



**Gobierno de Navarra**

Departamento de Obras Públicas,  
Transportes y Comunicaciones

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE NAVARRA

ESCALA 1:25.000

**HOJA 141-III**

**PUENTE LA REINA**

MEMORIA

---

La presente Hoja y Memoria ha sido realizada por "Informes y Proyectos S.A. (INYPSA)", durante el año 1993, con normas, dirección y supervisión del Gobierno de Navarra habiendo intervenido los siguientes técnicos:

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

Faci Paricio E. Dirección del Proyecto

Castiella Muruzabal J. Dirección del Proyecto

Galán Pérez, G. Dirección del Proyecto

**Autores y Colaboradores**

García de Domingo, A. (INYPSA) Cartografía, memoria y teledetección

Solé Pont, J. (INYPSA) Sedimentología

Cabra Gil, P. (INYPSA) Geomorfología y Cuaternario

Blas Balaguera, I. (INYPSA) Informática geológica

Alameda Revalderia, J. (INYPSA) Geotecnia

Martínez Arias, A. (INYPSA) Hidrogeología

Del Valle de Lertxundi, J. Cartografía y memoria

Ramirez del Pozo, J. Micropaleontología y Petrología

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ESTRATIGRAFIA .....</b>	<b>6</b>
2.1. Terciario Marino .....	6
2.1.1. Eoceno.....	8
2.1.1.1. Calcarenitas nodulosas y calizas biocásticas (275). Priabonense .....	8
2.2. Terciario Continental .....	8
2.2.1. Oligoceno.....	8
2.2.1.1. Arcillas y yesos (302). Sueviense inferior .....	8
2.2.1.2. Yesos (303). Sueviense inferior.....	9
2.2.1.3. Limolitas y arcillas con laminas de areniscas de "ripple marks" y localmente niveles de yesos (307). Sueviense superior.....	10
2.2.1.4. Limolitas, arcillas y margas con capas de arenisca (324). Arveniense.....	11
2.2.2. Oligoceno terminal-Mioceno inferior.....	11
2.2.2.1. Conglomerados (321). Arveniense-Ageniense .....	12
2.2.2.2. Arcillas, limos, areniscas y calizas (359). Arveniense-Ageniense .....	12
2.2.3. Mioceno inferior .....	14
2.2.3.1. Conglomerados (364). Ageniense superior-Aragoniense .....	14
2.2.3.2. Arcillas, limos y areniscas (365). Ageniense-Aragoniense .....	14
2.2.3.3. Areniscas rojas (366). Ageniense-Aragoniense .....	15
2.2.3.4. Calizas (367). Aragoniense .....	16
2.2.3.5. Arcillas, limos y areniscas (384). Ageniense-Aragoniense .....	16
2.2.3.6. Areniscas (368). Ageniense-Aragoniense .....	17
2.3. Cuaternario.....	17
2.3.1.1. Gravas, arenas y arcillas. Glacis (519) .....	18
2.3.1.2. Bloques, cantos, arenas y arcillas. Piedemonte (515).....	18
2.3.1.3. Gravas, arenas y arcillas. Terrazas (521, 524, 508, 507 y 506).....	18
2.3.1.4. Arcillas, arenas, canos y gravas. Aluvial y Aluvial-coluvial (527 y 537) .....	19
2.3.1.5. Cantos, gravas y arenas. Conos de deyección (536) .....	19
2.3.1.6. Arcillas, arenas, gravas y bloques. Coluviones (543) .....	19
<b>3. TECTONICA.....</b>	<b>21</b>
3.1. LA CUENCA DE PAMPLONA.....	21
3.2. DESCRIPCION DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS .....	22
3.2.1. Pliegues .....	22
3.2.2. Fracturas .....	22

3.2.3. Discordancias .....	24
3.3. TELEDETECCION .....	24
<b>4. GEOMORFOLOGIA .....</b>	<b>26</b>
4.1. DESCRIPCIÓN FISIAGRÁFICA .....	26
4.1.1. Relieve de la Sierra del Perdón-Lomas y relieves suaves al sur de la Sierra del Perdón- Relieves abruptos del sector de Lartadi-Valle del Arga .....	28
4.1.1.1. Sierra del Perdón.....	28
4.1.1.2. Lomas y relieves suaves al sur de la Sierra del Perdón .....	28
4.1.1.3. Relieves abruptos del sector de Cartadi.....	28
4.1.1.4. Valle del Arga .....	28
4.2. ANÁLISIS MORFOLÓGICO.....	29
4.2.1. Estudio morfoestructural .....	29
4.2.2. Estudio del modelado .....	30
4.2.2.1. Formas fluviales .....	30
4.2.2.2. Formas de ladera (o de gravedad-vertiente) .....	32
4.2.2.3. Formas poligénicas .....	33
4.3. FORMACIONES SUPERFICIALES .....	34
4.4. EVOLUCION GEOMORFOLOGICA.....	38
4.5. DINAMICA ACTUAL Y SUBACTUAL, TENDENCIAS FUTURAS.....	39
<b>5. HISTORIA GEOLOGICA.....</b>	<b>40</b>
<b>6. GEOLOGIA ECONOMICA .....</b>	<b>44</b>
6.1. RECURSOS MINERALES.....	44
6.1.1. Minerales metálicos y no metálicos.....	44
6.1.2. Minerales energéticos .....	44
6.1.3. Minerales y rocas industriales .....	44
6.2. HIDROGEOLOGIA .....	44
6.2.1. Descripción de las formaciones .....	44
6.2.1.1. Calcarenitias nodulosas y calizas bioclasticas. Priaboniense. (Terciario marino).....	45
6.2.1.2. Arcillas y yesos. Sueviense inferior (Terciario continental). .....	45
6.2.1.3. Limolitas arcillas y margas con capas de arenisca. Sueviense superior-Arveniense. Arcillas limos y areniscas. Ageniense-Aragoniense.....	46
6.2.1.4. Conglomerados del Perdón. Ageniense. Aragoniense.....	47
6.2.1.5. Areniscas rojas y niveles areniscosos aislados. Aragoniense.....	48
6.2.1.6. Cuaternario. Formaciones superficiales.....	49
6.2.2. Unidades acuíferas .....	50
6.2.2.1. Conglomerados del Perdón. ....	50

6.2.2.2. Areniscas y niveles conglomeráticos-areniscosos aislados.....	53
6.2.2.3. Formaciones permeables del Cuaternario .....	54
6.3. - GEOTECNIA.....	55
6.3.1. Introducción .....	55
6.3.2. Metodología.....	56
6.3.3. Zonación geotécnica .....	57
6.3.3.1. Criterios de división .....	57
6.3.3.2. División en áreas y zonas geotécnicas.....	57
6.3.4. Características geotécnicas.....	58
6.3.4.1. Introducción .....	58
6.3.4.2. Area III. ....	62
6.3.4.3. - Area IV .....	72
<b>7. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>75</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

La Hoja 1:25.000 de Puente la Reina (141-III) se encuentra incluida en la denominada geológicamente como Cuenca de Pamplona, cuyos límites están definidos al oeste por la falla de Estella, con cambios tanto en el estio tectónico como en los depósitos. Esta estructura se trata en realidad de dos fallas de desgarre diferentes, una que afecta únicamente a la cobertera y otra profunda, que afecta al zócalo y que es la que desplaza la falla norpirenaica al "Manto de los Marmoles" o falla de Leiza. En realidad este accidente no es neto, sino que se trata de una amplia banda de cizallamiento orientada de NNE a SSO que afecta a la cobertera desde la Sierra de Andia hasta la zona oriental de la Sierra del Perdón. Al este, está limitada por las estructuras pirenaicas del entorno del Macizo de Oroz-Betelu con gran desarrollo de sedimentos turbidíticos que se sumergen bajo los sedimentos margosos típicos de esta cuenca. Al sur, está limitado por el cabalgamiento de la Sierra de Alaiz que la separa de la Cuenca del Ebro y al norte, por estructuras de dirección E-O, originadas posiblemente por el cabalgamiento de Roncesvalles.

El relieve de esta Hoja, se encuentra marcado por la presencia de una alineación montañosa, que con dirección E-O recorre el límite septentrional, girando hacia el sur en el vértice NE de la Hoja. Esta alineación denominada Sierra del Perdón, alcanza una altura máxima de 1034 m en el Alto del Perdón descendiendo en suave pendiente hasta Puente la Reina con alturas medias de 400 m.

El resto de la zona presenta relieves suaves y alomados descendiendo hacia el sur en función de la naturaleza blanda de los materiales que afloran en esta zona, así como su disposición estructural, constituyendo una serie monoclinas con buzamiento hacia el sur.

El principal curso fluvial es el río Arga, que recorre con dirección N-S el sector occidental de la Hoja. Su afluente por la margen izquierda, el Robo, drena gran cantidad de barrancos, que con dirección NNE-SSO surcan esta Hoja.

Geológicamente y a grandes rasgos, como se puede apreciar en la figura adjunta (Fig. 1), la zona estudiada se encuentra situada en el sector occidental del Pirineo Central.

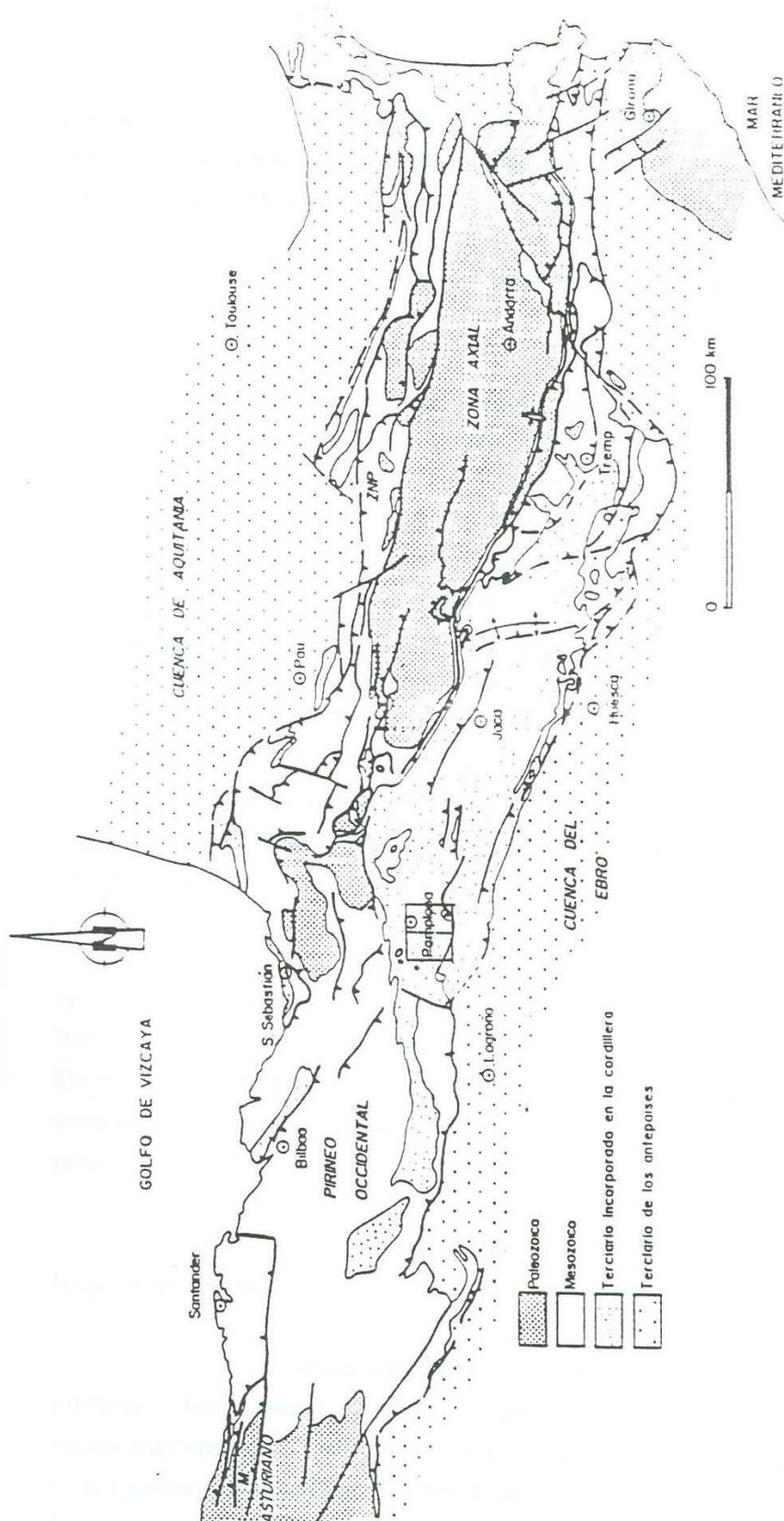


Fig. 1 --- Mapa geológico de la cordillera Pirenaica con la localización de la zona estudiada

La cordillera Pirenaica, consiste en un cinturón de pliegues y cabalgamientos de orientación aproximada este-oeste, desarrollados entre el Cretácico superior y el

Mioceno inferior, como resultado de la convergencia entre las placas ibérica y europea. Las rocas involucradas en la deformación alpina, incluyen un basamento paleozoico (deformado previamente durante la Orogenia Hercínica), una serie mesozoica preorogénica, depositada principalmente en un contexto extensional y un conjunto de sedimentos sinorogénicos del Cretácico terminal y Terciario, integrados en las láminas cabalgantes y en las cuencas del antepais que bordean la cordillera por el norte y por el sur.

En este contexto, los materiales aflorantes o subaflorantes en esta región, comienzan con depósitos arcilloso salinos del Triásico superior en facies Keuper. El Jurásico, no aflorante, estudiado en los diversos sondeos profundos realizados en esta zona, presenta una cierta uniformidad, diferenciándose a grandes rasgos seis unidades. Comienzan con arcillas anhidríticas grises y rojas que pasan hacia techo a dolomias cavernosas carniolares, brechas dolomíticas y niveles de anhidritas, con una potencia máxima de 260 m en el sondeo de Astrain. La siguiente unidad está constituida por calizas y calizas dolomíticas con laminaciones y margas arcillosas, con potencias máximas entre 40-50 m. A techo se observa un conjunto fundamentalmente margoso con intercalaciones calcareas y potencias próximas a los 50 m. La siguiente unidad está formada por caliza arcillosa con filamentos que en el sondeo de Astrain alcanza 50 m de espesor, culminando el jurásico con calizas oscuras algo arenosas y calizas beige con una potencia de 180 m.

Los materiales de transición al cretácico parecen faltar o estar mal presentados en esta región. La base del cretácico se ha cortado en los sondeos de Pamplona, 1, 2, 3, sur y Astrain, estando formado por limolitas negras micáceas alternando con areniscas de grano fino, que contienen piritas. Hay niveles con mayor contenido arcilloso o de predominio arenoso. En Astrain este conjunto presenta una potencia de 1212 m.

El paso al Cretácico Superior, se inicia con margas arcillosas pasando hacia techo o carbonatos.

En el sondeo de Astrain se observa una evolución hacia facies más profundas. En la Sierra de Alaiz, el paquete de calizas santonienses es arenoso a microconglomerático. Durante el Campaniense, la sedimentación se hace homogénea en la Cuenca sin

grandes variaciones de potencia. En el sondeo de Astrain se observan margas en el Campaniense que evolucionan hacia techo a areniscas en el Maastrichtiense.

El Paleoceno está representado en Astrain por calizas dolomíticas con 100 m de espesor, existiendo un hiato en el sector de Iza que afecta a este periodo. El Eoceno inferior y medio está representado por un paquete de calizas masivas.

En la base del Bartonense existe una fase erosiva que desmantela parte de los niveles calcáreos anteriores y sobre el que se desarrollan las Margas de Pamplona. El techo de esta formación margosa, culmina con los materiales calco-margosos detríticos de Cizur y sobre estos y mediante un límite erosivo se desarrollan las denominadas Margas de Ilundain que comienzan con los niveles detríticos calcareos turbidíticos de Tajonar, continuando con margas con intercalaciones turbidíticas.

Los últimos metros de las Margas de Ilundain tienen carácter euxínico y sobre estas se desarrolla la sucesión evaporítica que constituye el yacimiento potásico del Perdon. Por encima de las evaporitas se encuentran unos 50 m de margas versicolores (Margas Fajeadas) continuando por un paquete detrítico compuesto por areniscas con ripples (Areniscas de Galar) que representan el Eoceno terminal.

Continúa la sedimentación con una potente serie evaporítica continental con lutitas, anhidrita y niveles de halita (Yesos de Undiano) que se encuentran decapitados por los niveles de Conglomerados Inferiores del Perdón, discurrentes sobre estos el ciclo de los Conglomerados Superiores del Perdon.

La estructura de la Cuenca de Pamplona est totalmente diferente a ambos lados del eje Noain-Zuasti. Al este, se encuentran los anticlinales de Zabalegui e Ilundain con dirección E-O en su parte oriental, girando hacia el NO en su parte occidental.

La Sierra de Alaiz, que limita la Cuenca por el SE, tiene, en su parte oriental una dirección E-O mientras que, a partir de Ezperun, gira al SO.

En el area occidental de la Cuenca, la estructura de mayor importancia es la de la Sierra del Perdon. Esta estructura consiste en un sinforme de dirección ENE-OSO, flanqueado por las fallas de Esparza y Beriain norte.

El borde occidental de la Cuenca está limitado por los diapiros de Salinas de Oro y Arteta, que han originado una serie de fallas concéntricas y radiales. Estas últimas penetran en la Cuenca siendo, la más importante es la de Echauri.

La cartografía de estas hojas está basada en la realizada por J. DEL VALLE para la DIPUTACION DE NAVARRA actualizada y puesta al día en base a criterios sedimentarios y tectónicos.

