

HOJA 141 - II (PAMPLONA)

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 Nuruzabal 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

INDICE

0.- INTRODUCCION

1.- ESTRATIGRAFIA

1.1.- Terciario marino

1.1.1.1.- Luteciense superior-Bartoniense

1.1.1.2.- Bartoniense-Priaboniense

1.1.1.3.- Priaboniense inferior

1.1.1.4.- Priaboniense superior

1.2.- Análisis secuencial y paleogeográfico del Paleogeno marino

1.3.- Terciario continental

1.3.1.- Oligoceno

1.3.1.1.- Sueviense inferior

1.4.- Cuaternario

1.4.1.- Terrazas

1.4.2.- Fondos de valle

1.4.3.- Llanura de inundación

1.4.4.- Coluviones

1.4.5.- Glacis

1.4.6.- Depósitos antrópicos

2.- TECTONICA

2.1.- La Cuenca de Pamplona

2.2.- Descripción de las principales estructuras

2.2.1.- Pliegues

2.2.2.- Fracturas

2.2.3.- Discordancias

2.3.- Teledetección

3.- GEOMORFOLOGIA

3.1.- Descripción fisiográfica

3.2.- Análisis morfológico

3.2.1.- Estudio morfoestructural

3.2.2.- Estudio del modelado

3.2.2.1.- Formas fluviales

3.2.2.2.- Formas de ladera

3.2.2.3.- Formas poligénicas

3.2.2.4.- Formas lacustres

3.2.2.5.- Formas antrópicas

3.3.- Formaciones superficiales

3.4.- Evolución geomorfológica

3.5.- Dinámica actual y subactual. Tendencias futuras

4.- HISTORIA GEOLOGICA

5.- GEOLOGIA ECONOMICA

5.1.- Recursos minerales

5.2.- Hidrogeología

5.3.- Geotecnia

6.- BIBLIOGRAFIA

0.- INTRODUCCION

La Hoja de Pamplona (141-II) 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 estas Hojas está marcado por las sierras de Tajonar y Morena, que con dirección aproximada NO-SE recorren la mitad oriental de la Hoja. El resto, da lugar a una suave depresión, sobre la que se asienta la ciudad de Pamplona recorridos por el río Arga y sus afluentes el Elorz y Sadar.

La altitud máxima se sitúa en el vértice SE de la Hoja, con 880 m formando parte de las estribaciones septentrionales de la Sierra de Izaga.

La Sierra de Tajonar, que llega a alcanzar en esta Hoja los 750 m de altitud presenta una ladera meridional muy abrupta, mientras que la septentrional es más suave, encontrándose intensamente repoblada.

La Sierra Morena, con alturas máximas en esta Hoja de 848 m es más regular encontrándose también muy repoblada, por lo que los puntos de observación son escasos.

El resto de la Hoja está ocupado por materiales blandos como son las Margas de Pamplona y las Margas de Ilundain, que originan relieves suaves, surcados por algún resalte, cuyo origen está en los niveles de areniscas que se incluyen en estos tramos margosos.

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. 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 pirritas. 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 es 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 área 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 Echaurren.

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)

1.- 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 cartográfico.

1.1.- TERCIARIO MARINO

El Terciario marino se divide a grandes rasgos en una parte inferior carbonatada que aflora en las sierras de Echauri y de Alaiz, comprendiendo términos del Paleoceno y Luteciense, y una parte superior esencialmente margosa que ocupa la mayor parte de la superficie cartografiada y corresponde al resto del Eoceno. Entre los dos grandes grupos se desarrolla un complejo de tránsito de edad Luteciense superior-Bartoniense inferior que presenta una notable diversidad litológica. La serie eocena termina con depósitos evaporíticos y lagunares que marcan el tránsito al Oligoceno, de carácter netamente continental (Fig. 2).

A continuación se describen las principales características de las unidades cartográficas diferenciadas agrupándolas por grandes conjuntos estratigráficos con significado secuencial.

1.1.1.- Eoceno

1.1.1.1.- Luteciense superior-Bartoniense

1.1.1.1.1.- Margocalizas y margas (nivel 13). Luteciense-Bartoniense

Este nivel se puede observar en el vértice NE de la Hoja, en un pequeño afloramiento, desarrollándose con gran extensión en la vecina Hoja de Aoiz.

Aunque debido al escaso afloramiento que existe en esta Hoja no se ha podido caracterizar ni encuadrar con garantías dentro de una secuencia sedimentaria, por su posición estratigráfica y hasta que se tengan nuevos datos, se ha encajado este nivel dentro de la secuencia Luteciense.

Se trata de un conjunto de margas con intercalaciones delgadas de calcarenitas marrones. Estos niveles se encuentran estratigráficamente sobre otro sistema turbidítico denominado "flysch margoso de Irurozqui" con el que posiblemente se encuentren relacionados.

1.1.1.2.- Bartoniense-Priaboniense

Este ciclo sedimentario es el que alcanza un mayor desarrollo dentro de los límites de esta Hoja, con gran cantidad de niveles cartográficos que constituyen las distintas variaciones de facies.

El límite inferior es neto, y erosiona gran parte de los niveles calcáreos que constituyen el ciclo anterior de edad Luteciense mientras que el límite superior es muy difícil de observar en ciertas zonas ya que separa materiales con litología similar (Margas de Pamplona de Margas de Ilundain)

A escala regional, este ciclo se puede subdividir en dos secuencias de menor entidad, con la ruptura situada a techo de los niveles de transición, formado por calcarenitas y limolitas.

En esta zona no ha sido posible efectuar esta subdivisión debido al escaso contraste litológico existente en el límite entre estas dos secuencias y al escaso espesor que presenta la secuencia inferior en esta zona.

Este ciclo, de naturaleza blanda está constituido fundamentalmente por las "Margas de Pamplona" y sus variaciones a facies calcareas, estas últimas situadas al oeste del río Araquil, conformando un subdominio con predominio calcarenítico, sobre la plata forma calcarea de la Sierra Sarvil y Echauri, constituyendo a grandes rasgos el límite paleogeográfico occidental de las "Margas de Pamplona".

1.1.1.2.1.- Arcillas y arenas (nivel 20). Bartoniense

Este nivel se puede observar en un pequeño afloramiento, situado al este de la localidad del Huarte, incluido en las "Margas de Pamplona".

Está formado por un conjunto de arcillas limolíticas y margas grises alternando rítmicamente con areniscas de grano medio a fino. Hacia la parte media de este conjunto se observan niveles con cantos blandos de limolitas y cantos redondeados de areniscas y calizas, inmersos en una matriz de arena gruesa bioclastica.

La potencia de este nivel es del orden de 85 m observandose las areniscas muy cementadas por carbonatos, distribuidas en bancos tabulares de potencia decimétrica a métrica. Las capas de areniscas presentan distintos tamaños de grano y secuencias de Bouma, en general bastante completas.

Los niveles areniscosos presentan frecuentemente estructuras de base y geometrias ligeramente canalizadas.

