbiditas) y niveles de brechas y cantos en la base. Irurozqui.(249). Luteciense superior - Bartoniense .....	17
2.2.2.7. Margas, margocalizas y limolitas. Nivel de Urroz.(263). Luteciense superior - Bartoniense.....	19
2.2.2.8. Margas grises. Margas de Pamplona. (267). Bartoniense .....	20
2.2.2.9. Margas grises con algunas intercalaciones de areniscas. (271). Alternancia de areniscas ocre y lutitas, (272) "Turbiditas de Gongolaz y Yesa". Bartoniense - Priaboniense inferior	21
2.2.2.10. Margas y lutitas rojas con pequeñas intercalaciones de areniscas. Margas Fajeadas.(278). Priaboniense superior .....	24
2.2.2.11. Areniscas ocre y lutitas grises (279) y Areniscas ocre y lutitas rojas (280). Areniscas de Liédena. Priaboniense superior - Headoniense.....	26

2.2.3.	Análisis secuencial y paleogeográfico del Paleógeno marino (Paleoceno-Eoceno) .....	29
2.3.	TERCIARIO CONTINENTAL.....	32
2.3.1.	Oligoceno.....	34
2.3.1.1.	Alternancia irregular de lutitas rojas y ocre y areniscas con intercalaciones de calizas margosas (304) y Areniscas y lutitas rojas (305). "Areniscas y lutitas de Javier". Headoniense - Sueviense. ....	34
2.3.1.2.	- Areniscas y lutitas acres (317), Lutitas ocre y areniscas (318) y, Alternancia de areniscas y lutitas ocre (319). "Areniscas y lutitas de Rocaforte". Arverniense inferior.....	41
2.3.2.	Análisis secuencial y paleogeográfico del Terciario continental. ....	43
2.4.	CUATERNARIO.....	47
2.4.1.	Pleistoceno.....	47
2.4.1.1.	Lutitas rojas con cantos. Arcillas de descalcificación. (523). Pleistoceno-Holoceno. ..	47
2.4.1.2.	Gravas y lutitas rojas con cantos y bloques ocasionalmente cementados. Conos aluviales antiguos (513). Pleistoceno.....	47
2.4.1.3.	Gravas, arenas y lutitas con cantos y bloques. Glacis de acumulación (519). Pleistoceno.....	48
2.4.1.4.	Lutitas con cantos. Glacis de cobertera. (518). Pleistoceno. ....	49
2.4.1.5.	Gravas, arenas y lutitas con cantos y bloques. Terrazas. (502 a 508). Pleistoceno-Holoceno. 49	
2.4.2.	Holoceno.....	50
2.4.2.1.	Lutitas con cantos y bloques en ocasiones cementados. Conos aluviales (536) Holoceno. 50	
2.4.2.2.	Bloques y cantos con margas y lutitas. Coluviones de bloques (547). Holoceno. ....	51
2.4.2.3.	Lutitas con cantos y bloques. Coluviones (543). Holoceno .....	51
2.4.2.4.	Lutitas y cantos. Aluvial-Coluvial. (537). Holoceno.....	52
2.4.2.5.	Lutitas, arenas y cantos. Fondos de valle (527). Holoceno. ....	52
2.4.2.6.	Lutitas y margas con cantos y bloques. Deslizamientos. (545). Holoceno. ....	53
2.4.2.7.	Gravas arenas y limos. Cauces abandonados (530). Holoceno.....	53
2.4.2.8.	Acumulaciones antropicas. Escombreras. (550). Holoceno. ....	54
2.4.2.9.	Gravas arenas y cantos. Cauces activos (526). Holoceno .....	54
<b>3.</b>	<b>TECTONICA.....</b>	<b>55</b>
3.1.	CONSIDERACIONES GENERALES .....	55
3.2.	DESCRIPCION DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS .....	58
3.2.1.	Discordancias .....	58
3.2.2.	Pliegues .....	60
3.2.3.	Fallas y Cabalgamientos.....	62
3.3.	CRONOLOGIA DE LA DEFORMACION .....	64
<b>4.</b>	<b>GEOMORFOLOGÍA.....</b>	<b>67</b>

4.1. DESCRIPCIÓN FISIOGRAFICA .....	67
4.2. ANTECEDENTES .....	68
4.3. ANÁLISIS MORFOLÓGICO.....	69
4.3.1. Estudio Morfoestructural. ....	69
4.3.2. Estudio del modelado .....	70
4.3.2.1. Formas fluviales .....	70
4.3.2.2. Formas de ladera. ....	72
4.3.2.3. Formas Kársticas.....	73
4.3.2.4. Formas poligénicas .....	74
4.3.2.5. Formas antrópicas .....	74
4.4. FORMACIONES SUPERFICIALES .....	74
4.5. EVOLUCIÓN GEOMORFOLÓGICA.....	79
4.6. PROCESOS ACTUALES .....	80
<b>5. HISTORIA GEOLÓGICA.....</b>	<b>82</b>
<b>6. GEOLOGIA ECONOMICA .....</b>	<b>88</b>
6.1. RECURSOS MINERALES.....	88
6.1.1. Minerales metálicos y no metálicos.....	88
6.1.1.1. Cobre.....	88
6.1.1.2. Hierro .....	89
6.1.2. Minerales energéticos. ....	89
6.1.3. Minerales y Rocas Industriales. ....	89
6.1.3.1. Sales potásicas. ....	89
6.1.3.2. Sal común. ....	91
6.1.3.3. Calizas .....	91
6.1.3.4. Gravas. ....	91
6.1.3.5. Areniscas. ....	92
6.2. HIDROGEOLOGIA .....	92
6.2.1. Descripción de las formaciones .....	92
6.2.1.1. Margas y margocalizas. Campaniense-Maastrichtiense. ....	92
6.2.1.2. Calcarenitas y areniscas, conglomerados silíceos a techo. Campaniense-Maastrichtiense. ....	93
6.2.1.3. Calizas y calcarenitas, dolomías en la base. Paleoceno- Luteciense inferior. ....	93
6.2.1.4. Margas y margocalizas. Cuisiense-Luteciense inferior.....	94
6.2.1.5. Calcarenitas y margas. Luteciense superior.....	95
6.2.1.6. Margas y margocalizas , localmente con intercalaciones de areniscas. Eoceno medio y superior. 95	
6.2.1.7. Areniscas tableadas y lutitas. Priaboniense .....	96

---

6.2.1.8.	Lutitas y Areniscas.Oligoceno.....	97
6.2.1.9.	Areniscas y Lutitas. Oligoceno-Mioceno .....	98
6.2.1.10.	Gravas, arenas y limos.Cuaternario.....	99
6.2.1.11.	Arcillas con bloques y cantos, y arenas.Cuaternario .....	100
6.2.1.12.	Arcillas, arcillas con cantos dispersos y lutitas margosas. Cuaternario. ....	100
6.2.2.	Unidades acuíferas. ....	100
6.2.2.1.	Calcarenitas, areniscas y conglomerados silíceos del Cretácico superior, dolomías, calizas y calcarenitas del Paleoceno y Eoceno inferior y medio. Unidad de Leyre. ....	101
6.2.2.2.	Areniscas tableadas. Areniscas de Liédena. Priaboniense superior-Headoniense. ...	103
6.2.2.3.	Areniscas y lutitas. Formaciones permeables del Terciario continental. Oligoceno-Mioceno.Formaciones permeables del terciario continental. Oligoceno-Mioceno.....	104
6.2.2.4.	Gravas, arenas y limos. Formaciones permeables del Cuaternario. ....	106
6.3.	GEOTECNIA.....	107
6.3.1.	Introducción .....	107
6.3.2.	Metodología.....	107
6.3.3.	Zonificación geotécnica .....	109
6.3.3.1.	Criterios de división .....	109
6.3.3.2.	División en Áreas y Zonas Geotécnicas.....	110
6.3.1.	Características geotécnicas.....	111
6.3.1.1.	Introducción .....	111
6.3.1.2.	Área II .....	116
6.3.1.3.	Área III.....	132
6.3.1.4.	Área IV .....	138

## 1. INTRODUCCIÓN

La Hoja a escala 1:25.000 de Lumbier (174-II), incluida en la Hoja a escala 1:50.000 de Sangüesa, se localiza al Este de Navarra lindando en el ángulo sureste de la cuadrícula con la Comunidad Autónoma de Aragón, concretamente con la provincia de Zaragoza. Desde el punto de vista fisiográfico se encuentra situada en el sector meridional de la zona surpirenaica, abarcando un área delimitada por las estribaciones occidentales de los relieves de la Sierra de Leyre, el valle del río Aragón y los relieves meridionales de los montes próximos a las sierras de Aibar

Las estribaciones occidentales de la Sierra de Leyre se sitúan próximas a los valles del Salazar y del Irati y conforman los relieves más meridionales del Pirineo navarro en este sector. En ella se localiza la máxima elevación de la Hoja y de la propia sierra, concretamente el pico Arangoiti (1356 m.), atalaya desde la que se divisa un imponente paisaje pirenaico. Por el contrario las cotas más bajas entorno a los 400 m de altitud se localizan en el valle del Aragón, ya al sur de la Hoja,

El río Aragón constituye la principal arteria fluvial que discurre con dirección NE-SO y sus aguas se ven alimentadas de otros cursos importantes también de procedencia septentrional tales como el Irati y este a su vez con las del Salazar

La densidad de población es relativamente alta ya que en esta zona se localizan numerosas poblaciones destacando las de Lumbier que da nombre a la Hoja, Liédena, Yesa, Javier y Rocaforte

La principal ocupación de la población de la zona son las actividades rurales, principalmente la agricultura y ganadería, al margen del turismo, destacando también el relativo desarrollo industrial con la explotación de materiales canterables en Liédena y la ubicación de una papelera junto a Rocaforte ya en las proximidades de Sangüesa. Las vías de comunicación son frecuentes siendo Liédena y las proximidades de Lumbier los principales puntos de convergencia de redes viarias. A destacar son las carreteras de Pamplona a Jaca y la de Liédena a Sangüesa.

Desde el punto de vista geológico la Hoja se enmarca en las estribaciones meridionales del Pirineo occidental o Pirineo navarro, unidad fisiográfica que forma parte de esa importante cadena montañosa lineal que se extiende desde el

Mediterráneo hasta el Cantábrico, estructurada en un cinturón de pliegues y cabalgamientos de orientación aproximada E-O con vergencia meridional y desarrollada desde finales del Cretácico superior y hasta finales del Mioceno inferior como consecuencia de la colisión de las placas ibérica y europea. La cadena presenta una elevada simetría con respecto a su franja central, denominada Zona Axial en la que afloran los materiales más antiguos, paleozoicos, constituidos por rocas plutónicas y metamórficas, que conforman el zocalo regional. Flanqueando este sector, se disponen las Zonas Nor y Surpirenaica, constituidas por materiales mesozoicos y cenozoicos que integran la cobertura. Esta última zona cabalga sobre la Depresión del Ebro, que constituye la cuenca de antepaís del orógeno pirenaico y se encuentra rellena por sedimentos neógenos postorogénicos.

A grandes rasgos el Pirineo en la zona estudiada se ha dividido clásicamente según una transversal N-S y de acuerdo a sus características fisiográficas y geológicas en dos grandes unidades: las Sierras Interiores y las Sierras Exteriores.

Las Sierras Interiores están constituidas por la Zona Axial y una cobertura muy potente mesozoica y paleógena marina imbricada hacia el sur y constituida fundamentalmente por materiales carbonatados y margosos. Las Sierras Exteriores, las más meridionales cabalgan a la Cuenca del Ebro y presentan características estratigráficas similares a las Interiores aunque las series son mucho menos potentes. Entre ambas se desarrolla una importante estructura: el sinclinal de Guarga, constituido por potentes series detríticas paleógenas que sirve como elemento estructural de separación entre ambas unidades.

La Hoja objeto de estudio se localiza al sur de las Sierras Interiores y del valle del Salazar, en las estribaciones occidentales de la Sierra de Leyre, unidad cabalgante de dirección E-O que cubre a grandes rasgos a las margas eocenas que constituyen el relleno de la cuenca de Jaca-Pamplona. Hacia el suroeste de la Hoja afloran potentes series continentales paleógenas plegadas que forman parte ya de la Cuenca del Ebro. Estos materiales se ponen en contacto con las series marinas infrayacentes mediante un importante accidente: la falla de Loiti, que con dirección NO-SE sobrepasa los límites de la Hoja y transcurre desde las proximidades de Monreal, al pie de la Sierra de Aláiz hasta el embalse de Yesa.



En general son muy numerosos los trabajos geológicos que existen sobre el Pirineo si bien la mayoría de ellos tienen un carácter regional, correspondiendo la mayor parte de ellos a tesis doctorales. Tales referencias aparecen en el capítulo correspondiente a la Bibliografía. De todos ellos han sido del máximo interés los trabajos de PUIGDEFABREGAS (1975), LEON (1985), CHAVEZ (1985), CAMARA Y KLIMOWITZ (1985). También resultan interesantes, por los datos que aportan los trabajos específicos relacionados con la exploración de potasas de Navarra elaborados por ROSELL (1983), ADARO (1989) y DEL VALLE (inedito) así como los procedentes de la cartografía y memoria del PLAN MAGNA. (1987) de la Hoja 174 (Sangüesa). Finalmente hay que destacar que la cartografía geológica de la Hoja está basada en la realizada por la DIPUTACION DE NAVARRA. actualizada y puesta al día en base a criterios sedimentarios y estructurales.

## **2. ESTRATIGRAFIA**

La cartografía de esta Hoja se ha realizado en base a criterios modernos de estratigrafía secuencial, definiendo unidades tectosedimentarias limitadas por rupturas deposicionales con expresión cuencal. En cada unidad así definida y delimitada se ha cartografiado distintos cuerpos litológicos, determinando hasta donde ha sido posible, las variaciones espaciales y relaciones de facies que presentan.

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

### **2.1. CRETACICO**

#### **2.1.1. Crétacico superior**

La serie cretácica reconocida presenta notables afinidades litoestratigráficas con las unidades descritas por TEIXELL (1992) en la zona de Candanchú, correspondientes de muro a techo a: Fm. Calizas de los Cañones atribuida al Turoniense - Santoniense, Fm. Margas de Zuriza del Campaniense - Maastrichtiense y Fm. Areniscas de Marboré de edad esencialmente Maastrichtiense.

La primera de las formaciones mencionadas no aflora dentro de la zona de estudio si bien se distingue en sectores colindantes pertenecientes a la comunidad autónoma de Aragón, por lo que la Fm. Margas de Zuriza constituye la primera de las unidades cartográficas descritas en el capítulo de estratigrafía. La Fm. Areniscas de Marboré presenta una parte inferior compuesta por calcarenitas y areniscas calcáreas y una parte superior de areniscas y conglomerados silíceos que se ha asignado por su similitud litoestratigráfica a la Fm. Areniscas de Arén descrita en el sector central de la cuenca surpirenaica (provincias de Huesca y Lérida).

---

### **2.1.1.1. Margas y margocalizas grises y ocre. (185). Campaniense - Maastrichtiense**

Corresponde a un tramo esencialmente margoso de unos 60 m de potencia media, correlacionable con la Fm. Margas de Zuriza (TEIXELL, 1992).

Litológicamente está constituido por margas gris-azuladas con intercalaciones eventuales de margas calcáreas nodulosas y limolitas calcáreo-margosas de grano fino. A techo suele intercalar capas tabulares de calcarenitas bioclásticas y areniscas calcáreas. El contenido paleontológico es elevado, la unidad contiene abundantes restos de bivalvos, equínidos, braquiópodos y foraminíferos pelágicos y bentónicos, (distinguiéndose *Echynocorys pyramidaly* (PORTLOCK), *E. Vulgaris*, (BREYNUS) y *Ostrea* cf. *Canaliculata* (SOW).

El conjunto tiende a organizarse en ciclos de somerización de rango métrico - decamétrico compuestos por margas homogéneas en la base y margas calcáreas o limolitas a techo, donde pueden desarrollarse superficies ferruginosas y de condensación de fauna. Las intercalaciones calcareníticas y areniscosas de la parte superior de la unidad presentan laminaciones tractivas (wave ripples y hummoky cross stratification) asimilándose a capas de tormenta.

En localidades próximas a la zona cartografiada, ya en la Comunidad Autónoma de Aragón se observa que la unidad presenta un contacto neto con la Fm. carbonatada infrayacente (Fm. Calizas de los Cañones) desarrollándose una superficie ferruginosa y de condensación sedimentaria a techo de esta última. Por el contrario el contacto con la unidad suprayacente es más transicional de acuerdo con un esquema de somerización general y progradación deltaica.

La unidad se enmarca en un contexto de plataforma abierta -prodelta con rasgos pelágicos en la parte baja y con influencia de tormentas en la parte alta.

La edad se establece en el Campaniense - Maastrichtiense, por comparación con localidades próximas (Sierra de Alaiz y Macizo de Oroz - Betelu esencialmente), dado el carácter banal de la fauna determinada.

---

### **2.1.1.2. Calcarenitas y calizas arenosas con intercalaciones de areniscas hacia techo.(191). Campaniense - Maastrichtiense**

Se correlaciona con la Fm. Areniscas de Marboré (SOUQUET, 1967) y litológicamente se distingue como un conjunto de calcarenitas que hacia techo pasan a areniscas calcáreas. Presenta un contacto transicional con la unidad precedente, estimándose una potencia de unos 100 - 150 m.

Los niveles de calcarenitas se presentan en bancos de potencia decimétrica a métrica, pueden alternar con margas calcáreas y limolitas en la parte inferior de la Fm. y tienden a organizarse en secuencias estratocrecientes de orden decamétrico, caracterizando complejos de barras submareales en contextos de frente deltaico. Texturalmente corresponden a packstones - grainstones y granstones - rudstones con cemento esparítico, bioclastos, granos de cuarzo y glauconita como principales aloquímicos, y con la presencia característica de opacos e impregnaciones de óxidos metálicos. El contenido fósil es variado distinguiéndose restos de bivalvos, braquiópodos, briozoos, corales, gasterópodos, equinodermos, foraminíferos, algas y ostrácodos. Las estructuras sedimentarias consisten en laminación cruzada de tipo sigmoidal y bimodal, ripples de oleaje, laminaciones onduladas, drappes y cantos blandos. Las calcarenitas se enriquecen progresivamente en cuarzo a medida que se alcanzan niveles superiores en la serie hasta predominar los términos de areniscas sobre las calcarenitas.

Las areniscas se organizan en paquetes métricos de tendencia granodecreciente con base erosiva, pertenecientes a facies canalizadas, siendo menos frecuentes las secuencias de barra. Litológicamente corresponden a areniscas calcáreas de grano medio-grueso a medio-fino, con cemento esparítico, y la fracción clástica está formada principalmente por cuarzo, bioclastos e intraclastos calcáreos. Las estructuras tractivas que presentan corresponden a sets tabulares de láminas cruzadas, planares y sigmoidales con frecuente bimodalidad, ripples de oleaje, depósitos de carga residual y laminaciones onduladas caracterizan contextos de llanura deltaica inferior en régimen inter y submareal.

Diversos análisis realizados en el Hoja MAGNA a escala 1:50.000 de Sigüés sobre las areniscas de la unidad, indican que se trata de calcilitas con unos contenidos de fracción clástica comprendidos entre el 60% y el 70% con 20-25% en cuarzo, 40% en

fragmentos de rocas carbonatadas y 3-4% en feldespatos, con micas, pizarras y chert en porcentajes inferiores a 1% y correspondiendo el 30-40% restante de la roca a cemento microesparítico y escasos bioclastos.

Las determinaciones micropaleontológicas denotan la presencia de Miliólidos, Orbitoides, Texturálidos y Anomalínidos destacando en la parte superior de la unidad la existencia de Siderolites calcitrapoides (LAMARCK), Omphalocyclus macroporus (LAMARCK) y Orbitoides medios (D'ARCHIAC) que indican una edad de Maastrichtiense superior. En base a las anteriores determinaciones y de la correspondencia lateral que presenta la unidad con la Fm. margosa infrayacente, su edad se establece en el Campaniense superior - Maastrichtiense, aunque la mayor parte de la unidad debe corresponder al Maastrichtiense.

#### **2.1.1.3. Areniscas y conglomerados. Areniscas de Arén.(192). Maastrichtiense**

Aflora esta unidad en lo alto de la Sierra de Leyre, en las proximidades del pico Arangoiti, así como constituye en buena parte el espaldar de dicha sierra en casi todo ese sector

Los afloramientos no son de muy buena calidad, reconociéndose solo de forma parcial a excepción del corte del Arangoiti. Presenta un contacto transicional con la unidad infrayacente a la que pasa íntegramente hacia el oeste por cambio lateral de facies.

Litológicamente la unidad está formada por areniscas silíceas y conglomerados de cuarzo que se organizan en secuencias métricas de relleno de canales fluviomareales pueden intercalar delgados intervalos de limos y lutitas grisáceas. Las estructuras sedimentarias consisten en sets tabulares de estratificación cruzada, planar y sigmoidal, en areniscas y gravas, depósitos conglomeráticos de carga residual, bioturbación a techo de las secuencias de relleno de canales junto con rasgos edáficos incipientes, y eventualmente, estratificación bimodal y ripples de oleaje.

Los términos de areniscas presentan tamaños de grano de muy grueso a medio-fino, buena selección, matriz feldespática - caolinífera, y escasa cementación. Los conglomerados consisten en depósitos clastosoportados, medianamente cementados, con matriz cuarzo-feldespática de grano grueso, y los clastos casi exclusivamente de

cuarzo, presentan un alto grado de rodamiento y diámetros comprendidos entre 0,5 y 8 cm. Los términos de areniscas silíceas y conglomerados se enmarcan en un medio de llanura deltaica superior en régimen inter-supramareal.

Las paleocorrientes registradas se dirigen principalmente hacia el ONO, dato coherente con la distribución paleogeográfica regional, siendo relativamente frecuentes las lecturas en sentido opuesto (ESE) claramente generadas por flujos mareales.

### **2.1.2. Análisis secuencial y paleogeográfico del Cretácico superior**

El conjunto del Campaniense - Maastrichtiense, está representado por las Fms. Zuriza y Marboré, y constituye un ciclo de 2º orden en el sentido de VAIL et al. (1990). La Fm. Zuriza representa el intervalo transgresivo, y la Fm. Marboré se interpreta como un episodio regresivo y de progradación hacia la cuenca del sistema deltaico. En conjunto el ciclo manifiesta una evidente tendencia a la somerización con desarrollo de facies pelíticas prodeltaicas en la base que pasan transicionalmente a términos calcáreos bioclásticos de frente deltaico, y finalmente se desarrollan depósitos siliciclásticos de llanura deltaica progresivamente más someros, que culminan con los materiales de la facies Garumniense generados en ambientes continentales.

El límite inferior del ciclo está marcado por una superficie ferruginosa y de interrupción sedimentaria desarrollada a techo de los depósitos de plataforma somera del Santoniense (Fm. Calizas de los Cañones). El límite superior corresponde a una superficie de posible truncación sedimentaria definida por el contacto neto con las dolomías de base del Paleoceno que se sitúan de Este a Oeste sobre el Garumniense, Areniscas de Arén y, calcarenitas y areniscas de la Fm. Marboré.

La paleogeografía de la cuenca durante el Campaniense - Maastrichtiense se deduce a partir de la distribución regional de facies y espesores, dando como resultado una apertura y profundización general hacia el ONO. La Fm. Margas de Zuriza aumenta de potencia en este sentido incorporando facies turbidíticas. Hacia el Este (fuera de Hoja) se adelgaza y acuña, de modo que la Fm. Marboré se dispone directamente sobre el Santoniense dificultando por convergencia de facies su individualización.

La Fm. Marboré desaparece hacia el ONO por tránsito lateral a la Fm. Zuriza, y aumenta de potencia en sentido contrario donde aparecen facies más someras, que culminan con el desarrollo de los depósitos continentales del Garumniense.

## **2.2. Terciario Marino**

El Paleógeno marino puede dividirse, a grandes rasgos en dos grandes conjuntos deposicionales, el conjunto inferior es esencialmente carbonatado y comprende términos del Paleoceno, Ilerdiense y Luteciense inferior. El superior está representado principalmente por materiales margosos que abarcan el Luteciense superior, Bartoniense y mayor parte del Priaboniense. El techo del Paleógeno marino está caracterizado por el desarrollo de facies evaporíticas y lagunares que marcan el tránsito al Terciario continental.

### **2.2.1. Paleoceno - Ilerdiense**

Constituye un intervalo carbonatado de unos 100 - 150 m de potencia. Se distingue una parte inferior dolomítica asignada al Dano - Montiense y Thanetiense inferior, y una parte superior esencialmente calcárea perteneciente al Thanetiense - Ilerdiense. Ambos términos presentan una notable contaminación terrígena, apareciendo localmente niveles de areniscas calcáreas y abundantes granos dispersos de cuarzo.

#### **2.2.1.1. Dolomías ocre y grises. (204). Daniense - Thanetiense inferior**

Su potencia se cifra en torno a los 45 - 60 m y se dispone de forma neta sobre el Garumniense y otras unidades del Maastrichtiense. La unidad está compuesta principalmente por dolmicrosparitas tableadas con escasos restos reconocibles de Miliólidos. Presentan contactos ondulados e incorporan tramos de dolomías masivas. En la base y techo del conjunto aparecen generalmente términos más ricos en terrígenos representados por dolarenitas con abundantes granos de cuarzo y frecuentes laminaciones tractivas, (estratificación cruzada sigmoidal y bimodal, y hummocky cross stratification). En general predominan las secuencias estrato y granocrecientes asimilables a morfologías de barras, por lo que la unidad se interpreta como un complejo de barras litorales en plataforma carbonatada somera.

Se dispone de los datos analíticos de una muestra de esta unidad, contenidos en la documentación complementaria de la Hoja MAGNA a escala 1:50.000 de Sangüesa (174) que indican contenidos del 15% en cuarzo, 5% en bioclastos, 2% en intraclastos, correspondiendo el resto de la muestra a dolesparita (78%).

La edad se establece entre el Daniense y Thanetiense inferior por la posición estratigráfica y correlación tentativa con los términos inferiores del Paleoceno en la zona de Garralda y Abaurrea situadas más al norte.

#### **2.2.1.2. Calizas grises con Alveolinas. Nivel (211). Thanetiense superior - Ilerdiense**

Se integran en esta unidad los términos calcáreos del Thanetiense e Ilerdiense por su similitud litológica y sedimentológica, constituyendo un paquete carbonatado de unos 100 - 150 m de potencia.

El Thanetiense constituye un tramo calcáreo de unos 50 a 90 m de potencia, con frecuentes intercalaciones terrígenas presentando facies características de ambientes de plataforma somera. El principal dispositivo de sedimentación se articula a partir de complejos de barras litorales reconocibles como secuencias negativas de potencia métrica a decamétrica compuestas por packstones tableadas en la base y grainstones o calcarenitas areniscosas con estratificación cruzada, a techo. Presentan cemento esparítico o microesparítico, y los principales aloquímicos son los bioclastos (Miliólidos, fragmentos de algas calcáreas, corales individuales y Rotálidos) y los granos de cuarzo, siendo localmente abundantes las oncoides, ooides e intraclastos. Menos frecuentes son las facies carbonatadas canalizadas consistentes en niveles masivos de potencia decimétrica-métrica de calcarenitas areniscosas, con base erosiva, gradación textural y granulométrica positiva, y estratificación cruzada sigmodial y bimodal.

Las facies de baja energía están representadas por mudstones - wackestones tableados con eventuales intercalaciones margosas cuyos aloquímicos corresponden a fragmentos de algas calcáreas, Miliólidos, intraclastos y escasos granos de cuarzo dispersos. Se interpretan como depósitos de plataforma somera interior lagoon carbonatado, en zonas protegidas por los complejos de barras.



---

Los análisis petrográficos recogidos de la documentación de la Hoja MAGNA a escala 1:50.000 de Sangüesa, indican que las calizas micríticas muestran porcentajes de aloquímicos en torno al 60% representados por bioclastos (40%) e intraclastos (20%), correspondiendo el 40% restante de la roca a micrita. Los términos más energéticos, de acuerdo con la información consultado son esencialmente bioclasticos alcanzando contenidos en fósiles de hasta el 99% de la roca.

Se dispone de determinaciones paleontológicas procedentes de la misma fuente de información que indican la existencia de *Distichoplax biserialis* (DIETRICH), *Microcodium elegans* (GLÜCK), *Alveolina* (*Glomalveolina*) aff. *Dachelensis*, SCHWAGER, *Rotalia* cf. *Trochidiformis*, LAM, *Desticleoplax* (DIETR.), *Litheothamnium*, *Miliolidos*, *Cebicidos*, Algas solenoporáreas y Coralarios. Por otra parte ROBADOR (1990), realiza un minucioso estudio en el Paleoceno e Ilerdiense de Salvatierra de Esca determinando las siguientes especies que caracterizan el Thanetiense superior: *Alveolina* (*Glomalveolina*) *primaeva*, pequeños *Rotálidos*, *Kathina* sp., *Miliolidos*, *Alveolina* (*Glomalveolina*) *levis*, *Alveolina* aff. *Dolioliformis*, *Alveolina* aff. *Aramaea*, *Alveolina* aff. *Avellana*, *Alveolina* aff. *Cucumiformis* y *Operbitolites gracilis*.

El Ilerdiense está formado por un intervalo calcáreo de unos 30 - 60 m de potencia superpuesto al Thanetiense del que resulta difícil diferenciar cartográficamente por su similitud litológica. La principal característica distintiva radica en el mayor contenido de Alveolinas, con frecuencia muy abundantes.

La sedimentación se desarrolla principalmente a partir de complejos de barras en plataforma carbonatada somera, que se reconocen como secuencias estrato y granocrecientes de calizas bioclásticas y calcarenitas con texturas de packstone - grainstone en la base y grainstone - rudstone a techo. Los principales aloquímicos son los bioclastos, pertenecientes mayoritariamente a Alveolinas, y en menor medida de fragmentos de algas calcáreas, bivalvos y otros foraminíferos. En la parte superior aparecen con frecuencia granos de cuarzo, y en ocasiones se distinguen láminas y lechos microconglomeráticos. Las estructuras tractivas consisten en laminaciones onduladas, ripples de oleaje, y estratificación cruzada de gran escala.

Localmente pueden reconocerse, en la base del Ilerdiense, margas y limolitas calcáreas grises de grano fino.

En la realización de las Hojas MAGNA de Sigüés (175) y Sangüesa (174) se distinguieron las siguientes especies características del Ilerdiense medio: *Alveolina aragonensis* (HOTT.), *A. (Glomalveolina) lepídula* (SCHWAG.), *A. Subpirenaica* (LEHM.), *A. Cf. Pisiformis* (HOTT.), *A. Moussoulensis* (HOTT.), *A. Leupoldi* (HOTT.), *A. Rotundata* (HOTT.), *Operbitolites biplanus* (LEHM.), *Operculina canalífera* (D'ARCH.), *O. Subgranulosa* (D'ORB.), *Nummulites* (gr. *Glóbulus*) y *Nummulites* sp..

La fauna del Ilerdiense determinada por ROBADOR (1990) en Salvatierra de Esca es la siguiente: *Alveolina dolioliformis*, *A. Aramaea*, *A. Avellana*, *A. (Glomalveolina) lepídula*, *A. (G.) pilula*, *A. (G.) subtilis* y *Operbitolites grácilis* que se han enmarcado en las biozonas de *A. Cucumiformis* y *A. Ellipsoidallis*, características del Ilerdiense inferior y medio.

### 2.2.2. Eoceno

Exceptuando los términos calcáreos de Luteciense inferior y las Calizas con Alveolinas del Ilerdiense que se han descrito de forma conjunta con el Thanetiense, el Eoceno se presenta en facies esencialmente margosas con intercalaciones minoritarias carbonatadas y areniscosas de carácter turbidítico definiendo contextos de plataforma prodeltaica, talud y cuenca con rasgos pelágicos.

Desde el punto de vista estratigráfico se diferencian cinco conjuntos deposicionales principales que de muro a techo corresponden a:

A. Cuisiense superior - Luteciense inferior. Está integrado principalmente por depósitos de calizas bioclásticas y calcarenitas (Fm. Calizas de Guara, unidad 215) que hacia el Norte pasan lateralmente a una serie margocalcárea correlativa con la unidad de Cotefablo del Grupo de Hecho (unidad 212).

B. Luteciense superior. Constituye un conjunto formado por depósitos margocalcáreos con frecuentes niveles desorganizados (unidad 253) dispuestos en marcada relación de on-lap sobre el conjunto anterior que hacia el Norte aumenta de potencia incrementando el contenido en términos margosas (unidad 254) e incluye olistolitos calcáreos de grandes dimensiones (unidad 259). Mas al Norte pasa a términos turbidíticos (unidad 253) de la unidad de Fiscal, pertenecientes al Grupo de Hecho.

C.Luteciense superior - Bartoniense. Está representado por una potente serie margosa con rasgos hemipelágicos (unidad 249) que intercala términos turbidíticos muy divididos (Flisch de Irurozki). A muro puede reconocerse un nivel olistostromico con estructura de Megaturbidita (unidad 247) asimilada a la MT7 de LABAUME (1983). A techo culmina con el nivel guía de Urroz-Lumbier, conocido en el sector como Limolitas de Urroz (unidad 263). Localmente puede presentar en la parte inferior, desarrollo de niveles desorganizados que integran bloques de carbonatos de las unidades eocenas infrayacentes.