Los datos disponibles sobre esta zona corresponden, por una parte a los trabajos regionales de PUIGDEFABREFAS (1975), LEON I (1985), DEL VALLE J. (1978-1992), I FROUTE (1988) así como los trabajos específicos relacionados con la explotación potásica del Perdón elaborado por ROSELL I. (1983), ADARO (1989), DEL VALLE. J., y en datos proporcionados por la propia explotación (POSUSA)

## **2. ESTRATIGRAFIA**

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

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 cartografico.

### **2.1. Terciario Marino**

En esta Hoja solo se ha observado un pequeño afloramiento, y por lo tanto no se ha desarrollado este apartado con todos sus términos, como se ha realizado en las hojas colindantes que conforman el mapa 1:50.000 de Pamplona. (Fig. 2).

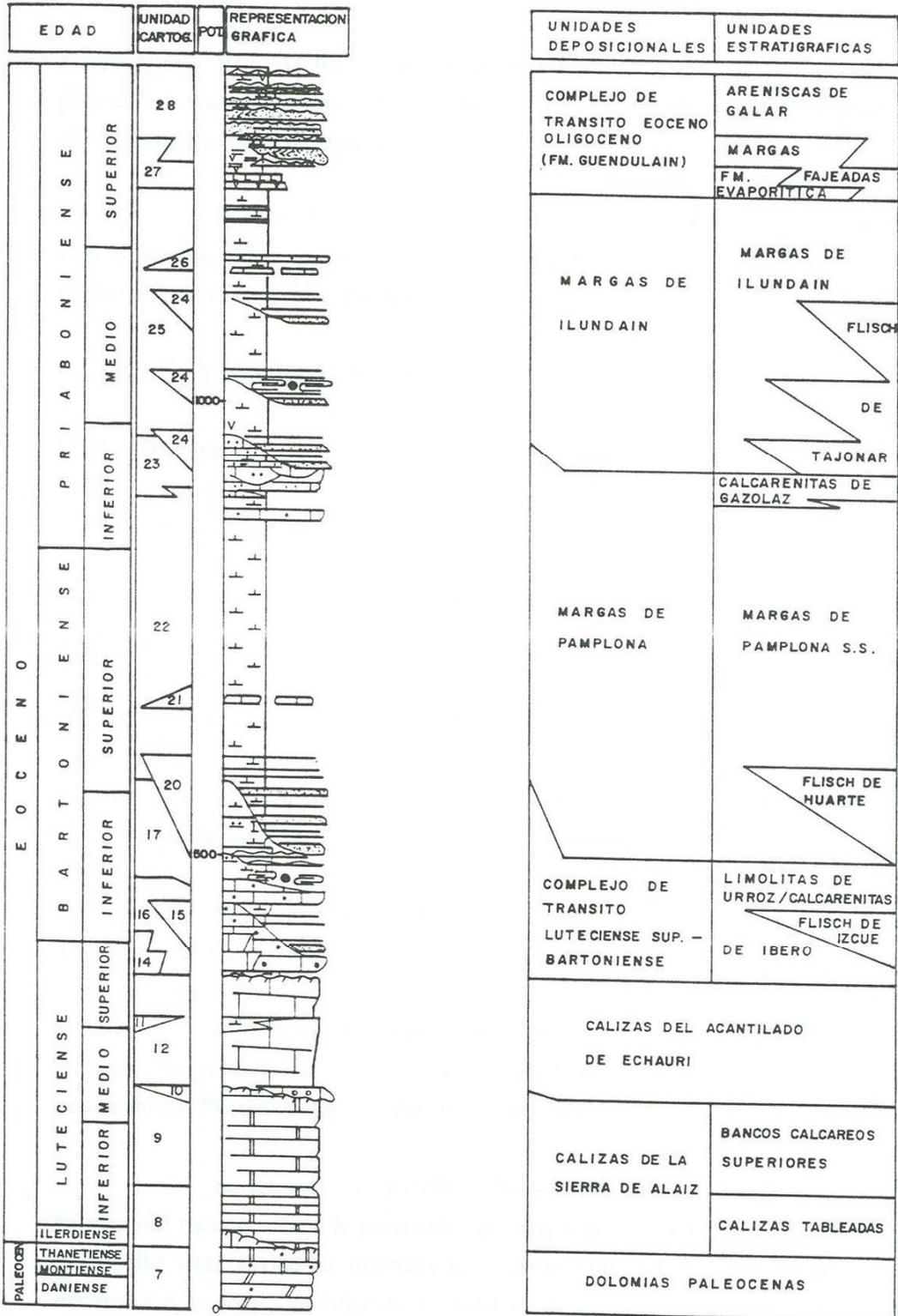


Fig. 2.- COLUMNA SINTETICA DEL PALEOCENO-EOCENO

### **2.1.1. Eoceno**

#### **2.1.1.1. Calcarenitas nodulosas y calizas biocásticas (275). Priaboniense**

Este nivel se encuentra intercalado entre las "Margas de Ilundain". Se trata de un pequeño afloramiento, que se extiende por la vecina Hoja de Cizur, situado en el Soto, debajo de los "Conglomerados Inferiores del Perdón".

Litológicamente está formado por un conjunto de calcarenitas (grainstone) nodulosas y calizas bioclásticas. Los análisis petrológicos han determinado un 85 % de CO<sub>3</sub>Ca y un 15 % de terrígenos, esencialmente cuarzo, con un 20 % de fósiles entre los componentes aloquímicos y un 65 % de micrita entre los ortoquímicos. Presentan trazas de glauconita.

La potencia de esta unidad es del orden de 50 m y presentan gran cantidad de estructuras tractivas producidas por tormentas (Hummocky cross stratification). Estas facies se interpretan como pertenecientes a medios someros, en general por encima del nivel de base de las tormentas, situados paleogeográficamente en un posición más marginal de la cuenca.

Los estudios micropaleontológicos no han clasificado fauna determinativa solo restos de Cibicides, Gyroidina, Globigerina, Lenticulina, asignando una edad Priaboniense por posición estratigráfica.

## **2.2. Terciario Continental**

### **2.2.1. Oligoceno**

En estos niveles comienza el terciario continental visible en esta región. Se dispone discordante sobre los niveles del terciario marino.

#### **2.2.1.1. Arcillas y yesos (302). Sueviense inferior**

Esta unidad ha sido definida por PUIGDEFABREGAS (1975), como Fm. "Yesos de Undiano".

Sus afloramientos se disponen en la vertiente septentrional de la Sierra del Perdón, con una potencia aproximada de 500 m.

Litológicamente está formado por margas grises dolomíticas, lutitas rojas y yesos recristalizados, con laminación ondulada y algunos niveles delgados de yesoarenitas. Presentan estructuras estromatolíticas en los yesos de techo de la unidad.

En sondeos aparece como una sucesión rítmica entre fangos y anhidritas, habiéndose reconocido en la parte inferior, depósitos de halita. Los fangos aparecen en secuencias decimétricas a métricas de margas dolomíticas, arcillas grises y lutitas decoloradas o rojas, asimilables a ciclos de oxidación-reducción, características de medios lacustres marginales. El origen lacustre está evidenciado por el desarrollo de una laminación milimétrica en las margas interpretadas como varvas lacustres. Los niveles de yesos se presentan en bancos de espesor centimétrico a métrico. Se diferencian yesos laminados, con estructuras estromatolíticas, yesos masivos muy recristalizados, raramente nodulares y niveles de yesos resedimentados con estructuras tractivas producidas por dinámica lacustre. Las características descritas permiten situar a esta unidad en un contexto lacustre o salino.

Los estudios micropaleontológicos no han encontrado fauna determinativa, solo moldes de ostracodos, y gasteropodos, asignando una edad Suevoense inferior por posición estratigráfica.

Esta unidad es presuntamente equivalente a la Fm. "Yesos de Puente la Reina" (RIBA y PEREZ MATEOS, 1962) al ocupar la posición basal en la serie continental del Oligoceno y presentar una gran semejanza sedimentológica, correlacionándose con la Fm. "Yesos de Añorbe" (PUIGDEFABREGAS, 1972).

#### **2.2.1.2. Yesos (303). Suevoense inferior**

Esta unidad ha sido denominada como "Yesos de Puente la Reina" (RIBA y PEREZ MATEOS, 1962) y "Yesos de Añorbe" (PUIGDEFABREGAS, 1972).

Afloran en el límite meridional de la Hoja; en el camino a la ermita de San Guillermo. Se trata de un afloramiento desconectado del resto de las unidades oligocenas, que

se extiende por la Hoja 1:50.000 de Tafalla, y por lo tanto no se conocen sus límites inferior ni superior y sus relaciones laterales con otras unidades.

Está constituido por un conjunto de niveles de yesos blanquecinos de aspecto masivo y noduloso con intercalaciones de margas yesíferas de color gris.

La potencia de este tramo es desconocida ya que se encuentra muy replegada, aunque por criterios regionales se considera mayor de 300 m.

Este nivel no se ha podido datar con microfauna, no obstante se considera como Sueviense por su posición estratigráfica.

Análisis químicos efectuados sobre estos materiales yesíferos han determinado una concentración de SO<sub>3</sub> del 44,79 %, CaO el 31,48 %, H<sub>2</sub>O el 20 % CO<sub>2</sub> el 0,72 %, residuo insoluble del 1,8 %, catalogando a estos yesos según las normas UNE en los grupos I extra, I y II.

Sedimentológicamente se interpretan estos materiales como depositados en un ambiente lacustre evaporítico.

### **2.2.1.3. Limolitas y arcillas con laminas de areniscas de "ripple marks" y localmente niveles de yesos (307). Sueviense superior.**

Esta unidad se localiza en dos pequeños afloramientos situados en el límite meridional de la Hoja.

Se trata de un conjunto formado por una alternancia de arcillas y limos con capas centimétricas de areniscas e intercalaciones de margas grises y violáceas con limos calcáreos, esporádicamente se observan algunas capas de calizas grises y niveles de yesos detríticos rojos.

Los estudios micropaleontológicos no han encontrado fauna determinativa solo fragmentos de moluscos, asignando una edad Sueviense por posición estratigráfica las areniscas suelen presentar laminación paralela y "ripples" de corriente, con bioturbación, observándose abundantes costras ferruginosas y huellas de retracción.

Sedimentológicamente estos niveles se asocian a zonas distales y de llanura lutítica con formación de esporádicas charcas efímeras en donde se depositarían los sedimentos carbonatados. Estas zonas conectarían con áreas lacustres situadas más al interior de la cuenca.

#### **2.2.1.4. Limolitas, arcillas y margas con capas de arenisca (324). Arveniense**

Sus afloramientos se localizan en el límite meridional de la Hoja en dos sectores de pequeña extensión situados en los vértices SO y SE, concretamente en Santa Agueda y en Quisumendia.

Está constituido por una alternancia de limolitas, arcillas y margas amarillentas y rojizas con intercalaciones de capas de areniscas de grano medio a grueso, con gran extensión lateral.

Esta unidad forma secuencias granodecrescentes con las bases erosivas y estructuras tractivas, laminaciones cruzadas de pequeña escala y paralela, pasando a techo, a un tramo margoso que puede finalizar en un nivel carbonatado.

La potencia de esta unidad supera los 500m, asociándose a un ambiente de depósito correspondiente a medios fluviales, relacionados con abanicos aluviales.

Los estudios micropaleontológicos han determinado: Chara cf. browgniarti BRAUN, Spherochara hirmeri longioscula GRANB y PAUL que consigna a esta unidad una edad Arveniense.

#### **2.2.2. Oligoceno terminal-Mioceno inferior**

Corresponde al ciclo de los "Conglomerados Inferiores del Perdón". Esta unidad fue definida por J. DEL VALLE en los estudios realizados para POSUSA con el fin de valorar el riesgo de entrada de agua en la mina de potasa.

Esta unidad avanza transgresivamente hacia el oeste y se apoya en términos cada vez más antiguos, acumulándose los niveles detríticos inferiores en esa dirección.

Estos niveles decapitan la cuenca potásica, bajo la falda meridional de la Sierra del Perdón, llegando a apoyar sobre las "Margas de Ilundain".

#### **2.2.2.1. Conglomerados (321). Arveniense-Ageniense**

Este nivel aflora en la carretera de Puente la Reina a Echauri, a la altura del P.K. 8.500 y en las laderas septentrional y oriental de la Sierra del Perdón, en concreto al oeste de Subiza en donde se puede observar el límite inferior de este nivel.

Los afloramientos se encuentran en general muy cubiertos por derrubios de ladera y parcialmente alterados. La potencia es muy variable y difícil de calcular, no obstante puede superar el centenar de metros.

Litológicamente están formados por cantos redondeados de caliza, areniscas eocenas y menos abundantes de cuarzo, ofitas y rocas metamórficas. Presentan en general soporte clástico y es frecuente la imbricación de cantos y el desarrollo de barras de gravas con estratificación cruzada planar, fuertemente angular. La matriz es de arenisca de grano grueso. Los paquetes presentan bases erosivas y canalizadas con abundantes cicatrices internas.

Estos materiales pertenecen a un sistema de abanicos fluviales húmedos. Los apices de estos abanicos se situarían en la Sierra del Perdón con facies conglomeráticas desorganizadas de frente proximal a medio.

Estos depósitos se interpretan como canales fluviales de configuración "braided" que transportan gran cantidad de gravas. Menos frecuentes son los depósitos desorganizados del tipo "debris-flow" y "mud-flow".

No ha sido posible efectuar dataciones sobre este nivel, no obstante se ha asociado al Arveniense-Ageniense por su posición estratigráfica.

#### **2.2.2.2. Arcillas, limos, areniscas y calizas (359). Arveniense-Ageniense**

Esta unidad se sitúa por encima de los niveles conglomeráticos definidos anteriormente, con afloramientos en malas condiciones de observación. Se trata de un conjunto litológico con predominio de los depósitos lutíticos e intercalaciones de

niveles de areniscas canalizadas. Los depósitos fangosos están representados principalmente por lutitas ocre y rojas asimilables a episodios de inundación. Esporádicamente aparecen lutitas margosas decoloradas y niveles de calizas nodulosas originadas en zonas encharcadas con deficiente drenaje.

Los depósitos arenosos, alcanzan su mayor entidad bajo la morfología de canales, presentando estratificación cruzada planar, en surco y "ripples" de corriente. Dominan las configuraciones de alta sinusidad, con superficies de acreción lateral y "cosets" de "climbing ripples", estructuras propias de depósitos de barras de meandro.

Son frecuentes las facies areniscosas y arenosas no canalizadas. Se distinguen niveles tabulares de arena mal clasificada, sucia, de grano muy fino, con abundantes procesos pedogenéticos y edáficos (suelos calciformes), interpretados como lobulos de desbordamiento. Otros depósitos de areniscas corresponden a niveles tabulares y lenticulares compuestos por "cosets" de "ripples" y "sets" de estratificación cruzada de mediana escala asimilables a facies de margen de canal.

Los niveles carbonatados, han determinado en análisis petrológicos, un porcentaje en carbonatos del 99 %, con un 10 % de fósiles y un 15 % de pelets entre los componentes aloquímicos y un 60 % de micrita, 15 % de esparita entre los componentes ortoquímicos.

Análisis químicos han determinado un 20 % de cuarzo, 40 % de calcita, un 35 % de illita y un 5 % de caolinita.

Las dataciones efectuadas en estos materiales solo han determinado fauna vanal de moluscos y oogonios de charofitas asignándose una edad Arverniense-Ageniense por su posición estratigráfica.

En la vecina Hoja de Elorz, este nivel se ha datado como Ageniense con la presencia de *Sphaerochara cf. inconspicua*(AL. BRAUN EX. UNGER).

### **2.2.3. Mioceno inferior**

Se trata del ciclo de los "Conglomerados Superiores del Perdón", que presentan unas notables analogías litológicas y sedimentológicas con el ciclo anterior, solo existiendo un contacto discordante entre ellos.

#### **2.2.3.1. Conglomerados (364). Ageniense superior-Aragoniense**

Aflora en la Sierra del Perdón, constituyendo las zonas de máxima altitud.

Se presentan discordantes sobre los niveles descritos anteriormente, no observándose diferencias desde el punto de vista litológico con el ciclo de los "Conglomerados Inferiores del Perdón". Dominan las facies de canales "braidad" con barras de gravas, sobre los depósitos desorganizados originados por procesos meramente gravitacionales.

Estos conglomerados, corresponden a medios asimilables a abanicos fluviales húmedos, representando la orla de facies proximal a media.

Presentan una potencia aproximada del centenar de metros, no habiendo sido posible efectuar dataciones sobre este tipo de materiales, no obstante se asocian al Ageniense superior-Aragoniense por posición estratigráfica.

#### **2.2.3.2. Arcillas, limos y areniscas (365). Ageniense-Aragoniense**

Esta unidad constituye la gran masa arcillosa que conforma la siguiente orla de facies, en posición paleogeográfica mas distal que la anterior, definida por los niveles de conglomerados.

Litológicamente está formado por un conjunto de arcillas limosas ocre y rojas, con intercalaciones de niveles canalizados de areniscas. Entre estas formas canalizadas predominan las de tipo meandriforme.

La potencia de esta unidad es difícil de calcular, ya que sufre fuertes acuñaientos laterales, no obstante llega a alcanzar mas del centenar de metros.

Los estudios de microfósiles han determinado: *Rantzieniella nitida* GRAMB, *Sphaerochara davidi* FEIST-CASTES, fragmentos de gasterópodos, que asignan a esta unidad una edad Ageniense-Aragoniense.

Estas facies representan el frente distal de abanicos fluviales húmedos.

### **2.2.3.3. Areniscas rojas (366). Ageniense-Aragoniense**

Estos niveles se encuentran intercalados entre los materiales arcillosos descritos anteriormente.