En los estudios faunísticos no se ha encontrado fauna determinativa, no obstante, se les asigna una edad Bartoniense por su posición estratigráfica.

Estos depósitos se interpretan como facies de lobulos y canales de abanicos submarinos, conociendose regionalmente bajo la denominación de "Flysch de Huarte".

1.1.1.2.2.- Margas (nivel 22). Bartoniense

Esta nivel corresponde a las "Margas de Pamplona" definidas por MANGIN (1959-1960). Se trata de una serie monótona de margas grises, nodulosas, con niveles centimétricos de calcarenitas. La característica más destacable de estos depósitos es su homogeneidad, observandose esporádicamente fenómenos de "slumping" y "ripples" en los niveles calcareníticos.

La potencia de esta unidad es muy variable, aumentando hacia el norte donde supera los 700 m, estimándose una potencia media de 400-500 m.

Los estudios micropaleontológicos han determinado gran cantidad de fauna entre ellas : Sigmollina bartoniensis, GAONA y COLOM, Valvulina pectinata mexicana,

NUTT, Marginulina porvaensis (HANTK), Textularia recta CUSHM, Uvigerina curta CUSHM, Pullenia quinqueloba (REUSS), Nonion halkyardi CUSHM, Gyroidina guayabalensis COLE, Ammobacalites tuba (GUMB), Plectina eocenica CUSHM, Cibicides pseudoungerianus CUSHM, Bolivina nobilis HANTK, Pseudohastigerina micra (COLE), Globigerina eocaena GUMB que asigna a esta unidad una edad Bartoniense.

En general este conjunto presenta un limite gradual con las unidades infrayacentes, no siendo así con los niveles superiores, comprendidos en el ciclo Priaboniense, cuyo contacto es neto y en muchos casos fuertemente erosivo.

Los análisis petrológicos de estas margas, presentan un 84 % de minerales de arcilla y calcita, con un 3 % de bioclastos, cuyo tamaño oscila entre 0,05 y 0,5 mm, de micromamíferos, miliolidos y globigerinas. Los opacos representan el 3 % y se presentan en tamaños comprendidos entre 0,02 y 0,25 mm, el cuarzo con un 10 % en tamaños entre 0,05 y 0,07 mm, con micas en un porcentaje menor al 1 %.

La composición mineralógica de estas margas, han determinado un porcentaje de cuarzo que oscila entre el 15-17 %, de calcitas entre 40 y 51 %, de illita entre el 20 y 40 %, caolinita entre el 5 y el 12 %, attapulgita con el 13 % como máximo y ankerita el 6 % como máximo.

En ensayos Lugeon han determinado una permeabilidad que oscila entre 0 y $4,39 \cdot 10^{-4}$ cm/seg.

Sedimentariamente estos niveles se interpretan como pertenecientes a una plataforma externa y constituyen los términos prodeltacios de la Fm. Belsue-Atares, definida en la zona de Jaca por PUIGDEFABREGAS (1975).

1.1.1.2.3.- Calcarenitas y areniscas (nivel 23). Bartoniense-Priaboniense inferior

Esta unidad constituye el limite superior del ciclo Bartoniense-Priaboniense inferior, situandose los mejores afloramientos en la Sierra de Tajonar y en Cizur Menor.

En esta Hoja, a estos niveles se les ha denominado como "Calcarenitas de Gazolaz", ya que es en las proximidades de esta localidad, donde esta unidad adquiere un mayor desarrollo.

Litológicamente está formado por biocalcarenitas (grainstone) marrones con granos de cuarzo que abundan en los tramos basales, distribuidos en capas de unos 10 cm. de espesor. La potencia total de este nivel es muy variable, sobrepasando raramente los 50 m., llegando a desaparecer por erosión del ciclo superior.

Los análisis petrológicos han determinado que estos niveles tienen un 97 % de CO₃Ca y un 3 % de terrigenos, fundamentalmente cuarzo. Entre los componentes aloquímicos destacan el 67 % de fósiles y entre los ortoquímicos un 30 % es micrita.

Los estudios micropaleontológicos han determinado : Eorapertua magna (LE CALVEZ), Operculina alpina, DOUV, Ammobaculites cf pyrenaicus GAONA y COLOM, Asterodiscus stella GUMB, que asignan a esta unidad, una edad Bartoniense-Priaboniense.

Sedimentológicamente estos depósitos presentan abundantes estructuras tractivas producidas por tormentas ("Hummocky cross stratification"), siendo muy frecuentes las incisiones y las formas canalizadas, asimilándose a canales de plataforma ("Goullies").

Este tramo se corresponde con una plataforma siliciclástica abierta, expuesta a la acción de las tormentas, relacionándose con los términos progradantes de la Fm. Belsue-Atares.

1.1.1.3.- Priaboniense inferior

Este ciclo presenta notables analogías con el conjunto precedente, constituyendo una sucesión esencialmente margosa con intercalaciones de niveles turbidíticos.

El límite inferior de este ciclo es muy neto y erosivo, afectando en algunos sectores a parte de los niveles calcareníticos denominados "Calcarenitas de Gazolaz", mientras que en otros se pone en contacto directamente sobre las "Margas de Pamplona", lo que dificulta su observación.

1.1.1.3.1.- Areniscas y margas (nivel 24). Priaboniense

Estos niveles se encuentran incluidos dentro de las denominadas "Margas de Ilundain", que se describen a continuación.

Los mejores afloramientos se sitúan en la Sierra de Tajonar y en la localidad de Ardanunaz, dentro de Sierra Morena.

Litológicamente se trata de margas y areniscas calcáreas (packstone-grainstone) de grano fino y tonos marrones, distribuidas en capas plano paralelas, de tamaño centimétrico, incluyendo con frecuencia restos de plantas y materia orgánica. Los análisis petrológicos han determinado que poseen un 65 % de CO_3Ca , con un 35 % de terrígenos, de tamaño arena y naturaleza fundamentalmente silicea. Entre los componentes aloquímicos destaca el 5 % de fósiles y el 10 % de pellets mientras que en los ortoquímicos el 40 % es esparita.

Estos niveles presentan las bases canalizadas y ligeramente erosivas con elevado desarrollo de estructuras en la base, observándose laminación paralela y ripples de corriente.

Los estudios micropaleontológicos solo han observado algunos microforaminíferos con secciones no determinables y restos de equinodermos. No obstante en hojas próximas a esta, muestras de estos mismos niveles han determinado entre otros: Textularia recta CUSHM, T. adalta CUSHM, T. speyeri REUSS, Karrerella halkyardi CUSHM, Chilostomella cylindroides REUSS, Gyroidina guayabalensis COLE, Marginulina Porvaensis (HANTK), Nodosaria soluta (REUSS), Nonion malkyardi CUSHM, Globigerapsis semiinvoluta KEIJZAR, Globigerina parva, BOLLI, G. Eocena GUMB entre otros que asignan a esta unidad una edad Priabonense.