D.Bartoniense - Priaboniense. Corresponde al conjunto de las Margas de Pamplonas.s.l.. Se divide en dos unidades secuenciales cuya individualización viene dada por la entrada de un tramo de características turbidíticas. De esta forma se distingue un conjunto inferior correspondiente a las Margas de Pamplona s.s.. (unidad 267), que en la Hoja de Pamplona (141) culmina con un nivel de plataforma deltaica conocido como Calcarenitas de Gazolaz o Areniscas de Cizur (PUIGDEFABREGAS, 1975). El conjunto superior está integrado de muro a techo por las turbiditas de Yesa, Gongolaz y Tabar (unidades 271 a 273) y Margas de Ilundain (unidad 274).

E.Priaboniense superior - Headoniense. Corresponde a la Fm. Guendulain y marca el tránsito de los ambientes marinos del Eoceno a la sedimentación continental del Oligoceno que se prolonga en la Cuenca del Ebro hasta el Neógeno. Está integrado de muro a techo por depósitos de sales cloruradas (Fm. Evaporítica de Navarra) que no afloran en la zona de estudio, Margas Fajeadas (unidad 278) y Areniscas de Liédena o Galat (unidades 279 y 280).

#### **2.2.2.1. Calizas ocre y grises de aspecto masivo. Calizas de Guara.(215). Cuisiense superior - Luteciense inferior**

Constituye un intervalo calcáreo de unos 100 m de potencia correlacionable con la Fm. Calizas de Guara (PUIGDEFABREGAS, 1975) y que equivale a la serie calcárea Luteciense de la Sierra de Alaiz (Hojas de Pamplona, 141 y Tafalla, 173).

Esencialmente está formado por un complejo de barras submareales en plataforma carbonatada somera destacando dos resaltes mayores principales. Las secuencias de barras presentan potencias decamétricas y están representadas por términos de packstone - grainstone bioturbado en la base que pasan en vertical a grainstones -

rudstones bioclásticos, con estratificación cruzada de muy gran escala dirigida hacia el NO. Los principales componentes aloquímicos son los Nummulites, distinguiéndose fragmentos de corales, algas calcáreas y otros foramníferos, y en algunos intervalos, abundantes granos de cuarzo.

Los análisis petrográficos realizados en la Hoja MAGNA a escala 1:50.000 de Sangüesa indican que los fósiles son los principales componentes aloquímicos presentando valores comprendidos entre el 80% y 40%, si bien los porcentajes más comunes se encuentran entre el 60 y 70%. El cuarzo aparece ocasionalmente como componente minoritario no superando el 5%. Los ortoquímicos se presentan en contenidos que oscilan normalmente entre el 30% y 40% de la roca distinguiéndose micrita y esparita en proporciones muy variables.

Las determinaciones paleontológicas ofrecen una dilatada lista de fauna característica del Luteciense inferior entre la que destaca: Alveolina levantina , HOTT, A. Gigantea, CHECC. - RISP., Nummulites cf. Batalleri, R. GAONA, N. Gr. Laevigatus, BRUH., N. Cf. Planulatus, LAM., N. Cf. Tavertetensis, CLAVEL y REGUANY, N. Cf. Millecaput, BOUBEE, Asterodiscus stallatis, BRUNN., Discocyclina sella, D'ARCH., Fabiania casis., OPPENH., Eorupertia magna LE CALV., Orbitolites complanatus, LAM., Miliólidos, Lithothamnium y Briozoos.

La unidad pasa hacia el Norte a facies margocalcáreas de margen de plataforma - talud que caracterizan el tránsito al surco turbidítico del Grupo de Hecho.

La base de la unidad está definida por una importante discontinuidad sedimentaria evidenciada por una laguna estratigráfica que comprende la parte alta del Ilerdiense y por lo menos el Cuisiense inferior.

A techo se localiza una discordancia marcada por la disposición en on - lap del conjunto margocalcáreo del Luteciense superior y por el desarrollo de una superficie de truncación y ferruginización en el contacto.

**2.2.2.2. Alternancia de margas y margocalizas y ocre. Ritmita. Nivel (212). Cuisiense superior. Luteciense inferior**

Forma un tramo de naturaleza margocalcárea que aumenta de potencia hacia el Norte pasando en este sentido, fuera de la zona de estudio, a términos turbidíticos del Grupo de Hecho. Por su posición estratigráfica debe corresponder a la Unidad de Cotefablo (REMACHA, 1983) que se encuentra entre la MT4 y MT5 (LABAUME et al. 1983). Hacia el sur disminuye de espesor y presenta una evidente relación lateral con los términos basales de la Fm. Calizas de Guara, hasta acuñarse totalmente.

Litológicamente, la unidad está representada por una alternancia rítmica entre margas y capas decimétricas de calizas margosas. Estas últimas corresponden texturalmente a wackestones micríticos margosos, con foraminíferos pelágicos. Son frecuentes los niveles desorganizados por procesos de desestabilización gravitacional, consistentes en slumping, debris - flow y mud - flow.

La unidad se enmarca en un medio de plataforma abierta - talud, constituyendo el tránsito entre el margen de la plataforma carbonatada de la Fm. Guara y el surco turbidítico del Grupo de Hecho.

**2.2.2.3. Calcarenitas, margas y margocalizas ocre. Nivel (253). Luteciense superior**

Presenta un contacto discordante con las calizas de la Fm. Guara sobre la que se dispone en relación de on-lap. Define un intervalo carbonatado de unos 50 - 60 m de potencia máxima que se adelgaza hacia el Sur donde se presenta como una serie condensada de unos 5 m de espesor.

Litológicamente la unidad está representada por calizas arcillosas y calcarenitas de grano fino, con frecuencia nodulizadas, que intercalan niveles desorganizados del tipo debris - flow y alternan por tramos con margas calcáreas. Texturalmente dominan los niveles de wackestones y mudstones arcillosos con cuarzo, intraclastos y foraminíferos pelágicos como principales componentes aloquímicos. Es característica la presencia de sulfuros metálicos y glauconita como accesorios. El contenido en restos carbonosos es notable en todos los términos de la unidad lo que le confiere un característico tono gris oscuro.

Los niveles desorganizados están desarrollados generalmente a partir de los propios depósitos de la unidad, no obstante pueden incorporar de forma dispersa elementos precedentes de la Fm. Guara.

La serie condensada desarrollada en los sectores más meridionales se caracteriza por la abundancia de glauconita y sulfuros metálicos oxidados. Litológicamente consiste en calizas micríticas arcillosas y calcarenitas bioclásticas de grano fino ferruginosos sobre los que se realizaron análisis petrográficos y paleontológicos en el marco de la cartografía MAGNA de la Hoja 1:50.000 de Sangüesa.

Los resultados obtenidos indican contenidos de aloquímicos en torno al 50% con fósiles como principales componentes (25-50%) y cuarzo minoritario (5-10%). La glauconita alcanza valores del 5% y los ortoquímicos están representados por micrita (40-60%). Las arcillas pueden presentar registros de hasta el 10% en las calizas margosas.

Las determinaciones paleontológicas marcan una edad de Luteciense superior para la unidad habiéndose reconocido: Nummulites cf. Atúricus JULY y LEYM, Discocyclina sella (D'ARCH) y Discocyclina nummulítica (CUMB.)

Desde el punto de vista ambiental se sitúa en un medio de margen de plataforma - talud por sus características lito y sedimentológicas.

#### **2.2.2.4. Margas y margocalizas con niveles de brechas y slumps (unidad 254) y Calizas ocre y grises. Olistolito (unidad 259). Luteciense superior**

Constituye el equivalente hacia el norte de la unidad anterior junto con la que se atribuye a la Fm. Arro (PUIGDEFABREGAS, 1975) denominación tomada del Grupo Arro-Lumbier de MUTTI et al., 1972. Está constituido por margas de color gris oscuro alternando con niveles decimétricos de calizas margosas y alcanza una potencia próxima a los 100 m. Los niveles calcáreos presentan texturas de tipo wackestone margoso con intraclastos, granos de cuarzo y bioclastos (foraminíferos planctónicos generalmente), sulfuros metálicos y ocasionalmente glauconita. Todo el conjunto se encuentra intensamente afectado por procesos de slumping observándose cicatrices de extensión deca-hectométrica.

En términos generales los fenómenos gravitacionales movilizan materiales de la propia unidad, no obstante es frecuente la incorporación de Nummulites al depósito, generalmente silicificados, y de elementos clásticos procedentes de la desestabilización de la plataforma carbonatada del Luteciense inferior, que en la Foz de Arbayún alcanzan una espectacular expresión, apareciendo un bloque calcáreo de grandes dimensiones (unidad 259).

La unidad presenta en conjunto una carbonatación progresiva hacia el techo donde los niveles calcáreos predominan sobre los margosos. Ambientalmente se enmarca claramente, por la profusión de procesos gravitacionales, en un contexto de talud carbonático.

#### **2.2.2.5. Margas margocalizas, calizas resedimentadas y calcarenitas. Megaturbiditas.(247). Luteciense superior**

Entre los conjuntos margocalcáreos del Luteciense superior (Grupo Erro) y del Luteciense superior . Bartonense se reconocen una megaturbidita que alcanza un gran desarrollo en la Hoja de Aoiz (142), correspondiendo a la MT7 o de Artesa (LABAUME et al., 1983) equivalente a la MC7 de TEIXELL, (1992) y MGT de Irotz (PAYROS et al., 1979).

En la zona de estudio, su espesor es de menos de 10 m por acuñamiento hacia la sierra de Leyre. No obstante mantiene los tres términos blásicos de las megacapas carbonáticas del Grupo de Hecho (LABAUME et al., 1983). El término basal presenta un desarrollo intermitente y está caracterizado por la presencia de clastos y bloques aislados procedentes de las plataformas carbonatadas del Luteciense inferior. El término intermedio posee una potencia media de unos 5 m y está constituido por depósitos desorganizados margocalcáreos del Grupo Arro. El término superior está representado por una capa gradada de calcarenitas y areniscas calcáreas de 0,5 - 1 m de potencia, con cantos blandos y acumulo de Nummulites silicificados en la base, estratificación paralela y convulucionado en la parte media y cosets de climbing-ripples a techo. El nivel calcarenítico-areniscoso se encuentra intensamente afectado por procesos de fluidificación, circunstancia que dificulta en buen medida su observación.

#### **2.2.2.6. Margas y margocalizas grises con algunas intercalaciones de areniscas (turbiditas) y niveles de brechas y**

---

**cantos en la base. Irurozqui.(249). Luteciense superior -  
Bartoniense**

Configura una potente serie de margas y margas calcáreas que intercala, por tramos, delgados niveles de turbiditas. Recibe la denominación de Flysch margoso de Irurozqui (PUIGDEFABREGAS, 1975). Alcanza una potencia de más de 450 m al Norte, adelgazándose hacia el Sur donde incorpora niveles desorganizados con bloques carbonatados procedentes de las unidades infrayacentes (Grupo Arro y Fm. Guara).

La única puede subdividirse en tres intervalos: El tramo inferior tiene una potencia de 50 - 100 m y está compuesto por ciclos de carbonatación de rango métrico integrados por margas masivas en la base y alternancia decimétrica con margas calcáreas a techo interpretándose como ciclos de somerización en medios de plataforma abierta con rasgos pelágicos. Eventualmente se reconocen niveles con slumping y son muy escasas las capas de areniscas turbidíticas cuya potencia no sobrepasa los 2 cm. El tramo intermedio se caracteriza por contener abundantes capas centi-decimétricas de turbiditas terrígenas y por presentar un mayor contenido en margas calcáreas frente a las margas.

Las capas turbidíticas poseen escasa potencia, gran continuidad lateral, eventuales huellas de base, laminación paralela, grano medio-fino a fino-muy fino, y esporádicamente desarrollan el intervalo superior de cosets de ripples. Eventualmente se reconocen fenómenos de slumping que afectan principalmente a los términos margocálcareos. La potencia máxima del tramo intermedio en la zona de estudio es de unos 40-50 m y presenta un marcado acuñamiento bajo el pueblo de Usún. La presencia de niveles turbidíticos finos induce a considerar a este tramo como un complejo de facies de overbank ligado a extensos canales turbidíticos cuya presencia ha sido constatada en diversas localidades de la cuenca; Canales de Gracionepel (PUIGDEFABREGAS, 1975), complejo de Rapitán (REMACHA et al., 1987).

El tramo superior presenta características similares al inferior si bien incluye mayor número de intercalaciones turbidíticas, especialmente en la base, y en vertical se hace más margoso. Pasa transicionalmente hacia techo al nivel de Limolitas de Urroz por lo que presenta una tendencia somerizante manifestada por el desarrollo de facies de basin-plain en la base y prodeltaicas a techo. Su potencia máxima puede superar los



250 m. Integrado por PUIGDEFABREGAS, 1975 dentro del Irurozqui, la parte superior margosa presenta por sus características estratigráficas y sedimentológicas, analogías evidentes con la Fm. Margas de Larrés (REMACHA et al., 1987).

El conjunto es rico en especies de foraminíferos esencialmente plantónicos. En la Hoja MAGNA a escala 1:50.000 de Sangüesa se citan: *Textularia speyeri* REUSS, *Textularia adalta* CUSHM., *Ungerina coacaena* BUMB., *Ellipsonodosaria verneuili* (D'ORB.), *Thitaxilina pupa*(GUMB.), *Bulimina truncana* GUMB., *Bolivina nobilis*HANTK., *Plectina cocenica* CUSHM., *Globigerina senni* (BECKM.), G. WINZ. y APPLIN, G. Cf. *Trilocularis* D'ORB, G. *venezuelana* HEDBERG., G. *Parva* BOLLI (en tramos altos), *Hastigerina* (COLE), *Globigerapsis kugleri* BOLLI, LOEBL. y TAPPAN., *Globorotalia bullbrook* BOLLI, G. *spinulosa* (BANDY), G. *Centralis* CUSHM y BERM, *Truncorotaloides rohri* BRONN y BERM., *Globorotaloides suteri* BOLLI, *Catapsidrax echinatus* BOLLI, *Vulvulina nummulina* (GUMB.), *Marginulina fragaria* GUMB, *Gyroidina guayabalensis* (COLE), *Cibicides carrascalensis* COLOM, *Cibicides* cf. *pseudonugerianus* CUSHM., que caracterizan el Luteciense superior - Bartoniense inferior

#### **2.2.2.7. Margas, margocalizas y limolitas. Nivel de Urroz.(263). Luteciense superior - Bartoniense**

El nivel de Limolitas de Urroz (PUIGDEFABREGAS, 1975), está compuesto por ciclos de orden métrico de margas a limolitas calcáreo-margosas con glauconita, intensamente bioturbadas, que se organizan en tres secuencias negativas mayores de potencia decamétrica.

Presenta un contacto transicional con la unidad infrayacente caracterizando los términos de progradación del sistema prodeltaico en medios de plataforma abierta.

Hacia el Sur posee un carácter más arenoso intercalando niveles de limolitas areniscas muy ricas en glauconita. Esporádicamente se reconocen lentejones de areniscas con pequeños cantos de calizas y acumulaciones de Nummulites. El nivel de Urroz manifiesta una gran continuidad en la cuenca de Jaca - Pamplona, relacionándose lateralmente con la Arenisca de Sabiñánigo (PUIGDEFABREGAS, 1975) y se sitúa en un contexto de plataforma deltaica distal.

En la Hoja MAGNA nº 174. Sangüesa se realizaron determinaciones paleontológicas que pusieron de manifiesto la semejanza de las asociaciones faunísticas con la de la unidad precedente. Destaca la presencia de una asociación típica del Bartonense caracterizada por: *Vulvulina pectinata mexicana* NUTT., *Cebicides carrascalensis* COLOM., *C. granosus* (REUSS), *C. sassei* COLE., *Karreriella halkyardi* CUSHM., *Tritaxilina pupa* (COLE), *Marginulina fragaria* GUMB., *Usigerina cf. hautkeni* CUSHM., y EDW., *Eponides ovachitaensis* HOWE y WALL., *Ammobaculites hockleyensis* CUSHM, y APPLIBN. *Globigerina parra* BOLLI, *G. venezolana* HEDBERG, *G. senni* (BECKM.), *Hastigerina micra* (COLE), *Globorotalia centralis* CUSHM y BERM., *Catapsidrax unicavus* BOLLI, LOEBL. y TAPPAN y *Globigerapsis index* (FINLAY)

#### **2.2.2.8. Margas grises. Margas de Pamplona. (267). Bartonense**

Corresponde esta unidad a un potente conjunto margoso muy característico delimitado a muro por el nivel de Urroz y a techo por la entrada de las turbiditas de Gongolaz y de Yesa.

Aflora en el cuadrante noroccidental de la Hoja en la denominada depresión de Lumbier, así como al Sur de la Sierra de Leyre, en los alrededores de Yesa. Los afloramientos suelen ser puntuales ya que con frecuencia se encuentran enmascarados por depósitos cuaternarios

Su potencia puede superar en algunos puntos los 700 m si bien es difícil de precisar debido a su homogeneidad litológica. Generalmente el conjunto se organiza en secuencias de somerización de orden deca métrico constituidas por margas grises masivas que en vertical incorporan términos de margas calcáreas, a veces nodulosas o limolitas calcáreas margosas. A techo de las secuencias, se desarrollan eventualmente superficies ferruginosas de interrupción sedimentaria y de condensación de fauna con abundantes serpúlidos, bivalvos, Equinodermos, Gasterópodos, Briozoos, Corales y Foraminíferos plantónicos y bentónicos.

Los análisis petrológicos de estas margas, ofrecen valores de un 84% de minerales de arcilla y la calcita, representa un 3%, consistiendo en bioclastos, cuyo tamaño oscila entre 0,05 y 0,5 mm de microforaminíferos, Miliólidos y Globigerinas: Los opacos son el 3% y se presentan en tamaños comprendidos entre 0,02 y 0,25 mm, el cuarzo un

10% de tamaño entre 0,05 y 0,07 mm, con micas se encuentran en un porcentaje menor al 1%.

Los análisis mineralógicos, han determinado un porcentaje de cuarzo que oscila entre el 15-17%, de calcita entre 40 y 51%, de illita entre el 20 y 40%, caolinita entre el 5 y el 12%, attapulgita con el 13% como máximo y ankerita el 6% como máximo.

Los estudios micropaleontológicos han determinado gran cantidad de fauna, entre ella: *Textularia recta* CUSHM. *T. Adalta* (CUSHM), *t. Speyeri* REUSS, *Gaudryuina quadrilatera* CUSHM, *Tritaxilina pupa* (GUMB), *Gyroidina guayabalensis* (COLE), *Chilostonella cylindroides* REUSS, *Nodosaria hermanni* ANDR, *Valunlina nummulina* (GUMB), *Cibicides pseudoungerianus* CUSHM, *Eponides quachitaensis* HOWE y WALL, *Globigerina senni* (BECKM), *G. Eocena* GUMB, *G. Parva* BOLLI.

La presencia característica de *Globigerapsis kiglori* BL&T., *Hastigerina micra*, COLE y *Lenticulina* sp., constatada por BROUWER et LA HAYA (1973-74), asociación que presenta un porcentaje superior al 75% en formas planctónicas, permite la asignación al Bartonense.

Desde el punto de vista paleogeográfico, las Margas de Pamplona constituyen el equivalente en facies prodeltaicas de la Fm. Belsue-Atarés (PUIGDEFABREGAS, 1975) que se desarrolla al SE representando los términos de frente deltaico del sistema. Términos análogos a la Fm. Belsue - Atarés han sido reconocidos recientemente en la Hoja de Pamplona (141), donde se conocen como Areniscas de Cizur o Calcarenitas de Gazolaz, indicando el desarrollo de aparatos deltaicos de manifiesta procedencia meridional.

**2.2.2.9. Margas grises con algunas intercalaciones de areniscas. (271). Alternancia de areniscas ocreas y lutitas, (272) "Turbiditas de Gongolaz y Yesa". Bartonense - Priabonense inferior**

Afloran estas dos unidades en los alrededores de Yesa, donde se encuentra ampliamente desarrollada así como en el ángulo noroccidental de la Hoja, en las proximidades de Tabar. Los mejores cortes, aunque parciales se tienen en las proximidades del pantano de Yesa así como también en la carretera que desde esta población va a Sangüesa

Este conjunto de unidades corresponde a un intervalo de carácter turbidítico que en el sector del sinclinal de Izaga constituye el criterio de separación entre las Margas de Pamplona s.s y las Margas de Ilundain, mientras que en el ámbito de Yesa se encuentra inmediatamente por debajo de la Fm. Guendulain.

Existe un notable número de estudios que hacen referencia al complejo turbidítico (CHAVEZ 1986; LEON, 1975; ADARO, 1988, PUIGDEFABREGAS, 1975 entre otros), en los que se proponen distintas denominaciones: Turbiditas de Gongolaz, Tabar y Tajonar, Turbidita de Izaga, canales de Gonzalaz y Tabar, Flysch de Tajonar, para los depósitos turbidíticos existentes en el Sinclinal de Izaga, mientras que se mantiene comúnmente el término de Turbiditas o Flysch de Yesa para los materiales turbidíticos desarrollados en el entorno de esta localidad.

El complejo turbidítico alcanza unos 400 m de potencia en la Sierra de Tabar (sector oriental del Sinclinal de Izaga). Las paleocorrientes registradas indican una expansión del sistema turbidítico hacia el O.NO. En el sector de Yesa se estima un espesor de unos 100 -150 m. Las lecturas de las paleocorrientes ofrecen valores dirigidos hacia el S.SO.

Se organiza en conjunto en un ciclo negativo con desarrollo de turbiditas diluidas en la parte inferior (unidad 271), con alta proporción en margas frente a niveles de areniscas. Las facies turbidíticas diluidas se interpretan como depósitos de over-bank distales ligados a sistemas con amplio desarrollo de facies canalizadas. Las capas de areniscas presentan tamaños de grano de fino a muy fino, potencias de orden centimétrico y desarrollan únicamente los términos superiores de las secuencias de Bouma.

La parte media a superior del complejo turbidítico está caracterizada por una alternancia rítmica entre pelitas grises y areniscas (unidad 272), con incremento progresivo en areniscas hacia techo (de  $\square$  50% a > 75%). La sedimentación de este intervalo se articula a partir de canales turbidíticos menores, facies de over - bank asociadas y lóbulos. Los canales turbidíticos menores presentan potencia de orden métrico y extensión lateral decamétrica - hectométrica. Están representados por secuencias estratodecrecientes integradas por capas amalgamadas de areniscas de grano grueso a fino con granuclasificación positiva, lag de cantos blandos y huellas de

corriente en la base. Con frecuencia se desarrollan en sus márgenes, depósitos desorganizados (slumping y debris - flow).

Los depósitos de over-bank constituyen alternancias rítmicas entre pelitas grises y niveles tabulares de areniscas de grano medio a muy fino de potencia centi-decimétrica. Estos presentan granuclasificación positiva moderada, laminación paralela, climbing ripples, escapes de fluidos y fenómenos de deformación por carga de pequeña envergadura.

Las formas asimiladas a lóbulos se reconocen como secuencias estratocrecientes de potencia métrica representadas por alternancias entre areniscas de grano fino y pelitas en la base y por capas tabulares amalgamadas de areniscas de grano grueso - medio a fino que presentan secuencias de Bouma bastante completas. Se interpretan como lóbulos ligados a la desembocadura de los canales turbidíticos y se deduce un radio de expansión moderado, de orden hectométrico.

Litológicamente las areniscas muestran un grado de selección medio-alto, se encuentran bien cementados y los componentes clásticos consisten principalmente en granos de cuarzo y bioclastos (foraminíferos planctónicos y bentónicos, restos de briozoos, corales, bivalvos, gasterópodos y fragmentos vegetales).

En los estudios analíticos realizados por LEON, (1985) sobre los niveles de areniscas de las facies turbidíticas de Izaga, se registran contenidos del 60% en granos de cuarzo con tamaños comprendidos entre 100 y 400  $\mu$ , 5% en feldespatos y litoclastos calcáreos, 20% en bioclastos y 15% de ortoquímicos representados casi exclusivamente por micrita. En las areniscas más bioclásticas, puede aumentar considerablemente el contenido en bioclastos, incorporando pellets hasta el 15%, y se registra un incremento en ortoquímicos (35-45%), mientras que los componentes terrígenos raramente superan valores del 20%.

La turbiditas de Yesa han sido caracterizadas petro y mineralógicamente por CHAVEZ, 1986. El principal componente aloquímico corresponde a granos de cuarzo subangulosos (30-40%) de tamaño comprendido entre 0,1 y 0,2 mm, seguido por los bioclastos (15-30%) y litoclastos e intraclastos calcáreos (5%), mientras que los feldespatos están presentes en proporciones inferiores al 1%. Los ortoquímicos aparecen en contenidos del 40-50% correspondiendo esencialmente a micrita.

Las pelitas grises que alternan con las areniscas muestran una asociación de minerales de arcilla compuesta por un 60% de illita, 10% en caolinita, 5% en clorita y 25% en interestratificados (illita clorita).

Las determinaciones paleontológicas muestran una asociación riquísima en foraminíferos bentónicos, en general resedimentados representados principalmente por Nummolites Discocyclinas y Miliólidos, mientras que las formas pelágicas corresponden principalmente a Globigerínidos. Entre estos últimos destaca la presencia de *G. Cerroazulensis* (COLE), *G. ceperoensis angustiambilicata* (BOLLI) y *G. Rohri* (BOLLI), que caracterizan el Priaboniense inferior.

#### **2.2.2.10. Margas y lutitas rojas con pequeñas intercalaciones de areniscas. Margas Fajeadas.(278). Priaboniense superior**

Afloran en el sector central de la Hoja, concretamente en los valles del Irati y Aragon segun una direccion E-O como una estrecha banda y de forma paralela a la falla de Loiti, encontrandose en contacto en distintas ocasiones con dicho accidente

Los mejores puntos de observacion y/o cortes se tienen en la carretera de Yesa a Javier, cerca de la piscifactoria y en la pista de Liédena a la Foz de Lumbier

Corresponde esta unidad en afloramiento, al término inferior, de la Fm. Guendulain (PUIGDEFABREGAS, 1975).

Litológicamente consiste en lutitas rojas y lutitas margosas grisáceas y gris-verdosas con intercalaciones milimétricas y centimétricas de limos ocre laminares y areniscas amarillentas en estratificación lenticular. Los términos lutíticos presentan un laminado rítmico de frecuencia milimétrica ocasionado por cambios periódicos del quimismo de la lámina de agua debido probablemente a variaciones estacionales, aspecto que le ha valido la denominación de Margas Fajeadas (PUIGDEFABREGAS y DEL VALLE, 1978).

En el subsuelo, se desarrollan, a muro de las Margas Fajeadas, depósitos de sales cloruradas sódicas y sódico-potásicas que definen la Fm. Evaporítica de Navarra (DEL VALLE, A., 1938) objeto de explotación en la cuenca de Pamplona hasta fecha muy reciente por la existencia de niveles de potasas.

La sucesión - tipo de la Fm. Evaporítica consta de los siguientes tramos característicos: Anhidrita basal, tramo halítico inferior, ciclos de silvinita-halita margosa, tramo halítico intermedio, ciclos de carnalita-halita-marga y tramo pelítico superior alternando con halita y anhidrita correspondiente parcialmente a las Margas Fajeadas. La formación evaporítica puede superar los 100 m de potencia de los que la mayor parte pertenecen al tramo pelítico superior. El intervalo con predominio de cloruros tiene una potencia en torno a los 25 m, y no aflora a causa de su gran solubilidad.

Las evidencias de sedimentación evaporítica en superficie consisten en moldes de cristales de halita en el seno de las lutitas rojas y grises de las Margas Fajeadas y existencia de niveles centimétricos de yeso con dolomita asociada que pueden presentar desarrollos enterolíticos.

Hacia techo, la unidad incrementa el contenido en niveles y lenticulos de areniscas pasando transicionalmente a las Areniscas de Liédena o Galar.

A partir de análisis mineralógicos efectuados por LEON, I (1985) se determina el predominio de illita, que supone el 65-70% de la facción arcillosa, la kaolinita está presente en un 10-15% y la clorita e interestratificados se reparten de forma equitativa en el 10% restante. Las calcimetrías indican que el contenido medio en CO<sub>3</sub>Ca es de un 40% incrementándose hasta un 50% en las pasadas de yeso.

Los análisis micropaleontológicos llevados a cabo por ROSELL, L. (1983) ponen de manifiesto la escasez de restos fósiles en estos materiales debido probablemente a la salinidad del medio de sedimentación. No obstante se han determinado asociaciones palinológicas propios de medios tropicales a subtropicales (*Lygodium*, *sapotaceae*, *Nyssa*, *Engelhardtia*, *Platycaria* y *Rhus*), y de contextos más templados (*Taxodiaceae*, *Restionaceae*, *Carya*, *Pterocaryam*, *Tiliaceae*, *Ulmaceae*, *Myricaceae*, *Betulaceae*, *Aceraceae*, *Pinaceae*, etc.) que revelan características afines a la flora existente a finales del Eoceno en la Cuenca de París.

La presencia de plantas de afinidad acuática, resistente a condiciones de considerable salinidad como, *Esparganiaceae*, *Milfordia*, *Eptedra*, *restionaceae* y *Aglaoreidia cyclops* confirmarían el desarrollo de lagunas o zonas pantanosas bajo condiciones de cierta aridez.

Por otra parte se han realizado estudios de nannoplancton que en términos generales han resultado estériles. Sin embargo debe destacarse el hallazgo en un único nivel de: Reticulofenestra umbilica (LEVIN), Nannotetrina sp., Chiasmolithus grandis (BRAMLETTE & RIEDEL), Chiasmolithus sp., Discoaster tani nodifer (BRAMLETTE & RIEDEL), Discoaster saipanensis (BRAMLETTE & RIEDEL), Discoaster barbadiensis (TAN SIN HOK), Sphenolithus radians (DEFLANDRE), Sphenolithuaf. furcatulithoides (LOCKER), Coccolithus eopelagicus (BRAMLETTE & RIEDEL), Cyclococcolithus formosus (KAMPTNER), Zycolithus dubius (DEFLANDRE), Zygrhablythus bijugatus (DEFLANDRE).

La asociación determinada parece indicar una edad de Bartonense, edad que no coincide con las atribuciones regionales, por lo que probablemente debe estar resedimentada.

El depósito de la formación evaporítica pone de manifiesto el confinamiento de la Cuenca de Pamplona a finales del Eoceno, sugiere un cambio climático a condiciones de marcada aridez y supone una pérdida de profundidad del agua y una tasa progresiva de evaporación con producción de salmueras cada vez más concentrada. Por el contrario, el desarrollo de las Margas Fajeadas marca sedimentológicamente, un estadio de dilución en la cuenca evaporítica por entrada de aguas continentales con aporte de material en suspensión, deduciéndose unas condiciones lagunares con variaciones notables de salinidad. Los medios salobres están representados por las pelitas con laminado milimétrico. Los episodios hipersalinos están evidenciados por la existencia de niveles de anhidrita.

La edad de la unidad se establece principalmente por su situación estratigráfica en el Priabonense superior, dado el escaso valor cronoestratigráfico que presenta su contenido fósil.

#### **2.2.2.11. Areniscas ocre y lutitas grises (279) y Areniscas ocre y lutitas rojas (280). Areniscas de Liédena. Priabonense superior - Headonense**

Los materiales aquí descritos afloran por encima de la unidad anterior dando lugar a un resalte morfológico perfectamente identificable en el paisaje. Afloran estas areniscas en distintos puntos de los sectores centrales de la Hoja.



Los mejores cortes se tienen, al igual que ocurría en el epigrafe anterior, en la carretera de Yesa a Javier y en la pista de Liédena a la Foz de Lumbier. También un buen corte de esta unidad se localiza en la pista forestal de El Castellon.

Las Areniscas de Liédena (MANGIN, 1959-60) o de Galar (DEL VALLE y PUIGDEFABREGAS, 1978) constituyen un intervalo de unos 100-150 m de potencia compuesto por areniscas ocre-amarillentas generalmente tableadas, y representan los últimos depósitos con influencia marina en la cuenca de antepaís surpirenaica.

Si bien su posición más común es a techo las Margas Fajeadas, pasan lateralmente a las anteriores sustituyéndolas totalmente en algunos casos. Litológicamente son arenas y areniscas micáceas de grano fino con delgados niveles de limos y margas. Presentan estratificación linsen, wavy y flaser, laminación cruzada planar y bimodal, ripples de oscilación y de corriente, huellas de desecación, escapes de fluidos, deformación hidroplástica, slumping y debris flow, y huellas de aves. Su aspecto más habitual es de un tableado centi a decimétrico en capas tabulares ligeramente gradadas con ripples a techo, que excepcionalmente presentan huellas de base, y lag de cantos blandos. Esporádicamente aparecen niveles métricos canalizados con estratificación cruzada y cantos blandos.

Cartográficamente se han distinguido dos intervalos (unidades 279 y 280) debido a las siguientes diferencias lito y sedimentológicas:

-El nivel 279 caracteriza la parte inferior de las Areniscas de Liédena. Está representado por areniscas tableadas que alternan por tramos con limos y lutitas margosas grises. Muestra un predominio de ripples de oscilación sobre el resto de estructuras sedimentológicas tractivas y configura en conjunto un ciclo negativo, siendo escasas las formas canalizadas. Se enmarca en un medio lagunar salobre en régimen intermareal - submareal con sedimentación bajo lámina de agua intermitente y en ocasiones bastante permanente.