Litológicamente están constituidos por areniscas de grano medio de tonos rojizos, con una composición determinada por análisis petrológicos de un 30 % de  $CO_3Ca$  y un 70 % de terrígenos, entre ellos un 30 % de cuarzo, un 5 % de fragmentos de rocas metamórficas y un 35 % de calizas, con trazas de óxidos de hierro entre los accesorios, trazas de fósiles entre los aloquímicos y un 23 % de cemento calcítico entre los ortoquímicos.

Estos niveles, representan canales, reconociéndose distintas configuraciones según sea el relleno de los canales, aunque generalmente dominan los canales de tipo meandriforme, con superficies de acreción lateral muy bien definidas y estructuras propias de flujo helicoidal ("cosets de climbing ripples") y estratificación cruzada enfrentada con la inclinación de las superficies de acreción. Los canales de sinuosidades baja e intermedia presentan un relleno simple, constituido por "sets" y "cosets" tabulares de estratificación cruzada. Esporádicamente aparecen canales de configuración "braided", con láminas de gravas e importantes cicatrices internas, marcando reactivaciones del sistema de origen tectónico que indican un aumento de energía en la sedimentación.

Los estudios micropaleontológicos no han encontrado fósiles determinativos, asignando una edad Ageniense-Aragoniense por posición estratigráfica.

#### **2.2.3.4. Calizas (367). Aragoniense**

Estos niveles afloran en el paraje conocido como Pajarandia, al noreste de Uterga. Se encuentran incluidos entre los niveles de lutitas rojas y presentan tonos blancos, amarillentos y rosados, fácilmente distinguibles en el campo.

Litológicamente están formados por calizas margosas, margas y margas limosas, de aspecto noduloso y porosidad con rellenos geopetales. En el techo de cada nivel es frecuente observar huellas de raíces, mientras que en el muro, el contacto con los niveles lutíticos es transicional. Presentan geometría lenticular, con una potencia media de 3 m.

Los estudios de microfauna han determinado: *Sphaerochara* cf. *inconspicua* (AL. BRAUN EX UNGER), *Sphaerochara* sp., *Stephanochara* sp. Con esta relación de fauna, no es posible efectuar dataciones precisas, no obstante se ha asignado al Aragoniense por su posición estratigráfica.

Estos niveles se originan en zonas anegadas incluidas en ambientes fluvio-aluviales, nutriéndose de los desbordamientos de los canales, manteniéndose anegadas debido a su deficiente drenaje.

#### **2.2.3.5. Arcillas, limos y areniscas (384). Ageniense-Aragoniense**

Esta unidad aflora en el sector central y meridional de la Hoja, constituyendo un cambio lateral de facies del conjunto descrito anteriormente. Este tránsito se realiza de forma gradual, perdiendo niveles de areniscas y cambiando la geometría de los cuerpos canalizados.

Litológicamente están formadas por arcillas y limos de tonos rosados a rojos que forman la gran masa de estos sedimentos. Presentan un aspecto masivo, distribuidas en paquetes de orden métrico.

Los niveles areniscosos son de tonos rojos a ocre con granulometría media a fina. La potencia de esta unidad supera el centenar de metros.

Los estudios de microfauna han determinado: *Chara notata* GRAMB y PAUL *Sphaerochara* cf. *incospicua* (AL. BRAUN EX UNGER), *Sphaerochara duvidi* FEIST-CASTEL, *Rantzieniella nitida* GRAMB, *Stephanochara* sp. y fragmentos de gasteropodos lacustres, datando a esta unidad como Ageniense-Aragoniense.

Esta unidad se presenta muy bioturbada, por raíces y representa a depósitos en una posición de interabanicos.

#### **2.2.3.6. Areniscas (368). Ageniense-Aragoniense**

Estos niveles se encuentran intercalados entre los sedimentos arcillosos descritos anteriormente. La potencia de estos niveles es pequeña oscilando entre 1 m. y 0,5 m.

Litológicamente están formados por arenas de grano fino a medio, de tonos pardos, distribuidos en estratos tabulares con base suavemente erosiva.

Los análisis petrológicos de areniscas han determinado un 25 % de  $\text{CO}_3\text{Ca}$ , un 60 % de fracción arena, un 10 % de limo y un 5 % de arcilla, con una composición del 30 % de cuarzo, 10 % de fragmentos de rocas metamórficas, un 25 % de fragmentos de calizas, con un 25 % de cemento calcáreo entre los ortoquímicos y un 5 % de cemento ferruginoso, entre los accesorios destaca un 5 % de óxidos de hierro.

Estos niveles presentan una geometría lantejonar y tabular representando depósitos de "crevasse-splay" y "overbank".

Los estudios micropaleontológicos no han encontrado fauna determinativa, no obstante se datan como Ageniense-Aragoniense por su posición estratigráfica.

### **2.3. CUATERNARIO**

Los depósitos cuaternarios están ampliamente representados en la hoja de Puente La Reina, ofreciendo una gran diversidad de formas. Entre ellos destacan los glaciares, el piedemonte de la Sierra del Perdón y las terrazas del río Arga. Conos de deyección, fondos de valle, coluviones, etc, completan el espectro de los depósitos recientes de esta hoja.

**2.3.1.1. Gravas, arenas y arcillas. Glacis (519)**

Ocupan gran parte de la hoja, desarrollándose en la vertiente sur de la Sierra del Perdón. En general se trata de depósitos conglomeráticos con cantos de calizas, areniscas y cuarcitas y matriz arenosa de color blanco amarillento. El estudio sedimentológico indica una gran influencia del transporte fluvial, por las numerosas estructuras de este tipo reconocidas (ver corte de Munuzábal en la memoria de Geomorfología). Tienen una potencia aproximada de 2 m.

Son formas alargadas, algo lobuladas y aparecen disectados por la red fluvial, dando escarpes netos. En definitiva, constituyen las formas de transición o enlace entre el relieve de la Sierra del Perdón y los valles de los ríos Arga y Robo. Se les atribuye una edad Pleistoceno-Holoceno.

**2.3.1.2. Bloques, cantos, arenas y arcillas. Piedemonte (515)**

Este apartado se dedica al piedemonte de la Sierra del Perdón, de gran desarrollo superficial y, en algunos puntos, gran potencia. Se trata de conglomerados heterométricos y poligénicos con grandes bloques y matriz arenoso-arcillosa muy abundante la que impide, a veces, el contacto de unos clastos con otros. La naturaleza de los elementos gruesos es similar a la de los de la Sierra del Perdón.

Se les atribuye una edad pleistocena por suponer que su formación requiere bastante tiempo y por la ausencia de relación con otros depósitos más recientes.

**2.3.1.3. Gravas, arenas y arcillas. Terrazas (521, 524, 508, 507 y 506)**

Dentro de los depósitos fluviales, las terrazas del río Arga son las formas más características. Se han diferenciado hasta cuatro niveles a + 3-7 m, + 10-15 m, + 30-40 m y + 506-70 m.

Las observaciones realizadas en el campo las definen como cantos y gravas de caliza y cuarcita, mayoritariamente con matriz arenosa de color pardo rojizo. Su potencia oscila entre 1,5 y 2,5 m, aunque en algunos puntos puede aumentar.

No alcanzan un gran desarrollo superficial y se disponen dando una serie de plataformas escalonadas paralelas al cauce principal. El dispositivo morfológico general es el de terrazas colgadas, sobre todo en los niveles medios y superiores, siendo muy neto el contacto con los materiales subyacentes.

La edad que abarcan va desde el Pleistoceno inferior del Pleistoceno superior, siendo posible que el nivel más bajo llegue hasta el Holoceno.

#### **2.3.1.4. Arcillas, arenas, canos y gravas. Aluvial y Aluvial-coluvial (527 y 537)**

Ambos constituyen el relleno de los fondos de valle, presentando una litología muy similar a la de las terrazas y una textura caracterizada por un mayor contenido en material fino.

La diferencia entre un aluvial y un aluvial coluvial es la presencia, en estos últimos, de aportes laterales procedentes de las laderas, lo que hace modificar la heterometría del material y el grado de compacidad. Se les asigna una edad Holoceno.

#### **2.3.1.5. Cantos, gravas y arenas. Conos de deyección (536)**

Constituyen depósitos de carácter fluvial desarrollados en la confluencia de valles menores con otros valles de rango superior. La naturaleza de los mismos es muy variable pues dependen directamente del sustrato que los alimenta.

La morfología es también variable pudiendo ser desde pequeños y de pendiente acusada, a grandes y planos como los que aparecen del SO de la hoja, en la confluencia del río Robo con el Arga. La potencia es también variable, incluso dentro del mismo depósito, aumentando siempre hacia el ápice. Su edad es Holoceno.

#### **2.3.1.6. Arcillas, arenas, gravas y bloques. Coluviones (543)**

Corresponden a los depósitos de pie de vertiente originados por la acción de la gravedad. En la hoja de Puente La Reina son escasos y se localizan en bandas paralelas a los cursos fluviales, en base de las márgenes.

La naturaleza, fundamentalmente final, se caracteriza por la presencia de clastos heterométricos y angulosos, dando como resultado un depósito algo caótico y poco coherente. La edad reconocida para estos materiales es Holoceno.

### 3. TECTONICA

#### 3.1. LA CUENCA DE PAMPLONA

La Cuenca de Pamplona está limitada por el noreste por las estructuras pirenaicas del entorno del macizo de Oroz-Betelu, que al cabalgar hacia el S.O. origina el surco subsidente de Arre, que provoca el desplazamiento de las sales del Keuper, acumulándose en la estructura de Noain a Zuasti, dando posteriormente lugar a las diapiros de Iza y Anoz.

Estos diapiros tienen una génesis semejante, tratándose de mega-sigmoides de desgarre.

Por el oeste, está limitada por la falla de Estella, que es un accidente de zócalo de dirección NNE-SSO, que resuelve el desplazamiento de la falla norpirenaica o falla de Leiza.

En la cobertera la falla de Estella, produce una amplia banda de cizallamiento, que con la misma orientación NNE-SSO, discurre desde la Sierra de Andia, hasta la zona oriental de la Sierra del Perdón. Esta banda de cizallamiento ha permanecido activa, por lo menos, desde el Eoceno inferior (Sierra de Andia y diapiro de Anoz) hasta el Mioceno (diaclasamiento de los conglomerados superiores del Perdón, sobre la falla de Beriain oeste), permitiendo el desplazamiento sinistral del Cabalgamiento Frontal Pirenaico y la transferencia del movimiento hacia el Cabalgamiento Frontal Cantábrico. Asociados a la traza en superficie de la Falla de Estella se reconocen los diapiros de Salinas de Oro y Arteta. El de Salinas de Oro, ha originado una serie de fallas concéntricas y radiales, que penetran en la Cuenca. La más importante es la de Echauri.

Por el S y SE, la Cuenca de Pamplona se encuentra limitada por el cabalgamiento de la Sierra de Alaiz, cuya traza en arco convexo hacia el norte representa en esta transversal al anteriormente mencionado Cabalgamiento Frontal Pirenaico. Este cabalgamiento resuelve la aloctomía de la Cuenca sobre el antepais como pone de manifiesto en el sondeo de Astrain, que corta calizas del Eoceno, bajo el Keuper. El sondeo se encuentra a unos 13 km. de la falla de Puente la Reina, lo que da una idea del importante desplazamiento del sector occidental de la Cuenca. Desde este punto

de vista la Cuenca de Pamplona se puede calificar como una cuenca "piggy back" al haber sufrido una traslación pasiva simultáneamente a su desarrollo.

El límite septentrional de la Cuenca, se puede considerar a las estructuras E-O, originadas posiblemente por el cabalgamiento de Roncesvalles.

La estructura de la Cuenca de Pamplona, es totalmente diferente a ambos lados del eje Noain-Zuasti. Al este se encuentran las anticlinales de Zabalegui e Ilundain, con dirección E-O en su tramo oriental, girando hacia el NO en su tramo occidental.

En el sector occidental de la Cuenca, la estructura de mayor importancia, es la Sierra del Perdón, que se conoce con bastante detalle debido a la explotación del yacimiento potásico. La estructura actual consiste en un sinforme de dirección ENE-OSO, flanqueado por las fallas de Esparza y Beriain norte.

La presente Hoja y Memoria ha sido realizada por "Informes y Proyectos S.A. (INYPISA)", durante el año 1993, con normas, dirección y supervisión del Gobierno de Navarra habiendo intervenido los siguientes técnicos:

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

Desde el punto de vista estructural, en esta Hoja se han diferenciado los siguientes elementos tectónicos.

#### **3.2.1. Pliegues**

En esta Hoja no existen pliegues de amplio radio que definan esfuerzos tectónicos, ya que se trata de una serie monoclinal con buzamiento sur.

Solo se han observado pequeñas estructuras en las formaciones de "Yesos de Undiano" y "Yesos de Puente la Reina".

#### **3.2.2. Fracturas**

La fractura mas representativa y de mayor importancia que recorren esta Hoja, estan situadas en el sector meridional de la misma.

Esta fractura, conocida como estructura de Puente la Reina, presenta una situación anómala, resuelta por J. DEL VALLE (1991) indicando que mientras al este, el cabalgamiento desliza sobre el Keuper, al oeste, el frente cabalga sobre los niveles suevienses, que a su vez se encuentran sobre las evaporitas de la Formación "Yesos de Puente la Reina. La carga del cabalgamiento provoca el inicio de la migración de sales hacia el sur, contra el que se empotra el frente cabalgante. (Fig. 4).

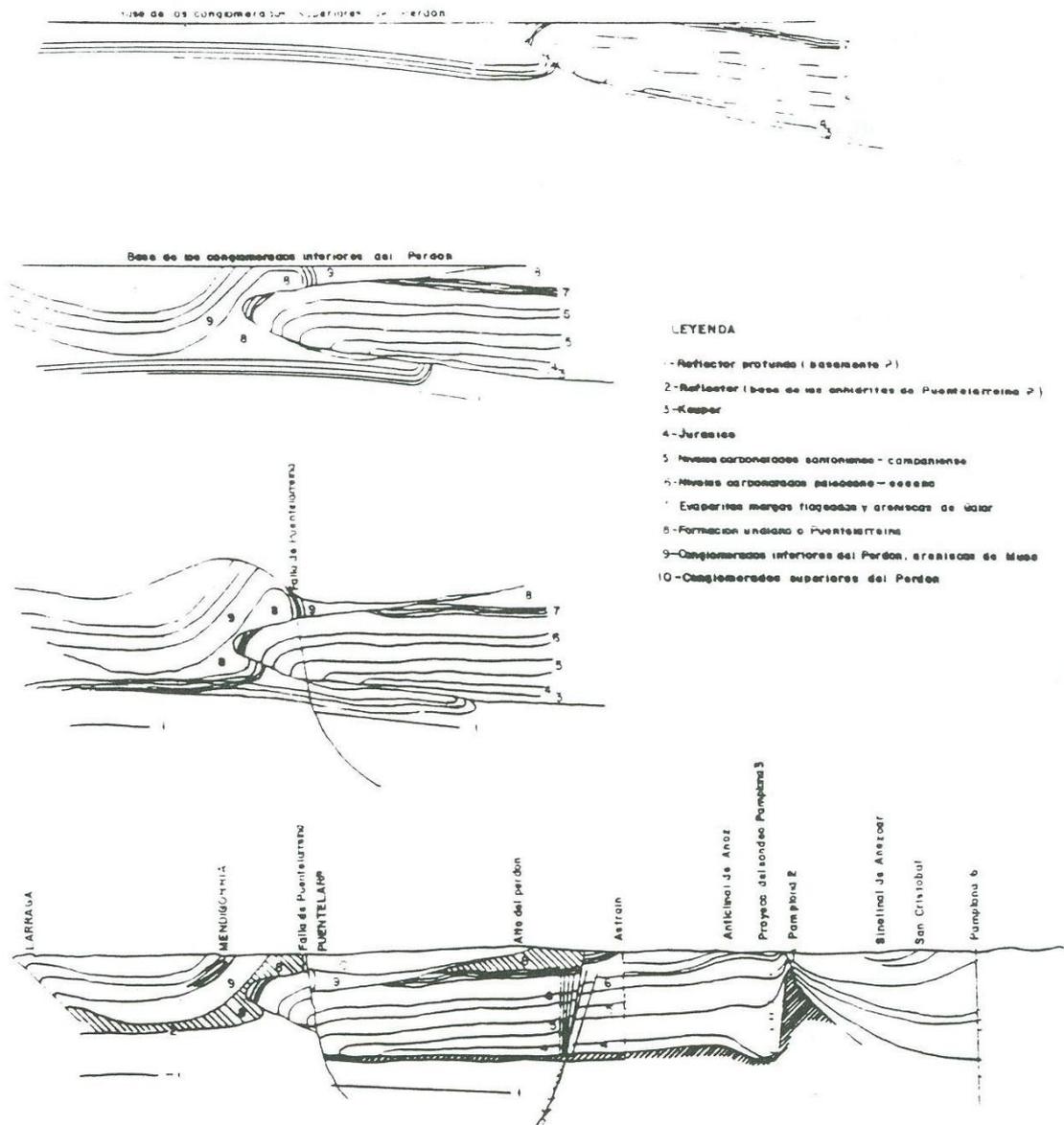


Fig. 4 - EVOLUCION DE LA ESTRUCTURA DE PUENTE LA REINA. CORTE POR LOS SONDEOS 2 Y 6 ASTRAIN Y PERFIL SISMICO DE LARRAGA

La migración salina continua, dando lugar a la formación de la falla lítrica de Puente la Reina, que recorre el límite meridional de la Hoja y su antitética la de Esparza, con el basculamiento correspondiente a la estructura de la Sierra del Perdón. El empuje continuado del frente pirenaico sobre el recubrimiento despegado de los niveles salinos de la Formación "Yesos de Puente la Reina"; desplaza a este hacia el sur originándose el cabalgamiento de Tafalla.