Sedimentológicamente estos depósitos corresponden a turbiditas depositadas en un canal de abanicos submarinos.

En el sector de la Sierra de Tojanar se observa la disposición discordante y muy erosiva de estos depósitos turbidíticos sobre las facies de plataforma de la Fm. "Calcarenitas de Gazolaz", e incluso sobre las propias "Margas de Pamplona", constituyendo el margen meridional del surco turbidítico. El margen septentrional se intuye en el sector de Ardanaz, donde los intervalos turbidíticos alternan con margas de plataforma, presentando niveles de condensación de fauna y todo el conjunto adquiere un fuerte acuñaamiento hacia el norte en clara relación de "on-lap".

A estos niveles se les ha denominado como "Turbiditas de Tajonar" (ADARO, 1988).

1.1.1.3.2.- Margas (nivel 25). Priaboniense

Estos niveles constituyen la mayor parte de los materiales que componen este ciclo. Se han denominado como "Margas de Ilundain" (MANGIN, 1954-1960) y presenta unas características litológicas similares a las descritas para las "Margas de Pamplona".

Litológicamente están formadas por un conjunto muy homogéneo de margas grises nodulosas con intercalaciones centimétricas de niveles de calcarenitas. En el muro de esta unidad se observan niveles de anhidrita y sepiolita, mientras que en el techo aparecen unos niveles de pelitas negras propias de fondos anóxicos.

Sus límites inferior y superior están catalogadas como "límites de secuencia" de difícil observación al poner en contacto materiales de naturaleza blanda, margas en el muro y evaporitas en el techo.

La potencia de esta unidad oscila entre 300 y 400 m, determinándose entre los estudios micropaleontológicos, gran cantidad de fauna, entre ella : Guadryina quadrilatera CUSHM, Plectina eocenica CUSHM, Textularia recta CUSHM, Gyroidina guayabalensis COLE, Eponides carolinesis navarraensis COLOM, Nodosaria soluta (REUSS), Pseudoglandulina cf. laevigata (D'ORB), Cibicides lobatulus (WALK y JAL), datando este nivel como Bartonense.

Sedimentológicamente estos depósitos margosos se enmarcan en un contexto de plataforma externa constituyendo los términos prodeltaicos de las formaciones de Villalaguna y Martes (REMACHA, c.p.) de origen fluvial y deltaico respectivamente, definidas por PUIGDEFABREGAS (1975) al este de la Cuenca de Jaca-Pamplona. Las pelitas negras desarrolladas en la parte terminal de este conjunto presentan un marcado carácter anóxico y denotan un progresivo confinamiento de la cuenca, que impide la oxigenación del fondo oceánico.

Análisis mineralógicos efectuados sobre estos materiales han determinado por difracción de rayos X, un 48 % de filosilicatos, 17 % de cuarzo y un 35 % de calcita entre los materiales arcillosos el 61 % es Illita, 21 % clorita, 10 % caolinita y un 8 % esmectita.

1.1.1.4.- Priaboniense superior

Constituyen los últimos depósitos con influencia marina, en transición con los depósitos continentales. En esta memoria se han denominado como "Complejo de Tránsito Eoceno-Oligoceno" y están constituidos por la Formación Evaporítica basal que grada a materiales limosos pelíticos y arenosos.

El límite superior de esta secuencia no es posible observarlo en campo, al comenzar con la Formación Evaporítica fácilmente soluble, mientras que el límite superior está definido por la entrada de materiales lagunares continentales.

La Formación Evaporítica, que no ha podido ser cartografiada como tal, ha sido intensamente estudiada por numerosos autores desde su descubrimiento por A. DEL VALLE (1938). La sucesión típica consta de los siguientes términos: Anhidrita basal, tramo halítico inferior, ciclos de silvinita-halita margosa, tramo halítico intermedio, ciclos de carnalita-halita-marga y tramo pelítico superior alternando con halita y anhidrita. La Formación evaporítica puede superar las 100 m de potencia de los que la mayor parte pertenece al tramo pelítico superior. El intervalo con predominio de cloruros tiene una potencia en torno a los 25 m.

La Formación Evaporítica pone de manifiesto el confinamiento de la Cuenca de Pamplona, a finales del Eoceno, sugiere un cambio climático a condiciones de marcada aridez y supone una pérdida de profundidad del agua y una tasa progresiva de evaporación con producción de salmueras cada vez más concentradas.

Este complejo sedimentario se desarrolla en una cuenca confinada, la influencia marina está demostrada en todo el conjunto, no obstante es necesario la comunicación con el mar para ser posible la regeneración de las salmueras que originan los depósitos evaporíticos, y los términos detríticos superiores muestran rasgos mareales.

Todo este conjunto de sedimentos ha sido denominado por PUIGDEFABREGAS (1975) como Fm. Guendulain.

1.1.1.4.1.- Margas y lutitas (nivel 27). Priaboniense superior

Sus afloramientos se distribuyen en una banda de dirección NO-SE, que discurre por el vértice SO de la Hoja, en los alrededores de la localidad de Esparza.

Esta unidad ha sido denominada "Margas Fajeadas" por PUIGDEFABREGAS y DEL VALLE (1978).

Está formado por un conjunto de lutitas rojas y lutitas margosas, alternando con niveles de limos y areniscas. Las lutitas son de tonos rojos y grises con aspecto varvado. En sondeos se han citado abundantes niveles de anhidrita, alternando con los depósitos pelíticos y arcillosos. Hacia techo aparecen de forma gradual niveles de arenisca con estratificación "linsen" y "wavy", abundantes "ripples" de oscilación y esporádicamente niveles métricos de areniscas con formas canalizadas y tabulares. Son frecuentes los fenómenos edáficos, suelos rojos y calcimorfos, así como los procesos pedogenéticos.

Los estudios micropaleontológicos efectuados sobre estos materiales han determinado, entre otros : Bolivina striato-carinata CUSHM, Nonion halkyardi CUSHM, Neodosari soluta (REUSS), Rotalia cf. rimosa (REUSS), Globigerina parva BOLLI, G. venezuelana HEDBERG, G. eocena GUMB, Globigerapsis semiinvoluta (KEIJOR), que asignan a esta unidad una edad Priaboniense.

La potencia de esta unidad es superior a 50 m en algunos sectores, hasta llegar a desaparecer en otros, marcando, sedimentológicamente, un estadio de dilución en la cuenca evaporítica por entrada de aguas continentales con aporte de material en suspensión deduciéndose unas condiciones lagunares con variaciones notables de salinidad. Los medios salobres están representados por las pelitas con laminado milimétrico. Los episodios hipersalinos están evidenciados por la existencia de niveles de anhidrita. Las lutitas rojas y decoloraciones en las pelitas se enmacan en un contexto de margen lagunar y los procesos edáficos indican prolongados periodos de exposición subárea.

1.1.1.4.2.- Arenas y areniscas (nivel 28). Priaboniense superior

Esta unidad se ha denominado como Areniscas de Galar (DEL VALLE, 1978) y equivalen a las Fm. Areniscas de Liedana (MANGIN, 1959-1960).