-El nivel 280 se distingue del anterior por la presencia de términos lutíticos rojizos, predominio de ripples de corriente, desarrollo frecuente de formas canalizadas, existencia de trazas de yesos y organización conjunta estrato y granodecreciente. Se integra en un contexto intermareal - supramareal a supramareal y registra fuertes variaciones en la salinidad del medio.

Las Areniscas de Liédena se interpretan como depósitos deltaicos en medios lagunares sometidos a un régimen esencialmente intermareal. Las capas tabulares indican cierta turbidez en la sedimentación y los cuerpos canalizados se interpretan como colectores principales del flujo y emisarios de materiales a la cuenca lagunar.

Si bien el complejo sedimentario de la Fm. Guendulain, se desarrolla en una cuenca confinada, la influencia marina está demostrada en todo el conjunto. Es necesaria la comunicación con el mar para ser posible la regeneración de las salmueras que originan los depósitos evaporíticos y los términos detríticos superiores muestran rasgos mareales.

Los análisis petrográficos llevados a cabo por LEON, I. (1985) indican que en las areniscas, los elementos detríticos suponen el 65% de la roca y consisten esencialmente en granos de cuarzo de tamaño medio a fino (50-150  $\mu$  a 150-300  $\mu$ ) y en menor medida, litoclastos calcáreos, cuarcitas, plagioclasas y micas. Los bioclastos están presentes en un 5% correspondiendo a foraminíferos resedimentados (Miliólidos) radiolarios y fragmentos vegetales. El cemento es calcáreo y registra valores de un 30%.

En las lutitas el contenido en carbonatos alcanza registros del 30%, incluyendo bioclastos hasta un 5% y micas y óxidos de hierro como accesorios (hasta un 10%). El cortejo arcilloso muestra respecto a las Margas Fajeadas, un incremento notable en caolinita (10-30%), si bien la illita sigue siendo el mineral arcilloso predominante (50-70%) y la clorita e interestratificados mantienen los valores registrados (en torno al % en ambos casos).

En la Hoja MAGNA a escala 1:50.000 nº 174 Sangüesa se ha determinado la presencia de (*Cyrogona*, cf. *wrighti* (REID y GRAVES), *Harrichara tuberculata* (LYELL), *Rabdochara stockmansi* (GRAMB.) y *Stehanochara* sp. que es una asociación propia del Oligoceno inferior. Este dato contrasta con las atribuciones cronoestratigráficas modernas que tienden a situar el complejo evaporítico lagunar presente en la cuenca de antepaís surpirenaica (Fm. de Cardona, en la cuenca evaporítica catalana y Fm. Guendulain en Navarra) en el Priaboniense superior. Por estos motivos y principalmente por su posición estratigráfica, se atribuye una edad de Priaboniense superior - Headoniense a las Areniscas de Liédena.

### **2.2.3. Análisis secuencial y paleogeográfico del Paleógeno marino (Paleoceno-Eoceno)**

A grandes rasgos, la sucesión del Paleoceno - Eoceno en la zona de estudio se divide en, una parte inferior carbonatada de edad Paleoceno - Luteciense inferior y una potente serie esencialmente margosa que culmina a finales del Eoceno con depósitos evaporíticos y areniscosos.

Los términos calcáreos inferiores (Paleoceno - Luteciense) corresponden a plataformas carbonatadas desarrolladas en el margen meridional de la cuenca de Pamplona. El espacio estratigráfico comprendido entre el Ilerdiense y el Luteciense, se encuentra representado, hacia el Norte de la cuenca, por una potente serie turbidítica, conocida a grandes rasgos como Flysch eoceno (SOLER y PUIGDEFÁBREGAS, 1970) y que es equivalente al Grupo de Hecho (MUTTI et al., 1972). Se han diferenciado cuatro conjunto carbonatados limitados por rupturas sedimentarias, de muro techo son: Daniense a Thanetiense inferior, Thanetiense superior- Ilerdiense y Luteciense inferior - medio.

La sucesión esencialmente margosa del Luteciense medio - superior a Priaboniense se ha dividido en tres grupos secuenciales correspondientes a los intervalos del Luteciense superior (unidad de Arro-fiscal), Luteciense superior - Bartonense (Iruozqui, Margas de Larrés y nivel de Urroz), y Bartonense - Priaboniense (Margas de Pamplona), si bien los dos últimos grupos pueden subdividirse respectivamente en dos unidades secuenciales menores.

La Fm. Guendulain, del Priaboniense superior, se trata de forma individualizada en su estudio secuencial y paleogeográfico.

.Daniense a Thanetiense inferior

Representa los términos basales de la transgresión paleocena. Se dispone probablemente mediante una superficie de truncación sobre el Garumniense en relación de on-lap hacia el este y directamente sobre el Cretácico superior hacia el oeste y noroeste. Presenta en conjunto una tendencia somerizante no muy marcada que se manifiesta por un incremento gradual de la granulometría e incorporación progresiva de componentes terrígenos al depósito.

### .Thanetiense superior

El Thanetiense superior se presenta en facies de plataforma mixta somera. El contacto con el Dano-Montiense y Thanetiense inferior está determinado por el contacto dolomías/calizas y por la progradación local de términos clásticos en la base. El conjunto del Thanetiense superior, representado esencialmente por complejos de barras carbonatadas submareales, se organiza en varias secuencias de somerización de varias decenas de metros. El contacto con el Ilerdiense está remarcado localmente por una superficie de alteración con posibles rasgos paleokársticos.

### .Ilerdiense

El Ilerdiense está representado por facies carbonatadas organizadas en secuencias de barras bioclásticas litorales. En conjunto configuran una secuencia global de somerización. Hacia el norte pasan a facies margocalcáreas de margen de plataforma y prodeltaicas (Fm. Margas de Millaris, VAN DE VELDE, 1967).

El contacto con la unidad suprayacente está marcado por una importante discontinuidad sedimentaria responsable de una laguna sedimentaria que comprende el Ilerdiense superior y la mayor parte del Cuisiense.

### .Luteciense inferior

Corresponde a la Fm. Calizas de Guara integrada por facies carbonatadas de plataforma somera. Se distinguen dos secuencias mayores de somerización y hacia el norte disminuye de potencia y empieza a incorporar en la base, términos margocalcáreos de margen de plataforma. En sectores más septentrionales, fuera de la zona estudiada pasa a depósitos pelíticos de talud y a complejos turbidíticos correspondientes probablemente a la unidad de Cotefablo (REMACHA, 1983) comprendida entre las megacapas carbonáticas MT4 y MT5 de LABAUME et al (1983).

El límite superior está evidenciado por el on-lap hacia el margen meridional de la cuenca de diferentes unidades margosas suprayacentes y por una superficie de alteración sobre las calizas de la Fm. Guara.

#### .Luteciense superior

Constituye la primera de las unidades margosas, que se disponen en relación de on-lap sobre la serie carbonatada de la Sierra de Leyre, adelgazándose hacia el sur en las proximidades de Lumbier. Está representada mayoritariamente en la zona estudiada por facies margocalcáreas desorganizadas propias de un medio de talud, que configuran una secuencia general de somerización evidenciada por un mayor desarrollo de términos carbonatados a techo. Incorpora, en la Foz de Arbayun, bloques calcáreos de grandes dimensiones que podrían correlacionarse tentativamente con la MT6 o de Fago (LABAUME et al., 1983). Hacia el norte pasa a facies turbidíticas pertenecientes a la unidad de Fiscal, que se encuentra comprendida entre las megaturbiditas MT5 y MT7 (LABAUME et al., 1983).

#### .Luteciense superior - Bartoniense

Corresponde a un conjunto margoso con intercalaciones de turbiditas diluidas (Irurozqui) que termina con el nivel de Limolitas de Urroz. Su límite inferior está caracterizado por la aparición de la MT7. En conjunto muestra una clara relación de on-lap hacia el sur.

El conjunto se subdivide en dos secuencias limitadas por el intervalo con mayor desarrollo de facies turbidíticas. La secuencia inferior no presenta una organización secuencial definida y está integrada por ciclos menores de somerización en medios de plataforma abierta con rasgos pelágicos. El ciclo superior muestra un contacto relativamente neto con el anterior y constituye una unidad secuencial muy completa con desarrollo de facies turbidíticas en la base ligadas a complejos de canales turbidíticos (complejo de Rapián) experimenta una progresiva dilución en vertical dando paso a depósitos pelíticos prodeltaicos (Fm. Larrés) y termina con el desarrollo de plataformas deltaicas distales (Limolitas de Urroz).

#### .Bartoniense - Priaboniense

El intervalo del Bartoniense - Priaboniense está representado por las facies prodeltaicas características de la Fm. Margas de Pamplona y depósitos turbidíticos asociados (Turbiditas de Yesa, Gonzolaz y Tabar). Se divide en dos conjuntos. El conjunto inferior corresponde a las Margas de Pamplona s.s. representado en la zona

---

estudiada íntegramente por facies pelíticas prodeltaicas. Se encuentra relacionado con el delta de Atarés que tiene su equivalente en la Hoja de Pamplona (141) en el nivel de Areniscas de Cizur (DEL VALLE y PUIGDEFABREGAS, 1978) a Calcarenitas de Gazolaz. El conjunto superior está constituido en su parte inferior por un complejo de canales turbidíticos imbricados encajados en las Margas de Pamplona y que presentan en conjunto una retrogradación progresiva por on-lap hacia el ESE. Los términos pelíticos de la secuencia corresponden a las Margas de Ilundain y están conectados genéticamente con las facies deltaicas de Martés - Villalangua. Es característico de la unidad el desarrollo a techo de depósitos pelíticos anóxicos.

.Priaboniense superior

Corresponde a la Fm. Guendulain. La formación evaporítica basal se asocia a una etapa de máximo confinamiento de la cuenca e implica una evidente caída de la lámina de agua. Lateralmente se relaciona con las Margas Fajeadas, distribuidas en zonas lagunares marginales con aporte episódico de agua dulce. El resto de la secuencia está compuesta por términos arenosos que indican un humedecimiento climático relativo y progradación hacia el sur del sistema deltaico lagunar, mostrando abundantes rasgos mareales y litorales.

### **2.3. Terciario Continental.**

El Terciario continental está representado en el área de estudio por una potente sucesión de varios miles de metros de potencia constituida esencialmente por depósitos de carácter aluvial. Cronoestratigráficamente abarca desde inicios del Oligoceno hasta el Mioceno inferior. Existe una gran diversidad de términos litostratigráficos propuestos por los diversos autores que han trabajado en la región, que en su mayor parte hacen referencia a conjuntos de facies sedimentarias o a sistemas alviales de distinta procedencia. La división estratigráfica más general propone tres grandes conjuntos deposicionales limitados entre sí por rupturas sedimentarias continuas. De muro a techo son: Fm. Javier ( LEON,1985), del Priaboniense terminal - Sueviense, Fm. Rocaforte ( LEON,1985 ) de edad de Sueviense superior - Arverniense , y, Fm. Uncastillo ( LEON ,1985 ) , asignada al Oligoceno terminal - Mioceno inferior- medio.

---

En conjunto, la cuenca terciaria presenta una migración mantenida hacia el Sur, de modo que las unidades más modernas se desarrollan en una posición progresivamente más meridional. El análisis de paleocorrientes y distribución de facies pone de manifiesto la procedencia nororiental y septentrional de los sistemas aluviales y el paso hacia el Oeste y Suroeste a ambientes lacustres salinos.

La Fm Javier corresponde en términos generales a la 2ª UTS definida en las hojas MAGNA de la región ( IGME, 1987 ). Está representada por facies aluviales distales al Este y pasa hacia el Oeste a términos más fangosos y carbonatados.( Facies de Zabalzalza, PUIGDEFABREGAS, 1975 )

La Fm. Rocaforte, equivale a la 3ª UTS definida en IGME ( 1987 ) y es subdivisible en detalle, en varias unidades secuenciales de menor orden. En la Cartografía Geológica a escala 1.200.000 de Navarra ( GOBIERNO DE NAVARRA, 1997 ) se distinguen tres unidades secuenciales representadas de muro a techo por las facies: a) Sangüesa, b) Cáseda - Eslava y c) Sos del Rey Católico, que constituyen términos litoestratigráficos tomados de SOLÉ SEDÓ ( 1972 ) y PUIGDEFABREGAS ( 1975 ). Para este conjunto de unidades, en la zona estudiada se verifica la confluencia de sistemas aluviales de procedencia oriental, y septentrional, desarrollándose en el sector de intersección facies más lutíticas.

El conjunto deposicional superior ( Fm. Uncastillo ) corresponde a la 4ª UTS, compuesta por las unidades de Gallipienzo - Artajona y Ujué ( ITGE, 1987 ). Se desarrolla al Sur del área de estudio, apareciendo términos conglomerático - arenicosos propios de ambientes aluviales más proximales y ligados a sistemas de procedencia norte. Según el criterio a PUIGDEFABREGAS (1975 ), IGME ( 1987 ) y GOBIERNO DE NAVARRA, ( 1997 ), se subdivide en dos secuencias marcadas por la entrada de los conglomerados de Gallipienzo en la base, y de Ujué en la parte alta.

A partir de los estudios realizados en la Cartografía a escala 1:25000 de las Hojas nº 174-I ( Aibar ), 174-II ( Lumbier ) , 174-III ( Cáseda ) y 174-IV ( Sangüesa ) se han distinguido un total de ocho ciclos sedimentarios que caracterizan la sucesión estratigráfica del Terciario Continental. Estos ciclos de muro a techo son:

a) Facies Javier ( Headoniense - Sueviense )

- b) Areniscas y lutitas de Sangüesa ( Sueveense - Arverniense inferior )
- c) Areniscas y lutitas de Rocaforte.Lutitas y areniscas de Ayesa, que integran las facies Eslava a muro y las arenicas de Abaiz a techo ( Arverniense inferior a superior)
- d) Areniscas y lutitas de Uzquita ( Arverniense superior )
- e) Areniscas y lutitas de San Zoilo (Arverniense superior- Ageniense )
- f) Conglomerados de Gallipienzo ( Ageniense )
- g) Conglomerados de la Sierra de San Pedro (Ageniense)
- h) Areniscas y lutitas de Ujué (Ageniense - Aragoniense inferior )

A continuacion se pasa a una descripcion de las unidades aflorantes en la Hoja.

### **2.3.1. Oligoceno**

#### **2.3.1.1. Alternancia irregular de lutitas rojas y ocre y areniscas con intercalaciones de calizas margosas (304) y Areniscas y lutitas rojas (305). "Areniscas y lutitas de Javier". Headoniense - Sueviense.**

Afloran estos materiales de forma preferente en el cuadrante suroriental de la Hoja en el entorno de la localidad de Javier, formando parte del cierre periclinal del sinclinal de Rocaforte.

Los puntos de observacion y/o cortes en la Hoja son muy numerosos y se tienen bien de forma parcial o continua en la carretera de Yesa a Javier, en los alrededores del Castillo de Javier y en la carretera a Sangüesa

La Fm. Javier constituye una sucesión lutítico - areniscosa de 1000 - 1500m de potencia desarrollada, en general, inmediatamente al Sur de la falla de Loiti. Al Este está representada predominantemente por facies de frente aluvial distal que reciben diversas denominaciones litoestratigráficas: Unidad de Areniscas y Margas de Javier (IGME, 1987 ), Facies de Javier - Pintano - Villalangua (PUIGDEFABREGAS, 1975 ) y



Fm. Los Pintanos ( CHAVEZ, 1986 ). Hacia el Oeste esta Fm. incorpora intervalos margosos y calcáreos correspondientes a ambientes charcustras y perilacustras, conociéndose como Unidad de Margas de Mués ( IGME, 1987 ), o Facies de Zabalza ( PUIGDEFABREGAS , 1975).

En posiciones más occidentales y meridionales, la Fm Javier pasa a terminos lacustras evaporíticos correspondientes a los Yesos de Undiano (PUIGDEFABREGAS,1975), o Unidad de Yesos de Añorbe ( IGME,1987 ). En el ámbito del área de estudio el cambio a facies evaporíticas hacia el Sur debe verificarse en el subsuelo, puesto que el sondeo Sangüesa-1 corta materiales lutítico-sulfatados situados en la parte inferior de la Fm. Javier.

El conjunto configura globalmente un ciclo de tendencia negativa de modo que los términos con mayor influencia lacustre y evaporítica aparecen en la base de la Fm. Atendiendo a un orden secuencial menor se distinguen, esencialmente en los sectores orientales de la zona de estudio, dos ciclos. El inferior presenta un mayor contraste ambiental de muro a techo apareciendo términos con influencia lacustre evaporítica en la base y facies aluviales representadas por canales amalgamados a techo. El superior desarrolla facies charcustras en la base y a techo está formado por facies aluviales de predominio lutítico con formas canalizadas aisladas.

Las paleocorrientes registradas marcan la distribución general a facies observada en afloramiento, dirigiéndose hacia el O.SO.

Desde el punto de vista cartográfico se han distinguido dos unidades a partir de sus diferencias litológicas y fotogeológicas. La unidad 304 corresponde al término general de la Fm. Javier definido por una alternancia heterogénea de lutitas, areniscas y eventualmente margas y calizas dando lugar a formas deprimidas en el relieve. La unidad 305 corresponde a niveles de mayor competencia, debida a un predominio de términos arenicosos, definiendo resaltes estructurales destacables en el terreno.

La caracterización petrográfica está basada en análisis efectuados por LEON,I (1985 ) y en IGME ( 1987 ). El primer autor determina una composición petrográfica para las areniscas integrada por un 40% de granos de cuarzo de tamaño medio - fino, 40% de litoclastos calcáreos y cuarcíticos, y 20% de cemento calcáreo. Para los términos lutíticos se define un cortejo mineralógico que respecto la fracción arcillosa está

---

caracterizado por: illita ( 50 - 75% ), caolinita ( 15 - 25% ), clorita ( 5 - 12% ) e interestratificados ( 5- 15% ) con aparición de motmorillonita de hasta el 25% en la parte inferior.

En la hoja MAGNA a escala 1:50.000 nº 174, Sangüesa ( IGME, 1987 ) los análisis petrográficos realizados sobre los areniscas reflejan los siguientes valores: 20 - 30% de granos de cuarzo, 0 - 5% de feldespato, 5 - 10% de clastos de sílex, 0 - 10% de fragmentos de cuarcitas, esquistos y pizarras, 0 - 10% granos ferruginosos, 25% - 50% litoclastos carbonáticos ( fragmentos de calizas y bioclastos ) y 20 - 30% de cemento carbonatado con frecuencia ferruginoso.

En campo se han distinguido los siguientes asociaciones de facies:

. Facies canalizadas. Están representadas por niveles de areniscas de potencia métrica generalmente aislados en lutitas, con una extensión lateral de varios decenas de metros, correspondientes a formas canalizadas de configuración sinuosa. Presentan bases erosivas, laminaciones cruzadas, superficies de acreción lateral y climbing ripples, normalmente desarrollan secuencias de relleno granodecrecientes y bioturbación pedogénica a techo.

Localmente pueden reconocerse tramos areniscosos de potencia decamétrica con una continuidad lateral de orden kilométrico generados por imbricación y amalgamación de cuerpos clásticos canalizados. Las formas canalizadas de baja sinuosidad son muy poco frecuentes. Constituyen formas de potencia métrica-decimétrica y escasa extensión lateral, presentando secuencias de relleno sencillas compuestas por uno o varios sets de láminas cruzadas.

.Depósitos de desbordamiento. Están constituidos por facies de overbank y lóbulos de crevasse splay . Aparecen como alternancias de niveles tabulares cm.-a dm de areniscas de grano medio a muy fino y lutitas, formando en ocasiones bancos tableados. Los depósitos de overbank presentan buena selección y abundantes estructuras sedimentarias: Estructuras de base, laminación paralela, convoluciones, escapes de fluídos, cosets de ripples , climbing ripples , burrows verticales, y a techo, huellas de desecación. Los niveles de crevasse muestran un mayor contenido en matriz, granoclasificación positiva; escasas laminaciones tractivas y un alto grado de bioturbación.

.Depósitos de sheet - flood. Constituyen cuerpos areniscos no canalizados de potencia métrica - decimétrica. Se distinguen de los depósitos de desbordamiento por su mayor potencia y fuerte variación granulométrica, presentado granoclasificación positiva de tamaño grano grueso a fino. Pueden desarrollar sets y cosets tabulares de estratificación cruzada. Se generan a partir de avenidas clásticas no confinadas en el frente aluvial, por flujos granulares laminares.

.Facies lutíticas aluviales. Suponen los depósitos mayoritarios de la Fm. Javier. Alternan con niveles areniscos o bien constituyen paquetes métricos homogéneos. Litológicamente consisten en lutitas ocreas más o menos bioturbadas, que intercalan con frecuencia horizontes rojizos asimilables a suelos rojos hidromórficos, constituyendo una de las principales características distintivas de la Fm. Javier.

. Facies charcustres y perilacustres. Están representadas por lutitas margosas grisáceas con decloraciones edáficas rojizas en intervalos decimétricos, que intercalan niveles carbonatados. Las capas de carbonatos presentan potencias centi-decimétricos y corresponden a calizas micríticas arcillosas nodulosas, y a calizas arenosas bioturbadas con estructuras tractivas, generalmente ripples de oscilación . Se interpretan como facies generadas por encharcamientos eventuales en orla perilacustre fangosa.

.Facies lacustres evaporíticas. Este tipo de facies aunque no afloran en la zona de estudio, se cortan en el sondeo Sangüesa-1 en la parte inferior de la Fm. Javier. Están representadas por margas y lutitas margosas y grises con niveles de anhidritas. Se enmarcan en un contexto de margen lutítico de lago salino.

Las determinaciones paleontológicas (IGME, 1987 ) caracterizan una asociación de Caròfitas constituida en la parte inferior, por *Harrisichara tuberculata* ( LYELL ), *Rhabdochara stockmansi* ( GNAMB ), *Stephanochara* sp., *Grovesiella* sp, *Chara* 11, *Sphaerochara* sp. probablemente del Headoniense. En la parte superior se ha reconocido, *Nitellopsis* (*teclochara* ) *merlani* ( LYN. & GRAMB ), *Harrisichara* sp , *Chara microcera*, *Psilochara* ct. *acuta*. (GRAM Y PAUL) y *Candona* sp que parecen indicar que la unidad alcanza una edad de Sueviense.

En base a los datos micropaleontológicos expuestos y de acuerdo con la posición estratigráfica de estos depósitos se establece para las unidades 304 y 305 una edad

de Headoniense - Sueviense. Areniscas y lutitas acres (306), Lutitas ocreas con algunas intercalaciones de areniscas (307), y Lutitas ocreas con intercalaciones de calizas margosas grises y margas (308). "Areniscas y lutitas de Sangüesa". Sueviense - Arverniense inferior.-

Se localizan estos materiales en el cuadrante suroccidental de la Hoja, conformando ambos flancos del sinclinal de Rocafort.

Los afloramientos de esta unidad son muy numerosos, si bien los mejores cortes para la unidad más inferior (unidad 306) se tienen en las proximidades de Sangüesa, junto a la carretera a Aibar o en las cercanías de Liédena. La unidad 307 presenta peores cortes, aunque se puede reconocer en el flanco norte del sinclinal, en el barranco de la Val, cerca de Rocafort. Finalmente la unidad 308 es fácilmente observable en el mismo paraje, cerca ya del río Aragón.

La unidad litoestratigráfica denominada informalmente en el presente trabajo como "Areniscas y lutitas de Sangüesa", está representada en la zona por un potente conjunto aluvial que supera en algunos puntos los 1000m de potencia. Configura de forma global un ciclo positivo con desarrollo de facies predominantemente areniscosas en la base (306) lutíticas a techo (307). Localmente, los términos lutíticos pueden incorporar niveles de origen lacustre- palustre (308).-

El contacto con las "Areniscas y lutitas de Javier" viene definido por la entrada brusca de los depósitos areniscosos de la unidad cartográfica 306 que marca un episodio de propagación aluvial hacia el Sur relacionado probablemente con un impulso en el margen septentrional de la cuenca.

A partir de la sedimentación de las "Areniscas y lutitas de Sangüesa" se establece una distribución paleogeográfica que se mantiene a grandes rasgos hasta finales del Oligoceno. Se distingue un sistema aluvial procedente del E y NE denominado Facies de Petilla, y otro sistema de procedencia septentrional desarrollado al Oeste. El área de interacción entre ambos sistemas se caracteriza por el predominio generalizado de términos lutíticos con eventuales desarrollos charcutres y perilacustres, correspondiendo a las facies de Cáeda - Sangüesa (PUIDEFABREGAS), que hacia el SO pasan por lo menos en parte a los yesos de Tafalla.

Las medidas de paleocorrientes refuerzan la reconstrucción paleogeográfica comentada, dirigiéndose hacia el O y OSO en el sistema de procedencia oriental, y hacia el S y SSO en el sistema procedente del Norte.

La unidad cartográfica 306 representa el primer resalte destacable de la sucesión del Terciario continental y alcanza una potencia máxima de unos 400m. Se encuentra bien desarrollada a ambos flancos del sinclinal de Rocaforte, adelgazándose por cambio lateral a facies lutíticas en el flanco septentrional del anticlinal de Aibar.

Litológicamente está compuesta por una alternancia de frecuencia métrica entre areniscas y lutitas ocre, siendo el rasgo más característico de la unidad el predominio de términos areniscos no canalizados asimilables a depósitos de overbank y sheet-flood, principalmente los paleocorrientes ofrecen lecturas dirigidas esencialmente hacia el SSO.

La unidad 307 se superpone a la anterior (306) con la que presenta en parte un cambio lateral de facies. Constituye un intervalo esencialmente lutítico de unos 600 m de potencia bien definido a ambos flancos del sindinal de Rocaforte por encontrarse entre los dos resaltes principales configurados por unidades areniscosas de mayor competencia. Litológicamente está constituida por lutitas rojizas que intercalan niveles de areniscas, por lo general, de morfología tabular y eventualmente incorporan formas canalizadas.

Localmente y definiendo un tramo de tránsito entre las unidades 306 y 307, se reconocen intervalos con lutitas margosas y calizas (308), indicando en conjunto un ambiente de frente lutítico aluvial con eventuales desarrollados charcutres y perilacustres.

La descripción sistemática de facies se refiere a todo el conjunto de las "Areniscas y lutitas de Sangüesa), y en ella se han distinguido las siguientes asociaciones:

-Facies canalizadas. Constituyen niveles de potencia métrica de areniscos de granos medio-grueso a fino. Predominan y configuraciones de alta sinuosidad marcadas por la existencia de superficies tendidas de acreción lateral y laminaciones cruzadas enfrentadas al sentido de acreción. Menos frecuentes son las formas de configuración recta correspondiente a cuerpos de escasa extensión lateral y potencia métrica con

---

secuencias simples de relleno. El desarrollo de facies canalizadas se realiza de forma preferente en la unidad 306, a muro al conjunto de "Areniscas y lutitas de Sangüesa" donde las secuencias de relleno alcanzan potencias superiores a los 5 m. No obstante las formas canalizadas aparecen distribuidas de forma minoritaria a lo largo de la unidad 307, si bien muestran potencias más reducidas y de menor continuidad lateral.

Facies areniscosas no canalizadas. Alcanzan un gran desarrollo en la unidad 306 correspondiendo en general a alas de expansión de depósitos de overbank ligados lateralmente a cuerpos canalizados, si bien son abundantes también los depósitos de sheet-flood. Normalmente constituyen niveles de areniscas de grano medio a fino, de potencia decimétrica, tableados o alternando con lutitas ocreas. Presentan convoluciones, escapes de fluidos, burrows de escape, frecuentes cosets de climbing ripples, huellas de desecación y eventualmente icnitas de vertebrados.

.Facies lutíticas aluviales. Constituyen la litología mayoritaria de la unidad 307 formando intervalos masivos de potencia métrica-decamétrica, o alternando por tramos con areniscas. Consisten en lutitas ocreas homogéneas, bioturbadas, con eventuales horizontes de suelos hicromórficos rojos.

.Facies charcustres y perilacustres. Constituyen el rasgo característico de la unidad 308. Consisten en intervalos de potencia métrica-decimétrica de lutitas margosas grises con niveles de calizas. Se interpretan como facies de encharcamientos eventuales en llanura lútica de frente aluvial distal y perilacustre.

La descripción petrográfica y mineralógica se realiza a partir de los datos aportados por LEON (1985). La petrografía de las areniscas indica que el cuarzo constituye el principal componente clástico (35%), correspondiendo el resto de litoclastos (30%) a calizas, cuarcitas y plagioclasas. Los bioclastos (10%) corresponden a foraminíferos resedimentados, reconociéndose mica y glauconita (5%) como accesorios. El cemento (20%) es calcáreo y se aprecia un cierto contenido en matriz arcillosa.

Los depósitos lutíticos presentan un cortejo de minerales en la fracción arcillosa representando por illita (40-55%) caolinita (25-35%), clorita (10-12%) e interstratificados (10-15%). En los sectores más meridionales se ha constatado la presencia de cuarzo microdividido y es característica la existencia de niveles de foraminíferos resedimentados en los términos lutíticos, a diferencia de los sectores

orientales donde no aparecen estos dos elementos, lo que constituye un criterio petrográfico que refuerza el esquema paleogeográfico propuesto con individualización de dos sistemas aluviales con distintos áreas-fuente situadas al N y NE respectivamente.

Las calcimetrías muestran un contenido en carbonatos que oscila entre el 20 y el 40% y no se registran variaciones significativas entre los términos areniscosos y lutíticos.

Las determinaciones paleontológicas (IGME,1987) destacan la presencia de *Rhabdochara* cf. mayor ( GRAMB Y PAUL ) , *Psilochara acuta* (GRAMB Y PAUL) y *Shapaerochara hirmeri longiuscula* ( GRAMB Y PAUL) .Esta asociación indica que se alcanza probablemente una edad de Arverniense, por lo que se atribuye al conjunto una edad de Sueviense-Arverniense inferior.

**2.3.1.2. - Areniscas y lutitas acres (317), Lutitas ocre y areniscas (318) y, Alternancia de areniscas y lutitas ocre (319). "Areniscas y lutitas de Rocaforte". Arverniense inferior.**

Estas unidades constituyen parte de los flancos y el núcleo del sinclinal de Rocaforte, localizándose pues en el cuadrante suroccidental de la Hoja.

Aunque se trata de un conjunto de unidades con buena calidad de afloramiento, los mejores cortes de estas unidades, se tienen a lo largo de la carretera de Aibar a Lumbier, tanto para los términos inferiores como para los superiores. También se tienen buenos cortes en la margen derecha del barranco del Val, a lo largo de una pista que asciende en dirección al sector central del sinclinal de Rocaforte.

El conjunto sedimentario aquí descrito constituye una potente sucesión de facies aluviales que puede superar localmente los 1200m de espesor. El contacto con las "Areniscas y lutitas de Sangüesa " está definido por la aparición de un intervalo arenoso (317) que marca un episodio de propagación aluvial hacia el sur relacionado probablemente con un impulso en el margen septentrional de la cuenca.

En términos generales, el conjunto muestra una organización positiva con desarrollo de términos más groseros en la base (317) y comparativamente más lutíticos hacia techo (318 y 319). Sin embargo en detalle, el conjunto muestra una compleja

distribución de las unidades cartográficas distinguidas motivada por las características paleográficas del área.

De acuerdo con lo expuesto, se mantiene el esquema paleogeográfico descrito para el conjunto de las "Areniscas y lutitas de Sangüesa", si bien el sistema aluvial de procedencia norte desarrolla sus facies más proximales al NO del sinclinal de Rocaforte donde se verifica el cambio lateral de las unidades 317 y 319, mientras que hacia el SE, en el ámbito del anticlinal de Aibar, se individualiza un trama intermedio de carácter esencialmente lútitico (318), delimitado por términos más areniscosos a muro (317) y techo (319) que destacan en el terreno como dos resaltes muy continuos por su mayor competencia.

Más hacia el SE, los dos intervalos areniscosos se adelgazan y acúñan pasando lateralmente a depósitos lúuticos (318) y hacia techo a facies fangosas aluviales y perilacustres que caracterizan la facies Eslava (IGME,1987). que se describe más adelante.

En base a los estudios sedimentológicos realizados se han distinguido las siguientes asociaciones de facies:

.Facies canalizadas. Se desarrollan principalmente en la unidad 317 donde alcanzan potencias de varios metros y continuidad lateral decamétrica e incluso hectométrica. En el resto de unidades del conjunto (318 y 319) presentan envergaduras más reducidas y menor frecuencia de reparación. Principalmente corresponden a formas propias de cursos meandriformes, mostrando superficies tendidas de acreción lateral y desarrollo de cosets de climbing ripples. No obstante se reconocen localmente en la unidad 317, secuencias de relleno de niveles canalizados características de cursos de baja sinuosidad, compuestos por sets tabulares de láminas cruzadas, con lechos microconglomeráticos y cosets de festoons.