En el límite oriental de la Hoja, se observa la prolongación de la falla de Beriain hacia el oeste. Esta estructura penetra en los materiales miocenos, amortiguándose lentamente, dando lugar a un intenso diaclasado en los Conglomerados Superiores del Perdón.

### **3.2.3. Discordancias**

Entre los materiales que afloran en esta Hoja, existen varias discordancias que determinan el límite de secuencias deposicionales asociadas a impulsos tectónicos que afectan de forma global a toda la cuenca.

Las discordancias suevienses, tienen escasa representatividad en esta Hoja; tanto por la extensión de afloramientos como por la escasez y calidad de los mismos.

La discordancia Averniese, se encuentra bien representada afectando al contacto entre los materiales de la "Formación Yesos de Undiano" con los del ciclo de los Conglomerados Inferiores del Perdón.

La discordancia Ageniense, se puede observar en Bargagorri y al oeste de Esparza, siendo de carácter erosivo.

## **3.3. TELEDETECCION**

Los estudios de teledetección realizados en esta Hoja, han determinado gran cantidad de lineamientos.

Los lineamientos de primer orden, presentan una gran continuidad lateral, con dirección ENE-OSO. Hay que destacar el lineamiento que representa la prolongación de la falla de Beriain hacia el oeste, así como el lineamiento situado al norte de este,

con dirección paralela a la anterior, en el que su rama noreste coincide con el cambio lateral de facies, por lo que este, puede estar inducido por una fractura profunda del basamento.

Los lineamientos de segundo orden son mas abundantes y en general presentan tendencia a tomar direcciones meridianas. Son de menor entidad encauzandose a traves de ellos gran parte de los cursos de agua intermitentes que surcan esta Hoja.

## **4. GEOMORFOLOGIA**

### **4.1. DESCRIPCIÓN FISIAGRÁFICA**

La Hoja a escala 1:25.000 de Puente la Reina, se encuentra situada en el sector central de Navarra, al SO de Pamplona, en una zona de relieves contrastados, con la Sierra del Perdón al N. y los valles de los ríos Arga y Robo al O. y S. respectivamente.

Desde un punto de vista geológico, se localiza en el extremo suroccidental de las Zona Surpirenaica constituida aquí por materiales paleógenos marinos, limitando al S con los depósitos oligo-miocenos continentales de la Depresión del Ebro, integrantes de la mayor parte de superficie de la Hoja. En las proximidades del borde occidental de ésta se encuentra la falla de Kistella, que separa los dominios citados del Arco Vasco (Figura 5).

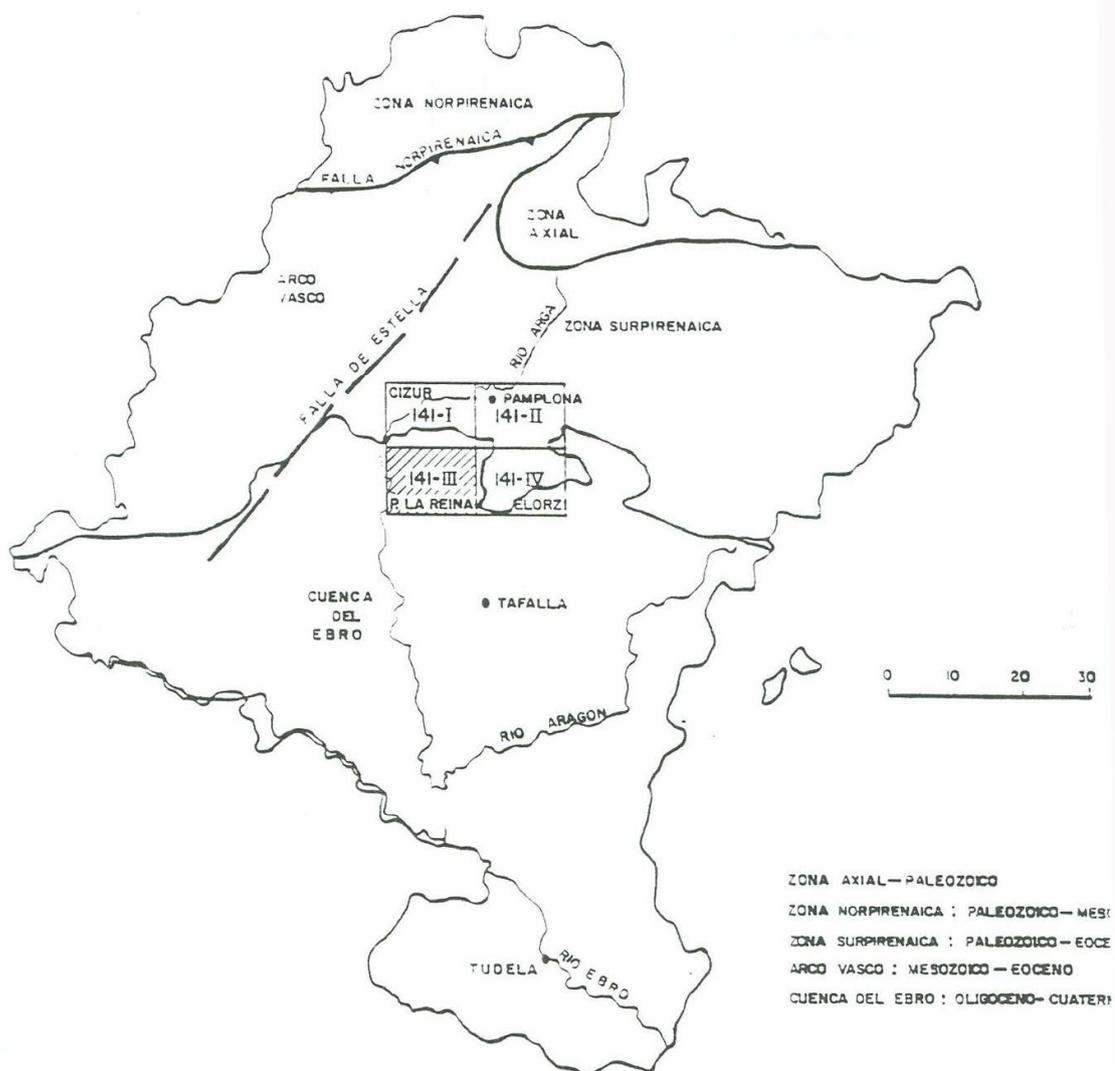


Fig.5.- ESQUEMA DE SITUACION DE LA HOJA EN EL CONJUNTO DE LOS GRANDES DOMINIOS MORFOESTRUCTURALES DE NAVARRA

Administrativamente, pertenece a la Comunidad Autónoma de Navarra, de carácter uniprovincial y, fisiográficamente, forma parte de la Cuenca del Duero estando regada por uno de sus principales afluentes: el Arga.

El relieve está labrado, en su mayoría, sobre materiales terciarios de carácter detrítico dando cuatro zonas de características diferentes.

#### **4.1.1. Relieve de la Sierra del Perdón-Lomas y relieves suaves al sur de la Sierra del Perdón-Relieves abruptos del sector de Lartadi-Valle del Arga**

##### **4.1.1.1. Sierra del Perdón**

Situada en el cuadrante NE de la Hoja, ofrece una forma alargada con orientación E-O, prolongándose a la contigua Hoja de Elorz. La cota de su cresta oscila entre los 650 en el Alto del Perdón y los 1039 de Nuestra Señora del Perdón. Las vertientes son acusadas con mayores pendientes en la ladera sur, donde una serie de arroyos, de carácter incisivo la atraviesan de N a S. En la ladera septentrional se desarrolla un amplio piedemonte que orla gran parte de este relieve.

##### **4.1.1.2. Lomas y relieves suaves al sur de la Sierra del Perdón**

Se trata de una zona bastante llana, con pocos contrastes altimétricos, entre 450 y 660 m, que desciende desde la Sierra del Perdón hasta el río Robo, casi en el límite meridional de la Hoja. Las formas que más destacan son una serie de glacis de formas alargadas, NE-SO, que están disectadas por amplios valles de idéntica dirección.

##### **4.1.1.3. Relieves abruptos del sector de Cartadi**

Son aquellos que aparecen en el sector norte entre el río Arga y la Sierra del Perdón. Se caracterizan por la existencia de numerosos arroyos de carácter incisivo que dejan entre sí, interfluvios acusados o aristas. Las pendientes son altas y los cursos de agua corto recorrido. Las diferencias altimétricas oscilan entre los 450 y los 900 m.

##### **4.1.1.4. Valle del Arga**

Atraviesan en el extremo occidental de la Hoja, desde el N hasta el S. El río Arga presenta un curso sinuoso en la mitad septentrional y meandriforme en la meridional y, en su encajamiento ha dejado 3 niveles de terraza que se describirán más adelante.

Desde un punto de vista general, la red de drenaje se ordena en torno a este curso de agua, el Arga y al río Robo, afluente del primero por la margen izquierda. Este último se sitúa en el borde sur de la Hoja, siendo el colector de las aguas de todos los ríos y

arroyos que descienden de la Sierra del Perdón hacia el sur. Entre ellos se pueden destacar, de este a oeste, los barrancos de Orinoain, Moldondio, Altomacurra, Salbidea, Tejería y Chivindara.

Climatológicamente el área se sitúa en el Dominio Mediterráneo de Tipo Templado y Húmedo, con precipitaciones medias entre 900 y 1000 mm/año y una temperatura media anual de 12-13°C, con máximas de 36° en el mes de Julio y mínimas de -7°C en Enero.

El principal núcleo de población es Puente la Reina, en el esquina SO de la Hoja, siguiéndole en importancia: Obanos, Muruzabal, Eneriz-Uterga y Legarda. Por último existen una serie de pequeñas aldeas y caseríos como son Villanueva, Caserío de Soltres, Ucar, Caserío Elordia, que completan el panorama urbano de la hoja.

La red de comunicaciones es buena siendo la carretera Nacional N-111, la vía principal. El resto de las líneas tanto comarcales como locales, se encuentra un buen estado de conservación, existiendo, además, una amplia red de caminos que hacen accesible la mayor parte de la superficie de la Hoja.

## **4.2. ANÁLISIS MORFOLÓGICO**

En este apartado se consideran dos aspectos fundamentales: uno morfoestructural, en el que se analiza el relieve como una consecuencia del sustrato geológico y la disposición del mismo, y otro morfogenético, relativo al relieve que se obtiene como consecuencia de la actuación de los procesos exógenos sobre dicho sustrato.

### **4.2.1. Estudio morfoestructural**

La hoja de Puente la Reina (141-III) se sitúa en el extremo suroccidental de la Zona Surpirenaica. Se trata de un área de relieves contrastados, destacando, el relieve producido por la Sierra del Perdón, al norte y una amplia llanura, al sur, constituida por depósitos de glaciares procedentes del relieve.

La naturaleza de los materiales en algunos sectores, en los que existe diferente competencia, da lugar a la formación de replanos y escarpes estructurales como sucede en las márgenes del río Arga y en algunos puntos del cuadrante SE de la hoja.

Por otra parte la disposición y morfología de los Valles, ofrece a excepción del Arga, tramos muy rectilíneos, lo que parece indicar una influencia de la tectónica en la instalación de la red fluvial. Así las principales direcciones del drenaje son NE-SO y N.S. Existe una tercera dirección E-O, representada principalmente por el río Robo, pero que aparece también por el resto de la Hoja.

En cuanto a la morfología de la red de drenaje, se puede definir como de carácter mixto, entre los tipos dentrítico y paralelo, como corresponde, por un lado, a una cierta homogeneidad litológica y, por otro, a una determinada pendiente o a la influencia de la tectónica.

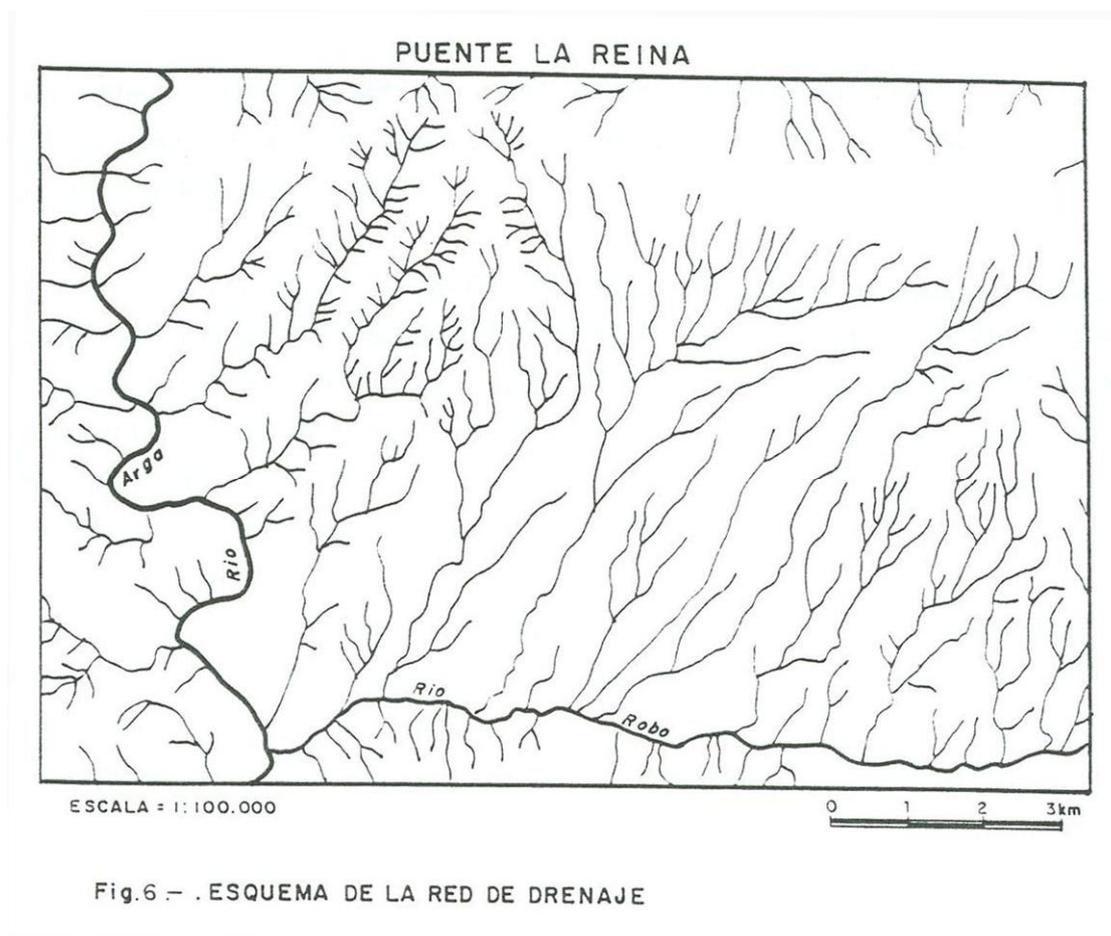
#### **4.2.2. Estudio del modelado**

En este apartado se describen y definen el conjunto de formas, tanto deposicionales como erosivas, agrupándolas según el proceso que las genera es decir según el sistema morfogenético al que pertenecen.

En la Hoja de Puente la Reina, las formas fluviales y las poligénicas las que alcanzan un mayor desarrollo, distinguiéndose también LAS formas de gravedad y las estructurales.

##### **4.2.2.1. Formas fluviales**

Las formas más representativas dentro de este grupo son los fondos de Valle y las terrazas, destacando entre estas últimas las del río Arga (Fig. 6).



El sistema de terrazas del río Arga no se encuentra bien desarrollado dentro del ámbito de la Hoja. En el estudio de las Hojas adyacentes, se han reconocido hasta seis niveles de terrazas para este curso de agua que van desde +3-7 m. hasta +80-100 m sobre el cauce actual, con alturas intermedias +10-15 m., +15-25 m., + 35-40 m., y +50-70 m. aunque en la Hoja de Puente la Reina sólo aparecen los niveles de +3-7m, +10-15m, +35-40 m 4>50 m. Ninguno de ellos alcanzan gran desarrollo superficial y se disponen en bandas paralelas al río. Algunos buenos afloramientos se pueden ver en la carretera que va desde Puente la Reina a Artazu. Se trata de conglomerados con cantos y gravas de calizas, cuarcitas mayoritariamente con algunos de cuarzo y areniscas, aunque sus características texturales se describirán más detalladamente en el apartado correspondiente a formaciones superficiales. El dispositivo morfológico de estas formas es el de terrazas colgadas, es decir que dejen ver el sustrato terciario. En los niveles superiores el contacto con el mismo es neto y pueden describirse con facilidad.

Como formas fluviales se destacan también los fondos de valle, dentro de los cuales podemos diferenciar dos tipos. Por un lado, se reconocen los que pertenecen a los afluentes del río Arga, caracterizados por su morfología estrecha, debida a un cierto grado de encajamiento y, por otro, los que desembocan en el río Robo, caracterizados por ser muy amplios, con vertientes suaves y a veces, con anchuras superiores a 1 km. Por lo general estos últimos ofrecen un fondo muy plano y un perfil transversal en artesa.

Dentro de las formas fluviales no hay que olvidar los conos de deyección desarrollados a la salida de pequeños barrancos o valles menores, en su desembocadura a un cauce de rango superior. La naturaleza de sus depósitos depende del sustrato del que se alimenten, variando de unos sectores a otros. Hay que destacar los conos de deyección formados en la desembocadura del río Robo por su amplio desarrollo y porque sobre ellos se instala la localidad de Puente la Reina.