Sus afloramientos se encuentran situados en la misma alineación definida en el apartado anterior y además en el vértice SE de la Hoja en el Sinclinal de Izaga.

Se trata de un conjunto de arenas y areniscas de grano fino, micaceas con tonos marrones, alternando con niveles más limosos y margosas dolomíticas. Hacia techo se observan niveles desorganizados de tipo "debris-flow" y yesos secundarios, los análisis petrológicos han determinado un 50 % de cuarzo y un 15 % de mica y trazas de óxidos de hierro. La matriz es calcárea en un 35 %. En el sector del sinclinal de Izaga la arenisca tiene cemento calcáreo con un 40 % de cuarzo y el 45 % de esparita.

La potencia de este conjunto es del orden de 100 m. Su posición estratigráfica más común, es la situada a techo de las Margas Fajeadas, no obstante en el sector del sinclinal de Izaga se considera a esta unidad como un cambio lateral de dichas margas.

Estos niveles presentan estratificación "linsen", "wavy" y "flasher", estratificación cruzada tangencial y bimodal, "ripples" de oscilación y de corriente, huellas de desecación, escapes de fluidos, deformación hidrolástica, "slumping", "debris flow" y huellas de aves. Su aspecto más habitual es de un tableado centimétrico a decimétrico, en capas tabulares ligeramente gradadas con "ripples" a techo que excepcionalmente presentan huellas de base y "lag" de cantos blandos. Esporadicamente aparecen niveles métricos canalizados con estratificación cruzada y cantos blandos. En la parte alta, las areniscas presentan yesos resedimentados alternando con margas dolomíticas con cristales secundarios de sulfatos.

Los estudios micropaleontológicos no han encontrado fauna determinativa no obstante se les asigna una edad Priaboniense superior por posición estratigráfica.

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

1.2.- ANALISIS SECUENCIAL Y PALEOGEOGRAFICO DEL PALEOGENO MARINO

A grandes rasgos, la sucesión del Paleoceno-Eoceno en la zona de estudio se divide en, una parte inferior carbonatada de edad Paleoceno-Luteciense, una zona de tránsito al Bartonense, de características mixtas, y una potente serie esencialmente margosa que culmina con depósitos evaporíticos y de areniscas finieocenas. (Figs. 3 y 4).

Los términos calcáreos inferiores (Paleoceno-Luteciense) corresponden a plataformas carbonatadas desarrolladas en los márgenes meridional (Sierra de Alaiz) suroccidental (Macizo de Echauri) de la cuenca de Pamplona. El espacio estratigráfico comprendido entre el Ilerdiense-base del Luteciense, se encuentra representado, hacia el Norte de la cuenca, por una potente serie turbidítica, que apenas aflora en el área cartografiada, conocida a grandes rasgos como Flisch eoceno (Soler y Puigdefábregas, 1970) y que es equivalente al Grupo de Hecho (Mutti et al, 1972). Se han diferenciado tres conjuntos carbonatados separados por rupturas sedimentarias, de muro a techo son: Dolomías paleocenas, Calizas de la Sierra de Alaiz, (Luteciense inferior-medio) y Calizas del acantilado de Echauri (Luteciense medio-superior).

El complejo de tránsito Luteciense superior-Bartonense se analiza secuencialmente de forma conjunta, siendo dividido en tres secuencias. Se han diferenciado dos conjuntos deposicionales dentro de la sucesión margosa del Bartonense-Priabonense coincidiendo con la individualización estratigráfica entre las Fms. Margas de Pamplona y Margas de Ilundaín. Se asimilan tentativamente a ciclos de 2º orden en el sentido de VAIL et al (1990).

La serie eocena termina con los depósitos del complejo de tránsito Eoceno-Oligoceno (Fm. Guendulain) que se trata de manera individualizada en su estudio secuencial y paleogeográfico.

- **Paleoceno**

Los depósitos del Paleoceno muestran una tendencia transgresiva para el conjunto, en la base se desarrollan dolomías presuntamente supramareales en relación con facies continentales, y en la parte alta, se reconocen depósitos someros de plataforma carbonatada.

Desde un punto de vista paleogeográfico, estudios regionales (León González, 1972 y Robador, 1990) ponen de manifiesto la evolución a facies de mayor profundidad hacia el Norte, donde aparecen brechas y margas de talud-cuenca.

El límite superior viene marcado por una importante laguna estratigráfica, reposando los carbonatos de Luteciense, directamente encima del Paleoceno y de forma puntual, sobre el Ilerdiense.

- **Luteciense inferior-medio**

Está representado por las calizas de la Sierra de Alaiz. Corresponde a un modelo evolutivo de plataforma carbonatada en la que los términos tableados inferiores podrían corresponder a las facies transgresivas, disponiéndose en relación de on-lap hacia margen, y los bancos masivos superiores constituirían el intervalo de somerización con una geometría de donw-lap hacia cuenca producto de la progradación de la plataforma.

Constituyen el margen meridional de la cuenca de Jaca-Pamplona y se encuentran en relación con el surco turbidítico del Grupo de Hecho, situado más al Norte.

Cabe mencionar las rupturas sedimentarias que delimitan el conjunto deposicional a muro y techo.

La ruptura basal constituye una importante laguna sedimentaria que abarca íntegramente el Cuisiense y parcial a totalmente el Ilerdiense. Los depósitos que representan este intervalo de tiempo se encuentran representados, en el surco turbidítico del Grupo de Hecho. La manifestación en el surco de la ruptura descrita, puede encontrarse en las megacapas carbonáticas MT1, MT2, y MT3 de Labaume et al (1983) en base a las determinaciones cronoestratigráficas

La ruptura superior se reconoce como discordancia ligeramente erosiva en el acantilado de Echauri y se sitúa entre las dos plataformas carbonatadas del Luteciense. Podría relacionarse tentativamente con la megacapa MT5 (Labaume et al, 1983) del Grupo de Hecho.

- **Luteciense medio-superior**

Constituye la plataforma carbonatada superior del Luteciense (Calizas del Acantilado de Echauri)

La característica geométrica más destacable, es la relación de down-lap producida por la programación de la plataforma hacia cuenca, en relación con el episodio de somerización del conjunto deposicional. Los términos transgresivos apenas se reconocen en superficie y estarían representados por el nivel basal de calcarenitas groseras.

Un hecho constatado por diversos autores (CANUDO et al, 1988 y BARNOLAS et al 1991) es la tendencia en retroceso, hacia el margen septentrional, de las plataformas carbonatadas del Paleógeno. Se ha explicado a partir de un esquema basado en superficies de erosión que truncan los márgenes de la plataforma y son recubiertas por turbiditas en disposición de on-lap. Este hecho se explica en base a la migración hacia el Sur del surco turbidítico debido al levantamiento del margen septentrional y basculamiento reflejado del meridional.