.Facies areniscosas no canalizadas. Corresponden a depósitos de desbordamiento y abundan a lo largo de todo el conjunto. En las unidades más areniscosas (318 y 319) predominan los niveles generados por fenómenos de sheet-flood. Se reconocen como cuerpos tabulares gradados, de potencia decimétrica-métrica y gran continuidad lateral que presentan laminación cruzada unidireccional. En los intervalos más lúuticos. Se distinguen facies de overbank con abundantes estructuras tractivas y



lóbulos de crevasse-splay representados por niveles tabulares de areniscas con matriz arcillosa, muy afectadas por bioturbación.

.Facies lutíticas. Corresponden a intervalos de lutitos acres generalmente bioturbados que alteran rítmicamente con depósitos de overbank o bien constituyen tramos homogéneos de potencia métrica, presentando eventualmente horizontes de suelos rojos. Esporádicamente se reconocen intervalos de lutitos margosas grises con desarrollo de calizas arenosas nodulizadas. Suelen aparecer a techo de secuencias de relleno de canales evidenciado etapas de abancono de los mismos.

Los análisis petrográficos realizados en IGME (1987) sobre las areniscas resaltan su similitud composicional con las facies arenicosas del conjunto precedente (“Areniscas y lutitas de Sangüesa”). El cuarzo constituye el componente clástico principal (20-30%), junto con clastos de sílex y, fragmentos de rocas metamórficas, y granos ferruginosos, en porcentajes menores que no superan en cada caso el 10%. Los fragmentos de rocas carbonatadas y bioclastos resedimentados aparecen concentrados en determinados intervalos alcanzando valores comprendidos entre el 25% y 50% del total de la roca y el cemento es carbonatado, con registros del 20-30%. Es característica la impregnación por óxidos de Fe en los granos lo que dificulta la distinción cuantitativa de cemento y clastos en algunos casos.

El conjunto es pobre en restos paleontológicos, habiéndose reconocido Ostrácodos y Charáceas sin valor cronoestratigráfico. La atribución cronológica se establece por tanto a partir de la posición del conjunto en la serie, que se enmarca en el Arverniense inferior, en base a la asociación de Charáceas determinada en las “Areniscas y lutitas de Sangüesa” a muro y el hallazgo de restos de micromamíferos en la Facies Eslava, a techo, que caracterizan en ambos casos el Arverniense inferior.

### **2.3.2. Análisis secuencial y paleogeográfico del Terciario continental.**

La sedimentación continental en el Terciario se articula a favor de sistema aluviales de procedencia pirenaica. El marco geodinámico es la cuenca de antepaís surpirenaica cuyo comportamiento como foreland basin está evidenciado por la imigración mantenida al surco sedimentario hacia el Sur a consecuencia del empuje de la cadena en el mismo sentido.

A nivel regional se verifica la existencia de sistemas de sedimentación aluvial de procedencia N y NE que dan paso hacia el sur a depósitos lacustres progresivamente más salinos característicos de los sectores centrales de la cuenca.

El resultado de la progradación aluvial es una serie negativa, a grandes rasgos, con desarrollo de facies más proximales en la parte alta de la sucesión. A mayor detalle, no obstante, la serie se presenta como una alternancia entre intervalos areniscosos y tramos lutíticos constituyendo los principales criterios de individualización cartográfica de unidades. Esta circunstancia permite, a nivel de estratigrafía secuencial, la diferenciación de ciclos de actividad diastrófica decreciente.

A pesar de la considerable cantidad de contrastes litológicos en la serie, no se aprecian discordancias erosivas o angulares destacables entre los ciclos diferenciados, debido probablemente a la reducida escala de trabajo, -y a la gran continuidad sedimentaria, no habiéndose registrado lagunas estratigráficas importantes y la potencia de la sucesión supera, de forma global los 5000m.

Desde el punto de vista paleogeográfico se distinguen tres etapas evolutivas principales en función de la distribución de los sistemas aluviales. Estas etapas están representadas por las distintas unidades cartográficas representadas dentro del contexto de las cuatro hojas a escala 1:25.000 que integran la Hoja nº 174 ,Sangüesa.

La primera etapa (Headoniense- Sueviense) corresponde a los "Areniscas y lutitas de Javier" y muestra una distribución de facies aluviales a perilacustres en dirección Este a Oeste, subparalela a la cadena, de acuerdo también con las paleocorrientes registradas, de lo que se deduce un área-fuente situada al NE.

La segunda etapa abarca la mayor parte de la serie suprayacente (Fm. Rocaforte sensu LEON Y, 1985) dilatándose en el tiempo hasta finales del Oligoceno. Se individualizan dos redes principales de paleodrenaje diferenciando un sistema aluvial de procedencia Norte, y al Este otro que indica un área de procedencia nororiental correspondiendo en el sentido de PUIGDEFABREGAS (1975) a la Facies de Petilla. En el área de interacción entre los dos sistemas se desarrollan facies esencialmente lutíticas (Facies de Ceseda y Sangüesa, PUIGDEFABREGAS,1975) con generación eventual de depósitos palutres y perilacustres (Facies Eslava).

La tercera etapa es de edad principalmente miocena y se caracteriza por el desarrollo de facies aluviales más proximales (Conglomerados de Gallipienzo, Sierra de San Pedro y Ujuè). La distribución cartográfica de facies y registros de paleocorrientes indica una disposición de los sistemas aluviales perpendicular a la dirección general de la cadena con drenaje evidente hacia el S y SSO, de lo que se deduce un área de aportes situada al Norte.

En la presente memoria se establece una división secuencial integrada por ocho ciclos sedimentarios mayores. En términos generales cada ciclo se organiza conforme a un episodio de progresiva atenuación de la actividad distrófica, dando lugar a una secuencia granodecreciente representada por términos aluviales más groseros en la base y esencialmente lutíticos hacia techo. No obstante algunos ciclos no se ajustan al esquema secuencial ordinario, habiéndose tomado como criterio delimitador de secuencias la entrada mas o menos neta de unidades areniscosas o conglomeráticas sobre términos comparativamente mas lutíticos.

Los ciclos distinguidos son los siguientes:

a) Headoniense-Sueviense. "Lutitas y Areniscas de Javier", (unidades 304 y 305). Constituye un potente conjunto delimitado a muro la "Arenisca de liédena" y a techo por la entrada de materiales mas groseros de la base de los "Areniscas y lutitas de Sangüesa". Se organizan en dos ciclos de menor orden que no se ajustan a las secuencias típicas puesto que presentan una tendencia negativa con desarrollo de términos mas lutíticos en la base y progresivamente más areniscosas a techo. Hacia el E y SE la parte inferior del conjunto parece pasar a facies lacustres evaporíticos correspondientes a los "Yesos de Undiano" (PUIGDEFABEGAS,1975)y probablemente a la Unidad de Añorbe (IGME,1987) también conocida como "yesos de Puente de la Reina" (SOLÉ SEDÓ, 1972).

b) Sueviense-Arverniense inferior. "Areniscas y lutitas de Sangüesa" (unidades 306 a 308). Se organiza conforme el esquema secuencial típico respondiendo s una secuencia de tendencia positiva. Hacia el Sur disminuye notablemente de potencia y pasa probablemente a los "yesos de Tafalla) (PUIGDEFABREGAS, 1975) que forman parte del complejo evaporítico de Falces (SOLÉ SEDÓ, 1972).

c) Arverniense. “Areniscas y lutitas de Rocaforte” y “Lutitas y areniscas de Ayesa”.(unidades 317 a 320, 324 a 326). Está representado por un conjunto muy potente cuya potencia se aproxima a los 1500m. Muestran una considerable variedad de facies lo que junto a su organización sucucencial multiepisódica repercute en una compleja distribución de las unidades cartográficas que integran el conjunto. Se individualizan tres entradas de materiales aluviales groseros(unidades 28,30 y 34) que permiten subdividir el conjunto en sendos ciclos secucenciales de menor orden. Hacia el Sur, se registra una disminución general de potencias y se realiza el paso a facies lacustres salinas (Yesos de Falces SOLÉ SEDÓ,1972), identificándose un intervalo de tránsito en facies perilacustres denominada “ Lutitas, margas y calizos de Eslava”

d) Arverniense superior. “Areniscas y lutitas de Uzquita”. (unidades 328 a 330). Consiste en un conjunto esencialmente aluvial delimitado por los “Lutitas y areniscas de Ayesa” a muro y por los “Areniscas de San Zoilo” a techo. Se organiza en términos generales en una secuencia de tendencia negativa producida por una propagación progresiva de los sistemas aluviales.

e) Arverniense superior-Ageniense. “Areniscas y lutitas de San Zoilo” (unidad 331). Está representado por facies aluviales y se organizan en dos ciclos, el primero de tendencia positiva, y el segundo de carácter negativo. Hacia el Este en la Comunidad Autónoma de Aragón se relaciona con facies conglomeráticos semejantes a las de Gallipienzo, indicando una etapa temprana de restructuración de la cuenca que se hace patente ya en el Mioceno.

f) Ageniense inferior. “Conglomerados y areniscas de Gallipienzo”. (unidades 358 y 359). Se caracteriza por la incorporación de términos conglomeráticos que indican contextos aluviales mas porximales. A partir de esta etapa se registra una redistribución paleogeográfica que se mantiene a lo largo del Mioceno, marcada por el desarrollo de sistemas aluviales de dirección N-S. El conjunto se organiza en un ciclo de tendencia positiva pasando hacia el Sur a la unidad de Artajona (IGME , 1987).

g) Ageniense superior. “Conglomerados y areniscas de la Sierra de San Pedro”. (unidades 364 y 398). Constituye un conjunto de características muy similares al infrayacente, puesto que presenta unas propiedades litológicas semejantes y se organiza de manera análoga configurando una secuencia estrato y granocreciente.

h) Ageniense- Aragoniense inferior. “Areniscas y lutitas de Ujué”.(unidad 409). Representa el ciclo más moderno distinguido en la zona de estudio y su distribución cartográfica representa en planta la geometría de un sistema fluvial. Hacia el Sur pasa a depósitos más lutíticos que forman parte de la unidad de Artajona ( IGME, 1987). En conjunto se organiza siguiendo una tendencia secuencial positiva.

## **2.4. CUATERNARIO**

### **2.4.1. Pleistoceno**

#### **2.4.1.1. Lutitas rojas con cantos. Arcillas de descalcificación. (523). Pleistoceno-Holoceno.**

Estos depósitos se encuentran escasamente representados, localizándose solo en la Sierra de Leyre o su entorno próximo y siempre como es lógico sobre materiales carbonatados.

Se relacionan con procesos cársticos y de fracturación en los materiales calcáreos. No obstante los afloramientos son de pequeña extensión, escasa representación superficial y forma alargada. Se localizan en las proximidades de la Foz de Lumbier.

Litológicamente se trata de arcillas rojas (“terra rosa”), de poco espesor, aunque variable, del orden de decimétrico a métrico, que contienen cantos procedentes de los propios procesos de carstificación del sustrato.

Se les atribuye una edad que abarcaría desde el Pleistoceno hasta el Holoceno, por tratarse de depósitos actualmente también en proceso de desarrollo y formación.

#### **2.4.1.2. Gravas y lutitas rojas con cantos y bloques ocasionalmente cementados. Conos aluviales antiguos (513). Pleistoceno**

Dentro de este epígrafe se describen un conjunto de materiales que se localizan preferentemente, al pie de la Sierra de Leyre, orlando dichos relieves y sus estribaciones.

Los afloramientos son muy escasos y por lo tanto los puntos de observación. La composición de este tipo de depósitos es también bastante heterogénea en función del área madre donde se sitúan. Así en la Hoja, la composición de los cantos y bloques en su mayor parte es calcárea y están empastados en una matriz arcillosa-margosa, a veces de tonalidades rojizas, presentando un cierto grado de cementación. La morfología de los cantos y bloques es de angulosa a subangulosa. En general suelen presentar una cierta pendiente.

Se asigna una edad Pleistoceno a estos depósitos por su posición relativa con respecto a otros también cuaternarios, ya que estos conos aluviales, aparecen siempre por lo general colgados y relacionados con las terrazas medias, a una cota ya considerable sobre el curso actual del río, tanto del Salazar como del Aragón.

#### **2.4.1.3. Gravas, arenas y lutitas con cantos y bloques. Glacis de acumulación (519). Pleistoceno.**

Estos depósitos constituyen sin duda alguna uno de los más característicos de la región, tanto por su litología como por su morfología, ya que dan lugar a extensas y vastas planicies que se sitúan al pie de los relieves, con una pendiente por lo general muy suave tendiendo a descender hacia donde se articula la red fluvial actual. Su disposición casi subhorizontal en las zonas más próximas a los interfluvios ha hecho que en ocasiones se confundan con algunas terrazas fluviales, si bien la litología resulta el elemento diferenciador entre ambos tipos de depósitos.

Se reconocen estos glacis y están ampliamente desarrollados en el valle del Salazar, concretamente en la depresión de Lumbier, destacando los afloramientos de las Ventas de Judas. Por lo general se localizan cortes a favor de pequeños cantiles.

Litológicamente esta unidad se caracteriza por la presencia de gravas y arenas con lutitas que pueden contener abundantes bloques. Todo este conjunto se organiza por lo general de forma heterogénea, mostrando una cierta organización caótica, en la que predominan indistintamente las lutitas sobre los depósitos más gruesos o viceversa.

Las gravas presentan cantos de subangulosos a subredondeados y los bloques a veces, por lo general de gran tamaño, pueden llegar a alcanzar proporciones

metricas. Uno de los criterios diferenciadores respecto a las terrazas fluviales es la presencia en proporcion mayoritaria de clastos de tamaño decimetrico a metrico, subangulosos de areniscas ocre, procedentes del desmantelamiento de los relieves proximos. Este tipo de materiales se localizan preferentemente hacia los terminos mas bajos de la unidad, mientras que hacia techo predominan las lutitas de color ocre.

El espesor de estos depositos, es muy variable, fluctuando por lo general entre 2-3 m, segun los puntos. El origen de estos depositos esta intimamente ligado a la historia relativamente reciente de la region. durante el Cuaternario

En cuanto a edad se refiere, por su disposicion y relacion de estos depositos con los sistemas de terrazas de la red fluvial del Aragon se les asigna al Pleistoceno.

#### **2.4.1.4. Lutitas con cantos. Glacis de cobertera. (518). Pleistoceno.**

Se incluyen en este apartado unos depositos superficiales de poco espesor que se localizan al pie de las zonas con un cierto relieve y que contribuyen al modelado del relieve, dando lugar a laderas muy suaves y bastante aplanadas.

Se localizan varios afloramientos como el de las proximidades de la Ventas de Judas en la carretera a Aibar o los de las proximidades a Liedenay Foz de Lumbier, en el cierre periclinal de dicha estructura.

Litologicamente se tratade depositos lutiticos, de color ocre y poco espesor, generalmente decimetrico que pueden contener cantos dispersos de areniscas en forma de tapiz difuso y que pueden llegar a alcanzar una cierta extension superficial.

Por su posicion, colgados respecto a los de la red fluvial actual se les atribuye al Pleistoceno.

#### **2.4.1.5. Gravas, arenas y lutitas con cantos y bloques. Terrazas. (502 a 508). Pleistoceno-Holoceno.**

Dentro de este apartado se incluyen todos aquellos depositos relacionados intimamente con la red fluvial actual, articulada principalmente entorno a los rios Salazar, Irati y Aragon, siendo este ultimo la arteria principal de la region .

---

Ocupan una gran extensión superficial en la Hoja, habiéndose diferenciado cinco niveles de terrazas en total, con respecto al cauce actual de los ríos. Estas se encuentran dispuestas de acuerdo a las siguientes cotas: +3-12 m, +15-20 m, +25-35 m, +45-55 m y +70-80 m. Los dos primeros niveles se les incluye en el grupo de terrazas bajas, los dos segundos en el grupo de las terrazas medias y el último nivel en el grupo de las terrazas altas.

Litológicamente los distintos niveles de terrazas presentan una composición muy similar, si bien se pueden llegar a observar ciertas diferencias, en cuanto a proporción de cantos de la misma litología se refiere, entre las relacionadas con los cursos del Irati y Salazar y las del río Aragón..

Se trata de depósitos formados por gravas y arenas con lutitas en proporciones muy variables. Los clastos son de distinta naturaleza predominando los de calizas grises y areniscas ocreas, siendo además el tamaño de los mismos muy variable, fluctuando entre los 10 a 20 cm de media y los 40 a 50 cm de tamaño máximo. También interesa destacar que en los niveles de terrazas medias y altas, predomina a veces una cierta cementación por carbonatos mientras que en las terrazas más bajas este fenómeno es menos frecuente o al menos por lo general están menos cementadas.

El espesor de las terrazas suele ser muy variable, fluctuando entre los 3 y 5 m por término general. No obstante los niveles más altos suelen presentar valores menores. En ocasiones han sido explotadas y utilizadas como aridos.

La edad asignada para los distintos niveles es similar, atribuyéndolas todas al Pleistoceno, excepción hecha de la terraza más baja que correspondería ya al Holoceno.

## **2.4.2. Holoceno**

### **2.4.2.1. Lutitas con cantos y bloques en ocasiones cementados. Conos aluviales (536) Holoceno.**

Se trata de uno de los depósitos más frecuentes en la Hoja que se localiza en las salidas de los arroyos y pequeños valles que acceden a valles de rango superior o a



las terrazas mas bajas de la red fluvial principal. bien del Irati o del Aragon .En ocasiones se solapan, dando lugar a formas coalescentes de mayor desarrollo

Litologicamente estan formados por un conjunto tambien heterogeneo y bastante caotico de lutitas, con cantos y bloques de tamaño y composicion muy variable. Oasionalmente se pueden producir cementaciones en algunos de estos depositos, pero siempre muy superficiales y de poca consistencia.

Por su relacion con la red fluvial se les asigna una edad Holoceno.

#### **2.4.2.2. Bloques y cantos con margas y lutitas. Coluviones de bloques (547). Holoceno.**

Se describen en este apartado un conjunto caotico y heterogeneo de depositos que se localiza al pie de los grandes relieves que destacan en la zona, preferentemente en la Sierra de Leyre y sus estribaciones occidentales.

Se pueden reconocer perfectamente de visu en las laderas que conforman la falda meridional, desde las proximidades del Monasterio de Leyre hasta las proximidades de Lumbier. Se trata de unos depositos que estan formados por cantos y bloques empastados en una masa caotica de margas y/o lutitas de tonalidades grises o rojizas, que incluso a veces pueden llegar a estar ligeramente cementados por carbonatos.

Los bloques a veces son de gran tamaño llegando a destacar incluso de lejos, ya que llegan a alcanzar un tamaño metrico considerable, de 2 a 3 m e incluso mas. Su composicion tambien es muy variable, encontrando bloques y cantos de calizas eocenas asi como de areniscasy calcarenitas cretacias.

Todo este conjunto enmascara notablemente los afloramientos del sustrato que conforman dichas laderas. Por su posicion se les atribuye al Holoceno.

#### **2.4.2.3. Lutitas con cantos y bloques. Coluviones (543). Holoceno**

Se tratade depositos por lo general con muy poco espesor y/o representacion superficial, aunque se encuentran repartidos de forma irregular a lo largo de toda la Hoja. Se localizan al pie de las laderas de los principales valles, y junto a los

principales relieves, allí donde se inician las fuertes pendientes. También se localizan entre los distintos niveles de terraza, en sus escarpes. En todo caso se trata de depósitos de poca entidad, al menos en cuanto a espesor se refiere.

Litológicamente la composición de estos depósitos es muy variable, ya que dependen del sustrato sobre el que se desarrollan. Lo más frecuente es encontrar lutitas de color ocre mezcladas y/o empastando cantos angulosos y subangulosos de arenisca y a veces algunos de caliza.

Por su posición al pie de las laderas y su relación con el resto de los depósitos cuaternarios se les asignan al Holoceno.

#### **2.4.2.4. Lutitas y cantos. Aluvial-Coluvial. (537). Holoceno**

En este epígrafe se describen un conjunto de depósitos de origen fluvial que por su morfología en planta, difieren de la de los fondos de valle y ponen en evidencia un aporte lateral difícil de separar de los propiamente fluviales.

Por lo general se localizan en áreas de topografía muy suave y en zonas de cursos de carácter ligeramente divagante y bastantes efímeros. Un ejemplo de esto son los depósitos del norte de la Hoja, cerca de Usun, o los del ángulo suroccidental, en el valle de Aibar

Su litología por regla general corresponde a materiales finos, lutíticos, que engloban cantos, bien procedentes de las zonas laterales o arrastrados por el propio curso del arroyo.

#### **2.4.2.5. Lutitas, arenas y cantos. Fondos de valle (527). Holoceno.**

Corresponden estos depósitos a los cursos de escorrentía superficial efímera o actualmente nula, que discurren a través de los principales arroyos. Constituyen pues la red fluvial de menor orden que se localiza en la Hoja. Destacan los que se localizan en los valles paralelos desarrollados en el sinclinal de Rocaforte y paralelos a su eje.

Se trata de depositos de forma alargada, algunos de bastantes kilometros y relativa anchura (100 m) que por lo general tienen poco espesor (3 a 5 m), incluso en ocasiones mas.

Predominan en este tipo de depositos las lutitas con cantos de diverso tamaño y a veces bloques. Ocasionalmente se reconocen niveles de arenas. Los cantos son de litologia muy variable, aunque los que predominan son los de areniscas.

Se asigna estos depositos por su relacion con la red fluvial actual al Holoceno

#### **2.4.2.6. Lutitas y margas con cantos y bloques. Deslizamientos. (545). Holoceno.**

En general tienen escasa representacion en la Hoja, encontrandose preferentemente desarrollados en la vecina Hoja 174-I. Aibar, donde se pueden llegar a ver buenos ejemplos de estas masas deslizadas. Se reconoce algun pequeño deslizamiento en el valle de Aibar

Por regla general, su litologia depende del sustrato donde se se desarrollen y suelen ser lutitas y/o margas que empastan cantos y bloques de distinta consideracion. Aparecen asociados a pendientes relativamente fuertes en zonas de umbria, generalmente con una vegetacion caotica, donde los materiales tienen un alto grado de humedad y la conservan. Se producen por sobresaturacion del terreno.

#### **2.4.2.7. Gravas arenas y limos. Cauces abandonados (530). Holoceno.**

En algunos parajes de la terrazas bajas del rio Aragon se reconoce zonas de características litologicas similares a las de las terrazas fluviales y se encuentran relacionadas con dicho cauce. Aunque sobre el terreno resultan dificil de ser diferenciados, sobre fotografia aerea se reconocen por su forma rectilinea y algo sinuosa a veces.

Son depositos formados por gravas, arenas y limos en distinta proporcion, con desarrollo de suelos que son frecuentemente utilizados para tares agricolas. Destaca por su morfologia el meandro abandonado de Liédena, cuyos depositos resultan los mas antiguos. de todos los diferenciados en el cauce del rio Aragon.

**2.4.2.8. Acumulaciones antropicas. Escombreras. (550). Holoceno.**

En la cartografía y por su extensión superficial se han diferenciado un conjunto de depósitos artificiales y heterogéneos que se han localizado: en Sangüesa junto a la papelera. Se trata de acumulaciones antropicas consistentes en un acumulo importante de bloques de diversa consideración y varios metros de espesor y proceden de obras de excavación.

**2.4.2.9. Gravas arenas y cantos. Cauces activos (526). Holoceno**

Se describen en este último apartado los depósitos que en la actualidad están dejando los principales cursos fluviales de la zona estudiada: Aragón, Irati y Salazar.. Dado su mayor rango, es el cauce del Aragón quien deja y tiene una mejor representación de estos depósitos.

Corresponden estos a gravas, arenas y cantos, aunque ocasionalmente incluyen clastos tamaño bloques, con cantos de litología muy variada: areniscas, calizas etc. Se organizan en barras fluviales, bien en zonas próximas a los márgenes del río o en los sectores centrales y cuya morfología es perfectamente apreciable en distintos puntos de dichos cursos.

### **3. TECTONICA**

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

La presente Hoja, forma parte del sector occidental de la cadena pirenaica, en su limite con la Cuenca del Ebro. Esta alineacion montañosa presenta una direccion E-O y se extiende desde el Golfo de Vizcaya hasta el Mar Mediterraneo, siendo el resultado de la colision, ligeramente oblicua, de las placas iberica y europea, con una ligera subduccion continental de la primera sobre la segunda, como se ha puesto de manifiesto en el Proyecto ECORS (LOSANTOS et. al., 1988). No obstante esta cadena presenta ciertas peculiaridades que la apartan del modelo de cordillera alpina tipica.

La estructuracion de la cadena comenzo a finales del Cretacico y se prolongo durante buena parte del Terciario, presentando ademas una deformacion heterocrona a lo largo del trazado de la cordillera, haciendose progresivamente mas moderna hacia el oeste.

De acuerdo con los criterios mas actualizados, la extension de la cadena sobrepasa ampliamente a la longitud actual del istmo. Aunque se han realizado diversos intentos de clasificacion la mas utilizada en la literatura geologica para el Pirineo istmico es la de MATTAUER y SEGURET (1971).

Esta division de caracter general esta basada en criterios estructurales y estratigraficos y se diferencia a grandes rasgos; un nucleo llamado Zona Axial, constituido por un apilamiento antiformal de materiales paleozoicos, dispuesto a modo de eje de simetria de la cadena, dos zonas mesozoico-terciarias despegadas, denominadas Nor y Surpirenica, vergentes a ambas partes y finalmente dos cuencas de antepais terciarias poco plegadas, tambien al norte y sur respectivamente de dichas zonas, rellenas de sedimentos postorogenicos. El cambio de vergencias se establece a partir de la Falla Norpirenaica, accidente profundo, que probablemente sutura ambas placas

La Zona Surpirenaica presenta una cobertera de aloctona, estructurada segun alineaciones de direccion general E-O, dando lugar a diversas alineaciones montañosas que se encuentra formada segun SEGURET (1972), por la Unidad

Surpirenaica Central, unidad aloctona, que se extendería por todo el sector central de la cadena y la Unidad de Gavarnie-Monte Perdido, que ocuparía una gran parte del Pirineo occidental, llegando hasta el accidente de Estella, también conocido como Falla de Pamplona e interpretado como una compleja rampa lateral de uno de los cabalgamientos más importantes de la cadena,

Más recientemente para MUÑOZ et al.(1986), en la Zona Surpirenaica, se pueden diferenciar dos grandes unidades estructurales: las Láminas Cabalgantes Superiores, que estarían formadas por mantos de cobertera, fundamentalmente mesozoicos y las Láminas cabalgantes Inferiores, más modernas que las anteriores, que involucrarían a materiales del zocalo y de la cobertera y que a veces presentan una esquistosidad asociada en relación con los desplazamientos

De todas las alineaciones montañosas de esta unidad, la más meridional de ellas, las Sierras Exteriores (sierras de Santo Domingo y Riglos), representarían el cabalgamiento frontal de la cadena sobre la cuenca de antepais. Según TURNER y HANCOCK (1990), el límite hacia el oeste de estas sierras con la Unidad de Gavarnie, correspondería a una flexura ("Flexura de Pena") que estaría relacionada con un retrocabalgamiento (passive roof thrust)

El conjunto de la zona estudiada, incluida dentro de la Hoja 1:50.000 nº 174 Sangüesa, se localiza al sur de la Unidad de Gavarnie (SEGURET, 1972), en su límite con la cuenca de antepais, quedando ubicada entre la Zona Pirenaica, Cuenca de Pamplona-Jaca y Depresión del Ebro, dominios tectónicos establecidos para Navarra (GOBIERNO DE NAVARRA 1997).

La Zona Pirenaica, constituye la montaña oriental Navarra. Esta estructurada en un sistema de tres cabalgamientos importantes, con implicación de materiales paleozoicos en los sectores más septentrionales, siendo los más meridionales de ellos los de la Sierra de Illón-Leyre, afectando este último a la zona estudiada. La falla de Loiti, de dirección ONO-ESE también con componente inversa en profundidad y probablemente accidente desgarre previo (CAMARA y KLIMOWITZ, 1985), constituye el límite meridional de este dominio.

La cuenca de Pamplona, es una depresión alargada de dirección E-O, formada por depósitos eocenos, que se ha comportado como una cuenca de piggy-back, con

traslación pasiva hacia el sur a favor del cabalgamiento basal (floor thrust) de Gavarnie. Por el este se prolonga hasta Boltaña en la provincia de Huesca, mientras que hacia al oeste se encuentra delimitada por el accidente de Estella.. El límite por el norte lo constituye uno de los cabalgamientos septentrionales de la Zona Pirenaica mientras que por al sur y sureste la cierra el cabalgamiento de la Sierra de Alaiz y la falla de Loiti..

Finalmente la Depresión del Ebro, como ya se sabe esta rellena por un importante acumulo de sedimentos continentales terciarios, plegados en zonas limitrofes con las estructuras pirenaicas y subhorizontales o con buzamientos suaves, en la zona de la Ribera. La presencia de evaporitas contribuye a la existencia de niveles de despegues parciales, a veces de cierta consideración

La zona de estudio más en detalle se localiza en un área delimitada por la Sierra de Leyre al norte, unidad aloctona con disposición estructural en pop-up y constituida por materiales del Cretácico superior y del Paleoceno-Eoceno, que cabalga mediante estructuras complejas a las margas y flyschs eocenos de la cuenca de Pamplona-Jaca..

Estos materiales y a través de la falla de Loiti, en los sectores centrales se pone en contacto con las series continentales paleógenas estructuradas que conforman las geometrías de los sinclinales de Sangüesa y Ayesa y los anticlinales de Aibar y Eslava, estructuras en su núcleo algo complejas, que enraizan en profundidad con cabalgamientos vergentes hacia el sur.

Finalmente y en los sectores más meridionales, afloran los depósitos más modernos de probable edad Orleaniense (Aragoniense inferior), reconociéndose un importante acumulo de sedimentos detríticos continentales que se disponen en discordancia y con buzamientos cada vez más relativamente suaves hacia el sur, que evidencian y ponen de manifiesto la evolución a finales del Paleógeno y comienzos del Mioceno de parte de este sector de la Cuenca del Ebro

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

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

### **3.2.1. Discordancias**

La descripción de las principales discordancias está referida al conjunto de Hojas a escala 1:25.000 que integran la Hoja 1:50.000 de Sangüesa. Esto viene justificado por un lado al tener en cuenta la historia geológica a la que se hace referencia en otro capítulo y por otro, cuando no son observables en superficie, a la existencia y reconocimiento de las mismas en el subsuelo, lo que son indicativas de su importancia a nivel regional.

Atendiendo a su orden cronológico y teniendo en cuenta que el registro sedimentario más bajo en la Hoja corresponde al Campaniense, es decir casi a finales del Cretácico superior, las principales discordancias o discontinuidades de la Hoja se localizan a techo de los materiales cretácicos y dentro de las series paleocenas, eocenas y oligocenas, si bien y en estas últimas, las discontinuidades y/o discordancias son muy frecuentes al encontrarse los sedimentos en clara relación con el emplazamiento de unidades y estructuración casi definitiva de la cadena.

Así la primera discordancia o discontinuidad de siempre conocida y puesta de manifiesto a nivel regional es la que se localiza entre el Paleoceno y el Cretácico superior es decir la que se observa entre los materiales paleocenos apoyándose sobre las "Facies Garumniense". Mientras que en los sectores más occidentales de la Sierra de Leyre esta apenas se pone de manifiesto situándose directamente las dolomías paleocenas sobre la "Arenisca de Aren" en los sectores orientales sin embargo esta es más evidente, situándose los mismos materiales carbonatados sobre las lutitas rojas de las "Facies Garumniense". Esta discordancia a nivel regional estaría relacionada con los denominados en la literatura geológica "movimientos laramicos", acaecidos, en las cadenas alpinas a finales del Cretácico comienzos del Terciario

La segunda discontinuidad o paraconformidad que en la región se pone de manifiesto, aunque es difícil de observar es la que pone en contacto las series carbonatadas del



Thanetiense-Ilerdiense sobre los materiales paleocenos. infrayacentes. Esta aparente paraconformidad entre materiales carbonatados llega a observarse aunque puntualmente en los cantiles del pico Arangoiti en la Sierra de Leyre, con la presencia de un nivel basal de apenas un metro de conglomerados y brechas calcareas.

La tercera discordancia o discontinuidad observada y registrada en la zona estudiada corresponde a la de las series carbonatadas y margo calcareas del Cuisiense sobre las calizas del Thanetiense-Ilerdiense. Esta discordancia es facilmente observable en el espaldar de la Sierra de Leyre, mientras que hacia el sur, en los cantiles del cabalgamiento de dicha sierra se manifiesta como una paraconformidad.

Asi p.e. entre Bigüezal y Castillonuevo, en los caminos de acceso a la sierra desde esta ultima localidad, se puede observar un nivel basal de conglomerados y brechas calcareas en la base de la unidad. Muy cerca del limite de la zona, aunque ya fuera de ella y junto al mirador de la Foz de Arbayun, tambien se puede reconocer esta misma discontinuidad en la base de la ritmita margo-calcarea, presentando un importante hard-ground ferruginoso a techo de las calizas ilerdienses

Otra discordancia, observable a nivel regional es la que se manifiesta a techo de las calizas lutecienses o "Calizas de Guara" en lo que es la cuenca de Pamplona-Jaca en el sector de Lumbier, en el contacto con las estribaciones de la Sierra de Leyre. Esta discordancia pone de manifiesto la presencia de depositos olistostromaticos, bloques y slumps, propios de un contexto de talud y que da entrada a las series margosas del "Irurozqui" y a las "Margas de Pamplona"

Tambien se observa otra discontinuidad en el Bartonense y a techo de dichas margas, en la base de las "Margas de Ilundain" con la entrada turbiditica asociada de Gongolaz, Tabar y Yesa.