Una vez descritas las formas fluviales con depósito, se hace alusión a las formas erosivas. Estas son barrancos con incisión vertical, aristas en los interfluvios, erosión lateral del cauce con verticalización de paredes y consecuentes desplomes y, por último, en áreas de poca pendiente y en temporada de lluvias, se originan regueros como consecuencia de los procesos de arroyada difusa.

#### **4.2.2.2. Formas de ladera (o de gravedad-vertiente)**

Dentro de este grupo existen dos tipos de formas: las de depósito y las de erosión-sedimentación. Entre las primeras se han podido reconocer coluviones y piedemontes y, entre las segundas, caídas de bloques y deslizamientos.

Los coluviones, o depósitos de pie de vertiente, se originan casi exclusivamente por la acción de la gravedad pero con intervención del agua meteórica. En la Hoja de Puente la Reina son bastante escasos y los pocos que existen se localizan al pie de las laderas, en los fondos de valle, dando franjas alargadas y paralelas a los cursos fluviales. Los de mayor tamaño se encuentran en la esquina NO de la Hoja, en ambas vertientes del río Arga.

Por otra parte se han diferenciado los depósitos de piedemonte. Se denomina así al conjunto de materiales detríticos formados por la acción conjunta del agua y la

gravidad y que alcanza un amplio desarrollo superficial. El único y excelente ejemplo que existe en el área de estudio es el piedemonte de la Sierra del Perdón que se extiende por toda la vertiente norte, pasando a la contigua Hoja de Elorz, para bordear el extremo este de la Sierra, llegando incluso a formar depósitos en la ladera sur están formados por materiales heterométricos, bloques, cantos y gravas en una matriz arcillosa poco cementados. La naturaleza de los elementos groseros es idéntica a la de los que constituyen los conglomerados del Perdón.

En cuanto a las formas mixtas de erosión-sedimentación tanto las caídas de bloques como el pequeño deslizamiento cartografiado, se localizan en el cuadrante NO de la Hoja, al N. de la pequeña localidad de Villanueva, en la margen izquierda del Arga. Las primeras se producen por la acusada pendiente y por la naturaleza del material.

#### **4.2.2.3. Formas poligénicas**

La forma más representativa y de mayor desarrollo superficial, en el área de estudio son los glacis. constituyen las formas de enlace entre los relieves de la Sierra del Perdón y la red fluvial cuaternaria.

Su génesis es mixta debido a la intervención de varios procesos: aluvial-gravidad, arroyada-gravidad, etc...En general se trata de formas alargadas, algo lobuladas, con perfil longitudinal plano-cóncavo, en los que la concavidad aumenta con la proximidad al relieve. Están disectados por la red fluvial secundaria, ofreciendo, hacia los valles, escarpes netos. En algunos puntos, como en la localidad de Munazabal, puede observarse bien el depósito, de carácter fluvial, y con una potencia aproximada de 2 m. Por último señalar que se pueden reconocer hasta dos generaciones de glacis, de las cuales, la más moderna está relacionada con la terraza de +50 m.

La otra forma poligénica son los aluviales-coluviales. Se denomina así a todos aquellos fondos de valle constituidos por depósitos fluviales y aportes procedentes de las laderas, siendo difícil la separación de unos y otros. Se localizan principalmente en el borde sur de la Hoja.

### 4.3. FORMACIONES SUPERFICIALES

Se definen como Formaciones Superficiales todos aquellos materiales coherentes o no, o que han podido sufrir una consolidación posterior y que están relacionados con la evolución del paisaje que se observa en la actualidad (Goy et. al. 1981). La característica indispensable de todas ellas es que tienen que ser cartografiables a la escala de trabajo y deben quedar definidas por una serie de atributos tales como geometría, textura, génesis, potencia, y, en ocasiones, edad.

En primer lugar se consideran las formaciones superficiales de carácter fluvial por ser las más representativas dentro de la Hoja. En este sentido son las terrazas las unidades más interesantes y como ya se ha señalado anteriormente destacan las del río Arga con cuatro niveles cartografiados a +10-15 m, +30-40 m y +50-70 m.

Las observaciones "in situ" permiten definirlos como un conjunto de gravas y cantos de naturaleza caliza y cuarcítica mayoritariamente y de cuarzo y areniscas en menor proporción. El tamaño medio de los cantos oscila entre 4 y 7 cm. y el máximo observado en campo es aproximadamente de 30 cm. La matriz es arenosa con cierto contenido en finos y el color general del depósito es pardo rojizo. La potencia oscila entre 1,5-2,5 m. aunque en algunos puntos puede aumentar. En la subida a Artazu se puede observar un corte de la terraza de \_ 150 m en la que se observan niveles arenosos, cicatrices erosivas, imbricación de cantos, etc.,. Sobre este depósito, que no supera los 2 m, existe un nivel arcilloso-arenoso de 0,70-0,80 m con un suelo pardo rojizo o techo. La edad de estos depósitos se considera Pleistoceno (Figura 7).

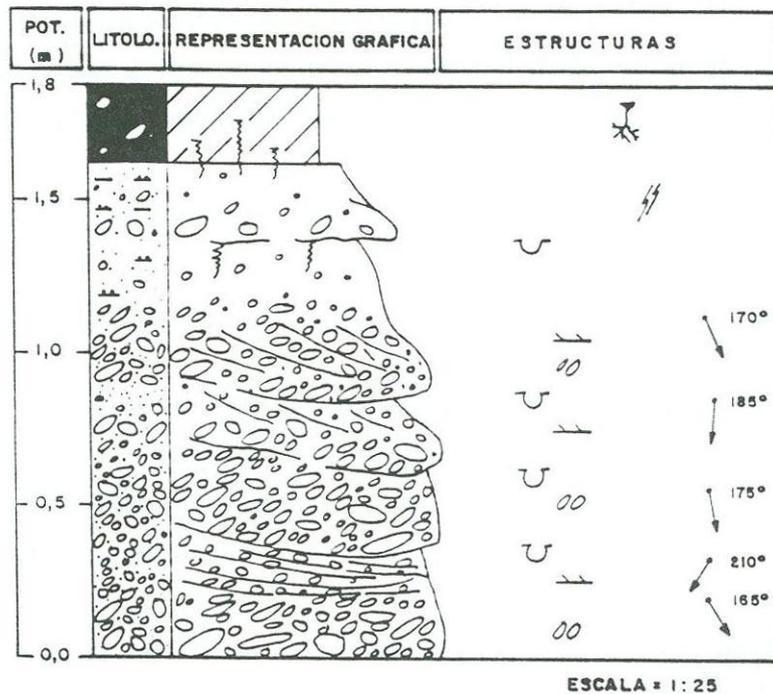


Fig.7 - CORTE DE LA TERRAZA DE + 50 m DE ARTAZU

El otro depósito de carácter fluvial lo constituyen los fondos de valle entre los que se pueden reconocer dos tipos. Los primeros son los que aparecen al NO de la Hoja, en áreas algo abruptas, dando formas largas y estrechas. Sus depósitos están formados por gravas y cantos con una composición muy similar a la de las terrazas. Los segundos son los que se instalan en la mitad E de la Hoja diferenciándose de los primeros por un mayor porcentaje de elementos finos (limos + arcillas). Esto no sólo es debido a la litología del área madre, sino también a la topografía más suave, a la menor cantidad de agua y por tanto a una menor capacidad de transporte.

La potencia total no ha podido ser observada en ningún punto, pero se supone que puede variar entre 2-5 m. La edad asignada a estos depósitos es Haloceno.

Las Formaciones superficiales de ladera se limitan, en esta Hoja, a coluviones y piedemontes. Los primeros son de naturaleza principalmente arcillosa, con cantos dispersos de tamaño heterométrico cuya litología depende de la composición de las rocas del sustrato. En general son depósitos poco consolidados cuya potencia oscila entre unos centímetros y varios metros. La edad asignada a estas formaciones

superficiales es Holoceno debido a su estrecha relación con los depósitos aluviales más modernos y a su posición en las zonas más inferiores de las laderas.

En cuanto al piedemonte de la Sierra del Perdón, cabe señalar su gran desarrollo superficial y su gran potencia en algunos puntos, superando la decena de metros. Texturalmente se trata de conglomerados heterométricos con un tamaño máximo observado en campo de 40 cm. La matriz es arenoso arcillosa muy abundante de forma que los cantos no siempre están en contacto unos con otros. La naturaleza de los mismos es poligénica al igual que lo de los conglomerados del Perdón conteniendo cantos de areniscas y calizas principalmente y de ofitas y cuarzo en menor proporción.

Se le atribuye una edad amplia, Pleistoceno, por suponer que su formación requiere bastante tiempo y por la ausencia de relación con depósitos mejor definidos cronológicamente.

En cuanto a las Formaciones superficiales de carácter poligénico, hay que destacar los glaciais. Los fondos aluviales-coluviales pueden asimilarse en sus características a los fondos aluviales de la mitad este de la Hoja, por lo que no se les prestará aquí, especial atención.

Las glaciais están constituidas por un depósito de cantos, mayoritariamente de calizas y areniscas, con tamaños medios comprendidos entre 3 y 6 cm con un tamaño máximo observado de 15 cm y una matriz arenoso-limosa de color blanco amarillento. El contacto con los materiales subyacentes es erosivo y neto. Las características sedimentológicas del depósito indican un transporte fluvial como puede observarse en el corte de Munuzabal donde se reconocen cicatrices erosivas, rellenos de fondo de canal, imbricación de cantos y estratificaciones cruzadas. Algunas estructuras parecen ser originadas por escape de fluidos. La potencia observada en este corte es de aproximadamente 2 m. A 1 m. del techo existe un nivel de concentración de carbonatos y en el techo se desarrolla un suelo pardo rojizo de unos 30 cm. (Fig. 8).

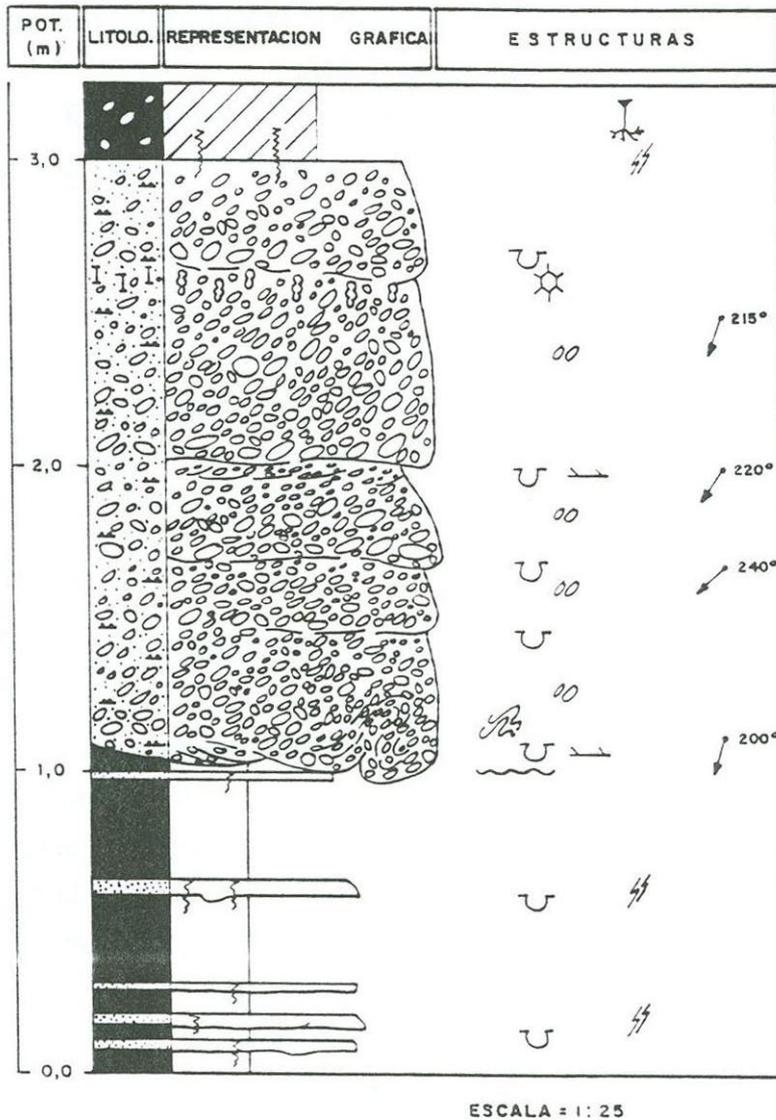


Fig 8.-CORTE DEL GLACIS DE MURUZABAL

Por su relación con la terraza de 50 m puede atribuírseles una edad Pleistoceno inferior-Pleistoceno medio

Por último y aunque no se refleje en la cartografía merece la pena mencionar las formaciones edáficas. La mayor parte de los suelos se desarrollan sobre las formaciones superficiales anteriormente descritas. Así por ejemplo, sobre los fondos de valle de la mitad este de la Hoja se forman suelos aluviales y suelos de vega poco evolucionados. También sobre las terrazas y glacis se instalan suelos pardos y suelos

pardo rojizos dependiendo de la antigüedad del depósito. La potencia de estos suelos no suele superar en casi ningún caso, los 50 cm.

Especial atención merecen los retazos de suelos rojos que se observan en lo alto de la sierra del Perdón, a lo largo de la carretera que va desde la N-111 hasta el repetidor de TV.

Se trata de un suelo arcilloso rojo con un horizonte pedregoso en medio probablemente de origen coluvial. Por debajo se desarrolla una costra calcárea blanca de carácter laminar bandeada que llega a afectar directamente a los conglomerados del Perdón. Esta costra es muy irregular en su desarrollo lateral, consistiendo, a veces, en un simple horizonte de acumulación de carbonatos. La potencia total del conjunto varía entre 1 y 2 m.

#### **4.4. EVOLUCION GEOMORFOLOGICA**

La evolución geomorfológica de un área tan pequeña como la que imponen los límites de una Hoja es difícil de establecer si no se integra previamente en un contexto geológico y geomorfológico regional. En este sentido y como ya se ha señalado en el capítulo primero, este sector se sitúa en el borde suroccidental de la Zona Surpirenaica, ya en el límite con la Cuenca del Ebro.

Desde un punto de vista geomorfológico, no existen referencias para interpretar la evolución del relieve en el periodo comprendido entre la sedimentación continental miocena y los primeros depósitos cuaternarios. La ausencia de depósitos de esa edad y de superficies de erosión, en el entorno que nos sirvan de punto de referencia, impiden esta interpretación para tiempos anteriores al Cuaternario. A partir de este momento se inicia el encajamiento de la red fluvial y paralelamente, los grandes relieves como la tierra del Perdón, comienzan a erosionarse dando lugar a una serie de depósitos que confirman este hecho. Estos depósitos corresponden a un piedemonte por las vertientes norte y este y a un sistema de glaciares por la sur. El sistema de glaciares se desplaza, en su evolución, de este a oeste, aproximándose a las aguas al colector principal, en este caso el Arga. Los glaciares más recientes de este conjunto se relacionan directamente con la terraza de +50 m del río Arga, como puede apreciarse al este de Puente la Reina. Esto hace suponer que puede existir cierta isocromía entre ambos.

Por otra parte, la red de drenaje sigue encajándose durante el Pleistoceno medio y superior, modelándose las laderas en el proceso de incisión. Este proceso erosivo pone de manifiesto la diferente competencia de los materiales dando lugar a resaltes y replanos estructurales, sobre todo en el sector oeste de la Hoja.

El grado de encajamiento y la morfología de los valles (simétricos, asimétricos, en "v", en artesa, etc...) depende, en cada caso, de la litología del clima y de la tectónica local, predominando, unos u otros según las zonas.

Paralelamente al proceso de encajamiento general, se desarrollan una serie de procesos, descritos en capítulos anteriores (laderas....) que unido a la acción del hombre contribuyen a definir y modificar la morfología local.

#### **4.5. DINAMICA ACTUAL Y SUBACTUAL, TENDENCIAS FUTURAS**

Atendiendo a las características litológicas y estructurales de la zona y al carácter, prácticamente atectónico de la misma, no se reconocen procesos actuales de gran magnitud. Los principales procesos activos que se observan son los de incisión lineal de la red de drenaje secundaria que da lugar a barrancos y a valles en "v" (zona situada entre el río Arga y el sistema de glaciares). También en el valles del Arga, pueden observarse procesos de erosión lateral del cauce y formación de barrancos.

En cuanto a los procesos de gravedad se limitan a algunas caídas de bloques y pequeños deslizamientos en sectores muy concretos.

A la vista de estos procesos y por las características del sector, no se prevén cambios importantes, de carácter geomorfológico, en un futuro inmediato.

## 5. HISTORIA GEOLOGICA

En este capítulo se dará una visión generalizada de la evolución tectónica y sedimentaria del sector abarcado por la Hoja 1:50.000 de Pamplona, teniendo en cuenta que esta Historia Geológica se realiza en común para todas las Hojas 1:25.000 que componen el Mapa 1:50.000 de Pamplona.

Aunque los materiales más antiguos que afloran en este conjunto de Hojas pertenecen al trias, esta descripción comenzará en el Cretácico superior debido a la falta de afloramientos y criterios en los materiales triásicos.

En el Cretácico superior se inicia el desplazamiento de la Placa Ibérica hacia el norte, dando lugar mas adelante a su choque con la Placa Europea.

Durante esta serie de tiempo se pueden diferenciar dos grandes conjuntos deposicionales, asimilables a ciclos tectónicos de segundo orden, caracterizados por incrementos en el grado de subsidencia tectónica. La primera fase que comprende el conjunto deposicional Santoniense, representa los términos transgresivos de relleno de surco. Los sondeos profundos realizados en la Cuenca de Pamplona ponen de manifiesto la existencia de una zona subsidente con 2000 m de potencia de sedimentos, destacando los accidentes de Iza y Estella que registran descensos bruscos en el espesor de la serie Santoniense.