El fenómeno descrito se deduce en la zona de Pamplona a partir de los datos de sondeos (Del Valle y Puigdefábregas, 1978) que ponen de manifiesto la disminución de potencia y probable desaparición de las plataformas carbonatadas lutecienses hacia el Norte.

- **Luteciense superior-Bartoniense**

El Complejo de Tránsito del Luteciense-Superior-Bartoniense se caracteriza por su disposición de on-lap costero sobre las plataformas del Luteciense. En el Macizo de Echauri se han podido diferenciar tres secuencias deposicionales que marcan una tendencia transgresiva de forma global. La 1ª secuencia corresponde a depósitos calcareníticos deltaicos y de plataforma mixta. La 2ª secuencia está compuesta por una cuña turbidítica (Flisch de Izcue), en la parte inferior, y facies calcareníticas deltaicas en la superior. La tercera secuencia, de carácter margo-limolítico presenta facies de talud-cuenca, pasando en vertical a depósitos de plataforma externa-offshore en relación con medios deltaicos distales. La base de la 3ª secuencia trunca ligeramente los depósitos calcareníticos de la infrayacente y se dispone en forma de on-lap sobre la leve cicatriz.

En la Sierra de Alaiz no existen los términos de calcarenitas, encontrándose una serie pelítico-limosa con depósitos desorganizados, en situación fuertemente erosiva, sobre las calizas lutecienses

- **Bartoniense y Priaboniense inferior-medio**

Corresponde al ciclo de la Fm. Margas de Pamplona en sentido estricto.

El contacto con el conjunto infrayacente resulta, en muchos casos, difícil de determinar debido a las malas condiciones de afloramiento y escaso contraste litológico.

Al Norte de Pamplona aparecen situados en la parte baja de la serie margosa, depósitos turbidíticos (Flisch de Huarte). La desaparición hacia el Este de los términos limolíticos de techo del conjunto infrayacente (Limolitas de Urroz) sugiere la existencia de un cañón submarino que truncaría dichos términos para dar paso a un surco turbidítico. El reconocimiento en el subsuelo de posibles niveles de anhidrita en la base del conjunto, refuerza la propuesta de un episodio de bajada eustática relativa relacionada con los depósitos turbidíticos.

La mayor parte del conjunto está compuesto por margas homogéneas que se interpretan esencialmente como depósitos prodeltaicos de la Fm. Belsue-Atarés, presentando un carácter progradante.

Los depósitos calcareníticos terminales (Calcarenitas de Gazolaz) marcan un episodio de somerización relativa en la cuenca, con sedimentación por encima del nivel de base de las tormentas, y se correlaciona con los términos regresivos superiores de la Fm. Belsue-Atarés.

Se deduce una cuenca alargada en dirección E-W con ligera componente NW, con facies de llanura y frente deltaico en el sector de Jaca y de prodelta en Pamplona.

En la zona de Belascoain se conservan depósitos situados en una posición más marginal, evidenciada por el desarrollo de facies calcareníticas intercaladas en las margas.

- **Priaboniense medio-superior**

Se corresponde con la Fm. Margas de Ilundain. En la mitad inferior del conjunto se encuentran depósitos de carácter turbidítico alternando con margas de plataforma externa-prodelta y se han observado niveles de sulfatos en posición equivalente. El surco turbidítico puede delimitarse por su margen septentrional, en la sierra de Tajonar, donde la plataforma calcarenítica infrayacente se encuentra total o parcialmente erosionada. El margen septentrional se observa en Ardanaz, localidad en la que existe un on-lap de todos los términos hacia el Norte.

En dicha localidad se observan varios intervalos de turbiditas, con geometría canalizada, alternando con margas de plataforma, y se aprecia una migración conjunta hacia el Sur del depocentro de la cuenca.

De manera similar al conjunto deposicional infrayacente, existe un mayor desarrollo de depósitos calcareníticos de margen en la zona de Belascoain.

La parte superior de las Margas de Ilundain marca una somerización progresiva en la cuenca, y el tránsito a una situación restringida y confinada puesta de manifiesto por el desarrollo de margas anóxicas precursoras de la serie evaporítica.

- **Priaboniense Terminal**

Corresponde a la Fm. Guendulain. La Formación Evaporítica basal se relaciona con una etapa de máximo confinamiento de la cuenca e implica una fuerte disminución de la lámina de agua. Lateralmente se relaciona con las Margas Fajeadas distribuidas en zonas algo más marginales con influencia continental y desarrollo de facies arenosas canalizadas. El resto de la secuencia está compuesto por términos arenosos que implican un humedecimiento climático relativo y muestra mayores influencias marinas. El desarrollo en la parte terminal, de depósitos de yesos, frecuentemente, resedimentados, se relaciona con un episodio de colmatación y cierre definitivo de la cuenca paleógena marina.

1.3.- TERCIARIO CONTINENTAL

1.3.1.- Oligoceno

1.3.1.1.- Sueviense inferior

En estos niveles comienza el terciario continental visible en esta región. Se dispone discordante sobre los tramos areniscosos (Areniscas de Galar) de la Fm. Guendulain.

1.3.1.1.1.- Arcillas y areniscas (nivel 29). Sueviense inferior

Este nivel aflora en el ángulo suroriental de la Hoja, con una potencia próxima al centenar de metros.

Litológicamente está formado por arcillas rojas bioturbadas con intercalaciones de niveles areniscosos, de granulometría media y un contenido del 5 % de bioclastos y cemento carbonatado.

Estos niveles presentan bases erosivas con laminación cruzada de bajo anulo y pequeños niveles "slumpizados" en la base de estas unidades.

Sedimentológicamente, corresponde a un sistema de canales fluviales divagantes y meandriiformes que drenan permanentemente la cuenca.

No se han encontrado restos fosiles, no obstante se ha encuadrado dentro del Sueviense inferior por posición estratigráfica, formando parte de la Fm. Javier (PUIGDEFABREGAS, 1975).

1.3.1.1.2.- Arcillas y yesos (nivel 30). Sueviense inferior

Esta unidad ha sido definida por PUIGDEFABREGAS (1975), como Fm. "Yesos de Undiano". Se dispone por encima de los niveles descritos anteriormente de la Fm. Guendulain, alcanzando una potencia de unos 500 m. Los mejores afloramientos se sitúan en el sector suroccidental de la Hoja.

Litológicamente está formado por margas grises dolomíticas, lutitas rojas y yesos recristalizados con laminación ondulada y algunos niveles delgados de yesoarenitas. Presenta 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 a rojas, asimilables a ciclos de oxidación-reducción, características de medios lacustres marginales. El origen lacustre está evidenciado por el desarrollo de un laminado milimétrico en las margas interpretado como varvas lacustre. Los niveles de yeso 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 salino.

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

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

1.4.- CUATERNARIO

En la hoja de Pamplona, a escala 1:25.000, los depósitos cuaternarios están ampliamente representados y dentro de ellos son las terrazas del río Arga las que alcanzan mayor desarrollo, seguidas por los glaciares. Coluviones y depósitos antrópicos completan el conjunto de los materiales recientes.