Sin duda alguna una de las discordancias mas claramente puestas de manifiesto tanto a nivel local como regional, es la acaecida en el Priabonense y que se pone de manifiesto por un cambio en las condiciones de sedimentacion y el paso del regimen marino a otro ya continental en toda la region, que perdurara durante todo el Terciario. No obstante en casi toda la zona el contacto entre estos materiales se hace casi siempre a traves de la Falla de Loiti. Solo en algunos puntos como entre Liédena y

Yesa, en una pista en el bosque del Castellon, se puede llegar a reconocer dicha discordancia.

A partir del Eoceno superior comienza a estructurarse la cadena y gran parte de la zona, a excepcion de la Sierra de Leyre al norte, se convierte en areas fuertemente subsidentes, receptoras de un importante acumulo de sedimentos. Cada impulso relacionado con el emplazamiento de las unidades aloctonas, motiva discontinuidades o discordancias de mayor o menor grado, segun sectores que en la region se reflejan en los distintos y bruscos cambios litologicos, mas patentes en los terminos superiores de las series paleogenas e incluso neogenas.

Asi se reconocen discordancias de naturaleza erosiva en el Sueviense, Arverniense y Ageniense, relacionadas a techo con procesos de diastrofismo acelerado. Tal es el caso de las discordancias de Gallipienzo y Sierra de San Pedro. A partir del Aragoniense inferior no existe registro litologico en la zona, a excepcion de los depositos cuaternarios, por lo que las discordancias y/o discontinuidades acaecidas en otras zonas proximas de la cuenca del Ebro no son reconocibles en el area estudiada.

### **3.2.2. Pliegues**

Casi la totalidad de los materiales que configuran el ambito de la zona estudiada aparecen estructurados en lineas generales a favor de grandes pliegues de direccion general E-O y N.NO-S.SE, que en ocasiones se ven afectados por cabalgamientos o fallas de gran angulo

La Hoja 174- II. Lumbier, presenta una estructuracion en pliegues muy marcada de direccion general NE-SO. Las estructuras que afectan a los materiales mas antiguos, es decir a las series marinas del Paleoceno y del Eoceno adoptan hacia el este una disposicion paralela a la de la cadena pirenaica

Asi son de destacar p.e. el anticlinal de la Foz de Lumbier, estructura de direccion E-O y vergente hacia el sur, construida sobre materiales carbonatados del Luteciense inferior, labrados y excavados por el Irati. Esta estructura hacia el este presenta una ligera inflexion, adoptando una orientacion N.NE-S.SO, justo en el periclinal que dibujan la serie calcarea. Hacia el oeste, entre la salida de la Foz y Liédena se puede

observar como esta estructura vergente, con su flanco verticalizado se rompe cobijandose así mismo.

Las estribaciones de la Sierra de Leyre, presentan algunas estructuras anticlinales de poca consideración, bien por su longitud como por verse cobijadas por el cabalgamiento de dicha sierra. A destacar es el pliegue volcado que desde las proximidades del Monasterio de Leyre se observa muy próximo y bajo el pico Arangoiti.

La cuenca de Lumbier aparece estructurada en una gran parte en su sector más septentrional por una geometría de tipo sinclinal que afecta fundamentalmente a los materiales margosos marinos del Bartonense y cuya terminación oriental se localiza a la salida de la Foz de Arbayun. En este paraje y sobre la cartografía se reconoce como nace una estructura muy laxa y amplia, sin apenas fracturas, que con dirección general E-O, sufre una ligera inflexión adoptando disposición O.NO-E.SE, extendiéndose hasta llegar al centro de la Peña de Izaga, en la contigua Hoja de Aoiz (IGME 1978). Así pues la estructura aquí descrita coincidiría con la prolongación del sinclinal de Izaga.

También es destacar, en las proximidades de Lumbier el sinclinal de la Ermita de la Trinidad, estructura laxa que dibuja los relieves próximos a dicha localidad. Esta estructura hacia el este, ya en dirección a Yesa es relevada por un anticlinal, también vergente al sur y cobijado en su flanco norte por el cabalgamiento de la Sierra de Leyre su cuyo periclinal

Entre las estructuras menores de mención observables en los sectores más orientales de la Hoja y afectando a los materiales marinos están los pliegues que se desarrollan en las turbiditas eocenas del pantano de Yesa. Se trata de estructuras de cierta consideración entre las que destaca el pliegue anticlinal vergente hacia el sur, a veces volcado, que se desarrolla en el contacto con la falla de Loiti, en la margen izquierda del río Aragón, cerca del túnel del canal de la Bardenas

Finalmente como estructura relevante y más meridional de todas, desarrollada sobre materiales continentales, destaca el sinclinal de Rocaforte, en ocasiones también denominado como de Sangüesa (IGME 1987), por conformar parte de los relieves de

la Sierra de Izco y los de las proximidades de Rocaforte, localidad de esta Hoja y de donde toma su nombre.

El sinclinal de Rocaforte se trata de una estructura larga, kilométrica de orden de 15-16 Km, laxa y suave, de dirección general O.NO-E.SE, con buzamientos entorno a los 30°-35° y con su flanco más septentrional en contacto y/o laminado en parte por la falla de Loiti. Esto motiva una disposición más vertical de las capas en las proximidades de dicho accidente. Esta laminación o falta de serie es observable en las proximidades de las Ventas de Judas y más patente cuanto más hacia el noroeste. El periclinal oriental de esta estructura se localiza en las proximidades de Sangüesa (Hojas 174-II y 174-IV).

También cabe destacar el sinclinal de Javier, pequeña estructura de dirección NE-SO y de cerca de 3 Km de longitud de eje que se localiza al suroeste de las proximidades de dicha localidad.

### **3.2.3. Fallas y Cabalgamientos.**

En la Hoja 175-II. Lumbier se reconocen dos accidentes importantes. El cabalgamiento de la Sierra de Leyre y la falla de Loiti

El cabalgamiento de la Sierra de Leyre es el accidente más importante de esta Hoja. Como ya se ha expuesto, se trata de una lamina cabalgante del tipo "fault-bend folding", constituida sus terminos más bajos principalmente por materiales del Cretácico superior, que cobijan a las margas bartonienses que constituyen el relleno de la cuenca de Pamplona-Jaca y/o de la Canal de Bérduñ en este sector.

Se trata de una falla de bajo ángulo, que con dirección E-O se extiende a lo largo de bastantes kilómetros, desde las inmediaciones de la entrada al valle del Roncal hasta las proximidades de Lumbier. A lo largo de toda la traza se manifiesta con un plano muy tendido, en ocasiones con apilamiento en "duplex" y afectada de forma normal por fallas de apenas poco salto, generalmente visible.

El aloctono de Leyre en las proximidades de Lumbier se manifiesta en una serie de estructuras anticlinales afectadas por cabalgamientos en relevo de dirección general E-O, aunque con ligeras inflexiones hacia el NE en las zonas ya más occidentales. El

mas septentrional de ellos, conforma en realidad las estribaciones mas occidentales de la Sierra de Leyre. A destacar ademas entre el resto delos accidentes estan: el cabalgamiento de la Ermita de la Trinidad, de las calizas Luteciense sobre las “Margas de Pamplona” y el cabalgamiento del anticlinal de Lumbier de las mismas calizas sobre las margas lutecienses.

La falla de Loiti es el otro accidente importante e interesante que se observa en esta Hoja. Se trata de un accidente de direccion ONO-ESE de componente inversa en profundidad, que debio actuar previamente como de desgarrre (CAMARA y KLIMOWITZ, 1985). Su traza se localiza desde la Sierra de Alaiz hasta el pantano de Yesa, por lo tanto se continua a lo largo de bastantes kilometros. En el area estudiada se reconoce en la Hoja 174-I..Aibar, 174-II. Lumbier y en la 175-I, Tiermas . Presenta una traza bastante rectilinea, aunque en detalle es algo alabeada, lo que implica una componente inversa en profundidad.

El alto angulo de esta falla se pone de manifiesto practicamente a lo largo de toda la traza, encontrando ademas y con frecuencia estructuras vergentes hacia el sur, en el labio superior de dicha falla, como ocurre p.e. en los alrededores de Yesa , junto al rio Aragon.

El salto de la falla es mayor en los sectores occidentales, es decir por el alto de Loiti, de donde toma nombre, mientras que hacia el este, ademas de adoptar una direccion E-O, va perdiendo salto, hasta llegar a desaparecer como tal en el pantano de Yesa.

Asi se reconoce un desplazamiento importante de la falla y dentro de la Hoja en el puerto de Loiti (Hoja 174-I Aibar), poniendose en contacto los sedimentos marinos del Bartonense (“Margas de Pamplona”) con los depositos continentales oligocenos de la Sierra de Izco. Tambien se observa el mismo salto en las proximidades de Las Ventas de Judas, en la carretera a Aibar (Hoja 174-II. Lumbier). Hacia el sureste, en los alrededores de Liédena, este salto va disminuyendo, descomponiendose ademas este accidente en otros de componente inversa y vergentes hacia el sur, pero ya de menor envergadura.

Un buen punto de observacion de este accidente se tiene en la pista que desde esa localidad se dirige a la boca sur de la Foz de Lumbier. Junto al rio Aragon al sur de Yesa, tambien se pone en evidencia el reflejo de esta falla sobre los depositos

cuaternarios, encontrándose algún nivel de terraza basculado como consecuencia de una cierta actividad neotectónica en la región.

Finalmente en la Hoja 175-I Tiermas, este accidente resulta difícil de seguir, entre otros por la dificultad de afloramiento, si bien se observa una cierta componente rectilínea que hace sospechar de la continuidad de este accidente, al menos en los límites del área estudiada

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

La falta de afloramientos tanto paleozoicos como mesozoicos, a excepción de los de la Sierra de Leyre en el área estudiada, impide el establecimiento de una cronología de la deformación, al menos para esos tiempos, por lo que hay que remitirse a los datos existentes a nivel regional.

Se sabe de la existencia inicialmente de un rifting generalizado en el seno de la placa ibérica construido a favor de muchos accidentes tardihercínicos reactivados. Esta etapa extensional, comienza en el Golfo de Vizcaya a principios del Cretácico inferior, creando una cierta inestabilidad y un surco subsidente en régimen transtensivo durante esos tiempos, en el espacio que actualmente ocupan los Pirineos. Posteriormente estas cuencas estarían sujetas a una inversión estructural

En el Cretácico superior, a partir del Cenomaniense, se produce un cambio en la deformación pasando a un régimen de deslizamiento lévogiro de tipo transpesivo, que va a continuar hasta el Maastrichtiense. Durante este período de tiempo se forman las primeras estructuras de acortamiento, como el manto de Lakora o las de Bóixols-Turbón ya en el Pirineo central (TEIXELL 1992).

A finales del Cretácico superior y/o principios del Terciario, comienza la tectogénesis alpina. Durante el Paleoceno se produce un importante cambio paleogeográfico que culminará con la creación de una cordillera emergente y dos cuencas de antepaís. Inicialmente se individualiza la cuenca surpirenaica, como cuenca de antepaís subsidente al pie del orógeno y de dirección paralela a su eje, incorporándose posteriormente en disposición piggy-back.

El acercamiento definitivo entre las placas ibérica y europea, motiva la creación de un cinturón de pliegues y cabalgamientos, que se propagan hacia el antepais en secuencia de bloque inferior. Estas estructuras se agrupan en las denominadas "laminas cabalgantes (mantos) inferiores y superiores". La colisión de placas culmina en el Eoceno, durante el Luteciense, con la denominada "fase pirenaica", si bien el régimen compresivo perdura hasta comienzos del Mioceno.

El manto de Lakora, es decir, su rampa frontal, genera a su pie la cuenca turbidítica de Jaca-Pamplona. Durante el Luteciense se producen una serie de cabalgamientos, que perduran hasta el Bartonense y motivan la evolución continuada de las estructuras y la propagación progresiva de la deformación hacia el sur y hacia el oeste, como lo demuestra la presencia de pliegues submeridianos en las Sierras Exteriores (TEIXELL 1992).

A partir del Eoceno superior, los cabalgamientos de basamento de la Zona Axial, adquieren un notable e importante desarrollo, emergiendo sobre las rocas de la cobertera ya deformadas anteriormente. Durante este intervalo y en el Oligoceno inferior-medio, se produce el mayor desplazamiento de la vertiente sur del Pirineo sobre la cuenca del Ebro a favor de un cabalgamiento basal.

Esta traslación hacia el sur se traduce en la deformación interna y de manera progresiva de los depósitos clásticos, cuya geometría corresponde a sistemas de pliegues y cabalgamientos en las series paleógenas y a la emergencia del frente o rampa frontal de cabalgamiento, que da lugar a las Sierras Exteriores. Un ejemplo particular de la migración hacia zonas meridionales es el aislamiento del sinclinal sinsedimentario de Guarga, donde se registran los materiales más modernos de la cuenca de Jaca y cuyo sector más septentrional, se ve sometido a una imbricación y desmantelamiento.

Las estructuras de plegamiento del relleno sintectónico de la cuenca de antepais, pueden corresponder a veces a cabalgamientos ciegos que llegan incluso a afectar a la cobertera mesozoica subyacente, siendo algunos característicos de growth -folds (IGME 1987). es decir estarían relacionadas con pliegues sinsedimentarios.

Durante el Oligoceno superior y Mioceno inferior continua la deformacion y tiene lugar el emplazamiento definitivo de lo que se viene llamando el Manto de Gavarnie dando lugar este a una serie de estructuras plegadas y/o cabalgantes hacia el sur a lo largo del frente surpirenaico, asi como la propagacion de despegues no emergentes hacia la cuenca de antepais pasiva, es decir de la actual cuenca del Ebro.

El acortamiento orogenico cusado por la colision de las placas, produjo un notable engrosamiento de la corteza continental en la mayor parte de ambito pirenaico. Posteriormente el reajuste isostatico ha provocado la surreccion del relieve montañoso actual.

La estructura alpina de la zona estudiada es funcion de la orientacion e intensidad de las distintas fases compresivas y la naturaleza y disposicion de los materiales que configuran la cobertera sedimentaria. En el marco de la Hoja, la compresion alpina se refleja por el desplazamiento hacia el sur de los cabalgamientos bien de bajo angulo como el de la Sierra de Leyre o de alto angulo como el de la falla de Loiti, asi como con las estructuras plegadas de Sangüesa, Aibar, Yesa y Eslava. Estas estructuras, tanto los pliegues como las fallas asociadas, presentan una direccion general E-O y N.NO-S.SE



## 4. GEOMORFOLOGÍA

### 4.1. DESCRIPCIÓN FISIOGRAFICA

La Hoja de Lumbier (174-II), a escala 1:50.000 pertenece a la Hoja de Sangüesa, a escala 1:50.000. Abarca parte del territorio navarro, en su sector oriental, a excepción de una pequeña porción de terreno (esquina sureste) que pertenece a la Comunidad Autónoma de Aragón ,concretamente a la provincia de Zaragoza.

Desde el punto de vista morfoestructural, y a grandes rasgos, se sitúa en la Zona Surpirenáica, en el límite con la Cuenca del Ebro. Se trata de una zona de grandes pliegues, de dirección general ONO-ESE, incididos por una importante real fluvial que, en el caso concreto de la Hoja de Lumbier, está representada por los ríos Aragón y Salazar, dando un modelado estructural de gran envergadura.

El relieve resultante es accidentado, con grandes contrastes altimétricos. La principal elevación la constituyen las estribaciones occidentales de la Sierra de Leyre, donde se localizan las mayores alturas, destacando el pico de Arangoiti con 1356 m como el punto más alto de la Hoja. A partir de aquí, el relieve desciende bruscamente, tanto hacia el norte como hacia el sur, alcanzándose las cotas más bajas en los valles de los principales ríos, llegando hasta los 400 m aproximadamente. El resto de la Hoja ofrece una altura media de 600 m.

La red de drenaje se ordena en torno a tres ríos importantes: el Salazar, el Irati y el Aragón. El primero recorre el sector norte de la Hoja, con dirección este-oeste, para unirse al Irati, al sur de la localidad de Lumbier. Este otro , a su vez, desemboca en el Aragón después de una serie de cambios de dirección, al sur de la Hoja, en el paraje denominado la Isla. El Aragón, describe amplios meandros para salir de la Hoja., por el este, próximo a la localidad de Yesa. El resto de los cursos de agua son estacionales y afluyen a cualquiera de los tres anteriores con direcciones que siguen o cortan a las estructuras. Merecen destacarse los barrancos de laval de Gallán y el arroyo de las Nogueras.

Desde el punto de vista climático la zona pertenece al tipo Mediterráneo con precipitaciones comprendidas entre los 700 y 1000 mm de media anual y temperaturas entre 11-13°C con máximas de 40 y mínimas de -8°C.

La densidad de población es media, pero relativamente alta para las hojas del entorno. Se localizan algunas poblaciones importantes como Lumbier, Liédena, Yesa, Javier y Rocaforte.

La red de comunicaciones discurre en general por los principales valles, destacando la carretera nacional N-240, que pone en comunicación Jaca con Pamplona y algunas carreteras comarcales como NA-150 y NA-127. Existen además una serie de caminos y pistas forestales que permiten el acceso a una gran parte de la superficie de la Hoja, a excepción de algunos sectores de la Sierra de Leyre.

La vegetación es abundante, con grandes ocupaciones de bosque alto, como sucede en la Sierra de Leyre, ofreciendo magníficos ejemplos de hayas, tejos, servales y una gran variedad de arbustos y plantas herbáceas. En los valles más anchos, además de la vegetación de ribera, se encuentran cultivos de regadío.

La ocupación principal de esta zona son las actividades rurales, destacando la agricultura y la ganadería. Hay algún desarrollo industrial con explotación de materiales canterables, en Liédena, y la presencia de la papelera de Rocaforte, muy próxima a la localidad de Sangüesa.

## **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, nuevos datos sobre las características de los depósitos más recientes, concretamente de edad caternaria. Además, la Hoja de Sangüesa va acompañada de un esquema geomorfológico a escala 1:100.000, en el que ya se esbozan las principales morfologías del sector.

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 datos complementarios sobre el territorio navarro. Finalmente, la reciente edición del “Mapa Geológico a

escala 1:200.000 de la Comunidad Autónoma de Navarra” ha contribuido también a aportar nuevos aspectos sobre los depósitos cuaternarios.

### **4.3. ANÁLISIS MORFOLÓGICO**

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 de 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 Lumbier (174 - II) se sitúa en la Zona Surpirenaica, pero en el límite con la Cuenca del Ebro. Las características de su relieve están condicionadas por la estructura, además de por la litología y la tectónica.

Las mayores alturas corresponden a las estribaciones occidentales de la Sierra de Leyre. En ella los materiales calcáreas y dolomíticos que la coronan, están afectados por una deformación consistente en una sucesión de antidinales y sinclinales de largo recorrido, con una dirección aproximada E-O. La erosión ha dado lugar a una serie de formas estructurales entre las que se reconocen escarpes de diversas dimensiones, superficies estructurales, replanos, cuestas, “hog backs” y antiformalas.

Descendiendo al sector meridional, los sedimentos, de edad terciaria, se tornan detríticos. Son lutitas y arcillas con niveles areniscosos, a veces conglomeráticos, siendo los niveles más competentes los que resaltan en el paisaje. Algunas capas se siguen a lo largo de varios Kms, dejando perfectamente reflejadas las estructuras. Aquí, la dirección del plegamiento es ONO-ESE, y las formas dominantes son escarpes estructurales de dimensiones variadas, crestas, cuestas y resaltes de capas duras. Se observa también algún replano estructural y pequeños cerros cónicos. Estas formas, a pesar de su continuidad, se encuentran disectadas por la red de drenaje lo que le imprime características peculiares a este modelado.

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 determinados 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 primer lugar destaca la dirección ONO-ESE seguida por los afluentes secundarios del cuadrante SO y por algunos tramos del río Irati. Es la dirección del plegamiento dominante. También se reconoce la dirección complementaria ENE-OSO, a la que se adaptan el río Salazar, algunos tramos del río Aragón y numerosos cauces de primer orden que cortan y disectan las principales estructuras. Existen otras direcciones como las próximas a N-S, pero son de mucha menos importancia.

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 caso 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 originadas por la acción de los procesos externos. Se describen también dichos procesos según su importancia, considerando, en todas aquellas formaciones que tienen depósitos, el tamaño, la potencia, la distribución espacial y su relación con otras formas.

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

Dentro de la Hoja de Lumbier, las formas fluviales, tanto las erosivas como las sedimentarias alcanzan gran desarrollo, siendo los depósitos fluviales de los ríos Aragón, Irati y Salazar las formas más representativas.

Los sistemas de terrazas de estos tres ríos están muy bien desarrollados, sobre todo los del Aragón y Salazar. Se han cartografiado hasta 5 niveles que van desde + 3 - 12 m a + 70 - 80 m, con alturas intermedias de + 15-20 m, más de 25-35 m y + 45-55 m.

Litológicamente, las terrazas están constituidas por cantos y gravas de caliza, cuarcita y algunos de cuarzo y areniscas, embutidos en una matriz arcillosa. En cuanto a su textura, potencia, etc., se describirán con mayor detalle en el apartado correspondiente a las Formaciones Superficiales. La morfología que ofrecen estos depósitos es en general de terrazas colgadas, salvo los niveles inferiores, en los que el dispositivo morfológico es el de terrazas solapadas o encajadas. Estos últimos, debido a las características meandriformes, corresponden en su mayoría a depósitos de "point bar".

En el río Irati, y rodeando a la localidad de Liédana existe un gran meandro abandonado que, por su cota, está en relación con la primera terraza. NO es una forma frecuente en esta Hoja y el ejemplo de Liédana es de gran espectacularidad.

Los fondos de valle están constituidos por un depósito de gravas, en su mayoría, calcáreas, pero con componentes cuarcíticos y areniscosos, empaquetados por una matriz arenosa-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.

También hay que hacer mención a la zona más próxima a los principales ríos, donde se manifiesta la zona activa del cauce. Allí se produce la formación de barras, en su mayoría laterales, dándose permanentes cambios en la morfología.

Muy relacionados con los fondos de valle aparecen los conos de deyección. Son formas que 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. No son muy frecuentes y tampoco ofrecen grandes dimensiones.

De mayor tamaño son una serie de abanicos aluviales, que aparecen relacionados con terrazas medias y altas y que, tanto por su posición como por estar disectados por la red fluvial, deben ser de edad Pleistoceno. Los mejores ejemplos se encuentran al N. de la localidad de Yesa, procedentes de la gran vertiente sur de la Sierra de Leyre.

Por lo que se refiere a las formas erosivas de carácter fluvial, aunque son muy abundantes, no ofrecen 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 hecho 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. También, cuando la incisión tiene lugar en zonas con materiales blandos, no falta la formación de cárcareas como en la esquina NO de la Hoja y en algunos sectores, por debajo de los niveles de terraza.

Finalmente, la erosión en materiales carbonatados, afectados por la karstificación, da en ocasiones magníficos ejemplos de hoces y cañones. Este es el caso de la Foz de Lumbier, originada por la incisión del río Irati en el extremo más occidental de la Sierra de Leyre.

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

Son cuatro las formas que se incluyen en este grupo: coluviones, coluviones de bloques, desprendimientos y deslizamientos.

Los coluviones se originan en la parte inferior de las laderas de los valles, tanto en los principales como en los secundarios. Se presentan en forma de bandas alargadas, paralelas a los cauces, ofreciendo una estrecha relación con los conos de deyección como sucede en el sector de Liédena, donde se interdentan unos con otros e incluso con los depósitos del fondo de valle.

Se han distinguido también otro tipo de coluviones que se han denominado "coluviones de bloques" por constituir un conjunto cóctico de bloques al pie de los grandes relieves. Son magníficos los ejemplos que se sitúan en ambas vertientes de la Sierra de Leyre, enmascarando notablemente los afloramientos del sustrato.

Igual origen tienen las acumulaciones de grandes bloques o desprendimientos, aunque su manifestación morfológica es algo diferente. 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 debido a las pendientes elevadas.

Por último, aparecen los deslizamientos, de los que sólo hay un ejemplo dentro de la superficie de la Hoja. Se localiza en el borde suroeste, en la margen derecho del barranco de Gallán. Se origina a partir de litologías blandas y por la presencia de pendientes altas. Si a ello se añaden unas precipitaciones fuertes, es muy fácil que este tipo de formaciones tenga su lugar.

#### **4.3.2.3. Formas Kársticas**

La morfología kárstica producida por los procesos de disolución sobre rocas carbonatadas, tiene su máxima expresión en la tierra de Leyre, en la mitad nororiental.

Aunque la unidad más característica dentro de la morfología Kárstica es la dolina, no resulta aquí la forma más frecuente, por el contrario, es más bien escasa, apareciendo una al noreste de Liédena. Se trata de una forma exokárstica, suficientemente conocida, pero que puede ofrecer morfologías muy diversas (en artesa, embudo, etc.). Su tamaño puede ser también de gran variabilidad, y su distribución está relacionada con la textura de la roca y la fracturación.

Se ha observado además un gran desarrollo de las formas menores del karst como el lapiaz, pero el acceso, a veces difícil, a algunos sectores de la Sierra y la vegetación abundante, no siempre permiten una buena visualización.

Todas las formas aquí mencionadas corresponden a la tipología erosiva, pero si se tiene en cuenta el producto residual de la disolución, es decir las arcillas de descalcificación, hay que decir que no ofrecen una morfología concreta y se localizan, en el fondo de las dolinas y cubriendo total o parcialmente las formas menores (lapiaz).

#### **4.3.2.4. Formas poligénicas**

Son todas aquellas en las que intervienen dos o más procesos para su formación. Dentro de la Hoja de Lumbier, la unidad más representativa son los glaciares de acumulación y glaciares de cobertura. Los primeros aparecen en el cuadrante noroeste de la Hoja y en la vertiente sur de la Sierra de Leyre, es decir al pie de los grandes relieves. Los segundos son menos potentes, de menores dimensiones y ya están relacionados con la evolución de los valles.

La morfología de estas unidades es muy característica. Son por lo general formas alargadas, con bordes lobulados y perfil longitudinal plano-cóncavo, aumentando esta concavidad hacia la cabecera. Los tamaños son muy variables y, a veces, ofrecen escarpes netos hacia los valles al quedar disectados por la red fluvial.

Otra de las formas cartografiadas son los depósitos aluviales-coluviales, localizados en la esquina suroeste de la Hoja y al norte de Yesa. Se trata de depósitos de fondo de valle a los que acceden una serie de aportes laterales, procedentes de las laderas, y que generan una morfología un tanto ambigua, por lo que se hace difícil la separación de unos y otros. Es por esto que se asignan a las formas poligénicas.

#### **4.3.2.5. Formas antrópicas**

Se han representado en el mapa geomorfológico dos unidades bien diferenciadas. Por una parte aquellos huecos realizados por el hombre, como excavaciones y canteras (Ej: canteras de Liédena) y, por otro, las acumulaciones producidas por escombreras y echadizos, como las de la Central de Rocaforte. Su principal característica es la irregularidad litológica y textural, así como la escasa compactación del material, lo que puede plantear problemas de índole geotécnica.

### **4.4. FORMACIONES SUPERFICIALES**

Las Formaciones Superficiales han sido definidas en España por Goy et al. (1981) como todos aquellos materiales coherentes o no, que han podido sufrir una consolidación posterior y que están directamente relacionados con la evolución del paisaje que se observa en la actualidad.



La principal característica que deben poseer es ser cartografiables a la escala de trabajo. Por otra parte, estas formaciones deben ser definidas por una serie de atributos tales como: geometría, textura, génesis, potencia y, en ocasiones, edad.

En la Hoja de Lumbier son numerosas las formaciones superficiales existentes, y pertenecen a los siguientes grupos: fluvial, laderas, kárstico, poligénico y antrópico.

Dentro de las formaciones superficiales de origen fluvial, se reconocen las terrazas como las formas más representativas, con un amplio desarrollo superficial y originadas por tres cauces importantes: el Salazar, el Irati y el Aragón, siendo este último la arteria principal de la región. Se han diferenciado hasta cinco niveles de terrazas, con respecto al cauce de los ríos. Éstas se encuentran dispuestas de acuerdo a las siguientes cotas: + 3 - 12 m, + 15 - 25 m., + 25 - 35 m, + 45 - 55 m, y + 70 - 80 m. Los dos primeros niveles se incluyen en el grupo de las terrazas bajas, los dos segundos en el de las terrazas medias y el último en el de las terrazas altas. Litológicamente los distintos niveles de terrazas presentan una composición muy similar, si bien se pueden llegar a observar ciertas diferencias, en cuanto a proporción de cantos de la misma litología entre los cursos del Irati y Salazar y los del río Aragón.

Se trata de depósitos formados por gravas y arenas, con lutitas en proporciones muy variables. Los clastos son de distinta naturaleza predominando los de calizas grises y areniscas ocreas, siendo además el tamaño de los mismos muy variables, oscilando entre los 10 a 20 cm de media y los 40 a 50 cm de máximo. También interesa destacar que en los niveles medios y altos, predomina una cierta cementación por carbonatos mientras que en las terrazas más bajas este fenómeno es menos frecuente. El espesor suele ser muy variable, fluctuando entre los 3 y 5 m. No obstante, los niveles más altos suelen presentar valores inferiores. En ocasiones han sido explotadas y utilizadas como áridos. La edad asignada para los distintos niveles es Pleistoceno, a excepción de la terraza más baja que llega a alcanzar el Holoceno.

También de gran interés son los abanicos aluviales antiguos. Se trata de un conjunto de materiales que se localizan en la vertiente septentrional de la sierra de Leyre. Los afloramientos son muy escasos pero muy buenos como puntos de observación. La composición es bastante heterogénea en función del área madre que los alimenta. Así en el entorno de la Sierra de Leyre la naturaleza de los cantos y bloques, en su mayor parte, es calcárea y están empastados en una matriz arcillosa margosa, de

tonalidades rojizas, presentando un cierto grado de cementación. La morfología de los cantos y bloques es de angulosa a subredondeada. En general suelen presentar una cierta pendiente. Se les asigna una edad Pleistoceno por su posición relativa con respecto a otros depósitos cuaternarios, ya que, estos aluviales, aparecen siempre relacionados con las terrazas medias, a una cota considerable sobre el curso actual del río, tanto del Salazar como del Aragón.

Por lo que se refiere a los fondos de valle corresponden, por lo general, a cursos de escorrentía superficial y estacionales, es decir a la red fluvial de orden inferior. Son depósitos de formas muy características, alargadas, a veces con algunos kilómetros de longitud y estrechas. Litológicamente ofrecen un predominio de lutitas con gravas y cantos de diverso tamaño y, bloques; también se pueden observar, ocasionalmente, niveles de areniscas. La edad que se asigna a estos depósitos es Holoceno.

Muy relacionados con los fondos de valle y con los depósitos de terrazas bajas aparecen los conos de deyección. Estos depósitos se localizan a la salida de arroyos y barrancos cuando afluyen a otros de rango superior o a las terrazas más bajas del sistema principal, bien del Irati o del Aragón. En ocasiones se solapan dando lugar a formas coalescentes de mayor desarrollo.

Litológicamente están formados por un conjunto heterogéneo de lutitas con cantos y bloques de tamaño y composición muy variada. Ocasionalmente se pueden producir cementaciones en algunos de estos depósitos, pero siempre muy superficiales y de poca consistencia. Por su relación con la red fluvial se les asigna una edad Holoceno.

Por último y dentro de las formaciones superficiales de origen fluvial se describen los depósitos que en la actualidad están dejando los principales cursos fluviales de la zona estudiada: Aragón, Irati y Salazar. Dado su mayor rango, es el cauce del Aragón quien tiene una mejor representación de estos depósitos. Se caracterizan por estar constituido de gravas, arenas y cantos y ocasionalmente bloques con litologías muy variadas: areniscas, calizas etc. Se organizan en barras fluviales, bien en zonas próximas a las márgenes del río o en los sectores centrales del mismo. Su morfología es perfectamente apreciable en distintos puntos del curso, preferentemente aguas abajo de Sangüesa.

Las formaciones superficiales de ladera están representadas por: coluviones, coluviones de bloques y deslizamientos. Los primeros son depósitos, por lo general, con muy poco espesor y representación superficial y se encuentran repartidos de forma irregular por toda la Hoja. Se localizan al pie de las laderas de los principales valles y junto a los relieves. Litológicamente la composición de estos depósitos es muy variable, ya que dependen del sustrato sobre el que se desarrollan. Lo más frecuente es encontrar lutitas de color ocre, empastando cantos angulosos y subangulosos de arenisca y de caliza. Por su posición al pie de las laderas y su relación con el resto de los depósitos cuaternarios se les asigna al Holoceno.

Los segundos forman un conjunto caótico de depósitos que se localizan al pie de los grandes relieves de la zona, preferentemente de la Sierra de Leyre y sus estribaciones occidentales. Se pueden reconocer perfectamente en las laderas que conforman la falda meridional, desde las proximidades del Monasterio de Leyre hasta las de Lumbier. Se trata de unos depósitos formados por cantos y bloques empastados en una masa caótica de margas y/o lutitas, con tonalidades grises o rojizas, y que incluso pueden llegar a estar ligeramente cementados por carbonatos. Los bloques son de grandes dimensiones llegando a destacar incluso de lejos, ya que llegan a alcanzar un tamaño de 2 a 3 m e incluso más. Su composición es muy variable, encontrando bloques y cantos de calizas eocenas y areniscas y calcarenitas cretácicas..