En el techo de este conjunto se observa un episodio de somerización de la cuenca correspondiente a la fase terminal regresiva. El límite viene marcado por una superficie ferruginosa que representa un hiato sedimentario importante, faltando los términos inferiores del Campaniense.

El conjunto deposicional Campaniense superior-Maastrichtiense está compuesto por dos unidades que se corresponden con la fase transgresiva y regresiva, poniendo en contacto facies de plataforma abierta con depósitos fluviomareales.

Durante el Paleoceno tiene lugar un cambio general en la distribución de las cuencas que definirán la evolución pirenaica durante la orogenia.

El Paleoceno está representado por una serie de dolomias y calizas arenosas atribuidos a depósitos de transición marino-continental con sedimentación en régimen supramareal, y los términos inferiores relacionados con depósitos fluviales y fluviomareales en facies Garumniense.

En esta época se definen los Dominios Pirenaico y Vasco-Cantábrico iniciándose la inestabilidad de la cuenca. Los cabalgamientos en formación originan áreas de altos fondos entre los que quedan surcos subsidentes que canalizan la sedimentación turbidítica, activando algunas de estas estructuras la halocinesis, con la extrusión de Iza y Anoz.

Sobre estos niveles se deposita una serie calcárea cuya edad está comprendida entre el Ilerdiense y el Luteciense inferior-medio. Estos depósitos corresponden a un modelo evolutivo de plataforma calcárea, estando constituidos los tramos inferiores tableados por facies transgresivas y los tramos superiores masivos por facies de somerización.

Estos depósitos constituyen el margen meridional de la Cuenca de Pamplona y se encuentran en relación con el surco turbidítico del Grupo Hecho, situado al norte.

Este conjunto deposicional Ilerdiense-Luteciense inferior-medio, presenta una ruptura basal constituida por una importante laguna sedimentaria con falta del Cuisiense y parcialmente el Ilerdiense. La ruptura superior está definida como una discordancia ligeramente erosiva.

El ciclo Luteciense medio-superior está representado por dos grandes barras calcáreas que se enmarcan en un contexto de "shoals" energéticos. Estos depósitos representan la progradación de la plataforma hacia cuenca, en relación con el episodio de somerización del conjunto deposicional.

Localmente aparecen en la base unos niveles de calcarenitas arenosas, atribuidos a un medio litoral energético muy somero.

La tendencia al retroceso, hacia el margen septentrional de las plataformas carbonatadas se ha explicado en base a un esquema de superficies de erosión que truncan los márgenes de la plataforma y su posterior recubrimiento por turbiditas,

migrando hacia el sur, el surco turbidítico con el levantamiento del margen septentrional y basculamiento reflejado en el meridional.

El ciclo Luteciense-Priaboniense inferior, se puede dividir en dos subciclos, el inferior Luteciense superior-Bartoniense, constituido por calcarenitas con intercalaciones de una cuña turbidítica. Estos niveles se enmarcan en un ambiente deltaico.

En este conjunto se han diferenciado tres secuencias deposicionales que marcan una tendencia transgresiva global.

El subciclo superior Bartoniense-Priaboniense inferior-medio, corresponde al depósito de las "Margas de Pamplona" consistente en una serie monótona de margas grises homogéneas, con intercalaciones en el muro de turbiditas. Estas facies se interpretan como episodios de somerización que culminan en una plataforma siliciclástica abierta expuesta a la acción de las tormentas.

A techo comienza el ciclo Priaboniense medio-superior, que corresponde al depósito de las "Margas de Ilundain", consistentes en una serie homogénea de margas con intercalaciones de niveles turbidíticos. Estos depósitos se enmarcan en un contexto de plataforma externa, constituyendo términos prodeltaicos con etapas de somerización y etapas de intercalación de canales de abanicos submarinos.

El techo de estas margas marca una somerización progresiva de la cuenca y el tránsito a una situación restringida y confinada.

Durante el ciclo Priaboniense terminal tiene lugar una fuerte regresión, emergiendo las Sierras Orientales, quedando entre ellas cuencas abiertas hacia el Cantábrico. Esta regresión da lugar al sedimento de la Formación Evaporítica con el depósito de sales potásicas. Estos materiales ponen de manifiesto el confinamiento de la Cuenca y sugiere un cambio climático a condiciones de marcada aridez, con pérdida de profundidad de agua y progresiva evaporación con producción de salmueras cada vez más concentradas. La disposición original de la cuenca evaporítica no se puede establecer ya que sus bordes meridional y occidental han desaparecido bajo la discordancia Sueviense.

Posteriormente sucede el depósito de las "Margas Fajeadas" que marcan un estadio de dilución de la cuenca evaporítica por entrada de aguas continentales con aporte de material en suspensión, deduciéndose unas condiciones lagunares con variaciones notables de la salinidad, relacionadas con las "Areniscas de Galar", interpretadas como depósitos deltaicos, sedimentados en esas mismas lagunas, sometidas a un régimen intermareal. Aunque estos materiales se han sedimentado en una cuenca confinada, es necesario invocar a una comunicación con el mar que posibilite la regeneración de las salmueras que originan los depósitos evaporíticos y los términos detríticos superiores.

Sobre estos depósitos se sedimentaron los de edad Sueviense, con la formación "Yesos de Undiano" relacionando estos depósitos con un episodio de colmatación y cierre definitivo de la cuenca paleogena marina.

En este momento comienza el sedimento de depósitos continentales en dos subcuencas, con un umbral sobre el cabalgamiento frontal pirenaico. En la subcuenca meridional, se implanta un régimen fluvio-lacustre que pasa gradualmente al oeste a materiales lacustres y posteriormente a evaporitas. En la subcuenca septentrional el régimen es lacustre con el depósito de evaporitas, anhidritas, yesos y halitas de la Formación Undiano.

En el Oligoceno medio se produce un aumento de la actividad tectónica con un incremento de los materiales detríticos aportados a la cuenca y una expansión de los sistemas fluviales con el depósito de las "Areniscas de Mues" de Mendigorria extendidas sobre el área lacustre de los Yesos de Puente la Reina.

Posteriormente comienzan los impulsos tectónicos y el depósito de sedimentos relacionados con los relieves creados, implantándose un régimen de alta energía con el depósito de abanicos aluviales dando lugar al ciclo de los "Conglomerados Inferiores del Perdón".

Durante el Mioceno inferior y después de otro impulso tectónico, tiene lugar una nueva sedimentación de depósitos aluviales dando lugar al ciclo de los "Conglomerados Superiores del Perdón".

## **6. GEOLOGIA ECONOMICA**

### **6.1. RECURSOS MINERALES**

En el ámbito de esta Hoja no se ha reconocido ningún indicio con entidad suficiente para ser inventariado, solo pequeñas explotaciones sobre materiales areniscos que proporcionan la zahorra para la construcción y mantenimiento de las numerosas pistas que surcan esta Hoja.

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

No existe referencia alguna en cuanto al aprovechamiento de minerales metálicos o no metálicos, ni en cuanto a una presencia digna de consideración.

#### **6.1.2. Minerales energéticos**

No existen indicios de sustancias energéticas dentro de los límites de esta Hoja.

#### **6.1.3. Minerales y rocas industriales**

Como se ha indicado anteriormente, no existen indicios de explotaciones en esta Hoja, solo se han observado explotaciones de carácter artesanal, en las facies arenosas de los depósitos Miocenos y en la Formación "Yesos de Puente la Reina" con el fin de obtener material aglomerante.

Estas pequeñas explotaciones se encuentran actualmente abandonadas y sin demostrar un potencial minero posible e inmediato.

### **6.2. HIDROGEOLOGIA**

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

En el presente apartado se realiza una breve descripción desde el punto de vista hidrogeológico de las formaciones diferenciadas en la cartografía hidrogeológica.

Básicamente se atenderá a tres criterios fundamentales: litología, geometría y permeabilidad.

**6.2.1.1. Calcarenitas nodulosas y calizas bioclasticas. Priaboniense. (Terciario marino).**

Litológicamente esta unidad está constituida por un conjunto de calcarenitas (grainstone) y calizas bioclásticas. Constituyen un nivel (nivel 26 en la cartografía geológica) de escasa potencia que presenta un retazo aflorante en el borde NO de la hoja. La permeabilidad del conjunto es baja al estar poco fisurado y presentar un bajo grado de carstificación. No tiene interés desde el punto de vista hidrogeológico por su baja permeabilidad y escasa potencia.

**6.2.1.2. Arcillas y yesos. Sueviense inferior (Terciario continental).**

Esta unidad agrupa la formación definida por PUIGDEFABREGAS (1975) como Fm. Yesos de Undiano y la formación denominada por RIBA y PEREZ MATEOS (1962) como Yesos de Puente la Reina y Mues o por PUIGDEFABREGAS (1972) como Yesos de Añorse.

Litológicamente la primera formación Fm. Yesos de Undiano (nivel 30 en la cartografía geológica) está constituida por margas grises dolomíticas lutitas rojas y yesos recristalizados y algunos niveles de yesoarenitas. En sondeos aparece como una sucesión rítmica de fangos y anhidritas con depósitos de halita en la parte inferior. Aflora a modo de retazos en la vertiente septentrional de la Sierra del Perdón con un espesor aproximado de 500 m.

La segunda formación (nivel 31 en la cartografía geológica) se trata de un conjunto de niveles de yesos blanquecinos masivos y nodulosos con intercalaciones de margas yesíferas. Aflora en el límite meridional de la hoja. Se desconoce la potencia, regionalmente se considera mayor de 300 m.

Estas dos formaciones se agrupan desde el punto de vista hidrogeológico al estar constituidas por litologías que presentan un comportamiento hidrogeológico muy similar.

La permeabilidad de ambos conjuntos es muy baja, al contar las litologías descritas con una porosidad eficaz prácticamente despreciable. Se puede alcanzar de manera puntual y aislada cierta permeabilidad por karstificación o disolución de las sales (sulfatadas o cloruradas) que contienen.

**6.2.1.3. Limolitas arcillas y margas con capas de arenisca. Sueviense superior-Arveniense. Arcillas limos y areniscas. Ageniense-Aragoniense.**

Dentro de esta unidad se han diferenciado dos conjuntos. El inferior agrupa dos formaciones que corresponden a los niveles 33 y 35 de la cartografía geológica realizada. El conjunto superior agrupa las formaciones que corresponden a los niveles 37, 41 y 44 de la cartografía citada. Estas agrupaciones son debidas a la afinidad litológica y similar comportamiento hidrogeológico que presentan en conjunto los materiales diferenciados.

El tramo inferior de la unidad está constituido por una alternancia de arcillas y limos con capas centimétricas de areniscas e intercalaciones de margas. En la base (307) se detectan niveles de yesos detríticos rojos de escasa importancia. Hacia techo (324) los niveles de arenisca alcanzan mayor espesor y continuidad.

Los afloramientos del conjunto inferior se localizan en el límite meridional de la hoja, en dos sectores de pequeña extensión situados en los vértices SO y SE de la misma. La potencia de este tramo supera los 500 m.

Hidrogeológicamente se trata de depósitos de muy baja permeabilidad dado el predominio de materiales finos (arcillas, limos) en sus litologías. Los niveles de arenisca alcanzan, cierta permeabilidad que queda enmascarada por los tramos prácticamente impermeables con los que alterna.

El conjunto superior está constituido por las facies distales de carácter prácticamente impermeable de los abanicos aluviales de la Serie del Perdón, que serán descritos más adelante. Presenta dos tramos. El inferior (nivel 37 en la cartografía geológica) está constituido predominantemente por materiales lutíticos con intercalaciones de niveles de areniscas. Esporádicamente aparecen niveles de calizas nodulosas de

escaso espesor. Estos depósitos se sitúan en cambio lateral de facies sobre los niveles conglomeráticos inferiores (Conglomerados inferiores del Perdón).

El tramo superior que agrupan los niveles 41 y 44 diferenciadas en la cartografía geológica está constituido por un conjunto de arcillas limosas ocre y rojas con intercalaciones de areniscas (365) que en cambio lateral de facies van perdiendo niveles de areniscas presentando el tramo un aspecto arcilloso masivo (384). La potencia de este tramo superior llega a alcanzar más del centenar de metros.

Los niveles de areniscas de mayor entidad intercalados entre los materiales arcillosos constituyen niveles acuíferos aislados entre sí o con conexiones a través de los acuitardos. Se ha estimado conveniente separarlos del conjunto arcilloso de muy baja permeabilidad por sus posibilidades acuíferas. Más adelante se describirán como unidad independiente diferenciada tanto en la cartografía geológica (366) como en la hidrogeología.

Hidrogeológicamente el conjunto superior descrito tiene un carácter prácticamente impermeable dado que el predominio de material lutítico y arcilloso que posee. Por ello se agrupa con el conjunto inferior descrito dentro de una unidad de muy baja permeabilidad con posibilidades acuíferas prácticamente nulas.

#### **6.2.1.4. Conglomerados del Perdón. Ageniense. Aragoniense.**

Los conglomerados de la serie del Perdón presenta dos ciclos "Conglomerados inferiores del Perdón" (nivel 36 en la cartografía geológica) y "Conglomerados superiores del Perdón"(364). Desde el punto de vista litológico no presentan diferencias de importancia. Están constituidos por cantos redondeados de caliza y areniscas eocenas y en menor número de cantos de cuarzo, ofita y rocas metamórficas.

El Ciclo Inferior aflora en la carretera de Puente la Reina a Echauri, y en las laderas septentrional y oriental de la Sierra del Perdón. La potencia estimada se acerca al centenar de metros.

El ciclo superior aflora en la Sierra del Perdón, constituyendo las zonas de máxima altitud. La potencia de este segundo ciclo supera el centenar de metros.

El límite inferior del conjunto está constituido por depósitos del Terciario marino de carácter prácticamente impermeable. El límite superior está constituido por las facies distales de materiales finos descritos en el anterior apartado y depósitos cuaternarios (derrubios de ladera principalmente).

Se ha estimado una permeabilidad media para toda la unidad. Aunque no existen datos suficientes que permitan calcular valores concretos de permeabilidad y transmisividad, si ha sido posible al menos distinguir diferentes sectores en función de su capacidad para albergar agua y permitir su circulación. En general el alto grado de consolidación de los conglomerados limita considerablemente la existencia de recursos hídricos importantes. No obstante, la presencia de una mayor densidad de fracturación en determinados sectores parece condicionar la existencia de una cierta circulación de agua en los mismos. Esto implica la aparición de procesos de karstificación con disolución de cemento carbonatado en los conglomerados y un aumento de permeabilidad en los mismos.

#### **6.2.1.5. Areniscas rojas y niveles areniscosos aislados. Aragoniense.**

Esta unidad agrupa los niveles areniscosos y conglomeráticos intercalados en la unidad descrita en el apartado 2.2.1.3. susceptibles de constituir acuíferos (niveles 42 y 45 de la cartografía geológica).

Litológicamente están constituidos por areniscas de grano medio de tonos rojizos. Se sitúan a techo de los conglomerados descritos anteriormente o más propiamente como cambio lateral de facies en el seno de las facies medias y distales de los mismos. Tienen generalmente morfologías lentejonares más o menos alargadas y se encuentran interestratificados en paquetes de arcillas.

Estos niveles de areniscas son mas frecuentes en la mitad occidental de la hoja con espesores muy variables que pueden alcanzar los 15 m, dando lugar a un acuífero multicapa de permeabilidad media-baja con niveles aislados entre sí o con conexiones a traves de acuitardos.

### **6.2.1.6. Cuaternario. Formaciones superficiales**

En términos generales los tipos de depósitos cuaternarios de la Hoja 1:25.000 de Puente La Reina son muy variados, aunque en general de escaso desarrollo en cuanto a su profundidad y extensión.

En primer lugar se consideran las formaciones superficiales de carácter fluvial por ser las más representativas dentro de la Hoja. Dentro de estas destacan las terrazas (niveles 50 al 54 de la cartografía geológica) constituidas por un conjunto de gravas y cantos de naturaleza caliza y cuarcítica mayoritariamente y de cuarzo y areniscas en menor proporción. La matriz es arenosa con cierto contenido en finos. La potencia oscila entre 1,5-2,5 m. aunque puede aumentar en algunos puntos.

La permeabilidad de estos materiales es media-alta debida principalmente a porosidad intergranular.

El otro depósito de carácter fluvial lo constituyen los fondos de valle, dentro de estos se diferencian dos tipos. Los primeros aparecen al NO de la Hoja dando formas estrechas y alargadas. Están formados por gravas y cantos con una composición muy similar a la de las terrazas y por tanto con permeabilidad media-alta por porosidad intergranular.

Los segundos se sitúan en la mitad oriental de la hoja diferenciándose de los primeros por un mayor porcentaje en materiales finos (limos y arcillas) y por tanto con una permeabilidad menor.

Las Formaciones superficiales de ladera son fundamentalmente coluviones y piedemontes. Los primeros son de naturaleza arcillosa con cantos dispersos. En general son depósitos poco consolidados con una potencia entre unos centímetros y varios metros. Se estima una permeabilidad media debido al bajo grado de consolidación de los mismos.

En cuanto al piedemonte de la Sierra del Perdón, cabe destacar su gran desarrollo superficial y su gran potencia en algunos puntos. Están constituidos por cantos de areniscas y calizas principalmente y de ofitas y cuarzo en menor proporción, la matriz es areno-arcillosa y la permeabilidad del conjunto media.