1.4.1.- Gravas, cantos y arenas (50, 51, 52, 53 y 54). Terrazas

En la realización de la cartografía se han reconocido hasta cinco niveles de terraza, aunque no se descarta la posibilidad de que fuera del área de estudio, puedan aparecer más niveles de los aquí presentes. Las alturas a las que se sitúan en la Hoja de Pamplona son las siguientes : +3-7 m., +10-15 m., +15-25 m., + 35-40 m y + 50-70 m. Los niveles de + 15-25 m, y de + 35-40 m son los de mayor amplitud y se disponen en anchas bandas, paralelas al río. Los mejores afloramientos se localizan en diversos puntos de la ciudad de Pamplona, en el frente de los escarpes. La morfología que presentan es muy plana en el techo y el dispositivo es, en general, el de terrazas colgadas.

Están constituidas por gravas y cantos de cuarcita y caliza mayoritariamente (> 80) con presencia de otras litologías como : cuarzo, areniscas, etc.. El tamaño medio de los cantos oscila entre 5 y 8 cm, siendo el máximo observado de aproximadamente 30 cms. La matriz es arenoso-arcillosa de color marrón y marrón rojizo. La potencia oscila entre 1,5 y 3 m. aunque en algunos sectores puede ser algo mayor. En varios de los cortes observados se pueden distinguir estructuras típicamente fluviales como : rellenos de fondo de canal, estratificaciones cruzadas, cicatrices erosivas e imbricaciones de cantos. Sobre las terrazas más bajas, es frecuente observar una acumulación de limos arenosos con arcilla de color pardo, de unos 50 cms. de potencia, que seguramente corresponden a facies de llanura de inundación. En ocasiones, y dentro de los depósitos de grava, se observan algunos nivelillos con concentración de carbonatos.

Su edad es Pleistoceno, aunque posiblemente la terraza más baja llegue al Holoceno.

1.4.2.- Arenas, arcillas, cantos y gravas (55). Fondos de valle

Los fondos de valle, son formas fluviales muy frecuentes. En planta se presentan como alargadas y estrechas con frecuencia direcciones similares a las de las

estructuras regionales SE-NO, E-O y N-S pues se adaptan a la litología menos competente o a las líneas de debilidad. La anchura del depósito varía entre 50 y 500 m.

La litología que los caracteriza es muy similar a la de las terrazas pero en cuanto a la textura, el porcentaje de elementos gruesos es muy inferior, siendo la matriz más abundante. Este hecho es debido no sólo a la litología del área madre sino a las características del drenaje, desarrollado en un área de escasa pendiente y, como consecuencia, de menor capacidad de transporte.

1.4.3.- Limos, arenas y gravas (60). Llanura de inundación

También se han cartografiado las llanuras de inundación de los ríos Elorz y Sadar, en el cuadrante SO de la hoja. La del primero tiene una anchura media de 500m, pero en algunos puntos como en Cartografía, al N. de Noain, puede llegar a alcanzar los 800 m. La llanura de inundación del río Sadar es de menor entidad y el río circula por el centro de la misma con un trazado muy rectilíneo, a diferencia de lo que ocurre en el río Elorz, donde el cauce actual se encaja unos metros en la llanura con un recorrido muy sinuoso.

La litología es similar a la de los depósitos de fondo de valle pero con un nivel arcilloso-limoso, a techo de 0,5-1 m, correspondiente a las facies de inundación. La edad de estos depósitos es Holoceno.

1.4.4.- Arcillas, arenas, gravas y bloques (56). Coluviones

Estos depósitos tienen una representación muy reducida limitándose al pie de algunas vertientes. Su litología es consecuencia del sustrato y todos ellos tienen en común la escasa compacidad, la heterogeneidad y la potencia irregular que depende de la pendiente, de la naturaleza de la roca madre y del clima.

Texturalmente se trata de fragmentos angulosos y subangulosos, de diversos tamaños, envueltos en una matriz de naturaleza arcillosa. La edad que se atribuye a estos depósitos es Holoceno por su situación en la parte inferior de las laderas, interdentándose o superponiéndose con los depósitos de fondo de valle o de llanura de inundación.

1.4.5.- Gravas, arenas y arcillas (47). Glacis

Alcanzan un amplio desarrollo sobre todo en el cuadrante SO. Proceden de la Sierra de Tajonar y de las estribaciones nororientales de la Sierra del Perdón (no presente en la hoja). Son formas alargadas, con bordes lobulados y escarpes netos debidos a la erosión fluvial. La superficie es muy plana, pero a medida que aumenta la proximidad al relieve, alcanza cierta concavidad. Sus dimensiones, como ya se ha señalado anteriormente, son grandes llegando a medir, a veces, más de 2 kms. de largo y 1,5 km. de ancho.

Estos depósitos consisten en un conjunto de cantos y gravas de cuarcitas, areniscas y calizas cuya proporción varia según la litología del área madre. La matriz es arenosa con un cierto contenido en limo+arcilla. El color es blanco amarillento y la potencia, no siempre visible, oscila entre 1 y 3 m. En cuanto al tamaño de los cantos, el diámetro medio oscila entre 3 y 7 cm. con un máximo observado en campo de unos 20 cms.

La edad de estos depósitos se considera Pleistoceno por su situación con respecto a los cauces principales y a las terrazas. Algunos glaciares de menor tamaño y relacionados con la red secundaria, puede ser que se formen en el Holoceno.

1.4.6.- Bloques, arcillas, arenas. Depósitos antrópicos

Son muy abundantes dada la presencia de un gran núcleo urbano dentro de la hoja. Las formas más frecuentes son echadizos y escombreras, la mayoría debidas a la acumulación e material escavado, en construcciones. También hay escombreras debida a explotaciones como sucede en la esquina SO de la hoja en los alrededores de Engrietado.

Todo este conjunto de depósitos ofrecen una distribución dificilmente relacionable con la morfología de los procesos naturales, pero pueden influir en modificar el paisaje local e intervenir en la aceleración o el freno de algunos de estos procesos (interrupción de drenajes, colmatación de lagunas, etc..).

2.- TECTONICA

2.1.- 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.

2.2.- DESCRIPCION DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS

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

2.2.1.- Pliegues

En esta Hoja existen una serie de pliegues que afectan al sector oriental de la misma, emplazados sobre las "Margas de Pamplona" y las "Margas de Ilundain".

La estructura situada en el límite meridional de la Hoja, es el sinclinal de Labiano con dirección ONO-ESE. Su núcleo está formado por Margas de Ilundain y su eje es recto, sin desplazamientos aparentes. Esta estructura representa la prolongación del sinclinal de Izaga.

Hacia el norte se sitúa el anticlinal de Ilundaina. Esta estructura cuyo núcleo está ocupado por Margas de Pamplona, comienza en el sector oriental con dirección prácticamente paralela, a la anterior girando a la altura del embalse de Zolina, hasta situarse en dirección NO-SE.