Todo este conjunto enmascara notablemente los afloramientos del sustrato que conforman dichas laderas. Por su posición se atribuyen al Holoceno. Los deslizamientos tienen escasa representación. Su litología depende del sustrato sobre el que se desarrollan y suelen constituir una masa caótica de bloques y cantos de distinta consideración, empastados en una matriz de lutitas. Aparecen asociados a pendientes relativamente fuertes en zonas de umbría, donde los materiales tienen un alto grado de humedad. Se producen por sobresaturación del terreno. Se trata de fenómenos y depósitos recientes.

Las formaciones superficiales de origen kárstico se encuentran escasamente representadas y se localizan en la Sierra de Leyre o en su entorno próximo y, lógicamente, sobre materiales carbonatados. Se originan por disolución de calizas y dolomías afectadas por una intensa fracturación. Litológicamente se trata de arcillas rojas que rellenan el fondo de dolinas su potencia es de orden decimétrico a métrico.

Se les asigna una edad Pleistoceno-Holoceno, pero hay que añadir que el proceso que los genera es funcional en la actualidad.

Las formaciones superficiales de origen poligénico, están representadas por glaciares de acumulación, glaciares de cobertera y depósitos de aluvial-coluvial.

Los primeros constituyen sin duda alguna unos de los depósitos más característicos de la región, tanto por su litología como por su morfología. Dan lugar a extensas y vastas planicies que se sitúan al pie de los relieves, con una pendiente suave, tendiendo a descender hacia la red fluvial actual. Su disposición casi subhorizontal en las zonas más próximas a los interfluvios ha hecho que en ocasiones se confundan con algunas terrazas fluviales, si bien la litología resulta el elemento diferenciador entre ambos tipos de depósitos. Están ampliamente desarrollados en el valle del Aragón, concretamente en la depresión de Sangüesa, a ambos márgenes del río. Los afloramientos se localizan a favor de pequeños cantiles. En la Hoja de Tiermas, al pie y en la vertiente sur de la Sierra de Leyre, se reconocen excelentes afloramientos de este tipo de depósitos, concretamente en el límite oriental de la zona estudiada. Los mejores cortes se localizan en la carretera de Pamplona a Jaca en el entorno del embalse de Yesa.

Litológicamente esta unidad se caracteriza por la presencia de gravas y arenas con lutitas y abundantes bloques. Todo este conjunto se organiza de forma heterógena, en la que predominan indistintamente las lutitas sobre los depósitos más groseros o viceversa. Las gravas presentan cantos de subangulosos a subredondeados, y los bloques son, de gran tamaño, llegando a alcanzar proporciones métricas. Uno de los criterios diferenciadores respecto a las terrazas fluviales es la presencia mayoritaria de clastos de tamaño decimétrico a métrico, de areniscas ocreas, procedentes del desmantelamiento de los relieves próximos. Este tipo de materiales se localizan preferentemente hacia los términos más bajos de la unidad, mientras que hacia el techo predominan las lutitas de color ocre. El espesor es muy variable, fluctuando entre un par de metros y 8-10 m como se llegan a observar en el embalse de Yesa. más groseros o viceversa.

#### 4.5. EVOLUCIÓN GEOMORFOLÓGICA

La evolución geomorfológica de la Hoja de Lumbier se encuentra inmersa en la evolución del entorno, por lo que siempre hay que enmarcarla en un contexto general 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 la Hoja , se sitúa en la Zona Surpirenaica, en el límite con la Cuenca del Ebro.

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 (Hoja de Tiermas) se reconocen una serie de retazos de una antigua superficie de erosión que, por las cotas a las que se sitúa (1.100 -1.200 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 Turolense. 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, karsts, etc., que dejan su huella en las calizas terminales de las principales cuencas. A partir de este punto 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, próxima a la cabecera y 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 la iniciación fluvial que en su máxima manifestación y sobre materiales blandos, ha dado origen a cárcavas y barrancos. La causa de esta erosión tan intensa es la pertenencia de este sector a un área de montaña, próxima a una gran división, donde se instalan nuevos cursos haciendo de la erosión un proceso dominante .

En zonas de pendiente media-baja se observan procesos de arroyada difusa.

Son activos también algunos de los procesos desarrollados en las laderas, como desprendimientos, caídas de bloques y algunos deslizamientos. Los primeros se producen a partir de los grandes escarpes de caliza, 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, y la inestabilidad

de los bloques 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 frena 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 y es entonces cuando tiene lugar la caída del material.

Los procesos kársticos son también funcionales pero no producen importantes manifestaciones.

Aunque todos los procesos aquí considerados pueden ser puntualmente de gran evergadura, 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. HISTORIA GEOLÓGICA

La síntesis descriptiva de la evolución geológica realizada en este capítulo es válida para todo el ámbito de la hoja a escala 1:50.000 de Sangüesa (174), a pesar de hacer referencias o a la inexistencia de afloramientos de algunas de las unidades que se citan.

El registro sedimentario abarca desde finales del Cretácico superior hasta el Mioceno inferior. La zona de estudio forma parte de la cuenca de antepaís surpirenáica, distinguiéndose al EN el dominio de la Cuenca de Pamplona con sedimentación esencialmente marina hasta finales del Eoceno y la Cuenca del Ebro en sentido amplio, caracterizada por depósitos aluviales del Oligoceno y Mioceno.

La Cuenca de Pamplona presenta un comportamiento geodinámico conforme a un modelo de tipo piggy-back con desplazamiento solidario hacia el Sur con la lámina cabalgante de Gavarnie.

En el Cretácico superior se inicia el desplazamiento de la placa ibérica hacia el Norte dando lugar en la región donde se encuentra la zona de estudio a una individualización temprana de la cuenca de antepaís surpirenáica que funciona consecuentemente como un foreland basin. Los depósitos más antiguos existentes en la zona de estudio o áreas próximas corresponden al Campaniense-Maastrichtiense. En este contexto cronoestratigráfico la sedimentación se articula a partir de sistemas deltaicos emplazados en una cuenca abierta hacia el ONO, sentido en el que las series aumentan de potencia y se verifica el tránsito a facies progresivamente más profundo.

La sucesión finicretácica se presenta como una secuencia de marcada tendencia somerizante generada bajo un dispositivo de progradación deltaica hacia cuenca que se encuentra definida por el desarrollo a facies pelíticas a muro y progresivamente más proximales hacia techo, culminando con el depósito de la facies Garumniense en un medio esencialmente continental.

En el Paleoceno quedan definidos a nivel regional los dominios Pirenáico y Vasco-Cantábrico. En el área estudiada la base del Paleoceno corresponde a una superficie de truncación muy neta y la sedimentación hasta el Ilerdiense inferior-medio es



esencialmente carbonatada y se emplaza en medios de plataforma somera caracterizando el margen meridional de la cuenca. Al igual que en el Cretácico superior la cuenca se abre hacia el ONO, sentido en el que profundiza el surco sedimentario.

A techo del conjunto carbonatado del Paleoceno-Ilerdiense se registra una importante laguna estratigráfica que comprende el Ilerdiense-medio-superior y la mayor parte del Cuisiense.

A partir del Ilerdiense medio-superior y hasta el Luteciense superior cabe hacer desde el punto de vista regional, las siguientes consideraciones generales:

.Establecimiento de un surco turbidítico (Grupo de Hecho) paralelo a la cadena, nutrido por sistemas deltaicos de procedencia nororiental, correlativo con plataformas carbonatadas o series adelgazadas y condensadas en el margen meridional de la cuenca.

.Desplazamiento progresivo del surco sedimentario hacia el Sur como consecuencia del empuje de la cadena y por sectores, retroceso en el mismo sentido de las plataformas carbonatadas y deltaicas del margen meridional de la cuenca.

.Desarrollo de niveles olistostrómicos-guía (Megaturbiditas), en el seno de la serie turbidítica, generados por desestabilizaciones repentinas de las plataformas carbonatadas marginales.

En la zona de estudio la sedimentación marina desde finales del Cuisiense, durante el Luteciense y hasta el Bartonense se distinguen tres conjuntos deposicionales:

.El primero acontece a finales del Cuisiense superior-Luteciense inferior. Está representado al Sur por depósitos de plataforma carbonatada (Fm Guara, PUIGDEFABREGAS, 1975). En la Foz de Arbayún se verifica el tránsito lateral hacia el Norte de las facies carbonatadas a depósitos margocalcareos propios de talud y margen de plataforma. El conjunto descrito se correlaciona por su edad y posición estratigráfica con los depósitos turbidíticos de la unidad de Cotefablo ( REMACHA 1983) que caracterizan el intervalo del Grupo de Hecho comprendido entre la MT4 y MT5 de LABAUME et al (1983).

El contacto con la serie paleocena-ilerdiense es discordante, remarcado por la existencia de una destacada laguna sedimentaria. La disposición general del conjunto se realiza mediante una relación de on-lap con el infrayacente de modo que hacia el Norte se alcanzan niveles cronoestratigráficos progresivamente más bajos.

El segundo acontece durante el Luteciense superior y constituye un intervalo claramente discordante sobre las calizas de la Fm Guara, presentando una evidente relación de on-lap hacia el sur. Esta representado por facies de margen de plataforma-talud y hacia el Norte pasa a las facies turbidíticas de la unidad de Fiscal, enmarcada entre la MT5 y MT7.

En conjunto la serie muestra un marcado adelgazamiento hacia el Sur con desarrollo de series condensadas en los sectores más meridionales. La organización secuencial indica una tendencia de somerización relativa hacia techo donde aparecen términos comparativamente más someros y carbonatados.

Finalmente el tercero tiene lugar durante el Luteciense superior-Bartoniense. Está representado por un potente sucesión de facies margosas características de ambientes marinos muy profundos. Todo el conjunto manifiesta una organización negativa resultante de una secuencia somerización con desarrollo de facies pelágicas y turbidíticas, ( Flysch de Irurozki), seguidas de términos prodeltaicos, para terminar con la generación de plataformas deltaicas distales (Limolitas de Urroz).

El conjunto se dispone claramente en relación de on-lap hacia el sur, adelgazándose considerablemente la serie en el mismo sentido. La base está marcada por la existencia de una megatubidita carbonática (MT7 de LABAUME et al, 1983), que integra elementos clásticos procedentes de las unidades eocenas infrayacentes.

La transgresión "Biarritziense" descrita por numerosos autores a nivel peninsular, está caracterizada en la región por el desarrollo de una potente sucesión pelítica que se conoce como " Margas de Pamplona". A pesar de su aparente homogeneidad, el conjunto de los Margas de Pamplona se subdivide en dos ciclos deposicionales. El Ciclo Inferior (Bartoniense) está representado por facies margosas prodeltaicas (Margas de Pamplona en sentido estricto) y es correlativo con los depósitos de frente deltaico de la Fm Belsué-Atarés desarrollados más al Este.

La base del ciclo superior (Priaboniense inferior) está marcada por la existencia de una importante incisión asimilada a un cañón submarino cuyo relleno está evidenciado por el desarrollo de canales turbidíticos imbricados (turbiditas de Yesa, Gongolaz y Tábar). La parte alta del ciclo está caracterizada por facies pelíticas prodeltaicas (Margas de Ilundain) y localmente se preservan a techo, términos deltaicos someros (Calcarenitas de Celigüeta). Todo el conjunto del Bartonense-Priaboniense inferior se adelgaza notablemente hacia el Sur en el subsuelo del área estudiada. En el sondeo Sangüesa-1, el espesor del conjunto es de unos 150 m, contrastando con los más de 1500 m. registrados en la cuenca de Pamplona.

La regresión finieocena ocurrida a lo largo del Priaboniense superior indica una importante estructuración de la cuenca, con sedimentación evaporítica y lagunar en medios confinados. La Fm Guendulain (PUIGDEFABREGAS,1975) es el representante sedimentario de este episodio. En la base aparecen depósitos de cloruros sódicos y sódico-potásicos generados en lagunas costeras hipersalinas que indican un momento de máximo confinamiento en la cuenca, con descenso de la lámina de agua y producción de salmueras muy concentradas bajo un régimen climático árido.

Posteriormente se registra un estadio de dilución en la cuenca por entrada de aguas continentales con aporte de material en suspensión (Margas Fajeadas) ligadas a la progradación hacia el Sur de un sistema deltaico lagunar (Areniscas de Liédena) con estructuras características de un régimen inter-supramareal con oscilaciones de rango micromareal.

Las Areniscas de Liédena-constituyen el último depósito con influencia marina en toda la cuenca de antepaís pirenaica y de acuerdo con su distribución paleogeográfica, se extiende desde la parte meridional de la cuenca de Pamplona, penetrando en el dominio de la Cuenca del Ebro donde se encuentran en el subsuelo bajo una potente serie aluvial oligocena.

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

Se evidencia una migración mantenida hacia zonas más meridionales del surco de sedimentación aluvial a consecuencia del empuje de la cadena en el mismo sentido. Esta circunstancia, unida a una probable progresión de la actividad diastrófica da como resultado una secuencia negativa general, de tendencia estrato y clastocreciente, con desarrollo de facies aluviales cada vez más proximales hacia techo y a la aparición de series más modernas hacia el Sur.

Desde el punto de vista paleogeográfico durante el Oligoceno superior y Mioceno y bajo condiciones de sedimentación ya continental, se distinguen tres etapas evolutivas principales:

a) Headoniense-Sueviense (Areniscas y lutitas de Javier). Los sistemas aluviales se distribuyen en dirección E-O pasando hacia occidente a facies perilacustres detrítico-carbonatadas (Facies Zabalza, PUIGDEFABREGAS, 1975)

b) Sueviense-Arverniense. Corresponde al depósito de la Fm Rocaforte en el sentido de LEON, Y (1985) y se caracteriza por la coexistencia de sistemas aluviales de dirección E a O y N a S, definiendo una zona intermedia lutítica con deficiencias en el drenaje (Facies de Cáseda y Sangüesa, PUIGDEFABREGAS, 1975).

c) Ageniense-Orleaniense. En esta etapa los sistemas aluviales presentan una disposición axial submeridiana y se generan facies aluviales proximales indicativas del desplazamiento hacia el sur del margen de la cuenca.

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

Por último cabe destacar que según estudios recientes, el principio del exorreísmo en la cuenca del Ebro debió producirse en un momento próximo al Mioceno superior a partir del cual empezó la historia del vaciado erosional de la cuenca, encajamiento de la red fluvial y modelado del relieve.

Esto trae como consecuencia la instalación de una red fluvial intensa y compleja cuyos depósitos, juntos a los procedentes del desmantelamiento de los relieves a lo largo de los últimos tiempos contribuyen al modelado y actual relieve de la región.

## **6. GEOLOGIA ECONOMICA**

### **6.1. RECURSOS MINERALES**

En el ámbito de la Hoja se ha reconocido 6 indicios, en su mayor parte de escasa entidad. En términos generales no se registra actividad minera en la actualidad, salvo en la cantera de calizas de Liskar, al Norte de Liédena. Se describen no obstante algunos sustancias que si bien no cuentan con inicios registrados en la Hoja, presentan posibilidades de aprovechamiento minero.

#### **6.1.1. Minerales metálicos y no metálicos**

Se han listado un indicio de Cobre ligado a términos areniscosos de la serie terciaria continental y 1 indicio de Hierro relacionado con los calizos del Thanetiense-Ilerdiense. No se conocen indicios de minerales no metálicos.

##### **6.1.1.1. Cobre.**

El indicio de cobre existente en la Hoja se sitúa dentro del área meridional de concentraciones de cobre definida en el “Estudio de la Minería de Navarra” (GOBIERNO DE NAVARRA - INYPSA, 1992), donde aparecen relacionadas con niveles de areniscas de la Fm.Javier o bien de la parte superior de la sucesión terciaria (Oligoceno superior- Mioceno inferior).

Las mineralizaciones se presentan como sulfuros y carbonatos de cobre. Son de tipo estratiforme y poseen un evidente origen sedimentario asociándose a depósitos de carga residual desarrollados en la base de niveles de areniscos a modo de placeres. Destacan por su tono blanquecino entre los colores ocre-rojizos generales de las areniscas.

Se estiman leyes del 0,4%, lo que unido a los elevados valores de buzamiento condiciona de forma negativa las posibilidades de explotación.

#### **6.1.1.2. Hierro**

El único indicio registrado se encuentra relacionado con las calizas del Thanetiense-Ilerdiense.

La mineralización es de óxidos de hierro y se encuentra ligada probablemente a la existencia de una costra ferruginosa desarrollada a techo de las calizas ilerdienses. El origen de la costra se atribuye a una superficie de no depósito implicando un origen sedimentario para la mineralización.

La baja ley del yacimiento, escasa extensión de la mineralización, y dificultades de acceso, condicionan de forma desfavorable su aprovechamiento potencial.

#### **6.1.2. Minerales energéticos.**

No se registra, en el ámbito de la Hoja, ningún indicio de sustancias energéticas. Cabe citar no obstante la existencia del sondeo de petróleo Sangüesa- 1 situado en el límite de las Hojas de Sangüesa y Lumbier. Fue realizado por EMPESA en 1962-63 y con una profundidad de 4776 m alcanzó materiales del Devónico proporcionando resultados negativos a causa de la inexistencia de rocas madre.

#### **6.1.3. Minerales y Rocas Industriales.**

Los indicios destacables de minerales y rocas industriales están referidos a, labores de exploración de sales desarrolladas en el ámbito de la Hoja, canteras de calizas en la Sierra de Leyre, y graveras en los terrazas del río Aragón e Irati.

##### **6.1.3.1. Sales potásicas.**

Se ha listado, en la Hoja, un indicio de sales potásicas correspondientes a los sondeos de exploración Javier-1 y Javier-3 realizados en el marco de la reserva minera de Javier - Los Pintano.

Los resultados obtenidos reflejaron la similitud estratigráfica de la Fm. Evaporítica en el sector de Javier con el yacimiento del Perdón donde se ha definido la sucesión tipo. Esta queda definida de muro a techo por los siguientes tramos característicos:

- "Tramo basal anhidrítico". Potencia, 0,6 a 1m. Anhidritas laminadas y nodulares.
  
- "Sal de muro". Espesor medio, 10 m. Halita y polihalita, masiva y bandeada con esporádicas láminas de arcilla.
  
- "Tramo con silvinita". Potencia, 2m. Alternancia entre halita bandeada con arcillas y silvinita. Se contabilizan hasta 18 capas de silvinita.
  
- "Sales intermedias". Potencia, 0 a 1m. Halita bandeada, intervalo no siempre presente que separa el tramo con silvinita del tramo carnalítico.
  
- "Tramo carnalítico". Potencia 10-12m. Alternancia entre halita bandeada con lutitas y carnalita. Se distinguen 8 capas principales de carnalita, las inferiores se encuentran con frecuencia transformadas a silvinita, proceso que en ocasiones afecta a todo el tramo.
  
- "Sales de techo" y tránsito a las "Margas frajeadas". Potencia, 50-75m. Alternancia entre capas de halita de 1 a 4cm de espesor y lutitas laminadas con anhidrita.
  
- "Margas Fajeadas". Espesor medio, 50m. Lutitos grises y versicolores laminados con intercalaciones de anhidrita y lenticulas de areniscas progresivamente más frecuentes hacia el techo marcando el tránsito a las "Areniscas de Liédena o Galar".

El yacimiento de potasas de Navarra se integra en un macrociclo evaporítico similar al reconocido en la cuenca potásica catalana (ROSELL Y PUEYO,1984) correspondiente a un tipo empobrecido en sulfato magnésico.

Las dos únicas paragénesis potásico-magnésicas de la formación evaporítica son silvinita-halita (con anhidrita y polihalita) y carnalita-halita (con anhidrita y dolomita). La ausencia de sulfato magnésico implica una variación en el quimismo del agua marina original, atribuida a dos posibles procesos: a) reducción del sulfato presente en el agua por acción bacteriana; b) acción de aguas portadoras de Ca, que provocarían la precipitación de sulfato cálcico, o bien procesos de dolomitización, que producirían la precipitación de dolomita y magnesita. No obstante, BRAITSCHE (1971) señala la posible precipitación de silvinita-halita a partir de agua marina empobrecida en sulfato magnésico.



El origen del yacimiento se encuentra relacionado con la regresión marina finieocena, y confinamiento de la cuenca. El depósito de potasas refleja la etapa de máxima evaporación y consecuente producción de salmueras cada vez más concentradas.

#### **6.1.3.2. Sal común.**

Si bien no se ha listado ningún indicio de sal común, se describe en este punto por su estrecha relación con los yacimientos de potasas. De acuerdo con la sucesión-tipo descrita para la Fm. Evaporítica, se hace notar que la halita supone la litología predominante, especialmente en el tramo de "sal de muro" donde constituye la práctica totalidad de la roca. Además, la sal común se puede considerar como el subproducto principal de la explotación de las potasas.

#### **6.1.3.3. Calizas**

Se ha listado un único indicio de calizas correspondiente a las caleras de LISKAR. Constituye una cantera de dimensiones considerables situada al norte de Liédena. Se encuentra emplazada en la Fm. Calizas de Guara. Diversos ensayos y análisis recopilados en el "Estudio de la Minería de Navarra" (GOBIERNO DE NAVARRA y INYPSA, 1992) facilitan los siguientes datos: Desgaste de los Ángeles, 21-23%; CaO, 55-55,2%; CO<sub>2</sub> 42,6 - 42,9%; SO<sub>2</sub>, 0,25 - 0,4%; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0,27-0,8%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0,08 - 0,3%; MgO, 0-0,36%.

La explotación registra una actividad permanente en la actualidad, y se estimó una producción de 210.000 Tm en 1992. El producto está destinado esencialmente a la fabricación de compuestos químicos inorgánicos.

#### **6.1.3.4. Gravas.**

Se han reconocido en la Hoja dos indicios de Gravas. Los puntos de extracción se encuentran situados en terrazas del río Irati. Litológicamente consisten en gravas poligénicas redondeadas y heterométricas, predominando los cantos de areniscas y calizas. La morfología de los depósitos es subtabular y el espesor oscila entre 3 y 5 m presentando con frecuencia lechos arenosos.

En la actualidad, no se registra actividad extractiva de gravas. El producto extraído, considerado como árido natural, se empleó fundamentalmente en la construcción de carreteras y elaboración de hormigón, y eventualmente para cubrir pequeñas demandas locales.

#### **6.1.3.5. Areniscas.**

Si bien no se ha reconocido ningún indicio de areniscas, se describe esta sustancia puesto que debió registrar actividad extractiva en el pasado. Se tiene constancia de la existencia de pequeñas canteras de areniscas situadas en las proximidades de las localidades de mayor importancia histórica, que en la actualidad no resultan observables por haber registrado una recuperación natural. Sin embargo cabe hacer notar que la mayoría de edificios construidos desde épocas altomedievales hasta mediados del siglo XIX utilizaron areniscas tableadas del Terciario continental, de las Areniscas de Liédena y de las Turbiditas de Yesa, Gongolaz y Tábar.

## **6.2. HIDROGEOLOGIA**

### **6.2.1. Descripción de las formaciones**

Se aborda en el presente apartado una descripción resumida de las formaciones diferenciadas en la cartografía hidrogeológica. Las descripciones hacen referencia a tres características, que tratadas desde el punto de vista hidrogeológico corresponden a litología, geometría y permeabilidad.

#### **6.2.1.1. Margas y margocalizas. Campaniense-Maastrichtiense.**

Litológicamente se trata de una formación esencialmente margosa que hacia techo puede intercalar niveles poco potentes de margocalizas y calcarenitas de grano fino. Corresponde a la unidad (185) del Mapa Geológico y litoestratigráficamente equivale a la Fm. Margas de Zuriza (TEIXELL, 1992).

Los afloramientos presentan forma discontinua bajo el cantil meridional de la sierra de Leyre. Su presencia está relacionada con el cabalgamiento de la Sierra de Leyre, solapándose a términos más modernos, generalmente del Paleoceno-Eoceno. La

potencia máxima registrada es de unos 200 m, si bien es muy probable que se deba a una repetición tectónica, estimándose una potencia normal de unos 100m.

La permeabilidad es de baja a muy baja dado el carácter margoso y bastante homogéneo de la unidad.

#### **6.2.1.2. Calcarenitas y areniscas, conglomerados silíceos a techo. Campaniense-Maastrichtiense.**

Litológicamente corresponde a un conjunto de calcarenitas y areniscas que intercala en la parte inferior algunos horizontes de margas y hacia techo se hace progresivamente más terrígeno. (Unidad 2 en el Mapa geológico), terminando, en algunas zonas con conglomerados siliciclásticos (unidad 192). Desde el punto de vista litoestratigráfico se asimila a la Fm. Areniscas de Marborée ( SOUQUET,1967) y los términos areniscoso - conglomeráticos de techo se han correlacionado con la Fm. Areniscas de Arén.

Los principales afloramientos aparecen en la Sierra de Leyre donde constituyen el principal resalte estructural, y en el fondo de la Foz de Arbayún.El contacto con la Fm margosa infrayacente es transicional, si bien se realiza de forma rápida.

El desarrollo de términos conglomeráticos a techo se restringe a los sectores orientales de la sierra de Leyre pasando hacia el NO por cambio lateral de facies a depósitos calcareníticos. La potencia del conjunto se estima en unos 100-150m si bien puede aproximarse localmente a los 200m.

La permeabilidad es media-baja y media, principalmente por facturación en materiales consolidados, aumentando, en términos generales, de muro a techo y de NO a SE por disminución de intercalaciones margosas e incremento en componentes clásticas terrígenos.

#### **6.2.1.3. Calizas y calcarenitas, dolomías en la base. Paleoceno-Luteciense inferior.**

Se trata de una formación que agrupa las unidades carbonatadas del Paleoceno-Ilerdiense y del Luteciense inferior, constituyendo extensos afloramientos en la sierra de Leyre.

La parte basal del conjunto está caracterizada por un intervalo de dolomías de unos 30-60m de potencia (unidad 4 en el mapa geológico) que se dispone de forma discordante sobre el Cretácico superior y Garumniense. El resto del Paleoceno e Ilerdiense define un tramo bastante homogéneo de calizas bioclásticas, eventualmente con contenidos significativos en terrígenos, (unidad 5 en el Mapa Geológico), cuya potencia oscila entre 30 y 120m.

La parte superior está definida por calcarenitas y calizas bioclásticas del Luteciense inferior (unidad 6 en el mapa geológico) equivalente a la Fm. Calizas de Guara (PUIGDEFABREGAS, 1975). Presenta una potencia media de unos 100m, y hacia el norte pasa a facies margosas y margocalcáreas (unidad 7 en el Mapa geológico). El tránsito es observable desde la Foz de Arbayún hacia el norte donde la Fm Calizas de Guara empieza a intercalar en su base términos margosos que implican a partir de ese punto su desconexión hidráulica con los términos carbonatados del Paleoceno-Ilerdiense.

Se integra también en esta formación hidrogeológica la unidad 10 del Mapa geológico correspondiente a un olistolito calcáreo del Luteciense superior, procedente de la desestabilización de las plataformas carbonatadas de la Fm. Guara.

El conjunto carbonatado de Paleoceno-Ilerdiense y Luteciense inferior presenta en la sierra de Leyre una disposición cabalgante hacia el sur, distinguiéndose tres despegues principales y en términos generales muestra un buzamiento hacia el norte, sentido en el que se soterra bajo unidades margosas del Eoceno.

Se atribuye una alta permeabilidad a esta unidad, esencialmente motivada por karstificación. La permeabilidad se desarrolla también en zonas fuertemente tectonizadas, por desarrollo de facturación y fisuración.

#### **6.2.1.4. Margas y margocalizas. Cuisiense-Luteciense inferior**

Constituye un equivalente lateral de la Fm. Calizas de Guara. Litológicamente consiste en una alternancia rítmica entre margas y margocalizas (unidad 7 en el Mapa Geológico) y se dispone de forma discordante sobre los términos carbonatados del Paleoceno-Ilerdiense en relación de on-lap.

---

En la Foz de Arbayún define un intervalo margoso desarrollado entre las calizas del Paleoceno-Ilerdiense y la Fm. Guara, de modo que individualiza hidráulicamente ambas Fms. Carbonatadas.

Su permeabilidad es baja dado el carácter margoso de la unidad.

#### **6.2.1.5. Calcarenitas y margas. Luteciense superior.**

Corresponde a la unidad 8 del Mapa geológico y está representada por un intervalo de unos 60-80 m que hacia el norte pasa lateralmente a margas y margocalizas y finalmente a depósitos turbidíticos del Grupo de Hecho. Litológicamente está formada por calcarenitas de grano fino, margocalizos y delgados intercalaciones de margas calcáreas, más frecuentes en la base.

Los únicos afloramientos destacables se localizan en las proximidades de Lumbier donde se aprecia su disposición discordante sobre las calizas de la Fm. Guara. Aparece también de forma discontinua en los sectores mas meridionales de la sierra de Leyre, si bien presenta una potencia muy reducida por condensación de la serie.

La permeabilidad es media- baja atribuible a facturación-fisuración en los términos más competentes.

#### **6.2.1.6. Margas y margocalizas , localmente con intercalaciones de areniscas. Eoceno medio y superior.**

Constituye un conjunto de baja permeabilidad integrado por las formaciones margosas del Eoceno.El conjunto se dispone, en términos generales, mediante una relación de on--lap sobre las unidades carbonatadas del Paleoceno-Eoceno de la Sierra de Leyre, y presenta una reducción global de potencias hacia el sur.

Se distinguen cuatro secuencias principales de depósito .De muro a techo son:

a) Luteciense superior. Corresponde a la unidad 9 del Mapa geológico constituyendo el equivalente lateral hacia el norte de la unidad cartográfica 8 . Presenta una potencia de cerca de 100m y está constituida por margas y margocalizas con slumping . Pasa hacia el Norte a facies turbidíticos del Grupo de Hecho.

b) Luteciense superior-Bartoniense. Forma una potente sucesión de unos 450 m representada esencialmente por depósitos margosos con intercalaciones turbidíticas muy diluidas ( Irurozqui, unidad 12). A techo se reconoce un intervalo muy continuo a unos 80 m de potencia, constituida por margas calcáreas con intercalaciones de limolitas calcáreas conocido como nivel de Urroz (unidad 13 del Mapa Geológico).

En la base de la secuencia y únicamente en los alrededores de la Foz de Lumbier se reconoce una megaturbidita muy adelgazada sin desarrollo de la brecha carbonatada basal y con el término calcarenítico superior de potencia inferior a 5 m ,muy afectado por deformación hidroplástica. En los alrededores de Lumbier la unidad 12 incluye depósitos desorganizados con cantos aislados de calizas lutecienses.

La secuencia presenta una reducción notable de espesor hacia el sur registrándose valores inferiores a los 100 m. en los afloramientos mas les.

c) Bartoniense-Priaboniense inferior. Está representado por la sucesión de las Margas de Pamplona, en sentido amplio, que alcanza una potencia superior, en algunos puntos, a los 1500m. Intercala en su parte media, depósitos turbidíticos (unidades 15 y 16, Turbiditas de Yesa y Gongolaz) que permiten la diferenciación de dos conjuntos margosos muy homogéneos: Margas de Pamplona (267), en sentido estricto, a muro, y Margas de Ilundain (274) a techo.

d) Priaboniense superior. Está representado por las “Margas Fajeadas”. Constituyen un intervalo de unos 25-50m de potencia formado por lutitas rojas y arcillas margosas grises finamente laminadas con trazos de sulfatos. Forma parte de la Fm. Guendulain pasando hacia el techo de forma transicional a la Arenisca de Liédena. En subsuelo se encuentra separada de las unidades margosas eocenas infrayacentes por la Fm Evaporítica, constituida esencialmente por sales sódicas.

El conjunto de unidades descritos presenta una permeabilidad baja a muy baja debido al predominio generalizado de términos margosos.

#### **6.2.1.7. Areniscas tableadas y lutitas. Priaboniense**

Corresponde al término esencialmente arenoso de la “Arenisca de Liédena” (unidad 21 en el Mapa Geológico) Litológicamente consiste en areniscas de grano fino en

bancos centi-decimétricos tableados alternando en proporciones variables con limos y lutitas grises.

Presenta contactos transicionales con términos más lutíticos de la Fm Gendulain (Margas Fajeadas, 20, a muro, y, unidad 22 del Mapa Geológico, parte alta de la Arenisca de Liédena), y su potencia media es de unos 80m.

Se integra en esta Fm. hidrogeológica la unidad 19 del Mapa geológico, que si bien se encuentra relacionada genéticamente con las Margas de Ilundain (274), presenta analogías litológicas con la Arenisca de Liédena con la que está en contacto, correspondiendo a calcarenitas y areniscas bioclásticas tableadas.

La permeabilidad puede considerarse en términos generales como media-baja si bien puede desarrollarse cierta circulación de agua en zonas próximas a la superficie por fisuración, descalcificación y descompactación de las areniscas.

#### **6.2.1.8. Lutitas y Areniscas.Oligoceno**

Quedan integrados en esta formación hidrogeológica todas las unidades esencialmente lutíticas de la sucesión continental terciaria.