Por último en relación con las formaciones superficiales de carácter poligénico, hay que destacar los glaciares. Los fondos aluvialmente coluviales pueden asimilarse en sus características hidrogeológicas a los fondos de valle de la mitad oriental de la Hoja.

Los glaciares están constituidos por cantos de calizas y areniscas y matriz arenoso-limosa. La potencia de estos depósitos es de 2 m aproximadamente. La permeabilidad de estos materiales es media-alta por porosidad intergranular.

### **6.2.2. Unidades acuíferas**

A continuación se definen una serie de unidades que agrupan formaciones hidrogeológicas susceptibles de almacenar y transmitir el agua y por tanto constituir acuíferos. De esta forma se han diferenciado 3 conjuntos con un funcionamiento hidrogeológico en términos generales independiente, pudiéndose dar conexiones de carácter puntual entre diferentes unidades.

-Conglomerados del Perdón

-Areniscas y niveles areniscosos aislados

-Formaciones permeables del Cuaternario

#### **6.2.2.1. Conglomerados del Perdón.**

Geometría

El límite inferior como se ha indicado en la descripción de formaciones (apartado 5.2.1.4.) está constituido por depósitos del Terciario marino que actúan de sustrato prácticamente impermeable con relación a los materiales de la unidad. El límite superior lo constituyen los depósitos distales, más finos de carácter continental.

Este conjunto está constituido por dos ciclos diferentes como se ha apuntado repetidas veces, cuya parte inferior ("Conglomerados inferiores del Perdón") se encuentra enmascarada por los derrubios de ladera, lo que dificulta el estudio de las relaciones entre ambos.

A partir de las observaciones en los afloramientos y de la correlación de sondeos realizados en la zona, se puede comprobar que el ciclo superior (Conglomerados superiores del Perdón) se apoya en la mayor parte del área en los niveles distales prácticamente impermeables del Ciclo Inferior (Joaquín del Valle, 1993).

Unicamente en el borde septentrional de la Sierra del Perdón los conglomerados del ciclo superior se apoyan directamente sobre los conglomerados del Ciclo Inferior, dándose en estos puntos transferencias de flujos de uno a otro ciclo.

Las potencias observadas llegan a más de 300m en algunos sectores (para todo el conjunto) aunque disminuyen mucho sobre todo hacia el extremo oriental en los alrededores de Biurrum.

A partir de los datos obtenidos en los sondeos de investigación se observa que no todo el material conglomerático actúa como acuífero potencial. Mas concretamente se encuentran sondeos en los cuales se tienen aportes de cuadal en niveles determinados, mientras que por encima y por debajo se encuentran bancos de conglomerados sin aporte alguno.

En la interpretación de este hecho influyen fundamentalmente dos factores:

El primero y más importante es que la permeabilidad de estos materiales se debe principalmente a la disolución del cemento generalmente calcáreo que mantiene la cohesión del mismo, a partir de aquí la permeabilidad es debida a la porosidad intergranular. Por tanto la transmisividad depende de la franja en la cual se han dado procesos de disolución (descalcificación). Generalmente los conglomerados están descalcificados en las áreas más próximas a la superficie donde los procesos de meteorización han actuado más directamente. Pero no se descarta que en niveles aislados en profundidad se encuentren conglomerados "lavados" esto es descalcificados por el efecto directo de flujos subterráneos.

El segundo factor se refiere a la posible desconexión de tramos permeables por niveles semipermeables (limolitas, arcillas, areniscas margosas) que intersectan a estos materiales. No obstante es poco probable la total desconexión ya que estos niveles dado su escaso espesor sufrirían el efecto "goteo" si separasen materiales realmente permeables.

La interpretación real es más bien la suma de ambos procesos ya que ambos coexisten en los materiales conglomeráticos que se describen.

Más adelante se concretarán las zonas de mayor o menor transmisividad dentro de la unidad.

#### Funcionamiento hidrogeológico

En cuanto al ciclo superior se refiere "Conglomerados superiores del Perdón", la parte basal de los mismos presenta una gran extensión aflorante con una fuerte infiltración. La recarga se produce a partir de la infiltración directa del agua de lluvia en estas superficies aflorantes (Sierra del Perdón).

El drenaje se produce a través de los manantiales que descargan a favor del contacto con materiales más finos, prácticamente impermeables de las facies más distales. Entre ellos destacan el manantial de Subiza que pertenece a la vecina hoja E: 1:25.000 de Elorz cercano al límite E de la Hoja objeto de estudio (Puente la Reina). La variación, de los caudales es significativa en estas descargas lo cual afirma el funcionamiento "pseudocarstico" de estos materiales, a favor de las descalcificaciones existentes.

El Ciclo Inferior "Conglomerados inferiores del Perdón" afloran bajo los escarpes originados por el ciclo superior (que condiciona el relieve) excepto al este de la falla de Beriain Sur, donde forman la sierra en que se encuentra Biurrun.

La alimentación de los "Conglomerados inferiores del Perdón" al Este de la falla de Beriain Sur, provendría únicamente de la infiltración directa del agua de lluvia. En el resto de la Hoja, debido a que los afloramientos se producen en acantilados, la recarga se produce a partir de los conglomerados superiores que los solapan o incluso a partir de los depósitos cuaternarios de ladera. Prácticamente existen surgencias de descargas de los conglomerados inferiores a excepción del manantial que aprovecha la Fundación Ondarra (Q = 0'2 l/s) con un caudal poco importante.

La meteorización y descalcificación, no parece haber afectado a este tramo inferior de conglomerados, como lo demuestran sondeos que los han atravesado sin encontrar agua.

## Parámetros Hidrogeológicos

Aunque no existen datos suficientes que permitan calcular valores concretos de permeabilidad y transmisividad, si ha sido posible al menos distinguir diferentes sectores en función de su capacidad para albergar agua y permitir su circulación. En general el alto grado de consolidación de los conglomerados sobre todo en el Ciclo Inferior limita considerablemente la existencia de recursos hídricos importantes. No obstante, la presencia de una mayor densidad de fracturación en determinados sectores parece condicionar la existencia de una cierta circulación de agua en los mismos; ésto implica la disolución del cemento carbonatado en los conglomerados y un aumento de permeabilidad en los mismos. Esta permeabilidad debe disminuir en profundidad puesto que el desarrollo de la disolución debe ser menor.

### **6.2.2.2. Areniscas y niveles conglomeráticos-areniscosos aislados.**

#### Geometría:

Esta unidad agrupa un conjunto de niveles de areniscas que se intercalan en las facies medias y distales de los abanicos aluviales del Perdón. En ocasiones se dan conexiones directas con los niveles conglomeráticos descritos anteriormente o interconexiones entre diferentes cuerpos canaliformes. Lo más común es que aparezcan aislados en el seno de materiales mas finos (arcillas y limos) prácticamente impermeables, dando niveles acuíferos desconectados entre sí o con conexiones a través de acuitardos (materiales semipermeables) de permeabilidades verticales muy bajas. Estos niveles de areniscas son mas frecuentes en el sector occidental de la hoja donde llegan a constituir un "acuífero multicapa" de permeabilidad media-baja. Los espesores son muy variables y pueden llegar a alcanzar de forma individual 15 o 20 m.

#### Funcionamiento Hidrogeológico

La recarga de estos niveles se produce principalmente por infiltración directa de agua de lluvia en aquellas zonas donde afloran y en menor grado a partir de depósitos permeables del cuaternario que los tapizan. En profundidad se dan transferencias de

agua puntuales de escasa importancia en zonas de interconexión entre los niveles o en el contacto con los depósitos conglomeráticos de la unidad anterior.

El drenaje se produce en superficie a favor del contacto con los materiales finos (arcillosos y limosos) con los que contactan o en los cauces que directamente los atraviesan dando surgencias pluripuntuales o difusas de bajo caudal.

La desconexión y anisotropía existente entre los diferentes niveles se ponen de manifiesto en los sondeos de investigación realizados dando perforaciones cercanas resultados muy dispares.

#### Parámetros Hidrogeológicos

Al igual que en el caso anterior 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 1 l/s.

#### **6.2.2.3. Formaciones permeables del Cuaternario**

##### Geometría:

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

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

##### Funcionamiento Hidrogeológico

La recarga de estos acuíferos aislados se produce por infiltración directa del agua de lluvia o por transferencia de niveles permeables del Terciario con los que contactan,

actuando como transmisores de los aportes procedentes de dichos niveles, como en el caso de los aluviales asociados al río Arga.

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

Los restantes acuíferos cuaternarios presentan recursos muy limitados, debido a su reducida extensión y potencia, implican pequeños volúmenes capaces de almacenar agua. Cabe exceptuar el situado al Norte de Adiós, del cual se captan en estiaje unos caudales mínimos de 1,5-2 l/sg. El origen de estos recursos debe atribuirse a una conexión entre los depósitos cuaternarios y niveles acuíferos conglomeráticos situados a profundidades superiores a los 100 m. Esta conexión se produjo a través de un sondeo perforado por Potasas de Navarra, S.A.

#### Parámetros Hidrogeológicos

No se han recopilado datos de ensayos o test hidráulicos realizados en estos materiales. De forma general se ha estimado una permeabilidad media-alta para estos depósitos, reduciéndose el valor en los depósitos de fondo de valle de la mitad oriental de la hoja y en los depósitos de ladera de la sierra del Perdón, por un mayor contenido en materiales finos.

### **6.3. - GEOTECNIA**

#### **6.3.1. Introducción**

Se ha realizado una cartografía geotécnica de la Hoja nº 141-III a escala 1:25.000, correspondiente a Puente la Reina.

Para definir las características geotécnicas de los materiales se han consultado numerosos datos de ensayos de laboratorio realizados en obras y proyectos; que han

permitido obtener valores geotécnicos característicos de algunas de las unidades cartográficas.

Con esta cartografía se pretende que el usuario disponga de una información de carácter general, pero lo suficientemente objetiva para prever problemas y diseñar una campaña geotécnica puntual.

### **6.3.2. Metodología**

Para la realización de la cartografía geotécnica, se han seguido las siguientes etapas:

#### -Recopilación de los datos existentes

Como se mencionó en la introducción, se han recopilado ensayos de laboratorio, procedentes de obras y proyectos, realizados en Navarra por organismos públicos y empresas privadas.

#### -Realización de la base de datos

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

.Identificación y estado (Granulometría, Límites de Atterberg, Densidad y Humedad).

.Resistencia (C. Simple, PLT, Corte directo)

.Compactación y deformabilidad (CBR, Proctor Normal).

.Químicos (Contenido en sulfatos y carbonatos)

Igualmente se acompañan 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

Ha servido para caracterizar geotécnicamente los diferentes materiales.

Se han obtenido valores medios, máximos y mínimos de los diferentes ensayos.

#### -Zonación en áreas de iguales características

Apoyándose en los datos anteriormente comentados e interpretando las unidades cartográficas, se ha procedido a la zonación en áreas de iguales características (litológicas y geotécnicas).

Hay que señalar que esta zonación se ha realizado en conjunto para las Hojas de Cizur, Pamplona, Puente la Reina y Elorz, con el fin de poder integrar toda la información geotécnica en el Mapa 1:50.000 de Pamplona.

#### -Obtención de la cartografía

A partir de la cartografía geológica y de los valores de la base de datos; se ha obtenido una cartografía geotécnica.

### **6.3.3. Zonación geotécnica**

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

La superficie de la Hoja se ha dividido en áreas y posteriormente cada área en zonas. El criterio utilizado ya ha sido comentado anteriormente, es fundamentalmente geológico, considerando a su vez, las características geotécnicas similares.

De cada unidad se aportan datos de identificación, estado, resistencia, deformabilidad y análisis químicos.

#### **6.3.3.2. División en áreas y zonas geotécnicas**

En la cartografía se presentan las siguientes áreas:

Area I: Representa los materiales triásicos

Area II: Comprende a los materiales cretácicos

Area III: Comprende los materiales terciarios

Area IV: Se han agrupado los depósitos cuaternarios.

Estas áreas se han dividido en las siguientes zonas:

Area I: Zona I<sub>1</sub>

Area II: Zona II<sub>1</sub>

Area III: Zonas III<sub>1</sub>, III<sub>2</sub>, III<sub>3</sub>, III<sub>4</sub>, III<sub>5</sub>, III<sub>6</sub>, III<sub>7</sub>, III<sub>9</sub>, III<sub>10</sub> y III<sub>11</sub>.

Area IV: Zona IV<sub>1</sub>

#### **6.3.4. Características geotécnicas**

##### **6.3.4.1. Introducción**

De las materiales que se disponen ensayos se ha realizado una caracterización geotécnica utilizando los criterios que se exponen mas adelante, asi mismo se aportan datos sobre características constructivas, tales como condiciones de cimentación, excavabilidad, estabilidad de taludes y la aptitud como explanada de carreteras.

De los ensayos de laboratorio se han obtenido los siguientes datos:

##### **-Granulometría**

Se ha considerado el contenido en finos que presenta el suelo, es decir porcentaje que pasa por el tamiz N° 200 de la serie ASTM.

##### **-Plasticidad**

La clasificación de los suelos cohesivos según su plasticidad se ha efectuado a través del limite líquido y del indice de plasticidad; utilizando la Carta de plasticidad de Casagrande.

##### **-Agresividad**

Se ha determinado la agresividad del terreno mediante los siguientes valores:

En la 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

-Expansividad

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

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

-Resistencia, compactación y deformabilidad

Se han agrupado los ensayos de resistencia a compresión simple, resistencia al corte; CBR y Proctor Normal.

La clasificación de los materiales se ha efectuado según los siguientes criterios:

Resistencia según Hock & Bray 1977

Nº	DESCRIPCION	RESISTENCIA A COMPRESION SIMPLE			EJEMPLOS
		Lb/in <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	MPa	
S1	Suelo muy blando	< 5	< 0.4	< 0.04	Creta,formacion es salinas Carbón, esquistos, limolitas
S2	Suelo blando	5-10	0.4-0.8	0.04-0.08	
S3	Suelo firme	10-20	0.8-1.5	0.08-0.15	
S4	Suelo rigido	20-80	1.5-6.0	0.15-0.60	
S5	Suelo muy rigido	80-150	6-10	0.6-1.0	

R1	Roca muy meteorizada	150-3500	10-250	1-25	Areniscas, pizarras
R2	Roca moderad.meteorizada	3500-7500	250-500	25-50	Marmol, granito, gneises
R3	Roca moderad.dura	7500-15000	500-1000	50-100	Cuarcita, dolerita, gabro, basalto.
R4	Roca dura	15000-30000	1000-2000	100-200	
R5	Roca muy dura	> 30000	> 2000	> 200	

-Consistencia del terreno según NTE. CEG. 1975

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

< 0.25	Muy blando
0.25 a 0.50	Blando
0.50 a 1	Medio
1 a 2	Firme
2 a 4	Muy firme
> 4	Duro

-Consistencia en arcillas

Consistencia	Plasticidad			
	Baja Media		Media Alta	
	Cohesión C'kg/cm <sup>2</sup>	Angulo de rozamiento	Cohesión C'kg/cm <sup>2</sup>	Angulo de rozamiento
Muy blanda	0	20	0	17
Blanda	0	21	0	18
Media	0,05	22	0,5	19
Fina	0,1	22	0,1	20
Muy Fina	0,15	21	0,15	21
Dura	0,25	25	0,25	22

-Compacidad en arenas

**Compacidad      Angulo de rozamiento interno Ø°**

Muy suelta	28
Suelta	28-30
Medianamente suelta	30-36
Densa	36-41
Muy densa	> 41

-Índice de caldiad de la roca R.Q.D.

De los materiales que se disponen sondeos se ha establecido el índice de calidad de la roca de la siguiente manera:

<b>R.Q.D.</b>	<b>Calidad</b>
0-25 %	Muy mala
25-50 %	Mala
50-75 %	Regular
75-90 %	Buena
90-100 %	Excelente

Hay que señalar, que la caracterización geotécnica de los materiales, que no presentan ensayos de laboratorio, ha sido realizado estimando sus propiedades.

Las características constructivas, se exponen segun los criterios que se expresan a continuación:

#### -Cimentación

Normalmente se ha utilizado el criterio expuesto en los códigos (Británico y DIN 1054). En suelos y debido a que no se disponen de datos sobre asientos, estos han sido estimados, considerando la consistencia media del terreno.

#### -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 máquinas y/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 e la excavación se encuentran mezclados los terrenos se establece el porcentaje de cada uno de los tres tipos.

#### -Estabilidad de taludes

En algún caso han sido observados en campo, en otro el análisis de estabilidad es el que se refleja en estudios realizados en la zona.

-Aptitud para explanada de carreteras

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 en desmonte ni en terraplén explanadas tipo E-1 (suelos tolerables al menos estabilizado en sus 15 cm. superiores, con CBR de 5 a 10 ). Marginales son aquellos que cumplen a veces dicha condición; en especial suele referirse a terrenos tolerables, que no conviene que sean explanada directamente. Aptos son terrenos frecuentemente adecuados y seleccionados.

**6.3.4.2. Area III.**

**Zona III2**

Localización: Se trata de un pequeño afloramiento, situado en las proximidades de El Soto, en el vértice nor-occidental de la Hoja.

Características litológicas: Está formado por un conjunto de calcarenitas nodulosas y calizas bioclásticas.

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

En general se pueden considerar resistencias medias del orden de 250 Kp/cm<sup>2</sup>, que clasificaría la roca como moderadamente meteorizada.

Las observaciones de campo permiten considerar valores del R.Q.D. variables entre el 25 % y 90 % es decir rocas que varían su calidad desde malas a buenas.

Características constructivas:

.Cimentación:

Se pueden considerar presiones admisibles variables entre 5 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 III8**

Localización: Estos materiales afloran en el vértice nor-oriental de la Hoja, muy cubiertos por derrubios de la Sierra del Perdón y en el límite meridional, en las proximidades de la ermita de San Guillermo.