El sinclinal de Aranguren, situado al norte de la estructura de Ilundain, presenta una dirección paralela a la anterior, girando a la altura de Bordalarre, esta estructura sigue por el borde NO de la Hoja, hasta Santa Lucia continuando por el sinclinal de Añezcar.

En las proximidades de Noain se observa la terminación periclinal del anticlinal de Zabalegui.

2.2.2.- Fracturas

Esta Hoja se encuentra situada al este de la estructura de Iza, por lo que los esfuerzos tectónicos se resuelven en el conjunto de pliegues descritos anteriormente, existiendo en superficie pocas fracturas de importancia.

En el vértice sur occidental de la Hoja se ha observado una fractura de dirección E-O, localizada inmediatamente al sur de Esparza, situándose el labio hundido al sur de la estructura.

Esta fractura se encuentra muy estudiada, ya que desplaza el yacimiento potásico del Perdón, con un salto aproximado de unos 300 m.

En el resto de la Hoja solo se han observado pequeñas fracturas de dirección NO-SE y NE-SO de acomodación, en los flancos de los pliegues.

2.2.3.- Discordancias

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

Las discordancia Bartonense inferior, afecta en algunos sectores a los materiales sedimentados durante el Luteciense, erosionandoles.

La discordancia Priabonense inferior, se encuentra bien representada en esta Hoja, tiene carácter erosivo, desmantelando los niveles superiores de las Margas de Pamplona, dando paso al depósito de turbiditas.

La discordancia Priabonense superior, marca el cierre de la cuenca marina con el depósito de las sales potásicas. En campo no es visible debido a la naturaleza de los materiales, no obstante en sismica tiene una buena representación.

2.3.- TELEDETECCION

Los estudios de teledetección realizados en esta Hoja, han determinado gran cantidad de lineamientos, que recorren fundamentalmente los niveles margosos aflorantes en esta Hoja, difícilmente observables en campo.

Los lineamientos de primer orden, tienen una gran continuidad lateral presentando direcciones ONO-ESE y sus conjugadas OSO-ENE. Entre ellos hay que destacar los primeros, que siguen la misma dirección de las estructuras anticlinales en este sector.

Los lineamientos de segundo orden, son mas abundantes, y presentan direcciones N-S y NO-SE y su conjugadas NE-SO, siendo más abundantes estos últimos.

Hay que destacar el lineamiento de dirección ENE-OSO, a favor del cual se encauza el río Arga. Este accidente profundo, sin reflejo en superficie, ya que se encuentra cubierto por depósitos cuaternarios, da lugar al manantial termal de Burlada, posiblemente relacionado con la estructura de Iza que aportaría al agua salina.

3.- GEOMORFOLOGIA

3.1.- DESCRIPCION FISIOGRAFICA

La Hoja, a escala 1:25.000 de Pamplona se situa en el sector central de Navarra y desde un punto de vista morfoestructural, pertenece en su totalidad al dominio Surpirenaico (Figura 5).

Administrativamente pertenece a la Comunidad Autónoma de Navarra, de carácter uniprovincial cuya capital, Pamplona, se sitúa dentro del ámbito de la hoja, ocupando gran parte del cuadrante NO.

Desde el punto de vista orográfico ofrece algunas diferencias, de unos sectores o otros pues, frente a valles amplios como el Arga y el Elorz, se levantan relieves como los de Sierra Morena, Sierra de Tajonar o los Altos de Badostain.

La altura media de la Hoja es de 475 m. con las máximas cotas en los relieves anteriormente citados, destacando El Monte (774 m), Ardanaz (680 m), El Pinar (810 m), todos ellos en Sierra Morena, así como los 850 m. de la Sierra de Tajonar, en el límite con la contigua hoja, por el sur, de Elorz. Las alturas inferiores se localizan en el valle del Arga, oscilando entre 400 y 420 m.

El río Arga es el curso de agua más importante en torno al cual se ordena la red de drenaje. Atraviesa el cuadrante NO con una dirección ENE-OSO y un trazado meandriforme. A el afluyen, por la vertiente meridional, y con una dirección SE-NO los ríos Elorz, Sadar y los arroyos de Lezaestes y Egües.

El sistema de terrazas del río Arga alcanza gran extensión y sobre una parte importante de las mismas se asienta la localidad de Pamplona.

Por otra parte, los relieves se ordenan en dirección NO-SE, estando separados por los afluentes del río Arga, de idéntica dirección, y que lugar a una serie de valles amplios, en general asimétricos.

Climatológicamente el área se integra en el Dominio Mediterráneo de Tipo Templado y Húmedo con precipitaciones medias comprendidas entre 900 y 1.100 y una

temperatura media anual de 12-13°C con máximas de 36°C en el mes de julio y -7°C en Enero.

El principal núcleo de población, Pamplona, ocupa gran parte del cuadrante NO de la Hoja, con una población de aproximadamente 185.000 habitantes. El resto de las localidades de la Hoja consiste en pequeños núcleos urbanos como Cizur Menor, Badostain, Egües, Tajonar, Labiano, etc.

La red de comunicaciones es amplia con numerosas carreteras de diversa categoría que confluyen en Pamplona y que unen las diversas localidades entre sí. A excepción de la Sierra de Tajonar, la red de caminos, carreteras y pistas, permite un acceso fácil a casi cualquier punto de la superficie de la hoja.

La presencia de un gran núcleo urbano produce una transformación importante en la morfología del entorno debido a las necesidades de acceso y a la instalación de polos industriales y otros. La acción del hombre deja su huella, como puede observarse en el mapa, en los numerosos echadizos y escombreras existentes.

3.2.- ANALISIS MORFOLOGICO

En este apartado se describe el relieve teniendo en cuenta dos aspectos, uno estático o morfoestructural y otro dinámico o relativo a la actuación de los procesos exógenos sobre un determinado sustrato y bajo unas condiciones climáticas dadas.

3.2.1.- Estudio Morfoestructural

La Hoja de Pamplona (141-II), como ya se ha señalado con anterioridad, pertenece, desde un punto de vista morfoestructural, al Dominio Surpirenaico. Esta hoja ofrece un relieve medianamente contrastado definido por una serie de Sierras alineadas NO-SE, entre las que se instalan valles, de idéntica dirección, afluentes del río Arga, colector principal de la zona. Este río desarrolla grandes terrazas en todo el sector noroeste, dando amplias paltasformas de morfología plana.

Desde un punto de vista más detallado, existen una serie de formas estructurales derivadas de la naturaleza de los materiales y de la disposición de los mismos que se materializan en los relieves principales : Sierra Morena, Allos de Badostain y vertiente sur de la Sierra de Tajonar. Estas formas son escarpes estructurales menores y mayores de 100 m.,

cuestas, crestas y "hog back". También se reconocen superficies estructurales, replanos estructurales, resaltes de capas duras, etc...

Por otra parte, la disposición y linealidad de la red de drenaje, con tramos muy rectilíneos y direcciones recurrentes SE-NO, NE-SE y ENE-OS, indican la influencia de la estructura y de la tectónica en la instalación de la misma (Figura 6).