Se distinguen tres intervalos principales separados por unidades comparativamente más competentes con las que presentan parciales cambios laterales de facies. Cada uno de los tres intervalos principales presenta unos valores elevados de potencia y litológicamente están formados por lutitas ocres y rojas con intercalaciones de areniscas, y eventualmente delgados niveles de calizas arenosas y arcillosas y margas, siendo muy poco frecuente la presencia de trazas de yeso.

Los tres intervalos principales están integrados por las siguientes unidades del Mapa Geológico:

a) Facies lutíticas de Javier y parte alta de las Areniscas de Liédena (unidades 22 y 23)

b) Facies lutíticas de Sangüesa (unidades 26 y 27)

c) Facies lutíticas de Rocaforte.,.(unidades 29 y 30).

La permeabilidad es baja dado el predominio de términos lutíticos.

#### **6.2.1.9. Areniscas y Lutitas. Oligoceno-Mioceno**

Agrupar las unidades del Terciario continental con predominio de términos areniscosos. Se distinguen tres intervalos principales que destacan en el terreno como resaltes estructurales por su mayor competencia.

Litológicamente corresponden a areniscas y lutitas ocres-rojizas con predominio de las primeras sobre las segundas. Las areniscas constituyen niveles de espesor variable, en general de orden métrico-decimétrico, de geométrica tabular y canalizada, que alternan con lutitos o se amalgaman formando bancos de potencia métrica-decamétrica. Si bien se distinguen en la serie terciaria a continental tres intervalos areniscosos principales, las unidades lutíticas pueden intercalar localmente niveles de areniscas de menor potencia y reducida extensión.

De acuerdo con lo expuesto se distinguen de muro a techo las siguientes unidades y agrupaciones de niveles cartográficos.

a) Facies areniscosas de Javier. Corresponden a la unidad 24 del Mapa geológico, y constituyen intervalos areniscosos de potencia decamétrica que se desarrollan en mayor número en la parte media y alta de las "Areniscas y lutitas de Javier"

b) Facies areniscosas de Sangüesa. Están representadas por la unidad 25 del mapa Geológico, que se sitúa en la parte baja de las "Areniscas y lutitas de Sangüesa". Presenta un mayor desarrollo en el sinclinal de Rocaforte donde alcanza una potencia de unos 400 m adelgazándose notablemente hacia el sur, en el anticlinal de Aibar por tránsito lateral a los términos lutíticos de la unidad 26.

c) Facies areniscosas de Rocaforte. Están definidas por la unidad 28 situada en la parte inferior del conjunto de las "Areniscas y lutitas de Rocaforte". Muestra una distribución geométrica similar a la de las facies areniscosas de Sangüesa, presentando una potencia de unos 150-200 en el sinclinal de Rocaforte y adelgazándose considerablemente por tránsito lateral a facies lutíticas en el flanco



meridional del Anticlinal de Aibar. Hacia el NO, ya en la Hoja 174-I, alcanza (bosque de Sabaiza) su máximo desarrollo, llegando a constituir la totalidad del conjunto de IAS "Areniscas y lutitas de Rocaforte" y definiendo una serie monoclinas con buzamientos generales hacia el sur de más de 1000 m de potencia.

Las unidades descritas presentan una permeabilidad media-baja dada la cementación de las areniscas y el frecuente desarrollo de alternancias con lutitas. No obstante los paquetes más competentes pueden permitir cierta circulación de agua en posiciones próximas a la superficie por descompactación y pérdida parcial de la cementación, y en zonas comparativamente más tectonizadas por fracturación y mayor densidad de diaclasado.

#### **6.2.1.10. Gravos, arenas y limos. Cuaternario**

Se tratan en este punto las formaciones permeables del Cuaternario. En general corresponden a depósitos de gravas, arenas y en menor proporción, limos, ligados a la dinámica fluvial, y que se desarrollan principalmente en relación a los principales cursos; ríos Aragón, Irati, Salazar y de forma local en arroyos subsidiarios.

Se distinguen cinco niveles principales de terrazas (unidades 45 a 52 del Mapa Geológico) los más altos dispuestos como terrazas colgadas, y los bajos presentando una distribución de terrazas encajadas.

Los depósitos de cauces activos (526) y abandonados (530) muestran una litología similar a las terrazas limitando su desarrollo a los ríos más importantes.

Se incluyen también por sus características litológicas las canchales y coluvienes de cantos constituidos por depósitos de gravas de cantos angulosos con escasa o nula matriz, y que desarrollan localmente a pie de los principales escarpes de los términos más competentes del sustrato.

La permeabilidad en estos depósitos es alta por porosidad intergranular dada su granulometría grosera, escasez de matriz lutítica y poca o nula cementación.

**6.2.1.11. Arcillas con bloques y cantos, y arenas.Cuaternario**

Se agrupan las formaciones del Cuaternario que están representadas litológicamente por lutitos con un contenido destacable en elementos clásticos. Corresponden principalmente a depósitos de ladera; conos aluviales ( 45 y 53), coluviones (54 y 56) y glaciais (46 y 47) cuya composición litológica depende del área de procedencia consistiendo generalmente en fangos con cantos de areniscas y de calizas en proporciones variables.

En zonas más bajas se distinguen depósitos coluviales-aluviales (537) y de fondo de valle (527) que corresponden a lutitas con cantos dispersos y esporádicamente intercalaciones de arenas con matriz arcillosa.

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

**6.2.1.12. Arcillas, arcillas con cantos dispersos y lutitas margosas. Cuaternario.**

Comprende las formaciones impermeables del Cuaternario, representadas esencialmente por términos lutíticos.Los depósitos de mayor desarrollo corresponden a arcillas de descalcificación (523) desarrollados en fondos de dolinas que se generan sobre las formaciones carbonatadas de la sierra de Leyre. Son también destacables, los deslizamientos (545) que movilizan depósitos lutíticas de la sucesión terciaria continental y margas del Eoceno.

La permeabilidad de estos depósitos es muy baja dada su naturaleza arcillosa.

**6.2.2. Unidades acuíferas.**

Se describen a continuación una serie de unidades que agrupan formaciones hidrogeológicas susceptibles de almacenar y transmitir el agua, y por lo tanto capaces de constituir acuíferos.

---

Se han diferenciado 4 unidades con funcionamiento hidrogeológico independiente, si bien pueden presentar localmente algunas conexiones. Por orden cronoestratigráfico son:

- Unidad de Leyre
- Areniscas de Liédena
- Formaciones permeables del Terciario continental
- Formaciones permeables del Cuaternario.

**6.2.2.1. Calcarenitas, areniscas y conglomerados silíceos del Cretácico superior, dolomías, calizas y calcarenitas del Paleoceno y Eoceno inferior y medio. Unidad de Leyre.**

Geometría:

La Unidad Hidrogeológica de Leyre aparece descrita en el Proyecto Hidrogeológico desarrollado entre 1975 y 1977 por la Diputación Foral de Navarra, Dirección General de Obras Públicas, y Servicio Geológico, abarcando por su proximidad y similitud litoestratigráfica las Sierras de Leyre e Illón.

Está representada por materiales del Cretácico superior y del Paleoceno-Eoceno. El Cretácico superior está constituido por margas en la base y calcarenitas arenosas y areniscas hacia techo, desarrollándose conglomerados silíceos en la parte más superior (Fms de Zuriza, Marboré y Arén, respectivamente).

El Paleoceno e Ilerdiense forman un conjunto carbonatado integrado por un intervalo basal dolomítico, y una parte superior calcárea del Paleoceno superior-Ilerdiense. El Luteciense inferior está representado esencialmente por calcarenitas de la Fm. Guara.

Los principales acuíferos están definidos por las unidades carbonatadas del Paleoceno illerdiense, y por las calcarenitas del Luteciense inferior, presentando, los materiales clásticos del Cretácico superior, rangos más bajos de permeabilidad.

En las Hojas de Lumbier esta unidad hidrogeológica está representada por una serie de estructuras de vergencia sur que cabalgan a los términos margosos del Eoceno medio y superior dando lugar a tres alineaciones montañosas de dirección E-O. Hacia el Norte los materiales del Cretácico superior y Paleoceno se sumergen bajo depósitos margosos del Eoceno mientras que la Fm. Guara pasa lateralmente a estos últimos

Funcionamiento hidrogeológico.

La recarga del sistema se produce principalmente a partir del agua de lluvia caída sobre la sierra que se infiltra en los acuíferos por zonas fracturadas y receptores cársticos. Los acuíferos se drenan esencialmente por salidas directas a los ríos Irati, Esca y Salazar.

En el extremo meridional de la Foz de Lumbier se observa un importante punto de descarga del acuífero calcáreo del Luteciense al río Irati producida a través de conductos cársticos, y que se evidencia por una espectacular ganancia de caudal del río.

Los manantiales presentan, en general, un control tectónico apareciendo ligados a fracturas, en cotas superiores a la de los ríos. Destaca especialmente el manantial de Arbayún, próximo al límite septentrional de la zona de estudio, donde se registra un caudal medio superior a los 100 l/sg.

En términos generales existe una comunicación directa, entre las distintas unidades litológicas permeables, no obstante, localmente se desarrollan horizontes impermeables que independizan hidráulicamente la formación carbonatada del Paleoceno e Ilerdiense. Este fenómeno es observable, ya en la Hoja de Tiermas (175-I), en los sectores orientales de la sierra de Leyre donde la Facies Garumniense, lutítica, separa al Cretácico superior del Paleoceno, así como en la Foz de Arbayún, donde los términos inferiores de la Fm. Guara presentan un tránsito lateral hacia el norte a depósitos margocalcáreos del Cuisiense-Luteciense inferior, independizándose de las calizas del Paleoceno superior-Ilerdiense.

Hacia el N y NO los acuíferos del Paleoceno-Ilerdiense y del Cretácico superior pasan a ser confinados al soterrarse bajo depósitos margosos, prácticamente impermeables, del Eoceno medio y superior. Las calcarenitas de la Fm Guara, sin embargo, se

adelgazan y acuñaen en sentido norte por cambio lateral de facies a depósitos margosos y margocalcáreos de tránsito a los sistemas turbidíticos correlativos del Grupo de Hecho.

#### Parámetros hidrogeológicos

No se han obtenido datos de ensayos o test hidráulicos realizados en los niveles permeables de la unidad.

Se ha estimado una permeabilidad alta para el conjunto de la unidad siempre condicionada por las zonas de fracturación y donde se han desarrollado procesos de carstificación.

#### **6.2.2.2. Areniscas tableadas. Areniscas de Liédena. Priaboniense superior-Headoniense.**

##### Geometría.

Comprende el término con predominio de areniscas de la Fm. Guendulain (unidad 21 del Mapa Geológico, parte inferior de la "Arenisca de Liédena"). Constituye un paquete de areniscas de grano fino con tableado de frecuencia decimétrica-centimétrica y eventuales intercalaciones de limos grises, que con una potencia de unos 80-100m se extiende en dirección ONO-ESE al sur de la Falla de Loiti.

En afloramiento constituye un resalte continuo desde el Oeste del Liédena hasta el límite de provincia con Aragón al sur del pantano de Yesa. Presenta en general buzamientos medios a elevados hacia el sur lo que motiva que su representación cartográfica consista en una franja estrecha de 100-200m de anchura por término medio.

##### Funcionamiento hidrogeológico

La recarga se produce principalmente por infiltración del agua de lluvia transfiriéndose al acuífero a través de fracturas y en cierta medida a favor de cierta porosidad intergranular en situación superficial debida a descompactación por pérdida de cementación en las areniscas.

Algunos sondeos realizados en sectores próximos en el marco de estudios hidrogeológicos para Potasas de Subiza S.A., cortaron niveles de agua salada intercalados entre otros de agua dulce, atribuyendo a la unidad un comportamiento como acuífero multicapa, con evidente dificultad de circulación vertical. Por otra parte, al estar limitado por formaciones impermeables, o comparativamente menos permeables (Margas Fajeadas a muro, y tránsito a la Fm Javier a techo), constituye en profundidad un acuífero confinado, si bien buena parte de la circulación del agua debe ser epidérmica por meteorización superficial.

La descarga debe producirse por transferencia a las formaciones superficiales de los márgenes los ríos Aragón e Irati que cortan las Areniscas de Liédena en Yesa y Liédena, respectivamente, y por manantiales de escasa importancia.

Parámetros hidráulicos:

No se tiene información procedente de ensayos o test hidráulicos realizados en la unidad acerca de los parámetros hidrogeológicos que la definan. Al igual que en el caso anterior el elevado grado de consolidación de muchos de los niveles areniscosos limita su porosidad eficaz y por tanto su permeabilidad.

Se estima una permeabilidad baja para el conjunto de la unidad. Puntualmente puede aumentar dicho valor en zonas donde la consolidación es menor.

### **6.2.2.3. Areniscas y lutitas. Formaciones permeables del Terciario continental. Oligoceno-Mioceno. Formaciones permeables del terciario continental. Oligoceno-Mioceno.**

Se agrupan en este punto todas aquellas formaciones de la serie continental terciaria que por sus características litológicas, predominio de términos areniscosos y eventualmente conglomeráticos, presentan posibilidades de almacenar y/o transmitir agua, si bien en términos generales presentan rangos moderados de permeabilidad.

Forman parte de la Unidad Hidrogeológica sur definida en el marco del Proyecto Hidrogeológico llevado a cabo por la OFN, DGOP y SG de la DFN (1975-1977), y que está representada por los materiales terciarios de relleno de la cuenca del Ebro en condiciones endorreicas.

En este contexto, la zona de estudio comprende parte del sector con desarrollo de facies detríticas de borde de acuerdo con su proximidad al margen septentrional de la cuenca. En consecuencia la serie presenta un predominio de buzamientos hacia el sur con valores decrecientes en el mismo sentido, y únicamente en los flancos septentrionales de los anticlinales de Aibar y Eslava se registran buzamientos moderados hacia el norte consecuentes con la vergencia sur de las estructuras.

Comprendiendo los cuatro cuadrantes que integran la Hoja a escala 1:50000 de Sangüesa (174) se diferencian en la serie tres intervalos principales, cada uno de varios cientos de metros de potencia, con predominio de depósitos clásticos y por lo tanto con posibilidades de constituir acuíferos de cierta entidad.

El más bajo en la serie constituye la parte inferior de los "Areniscas y lutitas de Sangüesa", el intermedio está adscrito a las "Areniscas y lutitas de Rocaforte" y el superior, desarrollado en los sectores meridionales de la zona de estudio, representa la parte alta de la serie y al sur de Gallipienzo intercala términos conglomeráticos.

Los acuíferos están formados por areniscas bastante consolidadas con intercalaciones de arcillas en proporción variable.

#### Funcionamiento hidrogeológico

A grandes rasgos, se trata de acuíferos confinados cuya recarga se realiza por infiltración del agua de lluvia. Las areniscas permiten cierta circulación de agua en zonas con desarrollo de fracturación y/o diaclasado y especialmente en situación próxima a la superficie donde presentan procesos de descalcificación. A mayor profundidad disminuye la porosidad por una mayor cementación, aumentando la salinidad del agua.

La descarga se realiza por manantiales dispersos y por transferencia hacia los ríos a través de depósitos cuaternarios permeables. Los caudales registrados en los manantiales y pozos son bajos de modo que no alcanzan generalmente los 5 l/sg.

Parámetros Hidrogeológicos:

Al igual que en los casos anteriores no existen datos concretos de permeabilidad, transmisividad, coeficiente de almacenamiento, etc, en base a bombeos de ensayo o test hidráulicos realizados en la zona.

El elevado grado de consolidación de muchos de los niveles areniscosos y/o conglomeráticos limita la porosidad eficaz y por tanto su permeabilidad. Esto, unido al carácter anisotrópico o individualizado de los niveles areniscosos permeables limita la posibilidad de explotación de estos niveles acuíferos no dándose, en las perforaciones realizadas, caudales superiores a 2 l/s.

#### **6.2.2.4. Gravas, arenas y limos. Formaciones permeables del Cuaternario.**

Destacan por su importancia hidrogeológica los materiales cuaternarios ligados a la dinámica fluvial de los principales ríos y cursos mayores subsidiarios. Corresponden a terrazas y depósitos aluviales.

Su distribución geográfica por tanto está directamente determinada por el recorrido de las redes hidrográficas principales. En general dan lugar a secuencias simples de depósito de potencia métrica y tendencia granodecreciente con desarrollo de gravas en la parte inferior pasando en vertical a arenas y limos. Normalmente constituyen niveles de escaso espesor (1-5 m) no obstante pueden registrarse valores a cerca de 20 m (aluvial del río Aragón).

Los depósitos de ladera presentan en general rangos bajos de permeabilidad , a causa de su naturaleza esencialmente lutítica. Únicamente poseen cierta porosidad intergranular los términos clásticos (canchales, coluviones de bloques) desarrollados localmente a pie de escarpes rocosos.

Funcionamiento hidrogeológico.

La recarga se produce por infiltración del agua de lluvia, retorno de los riegos, inundaciones por desbordamiento de los ríos y transferencia de los acuíferos en rocas consolidadas a las formaciones superficiales permeables.



Constituyen acuíferos libres, de extensión variable y la permeabilidad es alta por porosidad intergranular dada la escasa o nula compacidad de los depósitos.

Las descargas son directos a los ríos en los niveles conectados con los cursos fluviales (aluviales y terrazas bajas) y por manantiales de escasa entidad a cotas más altas, en terrazas colgadas y depósitos de ladera permeables.

Parámetros hidráulicos.

Se han recopilado los datos existentes en el libro de "las Aguas subterráneas en Navarra. Proyecto hidrogeológico". (DFN, DGOP y SG de la DFN, 1975-77) que hacen referencia únicamente al aluvial del río Aragón aguas abajo de la zona de estudio en su confluencia con el Ebro. En el marco de dicho proyecto se realizaron ensayos que proporcionaron para el aluvial de Aragón unos valores de transmisividad comprendidos entre 100 y 3000 m<sup>2</sup>/día, estimándose la porosidad eficaz en un 10%.

## **6.3. GEOTECNIA**

### **6.3.1. Introducción**

En este apartado se describe la cartografía geotécnica de la Hoja a escala 1:25.000 nº 174-II correspondiente a Lumbier 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 recopilados en obras y proyectos. En el caso de no disponer de esta información, se efectúa una valoración geotécnica según las características litológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas de los materiales. El objetivo de este trabajo es proporcionar al usuario una información complementaria de carácter general, pero lo suficientemente objetiva, que sirva de punto de partida para orientar hacia futuros trabajos de planificación territorial y campañas geotécnicas puntuales.

### **6.3.2. Metodología**

Para la realización de este capítulo se han seguido las siguientes etapas: -  
Recopilación de los datos existentes. Los datos de Ensayos de Laboratorio proceden de las siguientes obras y proyectos:

•“Proyecto de Construcción de Embalse en la Regata Mairaga”. MOPU. Dirección General de Obras Hidráulicas. Confederación Hidrográfica del Ebro. 1980. Hoja 173

•“Documento XYZT Presa de Yesa”. MOPU. Dirección General de Obras Hidráulicas. Confederación Hidrográfica del Ebro. 1986 Hoja 175-I. Tiermas

•“Proyecto de Construcción de Intersección a distinto nivel de la Ctra. N-240 (Pamplona-Huesca) con la Ctra. NA-150 (Pamplona-Aoiz-Lumbier) y la Ctra NA-5340 (Aibar-Venta de Judas)”. SERTECNA 1994 Hoja 174-II

•“Anteproyecto y Proyecto de Acondicionamiento y mejora del trazado del N-240 PK 29,0 a PK 34,5 (Alto de Loiti-Venta de Judas)”. DIPUTACIÓN FORAL DE NAVARRA. Dirección de Caminos 1979. Hojas 174-1 y 174-II

Asimismo, y con el fin de proporcionar una visión global del conjunto del territorio navarro, esta información se completa con la procedente de alguna de las unidades geológicas que se prolongan en Hojas próximas, fundamentalmente las de Pamplona (141-IV); Aibar (174-I); Cáseda (174-III), Sangüesa (174-IV) y Yesa (175-Y) -

Realización de la base de datos. Se ha elaborado una ficha geotécnica, donde figuran los ensayos de laboratorio recopilados. Estos tratan de establecer, de la manera más adecuada posible la naturaleza actual de la roca, su comportamiento mecánico y/o hidráulico y, la evolución y propiedades de la misma bajo los procesos de meteorización. Los ensayos recopilados se clasifican en los siguientes grupos:

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

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

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

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

Igualmente, se 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.

-Zonificación en áreas de iguales características. A partir de los datos anteriormente comentados e interpretando las unidades geológicas cartografiadas, se procede a la zonificación de la superficie de la Hoja en áreas de iguales características (geotécnicas y litológicas). Como se ha señalado con anterioridad, cuando no ha sido posible disponer de ensayos, los criterios seguidos para establecer esta zonificación, han sido las características litológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas de los materiales, observadas durante los reconocimientos de campo.

### **6.3.3. Zonificación geotécnica**

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

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

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

### 6.3.3.2. División en Áreas y Zonas Geotécnicas

Los materiales que integran la Hoja 174 han sido agrupados desde el punto de vista geotécnico en las siguientes áreas:

ÁREA I:Engloba los materiales Cretácicos

ÁREA II:Comprende los depósitos marinos del Eoceno

ÁREA III:Representa los depósitos de origen continental del Oligoceno y Mioceno

ÁREA IV:Corresponde a los depósitos Cuaternarios

Estas áreas se han dividido en las siguientes zonas:

ÁREA I: ZONA I1, I2, I3

ÁREA II: ZONA II1, II2, II3, II4, II5

ÁREA III: ZONA III1, III2, III3, III4, III5, III6

ÁREA IV: ZONA IV1, IV2, IV3, IV4

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

CUADRO 1. CORRELACIÓN ENTRE LAS UNIDADES GEOLÓGICAS Y ZONAS GEOTÉCNICAS EN LA HOJA DE LUMBIER. 174-II

UNIDAD CARTOGRÁFICA	ZONACION GEOTÉCNICA	DESCRIPCIÓN
550	IV <sub>4</sub>	Depósitos antrópicos
513,519,518,502,506,507, 508,524,536,537,527,530, 526	IV <sub>3</sub>	Depósitos fluviales, aluviales y poligénicos
547, 543, 545,	IV <sub>2</sub>	Depósitos de gravedad
523	IV <sub>1</sub>	Depósitos cársticos y endorréicos
308	III <sub>4</sub>	Lutitas ocre, areniscas, margas y calizas

		margosas
304, 307, 318	III <sub>3</sub>	Lutitas con intercalaciones de areniscas
279, 280, 305, 306, 317, 319	III <sub>2</sub>	Alternancia de areniscas y lutitas ocre
278	III <sub>1</sub>	Margas y lutitas rojas con intercalaciones de areniscas
271, 272, 273	II <sub>5</sub>	Areniscas y lutitas
249, 267	II <sub>4</sub>	Margas
253	II <sub>3</sub>	Calcarenitas, calizas margosas y margocalizas
212, 254, 247, 263,	II <sub>2</sub>	Margas y margocalizas en alternancia rítmica
204, 211, 215, 259,	II <sub>1</sub>	Calizas y dolomías de aspecto masivo
192	I <sub>3</sub>	Areniscas y conglomerados
191	I <sub>2</sub>	Calcarenitas y areniscas
185	I <sub>1</sub>	Margas y margocalizas grises y ocre

### 6.3.1. Características geotécnicas

#### 6.3.1.1. 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. Así mismo, se señalan los principales problemas geotécnicos que pueden presentarse y que en general, van a estar relacionados con la presencia de: turbas o arcillas compresivas, nivel freático superficial, zonas de alteración superficial del sustrato rocoso, erosiones y arrastres

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

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

- Granulometría. Del análisis granulométrico se ha considerado el contenido de finos que presenta el suelo, es decir, el porcentaje que pasa por el tamiz N° 200 (0.08 mm) de la serie ASTM. Estos datos son utilizados posteriormente en diversas clasificaciones.

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

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

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

Muy blanda	1 - 5	Corta fácilmente	Se puede machacar
------------	-------	------------------	-------------------

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

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

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

•Análisis químico. Se han utilizado los datos de contenido en Materia Orgánica, Carbonatos y Sulfatos. Estos últimos permiten determinar la agresividad del terreno mediante el contenido en sulfatos, valorado según la normativa que se expone a continuación:

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

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

-Cimentación. Se evalúa la capacidad portante del terreno. Normalmente se ha utilizado el criterio expuesto en el Código Británico nº 4 y Norma DIN-1054, que establece cargas admisibles para roca poco diaclasada, no meteorizada con estratificación favorable y marcada de 15 Kp/cm<sup>2</sup> y de 30 Kp/cm<sup>2</sup> en estado masivo o columnar. (En caso de rocas diaclasadas o con disposición desfavorable de los planos de estratificación, estos valores deberán reducirse a la mitad.

Descripción de la roca	Kp/cm <sup>2</sup>
------------------------	--------------------

Roca ígnea o gnéisica sana	109
Calizas masivas y areniscas duras	44
Esquistos y pizarras	33
Lutitas duras, limolitas y areniscas blandas	22
Lutitas arcillosas	11

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

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

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

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

-Empujes sobre contenciones. Hacen referencia a contenciones del terreno natural, no de rellenos realizados con los materiales de cada zona.



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

-Aptitud para explanada en carreteras. Se evalúa la capacidad de soporte de los materiales para constituir una explanada, es decir, la resistencia que ofrecen a la deformación bajo cargas.

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

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

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

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

Bieniawski establece cinco categorías en función del valor RMR:

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

### **6.3.1.2. Área II**

#### **Zona II1**

##### Características Geológico-Geotécnicas

Se han agrupado aquí un conjunto de materiales pertenecientes al Paleoceno-Eoceno inferior constituidos por calizas y dolomías de aspecto masivo, karstificadas. Los tramos más bajos pueden ser de espesor métrico y a veces se encuentran tableados mientras que el resto tiene un aspecto masivo característico

Los afloramientos son de muy buena calidad y se localizan en la Sierra de Leyre, configurando las estribaciones de esta, así como los relieves destacados próximos a Lumbier.

##### Características geotécnicas

Se estima que la resistencia a la compresión simple es Medianamente resistente - Resistente ( $q_u = 200 - 600 \text{ kp/cm}^2$ ) según la terminología de la ISRM.

La resistencia del macizo estará condicionada a las características de las discontinuidades.

Un rango característico en estos materiales y que deberá contemplarse en cualquier estudio geotécnico que se realice, es la karstificación que presentan y por consiguiente se analizarán los posibles hundimientos en cimentaciones y desprendimientos de taludes.

### Condiciones de cimentación

Considerando el Código de Práctica Británico, a este tipo de roca se puede aplicar una carga admisible superior a 40 kp/cm<sup>2</sup>, mientras la norma DIN 1054 recomienda un valor de 30 kp/cm<sup>2</sup>.

En la práctica habitual puede considerarse cargas variables entre 5 y 10 kp/cm<sup>2</sup>, según el grado de fracturación y karstificación que presenten.

### Condiciones para obras en tierra

#### -Excavabilidad

Precisarán el empleo de explosivos para su excavación.

#### -Estabilidad de taludes

Se consideran estables, tanto los taludes naturales como artificiales, su estabilidad estará condicionada por el grado de fracturación y karstificación.

#### -Empujes sobre contenciones

Las contenciones no serán necesarias.

#### -Aptitud para préstamos

Las calizas se consideran rocas adecuadas en el P.P.T.G., para su empleo en pedraplenes.

#### -Aptitud para explanada de carreteras

La explanada que se realiza en roca posee categoría E-3.

#### -Obras subterráneas

Las calizas pueden situarse en la clasificación de Bieniawski (1979) entre las categorías III (Buena), si bien puede existir zonas donde la categoría sea II (Media).

## Zona II2

### Características Geológico-Geotécnicas

#### Características geotécnicas

En general presentan una cierta meteorización, por lo que su comportamiento geotécnico a veces es como el de un suelo.

Se trata de una roca relativamente blanda, donde los procesos de alteración se desarrollan a veces con rapidez

#### Características constructivas

##### -Condiciones de cimentación

Las presiones admisibles calculadas para profundidad de cimentación mínima de 1,5 - 2 m, que corresponde al nivel alterado o saturado, generalmente varían entre 1,3 y 3 kp/cm<sup>2</sup>. A mayor profundidad en las margas sanas, según los valores orientativos que se dan en el Código inglés pueden considerarse presiones admisibles entre 6 y 10 kp/cm<sup>2</sup>. No obstante, como norma general, para edificios altos o cuando se prevean fuertes cargas concentradas, se requerirá un estudio de resistencia y deformabilidad.

Entre los problemas de cimentación puede considerarse:

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

.Presencia de niveles de arcillas blandas intercaladas entre margas sanas que pueden causar fenómenos de punzonamiento.

##### -Excavabilidad

Las zonas alteradas son suelos Medios-Duros, fácilmente excavables.

En las zonas donde aparecen margas sanas presentan una ripabilidad variable, entre ripable y no ripable.

### Estabilidad de taludes

Los taludes naturales son estables, únicamente presentan el problema de la alteración de las margas que progresivamente van deteriorando el talud, observándose abundantes acaravamientos. Los taludes artificiales, en las margas alteradas producirán flujos de barro y deslizamientos, mientras que los que se efectúen en margas sanas presentarán con el tiempo un deterioro progresivo.

#### -Empujes sobre contenciones

Se estiman Medios, pudiendo aumentar el tiempo en función de la alteración de los materiales y de la protección que se de a la coronación de talud.

#### -Aptitud para préstamos

Según los términos definidos en la Metodología, los materiales superficiales procedentes de la alteración del sustrato margoso se consideran No Aptos, es decir inadecuados y ocasionalmente Marginales. En general, por tanto, no se aconseja su utilización en préstamos para viales.

Las margas sanas tampoco deben utilizarse en la ejecución de pedraplenes por su elevada alterabilidad.

#### -Aptitud para explanada de carreteras

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

#### -Obras subterráneas

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

### -Características Geológico-Geotécnicas

Se reconoce esta unidad en el entorno de la estructura anticlinal de la Foz de Lumbier así como en las proximidades de las estribaciones de la Sierra de Leyre, junto al río Salazar en Lumbier. También se reconoce en las inmediaciones del puerto de Loiti, junto al señorío de Celigüeta.

: Su comportamiento geomecánico viene ligado, a la alternancia de niveles menos resistentes entre niveles duros.

#### Características constructivas:

##### .Cimentación:

Se pueden considerar presiones admisibles variables entre 6 y 10 Kp/cm<sup>2</sup>.

Será importante considerar en el cálculo de la cimentación la posible presencia de niveles menos competentes, entre los más resistentes.

##### .Excavabilidad:

En general no son ripables, eventualmente aparecerán niveles que podrán excavarse con pala mecánica.

##### .Estabilidad de taludes:

Normalmente son estables, ocasionalmente pueden aparecer problemas puntuales de inestabilidad, debido a la presencia de niveles margosos de menor competencia que el resto, provocándose caídas de material margoso.

##### .Aptitud para explanadas de carreteras

Generalmente se pueden obtener explanadas del tipo E-3, en algún caso se deberá añadir material seleccionado.

Zona II4

### -Características Geológico-Geotécnicas

Está constituida por un potente conjunto margoso del Eoceno medio-superior, de pobre expresión morfológica en el paisaje, definiendo formas alomadas de relieve. En general, se trata de margas grises masivas sin planos de estratificación, excepción hecha de un tramo inferior de naturaleza turbidítica que presenta intercalaciones turbidíticas.

En contacto con la atmósfera y sometidas a cambios de humedad, se alteran rápidamente sufriendo un proceso de fragmentación y disgregación espontánea que favorecen la erosión superficial y los desprendimientos en taludes, así como un cambio de color a marrón grisáceo (que se reconoce muy bien en juntas y grietas), El espesor del horizonte superficial de alteración se sitúa próximo a los 4 m, llegando a alcanzar 15 m en zonas próximas a cursos fluviales.

Se dispone de una amplia relación de ensayos de laboratorio de las Margas de Pamplona, extensamente caracterizados en multitud de estudios geotécnicos. Estos datos son extensibles al conjunto de los materiales de la Zona, ya que su misma

composición litológica y comportamiento mecánico no permite una diferenciación clara entre ellos.

De los ensayos recopilados se disponen datos de los niveles sanos y alterados, por lo que hacemos referencia 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 - 1,87 gr/cm<sup>3</sup>

Densidad seca (margas alteradas):0,84 - 2,13 gr/cm<sup>3</sup> Porcentaje pasa tamiz nº 200 (margas no alteradas):46 - 99 %

Porcentaje que pasa tamiz nº 200 (margas alteradas):23 - 89 %

Límite líquido (margas no alteradas):32 - 44

Límite líquido (margas alteradas)31,2 - 45

Índice plasticidad (margas no alteradas):13 - 24,5

Índice plasticidad (margas alteradas)14 - 41,1

Humedad (margas no alteradas):11,6 - 19,86

Humedad (margas alteradas):11,2 - 21,3

Contenido en carbonatos (margas no alteradas ):40-50 %

Contenido en carbonatos (margas alteradas)26 - 49,6 %

Contenido en sulfatos (margas no alteradas)< 0,01%

Contenido en sulfatos (margas alteradas)0,0

Densidad Proctor (margas no alteradas):1,83 gr/cm<sup>3</sup>

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

Humedad óptima (margas no alteradas)15,1 %

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

Índice C.B.R. (margas alteradas)2,9 - 7,2

Resistencia a compresión simple (margas no alteradas):100 - 200 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%

Ángulo rozamiento interno (margas no alteradas)25°



Angulo rozamiento interno (margas alteradas): $28^{\circ}$

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

El contenido en carbonatos disminuye hasta niveles superficiales debido a la disgregación y alteración de las margas por procesos de meteorización. Su bajo contenido en sulfatos permite descartar problemas de agresividad al hormigón, mientras que su carácter impermeable, determina la ausencia de agua en profundidad. Únicamente, cabe considerar una saturación potencial de los niveles alterados y la infiltración a través de fisuras, factores estos que no deben crear problemas de drenaje en excavaciones.