Características litológicas: En el sector septentrional afloran los "Yesos de Undiano", formado por un conjunto de margas grises dolomíticas, lutitas rojas y yesos recristalizados. En el sector meridional afloran los "Yesos de Puente la Reina" formados por yesos masivos con intercalaciones de margas yesíferas.

Características geotécnicas: No se dispone de ensayos de laboratorio que permitan caracterizar el material. Las observaciones de campo permiten considerar al conjunto de estos materiales como de resistencia baja, que hace que se comporten prácticamente como un suelo.

Es frecuente observar fenómenos de deslizamientos que ligado a la disolución de los yesos, hace que sea un material con características geotécnicas muy problemáticas.

Es importante resaltar los mencionados problemas de disolución de los yesos, además de la notable agresividad tanto del terreno como de las aguas superficiales que por él circulan.

Características constructivas:

.Cimentación

Para un cálculo a nivel de anteproyecto, se pueden considerar los valores que establecen los diferentes códigos.

Así tenemos que el Código de Práctica Británico admite, en este tipo de terreno, una presión admisible entre 1,5 y 3 Kp/cm, esperándose asientos de consideración a largo plazo.

La norma DIN 1054, indica una presión admisible entre 1,5 y 3 Kp/cm<sup>2</sup>, para una zapata corrida de 0,5 a 2 m de ancho y una profundidad de 2 m.

Como se ha señalado anteriormente será importante tomar medidas contra la agresividad del terreno.

.Excavabilidad

Son materiales fácilmente ripables.

.Estabilidad de taludes

Se han observado fenómenos de inestabilidad en las laderas que dan lugar a deslizamientos.

.Aptitud para explanada de carreteras

No son materiales aptos, precisarán la extensión sobre ellos de una explanada mejorada.

**Zona III9**

Localización: Afloran en el límite meridional de la Hoja, en dos afloramientos situados, el más occidental, en la carretera de Estella y el meridional al sur de Quisumendia.

Características litológicas: Se trata de un conjunto formado por alternancia de arcillas, limos y niveles de areniscas.

Características geotécnicas: Se han podido recopilar datos de los niveles formados por margas rojas (sanas y alteradas) de la "Formación Mues" y margas y arenas arcillosas de la "Formación Leoz". El resumen de estos ensayos se expone en el siguiente cuadro.

#### CUADRO RESUMEN DE LAS CARACTERISTICAS GEOTECNICAS

##### FORMACION MUES

-Clasificación: CL

-% pasa Tamiz Nº 200: 90 - 99 %

-Limite líquido: 35-48

-Indice de plasticidad: 10-18

-Humedad: 10-18 % (A); 5-71, (S)

-Densidad seca: 1,79-2,3 gr/cm<sup>3</sup> (A); 2,2-2,55 gr/cm<sup>3</sup> (S)

-Contenido en carbonatos: 13,5 % (A)

-Contenido en sulfatos: Apreciable

-Densidad Proctor: 1,67 - 1,77 gr/cm<sup>3</sup> (A)

-Humedad óptima: 14,3 - 19,4 % (A)

-Indice CBR: 1,3 - 2,1 (A)

-R. Compresión simple: 2-2,9 Kp/cm<sup>2</sup> (A); 115 Kp/cm<sup>2</sup> (S)

-Índice R.Q.D.: 55 % (S)

-Ángulo de rozamiento interno: 26° (A), 22° (S)

-Cohesión: 0 Kp/cm<sup>2</sup> (A); 11,5 Kp/cm<sup>2</sup> (S)

-Módulo de deformación: 6300 Kp/cm<sup>3</sup> (A); 2233 Kp/cm<sup>2</sup>

-Coeficiente de Poisson: 0,3 (S y A)

#### FORMACION LEOZ

-Clasificación: CL

-% pasa Tamiz N° 200: 80-93 % (MA)

-Límite líquido: 23-43 (M-A)

-Índice de plasticidad: 16-24 (M-A)

-Humedad: 5 - 5,9 % (M)

-Densidad seca: 2,38 - 2,45 gr/cm<sup>3</sup> (M)

-Contenido en carbonatos: 20 % (M-A)

-Contenido en sulfatos: Apreciable (M-A)

-Densidad Proctor: 1,8 gr/cm<sup>3</sup> (M-A)

-Humedad óptima: 12,5 % (M-A)

-Índice CBR: 5,5 (M-A)

-R. Compresión simple: 60 Kp/cm<sup>2</sup> (M)

-Índice R.Q.D.: 35 % (M)

-Ángulo de rozamiento interno: 26° (M-A), 30° (M)

-Cohesión: 6 Kp/cm<sup>2</sup> (M-A)

-Módulo de deformación: 100 Kp/cm<sup>3</sup> (M-A); 5000 Kp/cm<sup>2</sup> (M)

-Coeficiente de Poisson: 0,3 (M)

(A): Estado alterado

(S): Estado sano

(M): Margas

(M-A): Margas y arenas arcillosas

En conjunto se pueden considerar como materiales arcillosos de baja plasticidad (CL), si bien igualmente aparecen niveles detríticos que no se encuentran caracterizados por no disponer de ensayos.

El sustrato margoso presenta una resistencia baja ( $q_u$ : 60-200 Kp/cm<sup>2</sup>) y los materiales que aparecen en la zona de alteración presentan una consistencia definida como Muy Firme, según la Norma Tecnológica de edificación (NTE-CEG).

No se dispone de datos, que permitan valorar el hinchamiento; aunque parece lógico que se encuentren en el campo definido, en el ensayo Lambe, como no crítico-marginal.

Hay que destacar la presencia de sulfatos, por lo que deberán utilizarse hormigones especiales contra la agresividad; tanto del terreno como de las aguas superficiales.

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.

Para las margas alteradas de la "Formación Mues" y margas y arenas arcillosas de la "Formación Leoz", a 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 10 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 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

En general, de los materiales que se disponen ensayos, son inadecuados y tolerables.

Normalmente son suelos no aptos para explanada, por lo que precisarán la extensión sobre ellos de una explanada mejorada.

### **Zona III10**

Localización: Estos niveles conforman las zonas más elevadas de la Sierra del Perdón, además se encuentran intercalaciones de estos materiales repartidos por el sector septentrional de la Hoja.

Características litológicas: Está formado por conglomerados de cantos de caliza, arenisca, cuarzo, ofitas y rocas metamórficas, en general muy cementados por carbonatos.

Características geotécnicas: No se dispone de ensayos en este tipo de materiales.

La característica principal, es su elevada cementación, lo que hace que se comporten como una verdadera roca.

Las observaciones de campo permiten identificar esta roca como de dureza elevada.

Cualquier estudio de detalle que precise la definición geomecánica del macizo rocoso deberá atender a la caracterización completa de las discontinuidades.

Características constructivas:

.Cimentación:

De acuerdo con los valores orientativos que de la norma DIN 1054 y el Código inglés, se pueden alcanzar presiones admisibles superiores a 10 Kp/cm<sup>2</sup>.

.Excavabilidad

Son materiales no ripables, debiéndose emplear explosivos para su excavación.

.Estabilidad

Los taludes naturales son estables, la estabilidad de los artificiales vendrá condicionada por sus discontinuidades.

.Aptitud para explanada de carreteras.

Se podrá conseguir una explanada E-3.

**Zona III11**

Localización: Esta zona se extiende por la mayor parte de la Hoja, formando el relieve suave y alomado, que constituye la vertiente meridional de la Sierra del Perdón.

Características litológicas: Está formado por un conjunto de arcillas, limos y niveles de areniscas de distinto espesor.

Características geotécnicas: Se trata, en general, de un conjunto de materiales de fina granulometría, es decir abundan las arcillas y limos.

De las arcillas se dispone de ensayos de laboratorio, cuyas características se resumen a continuación:

**CUADRO RESUMEN DE CARACTERISTICAS GEOTECNICAS**

Clasificación: CL (Arcillas de baja plasticidad)

Densidad seca: 1,08 - 1,75 gr/cm<sup>3</sup>

% pasa tamiz N° 200: 67 - 96 %

Límite líquido: 20,7 - 50 %

Indice de plasticidad: 5,3 - 32,6

Humedad: 11,2 % - 20,8 %

Contenido en carbonatos: 39,1 - 47 %

Contenido en sulfatos: Inapreciable

Densidad Proctor: 1,84 gr/cm<sup>3</sup> - 1,90 gr/cm<sup>3</sup>

Humedad óptima: 12,6 % - 13,8 %

Indice CBR: 3,1 - 13

R. Compresión simple: 1,75 - 2,46 Kp/cm<sup>2</sup>

Módulo de deformación: 100 Kp/cm<sup>2</sup>

Coeficiente de Poisson: 0,3

Angulo de rozamiento interno: 25°

Cohesión: 0,1 Kp/cm<sup>2</sup>

Coeficiente Lambe: No crítico

En general se trata de arcillas de consistencia Dura y de baja plasticidad.

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

No existen afloramientos para poder precisar su comportamiento.

En taludes artificiales se puede producir un deterioro progresivo del talud.

.Aptitud para explanadas de carreteras

En general no son aptos, debiendose proceder a mejorar la explanada con la extensión de material seleccionado.

### **6.3.4.3. - Area IV**

#### **Zona IV1**

Localización: Se encuentran distribuidos por todo el ámbito de la Hoja, alcanzando un mayor desarrollo en el sector septentrional de la Sierra del Perdón y en sector comprendido entre Legarda, Adios y Obanos.

Características litológicas: Están formados por un conjunto de bloques, gravas, arenas y arcillas, distribuidos la mayor parte de ellos entre depósitos coluvionares y glaciares.

Características geotécnicas: Como se ha descrito anteriormente, se han agrupado dentro de esta zona todos los depósitos cuaternarios, denominandose en la cartografía como cuaternario indiferenciado, del que se dispone de un buen número de ensayos y cuyo resumen es el siguiente:

#### **CUADRO RESUMEN DE CARACTERISTICAS GEOTECNICAS**

Clasificación: Variables (GM, G, C, SC y CL)

Densidad seca: 1,54 - 2,57 gr/cm<sup>3</sup>

% pasa tamiz N<sup>o</sup> 200: 19 % - 97 %

Limite líquido: 20 - 56

Indice de plasticidad: 4 - 31

Humedad: 10 % - 24 %

Contenido en carbonatos: 0,04 % - 51,3 %

Contenido en sulfatos: Inapreciable - 0,04

Densidad Proctor: 1,68 - 1,98 gr/cm<sup>3</sup>

Humedad óptima: 9,2 % - 20,2 %

Indice CBR: 15 - 25

R. Compresión simple: 0,34 - 4,52 Kp/cm<sup>2</sup>

Hinchamiento Lambe: 0,11 - 0,36

Son materiales muy variables litológicamente con diferentes grados de compacidad y resistencia.

Características constructivas:

.Cimentación:

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

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

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

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

.Excavabilidad

En general son todos, facilmente excavables.

.Estabilidad de taludes

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

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

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

.Aptitud para explanadas de carreteras

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

## 7. 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-Guía Excursión n 1, Vic, 1991, 123 pp.

BARNOLAS, A. Y TEIXELL, A.

1992

La cuenca surpirenaica de Jaca como ejemplo de cuenca de antepais marina profunda con sedimentación carbonática en el margen distal.

Simposio sobre Geología de los Pirineos, III Congr. Geol. de Esp. Salamanca 9 pp.

BERTRAND, L.

1911

Sur la structure géol. des Pyrénées occid. et leurs relations avec les Pyrénées orient. et cent.; essai d'une carte struct. Pyrén.

Bull. Soc. Géol. France, 4 sér., 11, pp. 122-153, 6 figs., 1 pl., Paris

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 vertientes centro-occidental surpirenaic

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'Eocén 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'Eocene superieur et la base de L'Oligocene en Europe occidentale

Memoire du BRGM, Colloque sur L'Eocene.

CIRY, R.

1951

Observations sur le Crétacé de la Navarre espagnole au nord-ouest de Pamplone.

C.R. Acad. Sc., 233, pp. 72-74, Paris.

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 ologocenas de Navarra.

Est. Geol. nº 2 pp. 33-84. Madrid.

CORPAS, J.R.

1991

Guia de Navarra.

Ed. El Pais-Aguilar, 231 pp., 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 European 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.

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

1992

Actualización del Mapa Geológico de Navarra a escala 1.200.000

Gobierno de Navarra.

FEUILLEE, P.

1964

Sur l'age cénomanien des calcaires á Caprines des Pyrénées basques occidentales.

C.R. Somm. Soc. Géol. France, 1964, 2, pp. 90-92, 1 fig., Paris.

FEUILLEE, P.

1965

Contribution á la connaissance du Crétace moyen du Nord et de l'Oueste de la Navarre espagnole.

Actes 4º Congrès Intern. Etudes Pyrénéenes, Pau-Lourdes, 11,16 sept.1962, 1, sect.1, pp.

FROUTE J.Y.

1988

Le role de l'accident d'Estella dans l'histoire géologique Cretace superieru a Miocene des Navarra-Alavais.

These. Universite de Pau

GARCIA SIÑERIZ, J.

1943

La cuenca potásica subpirenaica. C.S.I.C. Primera Reunión del Patronato de la Estación de Estudios Pirenaicos.

Agosto 1943, p. 37-52

HERNANDEZ, A.; RAMIREZ, J.K.; RAMIRES DEL POZO, J. y PUIGDEFABREGAS, C.

1987

Mapa Geológico de España, E. 1:50.000, 2ª Ser., Hoja nº 3 173 Tafalla.

IGME.

HERNANDEZ SAMPELAYO, P.

1933

El flysch en Yesa, Navarra y Comunicados del IGME.

HOTTINGER, L.

1961

Acerca de las Alveolinas paleocenas y eocenas

N. y C. IGME, nº 64, p. 37, Madrid.

LABAUME, P.

1983

Evolution tectono-sédimentaire et mégaturbidites du bassin turbiditique eocène sud-pyrénéen.

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

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

1983

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

Bull. Soc. Géol. France, (6), 25 pp.

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

1987

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

Letters 7 pp. 91-101.

LABAUME, P., SEGURETE, M. Y SYEVE, C.

1985

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

Tectonics 4 pp. 661-68.

LAMARE, P.

1927

Sur la structure des Pyrénées navarraïsses.

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

LAMARE, P.

1931

Sur l'age des couches á facies flysch de la zone sudpyrénéenne en 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 Liedana Formation) of the South Pyrenean Basin of Jaca-Pam.

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

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 Andia (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 Pyrweneen.

These. Universite de Pou.

MANGIN, J.P.

1965

Le segment Basco-Aagonais dún Front Sud-Pyrénéen

Actes IV Congrès Intern. Etudes Pyrénéennes Pu-Lourdes, 11-16, Set. 1962, 1 (1), 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. deposit. Libro Homenaje a L. Sánchez de la Torre.

Publicaciones de Geología, nº 20. Universitat Autònoma de Barcelona, p. 209-231.

ORTI, F.; SALVANI, J.M.; ROSELL, L.; PUEYO, J.J.; INGLES, M.

1986

Evaporitas antiguas (Navarra) y actuales (Los Monegros<sup>9</sup> 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.

PEÑA, J.L. et al

1984

Geomorfología de la provincia de Teruel

149 pp. Instituto de Estudios Turolenses

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 role dans la defin. des grandes ensembles struct. en domaine subpy.

94° Cong. National del Societe savants. Pau 1969. Sciences vol. 2, pp. 293-304.

POSUSA

1988

Investigación y evaluación del mineral en el área de Javier-Los Pintano. Trabajo elaborado por ADARO.

Informe interno.

PUIGDEFABREGAS

1975

La sedimentación molásica en la cuenca de Jaca

Tesis Doctoral. Pirineos, 104

PUIGDEFABREGAS, C. y SOLER, M.

1973

Estructura de las Sierras Exteriores Pirenaicas en el corte del río Gallego (prov. de Huesca).

Pirineos, 109: 5-15.

RAMIREZ DEL POZO, J.

1971

Bioestratigrafía y microfacies del Jurásico y Cretácico del Norte de España (región cantábrica)

Mem. Inst. Geol. M.E. 78 (3 vol.) 357 p., 141 lám., Madrid.

REMACHA, E.

1983

Sand tongues de la Unidad de Broto (Grupo de Hecko) entre el anticlinal de Boltaña y el Rio Osca (Prov. de Huesca).

Tesis Doct. Univ. Autonoma de Barcelona, 163 p.

REMACHA, E.; ARBUÉS, P. y CARRERAS, M.

1987

Precisiones sobre los límites de la secuencia deposicional de Jaca. Evolución de las facies desde la base de la secuencia hasta el techo de la arenisca de Sabiñánigo.

Bol. Geol. y Min. 98, pp 40-48.

REMACHA, I. y PICART, J.

1991

El complejo turbidítico de Jaca y el delta de la arenisca de Sabiñánigo. Estratigrafía. Facies y su relación con la tectónica.

I Congreso del Grupo Español del terciario, Libro Guía excursión nº 8. Vic. 117 pp.

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 GARCIA, J.M.

1948

Diapirismo

Bol. del IGME, T. 60 (20 de la 3ª serie), p. 155-238, 43 fig. 4 plan.

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.

ROJAS, B.; FERNANDEZ VARGAS, E. y LATORRE, E.

1973

Investigación de la Reserva de Potasas subpirenaicas 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.

RUIZ DE AGONA, M.

1947

Nota preliminar. El Bartonense en la cuenca de Pamplona.

N. y C. IGME., nº 17, p. 159-166, Madrid.

SCHUMM, J.

1977

The fluvial system

N.Y. London. Wiley & Sons.

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.

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.