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>. 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>.

-Características constructivas

a.Condiciones de cimentación

La capacidad de carga varia entre 2,5 - 10 kp/cm<sup>2</sup>, dependiendo que la roca se encuentre alterada o en estado sano. En las margas sanas según los valores normalizados que se dan en el Código Británico puede considerarse una capacidad

portante superior dada la resistencia a compresión supera en muchos casos los 100 kp/cm<sup>2</sup>. No obstante, para edificios habituales, suponen valores suficientes.

Los problemas de cimentación estarán relacionados con variaciones importantes del horizonte de alteración y presencia de intercalaciones de arcillas blandas, que pueden provocar asientos diferenciales y fenómenos de punzonamiento.

-Condiciones para obras de tierra

.Excavabilidad

Las margas alteradas son fácilmente excavables. En estado sano, su excavabilidad, así como la de las intercalaciones de areniscas, está asegurada por medios mecánicos, empleando retroexcavadoras de gran potencia con martillo picador.

.Estabilidad de taludes

Generalmente, 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 obligará en muchos casos a adoptar medidas encaminadas a mitigar los efectos de la erosión superficial y procesos de acarreamiento (hidrosiembras, bermas, escalonamiento, etc.).

.Aptitud para préstamos. Se consideran Inadecuados, debido a su elevada alterabilidad en condiciones de afloramiento.

.Aptitud para explanada en carreteras. Constituyen Suelos No Aptos, que precisan la extensión sobre ellos de una explanada mejorada.

.Obras subterráneas. En general afectarán al sustrato inalterado, varía entre Clase III y Clase IV (Roca Media-Mala).

Zona II5

### -Características Geológico-Geotécnicas

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

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

Minerales de la arcilla

37%

Cuarzo17%

PlagioclasaIndicios

Calcita33%

Dolomita10%

Hematites< 1,5%

Ankerita2%

YesoIndicios

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

Ilita

73%27% total de la muestra

Clorita/Caolinita 27% 10% del total de la muestra

Sepiolita Indicios

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

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

El contenido de carbonatos se sitúa entre 24,0 y 51,3%. A efectos de agresividad de los suelos se ha determinado su contenido en sulfatos, expresado en tanto por ciento de  $SO_3$  de diversas muestras obteniéndose generalmente que el porcentaje es inapreciable.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

A continuación se resumen las características geomecánicas de estos materiales:

#### Características constructivas

##### -Condiciones de cimentación

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

Las presiones admisibles calculadas en el nivel superficial reblandecido o saturado son en el peor de los casos superiores a 1,4 kp/cm<sup>2</sup>, según se deduce de los ensayos de resistencia a compresión simple. Atendiendo a los resultados de los ensayos SPT serán probablemente mayores. En los niveles algo alterados y en los relativamente sanos, según los valores orientativos que se dan en el Código inglés CP2004/1972, pueden considerarse presiones admisibles entre 6 y 10 kp/cm<sup>2</sup>, posiblemente superiores dada la resistencia a compresión, superior en muchos casos a los 100 kp/cm<sup>2</sup>, pero que para edificios habituales suponen valores suficientes. No obstante, como norma general, para edificios altos o cuando se prevean fuertes cargas concentradas, se requerirá un estudio de resistencia y deformabilidad.

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

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

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

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

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

Entre los problemas de cimentación pueden considerarse:

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

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

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

Condiciones para obras de tierra

-Excavabilidad

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

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

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

-Estabilidad de taludes

En referencia a este punto, la problemática que presenta esta formación similar a la de las margas eocenas englobadas con la denominación de Margas de Pamplona. Es decir se trata de taludes inestables, donde son posibles los deslizamientos por sobresaturación del sustrato

Se observa en los taludes naturales la típica escamación y fisuración de estas formaciones que no impide sin embargo que existan taludes naturales abruptos, ya que su resistencia es elevada. Soportan bien, salvo con estratificación desfavorable, cortes de elevada altura con taludes inclinados. La presencia de capas de areniscas calcáreas, que arman el talud, es un factor primordial para esta resistencia.



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

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

-Empujes sobre contenciones

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

-Aptitud para préstamos

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

-Aptitud para explanada de carreteras

Se trata de suelos E-3, No Aptos, que precisarán la extensión sobre ellos de una explanada mejorada.

-Obras subterráneas

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

### **6.3.1.3. Área III**

#### **Zona III1**

-Características Geológico-Geotécnicas

Esta constituida por un conjunto margoso de color rojo que intercala pequeños niveles areniscosos, mas frecuentes hacia techo. Ocasionalmente se reconocen yesos y en subsuelo estos materiales contienen sales, que en otro puntos son objeto de explotacion minera.

:Los mejores afloramientos se localizan en los alrededores de Liédena y no se disponen de ensayos de laboratorio de estos materiales,

Las observaciones de campo indican que se trata de unas margas muy alteradas que prácticamente se comportan como un suelo de consistencia media.

Características constructivas:

.Cimentación:

Para un cálculo a nivel de anteproyecto se pueden considerar los valores que establecen las diferentes Normas y Códigos.

Asi el Código de Práctica Británico, establece para este tipo de material una presión admisible entre 1,5 y 3 Kp/cm<sup>3</sup>, esperándose asientos de consolidación a largo plazo.

Si consideramos la Norma DIN 1054, para una zapata corrida de 0,5 a 2 m. de ancho, se admite la carga admisible entre 1,6 y 3,6 Kp/cm<sup>2</sup>, para una profundidad de 1,5 m.

.Excavabilidad

Son materiales fácilmente excavables.

.Estabilidad de taludes

En los taludes naturales se han observado numerosos fenómenos de inestabilidad, que dan lugar a deslizamientos del tipo rotacional.

En los taludes artificiales deberán disponerse las medidas correctoras adecuadas.

.Aptitud para explanadas de carreteras

En general, son suelos no aptos, que precisarán la extensión sobre ellos de una explanada mejorada.

### **Zona III2**

-Características Geológico-Geotécnicas

Está constituida por una alternancia de areniscas y lutitas de origen fluvial de edad Oligoceno-Mioceno, que se extienden por una gran parte de la Hoja. Las lutitas se presenta en estratos de espesor variable alcanzando los 50 cms, con planos de estratificación. Las areniscas son de grano fino a medio, y se encuentran cementadas por  $\text{CaCO}_3$ , aflorando a modo de lentejones métricos a decamétricos, y en capas continuas de 3-5 m de espesor y varios kms de longitud.

La meteorización prácticamente no va a afectar a las areniscas. Sin embargo, en las lutitas va a producir cambios de color y pérdida del cemento calcáreo, disminuyendo su compacidad natural, y por tanto, aumentando su erosionabilidad. El tránsito entre roca sana y alterada es transicional.

En general, la permeabilidad es baja, debido a la propia naturaleza de las lutitas y a la escasa porosidad eficaz de las areniscas a causa de su cementación. No obstante, estas últimas a nivel superficial, y hasta una profundidad de 10 m presentan una permeabilidad mayor, debido a la fracturación y presencia de juntas abiertas.

Se dispone de los siguientes ensayos de Laboratorio:

## Cuadro Resumen de Características Geotécnicas

(Roca inalterada)

Clasificación de Casagrande:CL

Porcentaje pasa tamiz nº 20058,2 - 99,8 %

Límite líquido37,25

Indice plasticidad 20,33

Humedad 14,5

Densidad Proctor2,05 gr/cm<sup>3</sup>

Humedad óptima11,6 %

Indice C.B.R. 4,4

Resistencia a compresión simple (lutitas sanas):> 25 Kp/cm<sup>2</sup>

Resistencia a compresión simple (areniscas):300-700 Kp/cm<sup>2</sup>

R.Q.D. medio:80-100 %

Angulo rozamiento interno ( $\phi$ )30°

Cohesión 0,15

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

-Características constructivas

a. Condiciones de cimentación.

La Norma DIN 1054 y el Código Británico establecen presiones admisibles del orden 20 kp/cm<sup>2</sup>, valores estos que deben reducirse a la mitad cuando el espesor de los tramos lutíticos aumenta o la disposición de la estratificación y grado de diaclasado son desfavorables. Se estima que la capacidad portante de estos materiales se sitúa entonces entre 6 y 10 kp/cm<sup>2</sup>, valores suficientes para el caso de edificios habituales en los que las cargas proyectadas son inferiores a 3 - 4 kp/cm<sup>2</sup>.

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

b. Condiciones para obras de tierra.

.Excavabilidad. En general, son materiales Duros, por lo que su excavación precisa el empleo de explosivos. Las lutitas alteradas son fácilmente excavables.

.Estabilidad de taludes. Cuando la disposición de los materiales es transversal a la orientación de las laderas, y su buzamiento es superior a la pendiente, no se observa ningún fenómeno de inestabilidad. Por otra parte la naturaleza de estos materiales en cuanto a sus parámetros resistivos y disposición alternante no favorece la aparición de deslizamientos.

Únicamente existe riesgo de caída de bloques en los resaltes areniscosos en aquellas zonas donde existan escarpes pseudoverticales o en voladizo por descalce de los niveles lutíticos inferiores.

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

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

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

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

### **Zona III3**

-Características Geológico-Geotécnicas

Estos materiales ocupan gran parte de los afloramientos de la Hoja., configurando una buena parter de los relieves en ocasiones algo deprimidos que rodean y/o configuran la depresion de Sangüesa asi como los alrededores de Javier.

Se trata de una unidad detritica, formada fundamentalmente por lutitas rojas y ocreas que intercalan niveles areniscosos de poca entidad, es decir de escasa o poca continuidad lateral.

Características constructivas:

.Cimentación

Con los valores que se disponen de ensayos de laboratorio y aplicando los diferentes Códigos y Normas, se puede ejercer cargas admisibles entre 1,5 y 3 Kp/cm<sup>2</sup>, esperandose asientos de consolidación a largo plazo.

.Excavabilidad

Son materiales facilmente excavables.

.Estabilidad de taludes

Los taludes son estables, aunque pueden llegar a producirse puntualmente deslizamiento. En taludes artificiales se puede producir un deterioro progresivo del mismo.

.Aptitud para explanadas de carreteras

En general no son aptos, debiendose proceder a mejorar la explanada con la extensión de material seleccionado.

### **Zona III4**

-Características Geológico-Geotécnicas

Se localizan estos materiales al suroeste de Liédena, en la margen izquierda del rio Aragon, en el barranco de la Val, en el flanco norte del sinclinal de Rocaforte como una estrecha banda Se trata de un conjunto heterogeneo formado por lutitas ocres, margas y margocalizas grises de aspecto tableado que en ocasiones intercalan areniscas de espesor decimetrico a metrico.

Características constructivas:

.Cimentación

En función de los valores de resistencia al corte y resistencia a compresión simple; se han estimado las presiones admisibles que se pueden aplicar. Se estima una profundidad de cimentación mínima entre 1,5 y 2 metros, se pueden aplicar presiones admisibles entre 1,3 y 3 Kp/cm<sup>2</sup>, cálculo efectuado para una zapata corrida de 0,5 a 2 m de ancho.

Por su parte, en el sustrato margoso, de ambas formaciones y utilizando los criterios del Código de Práctica Británico, se pueden aplicar presiones admisibles entre 6 y 8 Kp/cm<sup>2</sup>.

Entre los problemas de cimentación pueden considerarse:

-Variación del horizonte alterado; que pueden provocar asientos diferenciales.

-Alterancia de materiales detríticos, que da lugar a una heterogeneidad en las condiciones geotécnicas.

-Presencia ocasionalmente de sulfatos, que obliga a la utilización de hormigones especiales.

-Presencia de niveles de areniscas, calizas y microconglomerados, que pueden dificultar la excavación.

.Excavabilidad

Los materiales que constituyen perfiles de alteración son fácilmente excavables, mientras que el sustrato margoso presenta variaciones entre ripable y no ripable.

.Estabilidad de taludes

Los taludes naturales son estables, con pequeñas inestabilidades debido al diferente grado de competencia entre estratos.

En los taludes artificiales que se efectúan en las margas se producirán un deterioro progresivo del talud, por alteración del material.

.Aptitud para explanada de carreteras

Normalmente son suelos E-2, no aptos para explanada, por lo que precisarán la extensión sobre ellos de una explanada mejorada.

#### **6.3.1.4. Área IV**

##### **Zona IV1**

-Características Geológico-Geotécnicas

Esta zona está definida por depósitos de zonas endorréicas y cársticas, de naturaleza limo-arcillosa con contenidos variables de materia orgánica y fragmentos de rocas carbonatadas. Se localizan en zonas deprimidas de drenaje deficiente y tapizando el fondo de dolinas, uvalas y formas menores del carst. Presentan una potencia variable,



que en el caso de las arcillas de descalcificación, está en función de la intensidad del proceso de carstificación y del tamaño de la forma que rellena.

Desde el punto de vista hidrogeológico presentan una permeabilidad baja a muy baja, debido a su carácter predominantemente arcilloso. 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 valores contenidos en las diferentes Normas y Códigos. Así, el Código de Práctica Británico establece para este tipo de materiales presiones admisibles entre 0,75 y 3 kp/cm<sup>2</sup>, esperándose asientos de consolidación a largo plazo. Para la Norma DIN 1054 a una profundidad de cimentación de 2 m, las cargas admisibles en este tipo de arcillas es del orden de 2,5 - 3 kp/cm<sup>2</sup>, esperándose asientos en torno a 4 cm.

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

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

##### .Excavabilidad

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

.Estabilidad de taludes

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

.Empuje sobre contenciones

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

.Aptitud para préstamos

Se consideran materiales En algunas situaciones pueden constituir terrenos marginales en cimientos y núcleos de terraplenes pero nunca en la coronación de los mismos.

.Aptitud para explanada en carreteras

Se trata de Materiales No Aptos.

.Obras subterráneas

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

## **Zona IV2**

-Características Geológico-Geotécnicas

Esta Zona está definida por depósitos cuaternarios relacionados con procesos de gravedad y corto transporte por agua, tales como, coluviones, canchales y deslizamientos. Los coluviones se sitúan a pie de ladera y también a media ladera, favorecidos por la construcción de muros de mampostería para evitar procesos erosivos y lograr superficies planas de cultivo. Los canchales aparecen a pie de los

principales escarpes, y las masas deslizadas de alta pendiente y sobre litologías blandas (recubrimientos superficiales y zonas de alteración) o alternantes.

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

Humedad 20,5 %

Contenido en Finos (<0.08mm) 80,4 %

Límite Líquido (WL) 28,1-40,4

Índice de Plasticidad (IP) 12,3-19,2

Densidad PROCTOR 1,86 gr/cm<sup>3</sup>

Humedad PROCTOR 12,7 %

CBR 100 % Densidad PROCTOR 14

Clasificación de Casagrande GC-CL

Contenido en Sulfatos 0,01 %

Ángulo de Rozamiento interno ( $\phi$ ) 38°

En base a los datos existentes, los materiales analizados están constituidos por suelos limo-arcillosos de baja plasticidad, que presentan un cierto contenido en grava y arena. Presentan consistencia media, baja capacidad portante, y un valor alto en el índice CBR, por lo que su comportamiento en explanadas puede calificarse como aceptable.

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

-Características constructivas

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

b. Condiciones para obras de tierra.

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

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

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

.Aptitud para préstamos. Previa eliminación de la cubierta vegetal, constituyen suelos Marginales, o incluso Adecuados.

.Aptitud para explanada en carreteras. En desmontes definen explanadas tipo E-0 ó E-1.

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

### **Zona IV3**

#### -Características Geológico-Geotécnicas

Constituyen los depósitos fluviales y aluviales de los principales valles y barrancos, y depósitos poligénicos, representados por conos de deyección, depósitos de fondo de valle, cauces abandonados y activos, terrazas, glaciares de cobertera y glaciares de acumulación. Están formados por gravas y cantos de naturaleza calcárea y cuarcítica, arenas, limos y arcillas. Su proporción y distribución es muy variable, aumentando la proporción de finos en los depósitos de fondo de valle. La naturaleza de la fracción gruesa depende del área de procedencia.

#### -Características geotécnicas

Se trata de materiales poco consolidados, donde los problemas geotécnicos están condicionados a su disposición geomorfológica y estratigráfica. Se dispone de ensayos geotécnicos procedentes de catas realizadas sobre tramos arcillosos de terrazas aluviales y depósitos de glaciares en la vecina Hoja 173. A continuación se resumen los valores más representativos:

#### Cuadro Resumen de Características Geotécnicas

Contenido en Grava (>5mm)5/65 %

Contenido en Arena (5-0.08mm)20/20 %

Contenido en Finos (<0.08mm)75/15 %

Límite Líquido (WL)28/-

Límite Plástico (WP)16/No plástico

Índice de Plasticidad (IP)12/-

Clasificación de CasagrandeCL/GW-GM

Densidad Máxima Proctor Normal1,8/2,13 gr/cm<sup>3</sup>

Humedad Óptima Proctor Normal15/7 %

Ángulo de Rozamiento Interno ( $\phi$ )30,5/40 °

Cohesión (C')1,0/2,20

En esta Zona hay que evaluar el riesgo potencial de inundaciones y avenidas debido a precipitaciones importantes concentradas. Presentan una permeabilidad variable entre alta (detriticos gruesos) y baja (áreas con alto contenido en finos), y un nivel freático continuo y somero.

-Características constructivas

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

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

Los condicionantes geotécnicos más importantes estarán relacionados con la posición del nivel freático, que puede dar lugar a subpresiones y fenómenos de inestabilidad en excavaciones y obras, así como agotamientos importantes. Por otro lado, la presencia

de intercalaciones de arcillas blandas puede provocar asientos diferenciales no admisibles.

b.Condiciones para obras de tierra.

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

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

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

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

.Aptitud para explanada en carreteras. Para constituir explanadas de tipo E-1 en desmontes en roca, precisan sobre ellos la extensión de 50 cm de Suelo Adecuado (ej.: grava clasificada).

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

#### **Zona IV4**

-Características Geológico-Geotécnicas

Se trata de depositos artificiales, acumulados durante la realizacion generalmente de obras civiles. Estan formados bien por margas o por una acumulacion caotica de

bloques, cantos y lutitas .desorganizados. La naturaleza de los bloques es muy dispar. aunque por lo general son de areniscas.

-Características geotécnicas

Se trata de materiales poco o nada consolidados con gran número de problemas geotécnicos

-Características constructivas

aCondiciones de cimentación.

Son desaconsejables para la construcción por la gran cantidad de problemas que pueden plantear: asentamientos diferenciados, escasa capacidad portante etc. Para la construcción se recomienda su desmonte y limpieza hasta llegar al sustrato.

bCondiciones para obras de tierra.

.Excavabilidad. Constituyen terrenos fácilmente ripables, de tipo Medios y Blandos. Su excavación puede efectuarse por medios mecánicos sin dificultad.

.Estabilidad de taludes. La estabilidad del talud dependerá de la altura a la que se proyecte, pudiendo producirse en ocasiones desprendimientos de cantos y bloques.

.Aptitud para préstamos. En general, constituyen terrenos inadecuados o aptos para préstamos previo tratamiento

.Aptitud para explanada en carreteras. Para constituir explanadas no son aptos, necesitando Suelo Adecuado (ej.: grava clasificada). previa compactación y desarrollo

.Obras subterráneas. Terrenos Muy difíciles para las obras subterráneas de envergadura por lo que precisarán entibación total.

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

ADARO

1988

Investigación y evaluación de mineral en el área de Javier-Los Pintano.

Informe para Potasas de Subiza, S.A.

ARENAS, C.; PARDO, G.; VILLENA, V.

1990

Las unidades tectosedimentarias del margen septentrional de la Depresión del Ebro en el sector Luesia-Riglos

Geogaceta nº 8 pp. 92-94

AZANZA, B.; CANUDO, J.L.; CUENCA, G.

1988

Nuevos datos bioestratigráficos del Terciario continental de la Cuenca del Ebro

II Congreso Geológico de España, Granada, vol. 1. pp. 261-264.

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-Guia 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.

BRAITSCH

1971

Salts deposits. Their origin and composition.

Springer-Verlag, 297 pp.

C.G.S.

1990

Estudio hidrogeológico de la unidad sur. Sector de Subiza-Guirguillano

Informe para el Gobierno de Navarra

CAMARA, P.; 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 prépyréenne d'Aragon (Espagne), de l'Eocène moyen a l'Oligocène inférieur.

Rev. de Micropl., 31.

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.; NINEROLA, S.; OTAMENDI, A.

1982

Las aguas subterráneas en Navarra. Proyecto hidrogeológico

Diputación Foral de Navarra, 230 pp.

CAVELIER, C.

1968

L'Eocène supérieur et la base de L'Oligocene en Europe occidentale

Memoire du BRGM, Colloque sur L'Eocene.

CIRY, R.

1951

Observations sur le Crétacé de la Navarre espagnole au nord-ouest de Pamplone.

C.R. Acad. Sc., 233, pp. 72-74, Paris.

CIRY, R. y MENDIZABAL, J.

1949

Contribution á l'etude du Cenomanien et du Turonien des confins septentrionaux des provinces de Burgos, d'Alava et Navarra.

Ann. Hebert et Hang (livre Jub. Charles Jacob). T.7, pp. 61-79

COLOM, G.

1945

Estudio preliminar de las microfaunas de foraminiferos de las margas eocenas y oligocenas de Navarra.

Est. Geol. nº 2 pp. 33-84. Madrid.

CRUSAFONT, M.; TRUYOLS, J.; RIBA, O.

1966

Contribución al conocimiento de la estratigrafía del Terciario continental de Navarra y Rioja

Not. y Com. del IGME, num. 90, pp 53-76.

CHAVEZ, A.; NEURDIN, R.; MAROCCO, J.; DELFAUD, J.

1985

Sedimentary organization of the upper Eocene deep sea fan (Tubiditas de Yesa) of Sangüesa 6th Europ Meeting of Sedimentology IAS-Lleida 84-87.

DEL VALLE, A.

1932

Descubrimiento de la cuenca potásica de Navarra

Notas y comunicaciones del IGME, vol. IV.

DEL VALLE, J.

1993

Acuíferos de la Cuenca de Pamplona

Inédito

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 y I.T.G.E.

ESTRADA, M.R.

1982

Lóbulos deposicionales de la parte superior del Grupo de Hecho entre los anticlinales de Boltaña y el río Aragón (Huesca).

Tesis Doctoral. Univ. Autónoma de Barcelona, 164 pp.

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

1992

Mapa Geológico de Navarra a escala 1.200.000

Gobierno de Navarra.

FROUTE J.Y.

1988

Le rôle de l'accident d'Estella dans l'histoire géologique du Cretace supérieur à Miocène de Navarra-Alavais.

These. Université de Pau

GARCIA SANSEGUNDO, J.

1991

Estratigrafía y estructura de la Zona Axial Pirenaica en la transversal del Valle de Arán y Alta Ribagorza

Tesis Doctoral. Univ. de Oviedo.

GARCIA SIÑERIZ, J.

1943

La cuenca potásica surpirenaica. C.S.I.C. Primera Reunión del Patronato de la Estación de Estudios Pirenaicos.

Agosto 1943, p. 37-52

HERNANDEZ, A.; RAMIREZ, J.I.; RAMIREZ DEL POZO, J. y PUIGDEFABREGAS, C.

1987

Mapa Geológico de España, E. 1:50.000, 2ª Ser., Hoja nº 173 Tafalla.

IGME.

HERNANDEZ SAMPELAYO, P.

1933

El flysch en Yesa, Navarra . Comunicados del IGME.

HOTTINGER, L.

1961

Acerca de las Alveolinas paleocenas y eocenas

N. y C. IGME, nº 64, p. 37, Madrid.

IGME

1973

Mapa Geológico a escala 1:50.000 nº 175. Sigües

2ª Serie

IGME

1978

Mapa Geológico a escala 1:50.000 nº 142. Aoiz.

2ª Serie

IGME

1987

Mapa Geológico a escala 1:50.000 nº 174. Sangüesa

2ª Serie

IGME

1987

Contribución de la exploración petrolífera al conocimiento de la geología de España

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.; SEURET, M. Y ROSELL, J.

1983

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

Bull. Soc. Géol. France, (215), 25 pp.

LABAUME, P.; MUTTI, E.; Y SEURET, M.

1987

Megaturbidites: 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 and analogy with an accretionary 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'age des couches á facies flysch de la zone sudpyrénéenne en Navarra.

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

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

1985

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

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

LEON, L.

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, L.; PUIGDEFABREGAS, C.; RAMIREZ DEL POZO, J.

1971

Variaciones sedimentarias durante el Eoceno medio en la Sierra de Andía (Navarra)

Acta Geol. Hispanica T. 4, vol. 2, pp. 36-41.

LEON, L.

1985

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

These. Universite de Pou.

MANGIN, J.P.

1960

Le Nummulitique sudpyrénéen á l'Ouest de l'Aragon

Pirineos, 51-58, 631 pp, 113 figs. 19 pls., 1 carte géol. au 1:200.000, Zaragoza

MANGIN, J.P.

1965

Le segment Basco-Aragonais du Front Sud-Pyrénéen

Actes IV Congrès Intern. Etudes Pyrénéens y -Lourdes, 11-16, Set. 1962, 1 (185), pp. 69-73, 1 fig., Toulouse.

MENDIZABAL y CINCUNEGUI, M..

1932

Nota acerca de la extensión del Oligoceno en Navarra

Información de carácter geológico, 2ª Región N. y C. del IGME, núm. 4. pp. 140-142.

MENSUAS, S.

1960

La Navarra media oriental. Estudio geográfico.

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

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.

ORTI CABO, F.; ROSELL ORTIZ, L. y PUEYO MUR, J.J.

1984

Cuenca evapor. (potásica) surpir. del Eoc. sup. Aportac. para una interpr. depositic. Libro Homenaje a L. Sánchez de la Torre.

Publicaciones de Geología, nº 20. Universitat Autònoma de Barcelona, p. 209-231.

ORTI, F.; SALVANY J.M.; ROSELL, L.; PUEYO, J.J.; INGLES, M.

1986

Evaporitas antiguas (Navarra) y actuales (Los Monegros) de la Cuenca del Ebro.

Guia de las Excursiones del XI Congreso Español de Sedimentología. Barcelona.

ORTI CABO, F.; SALVANY, M.

1986

Programa de investigación de las formaciones evaporíticas en Navarra. Memoria proyecto. Gob. Navarra Vol. 1, Est. Geol. 121 pp.; Vol. 2 Est. Geoecon., 125 pp., 2 anejos (inédito).

ORTI CABO, F.; PUEYO MUR, J.; ROSELL ORTIZ, L.

1985

La halite du bassin potassique sud-pyrénéen (Eocene supérieur)

Bull. Soc. Geol. France, t.I.

nº 6.

PAYROS, A.; ORUE ETXEBARRIA, X.; BACETA, J.J. y PUJALTE, V.

1994

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

Geogaceta nº 16, pp.90-94.

PELUG, R.

1973

El diapiro de Estella (traducción de J. GOMEZ DE LLARENA)

Rev. MUNIBE. Soc. Cien. Nat. ARANZADI, año XXV, núm. 2-4 pp. 171-202, San Sebastián.

PLAZIAT, J.C.

1969

La transgr. de l'Eocene moyen en Haut Arag. et Nav. et son rôle dans la defin. des grandes ensembles struct. en domaine subpy.

94º Cong. National del Societe savants. Pau 1969. Sciences vol. 2, pp. 293-304.

PUIGDEFABREGAS

1975

La sedimentación molásica en la cuenca de Jaca

Tesis Doctoral. Revista Pirineos, nº 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 DEL POZO, J.

1971

Bioestratigrafía y microfacies del Jurásico y Cretácico del Norte de España (región cantábrica)

Mem. Inst. Geol. M.E. 78 (3 vol.) 357 p., 141 lám., Madrid.

RAMIREZ DEL POZO, J.

1986

Informe micropaleontológico de la Hoja a escala 1:50.000 nº 174. Sangüesa. MAGNA.

Documentación complementaria.

REMACHA, E.

1983

Sand tongues de la Unidad de Broto (Grupo de Hecho) entre el anticlinal de Boltaña y el Rio Osca (Prov. de Huesca).

Tesis Doct. Univ. Autónoma de Barcelona, 163 p.

REMACHA, E.; ARBUÉS, P. y CARRERAS, M.

1987

Preciones sobre los límites de la secuencia deposicional de Jaca. Evolución de las facies desde la base de la secuencia hasta el techo de la arenisca de Sabiñánigo.

Bol. Geol. y Min. 98, pp 40-48.

REMACHA, I. y PICART, J.

1991

El complejo turbidítico de Jaca y el delta de la arenisca de Sabiñánigo. Estratigrafía. Facies y su relación con la tectónica.

I Congreso del Grupo Español del terciario, Libro Guía excursión nº 8. Vic. 117 pp.

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.

1963

Materiales salinos del suelo español

IGME, Mem. 64, 161 pp.

RIOS, J.M.; ALMELA, A. y GARRIDO, J.

1944

Datos para el conocimiento estratigráfico y tectónico del Pirineo Navarro

Notas y com. Inst. Geol. y Min. España. 13 (1944): 141-164; 14 (1945): 139-198; 16 (1946): 57-119.

ROBADOR, A.

1990

Early Stratigraphy

In: Introduction to early Paleogene of the South Pyrenean basin. Field Trip guidebook. I.G.C.P. Project 286 (Early Paleogene Benthos). IUGS-UNESCO, Chap. 2.

ROBADOR, A.; SAMSO, J.M.; SERRA-KIEL, J y TOSQUELLA, J.

1990

Field Guide. In. Introduction to the early Paleogene of the south Pyrenean basin. Field Trip Guidebook.

L.G.C.P. Project 286 (Early Paleogene Benthos), IUGS-UNESCO, Chap 4, pp 131-159

ROJAS, B.; FERNANDEZ VARGAS, E. y LATORRE, E.

1973

Investigación de la Reserva de Potasas surpirenaicas. ENADIMSA..

ROSELL ORTIZ, L. y ORTI CABO, F.

1980

Presencia de analcima y observ. diagenét. en la anhidrita basal de la cuenca potás. de Nav. (Eoceno sup., cuenca del Ebro, España).

Rev. Inst. Inv. Geol. Dip. Barcelona, 34: 223-235.

ROSELL ORTIZ, L. y ORTI CABO, F.

1981

The Saline (Potash) Formation of the Navarra Basin (Upper Eocene, Spain).

Petrology. Rev. Inst. Inv. Geol. Dip. Prov. Barcelona, 35: 71-121.

ROSELL ORTIZ, L. y PUEYO MUR, J.J.

1984

Características geoquímicas de la formación de sales potásicas de Navarra (Eoceno superior).

Comparación con la cuenca potásica catalana. Acta Geol. Hispánica, 19:81-95.

ROSELL, J. y PUIGDEFRABREGAS, C.

1975

The sedimentary evolution of the Paleogene south Pyrenean basin.

IAS 9 th. International Congress. Nice, July 1975.

ROSELL ORTIZ, J.

1983

Estudi petrològic, sedimentològic i geoquímic de la formació de sals potàssiques de Navarra (Eocé superior).

Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona, 321 p.

RUPKE, N.A.

1976

Sedimentology of very thick calcarenite-marlestone beds in a flysch succession, southwestern Pyrenees

Sedimentology 23.

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

1984

Eocene seismicity in the Pyrenees from megaturbidites in the south-Pyrenean Basin (Nord Spain).

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

SOLE SEDO, J.

1972

Formación de Mues: Litofacies y procesos sedimentarios

Tesis de Licenciatura. Fac. de Ciencias de la Universidad de Barcelona (inédita).

SOLER, M. y PUIGDEFRABREGAS, C.

1970

Líneas generales de la geología del Alto Aragón Occidental

Pirineos, 96

SOUQUET, P.

1967

Le Crétace Supérieur sud-pyrénéen en Catalogne, Aragon et Navarre

Thèse Doct. Sc. Nat. Arch. Orig. Centre Docum. C.N.R.S. Nr. 1.351, 488 p., 13 cartes, 86 pl.,

Toulouse 1967 (édit privat., 529, p., 29 pl. Toulouse, 1967).

TEIXELL CACHARO, A.

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.

TURNER, J.P. & HANCOLK, L.

1990

Relationships between thrusting and joint systems in the Jaca thrust-top, Spanish Pyrenees.

Journ. struct. Geol. Vol. 12, nº 2, pp 217-226

VAIL, P.R.; AUDEMARD, F.; EISNER, P.N. % PEREZ CRUZ, G.A.

1990

Stratigraphic signatures separating tectonic, eustatic and sedimentologic effects on sedimentary sections.

AAPG Anual Convention, San Francisco. AAPG. Bul.

VAN DE VELDE, E.

1967

Geology of the Spanish Pyrenees, North of Canfranc, Huesca province.

Est. Geol.