3.2.2.- Estudio del Modelado

Consiste en el reconocimiento y definición del conjunto de formas, tanto deposicionales como erosivas, que caracterizan el relieve de la hoja. Para describirlas se agrupan según el proceso que las ha generado, es decir, según el sistema morfogenético al que pertenecen.

Como en las hojas contiguas de Cizur, Puente La Reina y Elorz, la morfología fluvial es la que alcanza un mayor desarrollo, siendo también importantes las formas poligénicas y las estructurales.

3.2.2.1.- Formas Fluviales

Dentro de este conjunto las formas más representativas son las terrazas del río Arga. Estas terrazas alcanzan gran desarrollo superficial ocupando gran parte del cuadrante NO de la hoja.

En la realización de la cartografía se han reconocido hasta cinco niveles de terraza, aunque no se descarta la posibilidad de que fuera del área de estudio, puedan aparecer más niveles de los aquí presentes. Las alturas a las que se sitúan en la Hoja de Pamplona son las siguientes : +3-7 m., +10-15 m., +15-25 m., + 35-40 m y + 50-70 m. Los niveles de + 15-25 m, y de + 35-40 m son los de mayor amplitud y se disponen en anchas bandas, paralelas al río. Los mejores afloramientos se localizan en diversos puntos de la ciudad de Pamplona, en el frente de los escarpes. Como es frecuente, se trata de depósitos conglomeráticos con cantos y gravas de calizas, cuarcitas, cuarzo y areniscas con una matriz arenoso-arcillosa. La morfología que presentan es muy plana en el techo y el dispositivo es, en general, el de terrazas colgadas.

La ciudad de Pamplona se sitúa sobre estos depósitos fluviales del río Arga afectando a los cinco niveles de terraza cartografiados.

Los escarpes son netos, dando unos taludes verticales que dejan aflorar, por debajo, las características margas de Pamplona. Por otra parte sobre las terrazas más bajas, se reconocen, a veces, morfologías correspondientes a cauces abandonados, como ocurre en el paraje de Playa de la Magdalena.

Los fondos de valle, son formas fluviales muy frecuentes. En planta se presentan como alargadas y estrechas con frecuencia direcciones similares a las de las estructuras regionales SE-NO, E-O y N-S puese se adaptan a la litología menos competente o a las líneas de debilidad. La anchura del depósito varía entre 50 y 500 m.

También se han cartografiado las llanuras de inundación de los ríos Elorz y Sadar, en el cuadrante SO de la hoja. La del primero tiene una anchura media de 500m, pero en algunos puntos como en Cartografía, al N. de Noain, puede llegar a alcanzar los 800 m. La llanura de inundación del río Sodar es de menor entidad y el río circula por el centro de la misma con un trazado muy rectilíneo, a diferencia de lo que ocurre en el río Elorz, donde el cauce actual se encaja unos metros en la llanura con un recorrido muy sinuoso.

Una vez descritas las características morfológicas de los depósitos, no se pueden olvidar las formas erosivas, muy frecuentes en la mitad este de la hoja, y desarrolladas mayoritariamente sobre la F. margas de Pamplona.

La observación del mapa geomorfológico muestra la existencia de cárcavas, cabeceras de cárcavas, aristas o interfluvios agudos y una acusada incisión vertical de la red fluvial secundaria. Este último proceso se da también en la vertiente sur de la Sierra de Tajonar en los tramos de cabecera. Por lo que respecta a los cursos principales, ríos Arga y Elorz, el recorrido menadriforme de sus cauces da lugar, en algunos puntos, a un socavamiento lateral con formación de taludes casi verticales. Finalmente, en las zonas donde profundiza menos la erosión, es frecuente observar pequeños surcos debidos a la arroyada difusa.

3.2.2.2.- Formas de ladera (gravedad-vertiente)

Las formas de ladera son todas aquellas en las que predomina la acción de la gravedad, aunque también existe la participación del agua, es decir la entrada de la misma en el sistema. En la hoja de Pamplona se han distinguido, dentro de este grupo coluviones, deslizamientos y bloques caídos, todos ellos relacionados con las áreas de mayor pendiente.

En cuanto a los primeros, se forman al pie de las laderas, dando depósitos de formas alargadas, en general, paralelas a los cauces. También aparecen en las vertientes de los principales relieves como en la Sierra de Tajonar. Los deslizamientos son de pequeñas dimensiones y se producen en la ladera sur de esta misma sierra. En la mayoría de ellos se puede observar la cicatriz de despegue y el material deslizado.

3.2.2.3.- Formas poligénicas

Las formas poligénicas están representadas en la hoja de Pamplona por los glaciares. Estas formas, situadas en las zonas de interfluvio, ya sean laderas o divisorias, alcanzan un amplio desarrollo sobre todo en el cuadrante SO. Proceden de la Sierra de Tajonar y de las estribaciones nororientales de la Sierra del Perdón (no presente en la hoja). Son formas alargadas, con bordes lobulados y escarpes netos debidos a la erosión fluvial. La superficie es muy plana, pero a medida que aumenta la proximidad al relieve, alcanza cierta concavidad. Sus dimensiones, como ya se ha señalado anteriormente, son grandes llegando a medir, a veces, más de 2 kms. de largo y 1,5 km. de ancho.

De gran tamaño son también los que aparecen en el borde noroeste de la hoja, al norte de Egües. El resto son pequeños y se encuentran distribuidos por toda la superficie de la misma.

El medio de sedimentación es de carácter fluvial y sus características litológicas y texturales se describirán en el apartado correspondiente a las formaciones superficiales.

3.2.2.4.- Formas lacustres

Dentro de este grupo se incluyen el Vaso de Zolina, pequeño embalse situado en el cuadrante SE de la hoja con aproximadamente 1 km² de superficie, una pequeña laguna artificial en la esquina SO y algunos depósitos de carácter semiendorreico, en la cabecera del Barranco Tallunze.

Las dos primeras podrían incluirse al grupo de las formas antrópicas, pero una vez construidas, los procesos en ellas se dan, son los típicos de medios lacustres. En cuanto a la tercera hay que destacar su formación en un área deprimida y con mal drenaje aunque desagua, parcialmente por el Barranco Tallunze, al río Elorz. Estas áreas de mal drenaje se

cargan de agua en épocas de precipitación, favoreciendo la formación de suelos grises y negros.

3.2.2.5.- Formas antrópicas

Son muy abundantes dada la presencia de un gran núcleo urbano dentro de la hoja. Las formas más frecuentes son echadizos y escombreras, la mayoría debidas a la acumulación e material escavado, en construcciones. También hay escombreras debida a explotaciones como sucede en la esquina SO de la hoja en los alrededores de Engrietado.

Todo este conjunto de depósitos ofrecen una distribución difícilmente relacionable con la morfología de los procesos naturales, pero pueden influir en modificar el paisaje local e intervenir en la aceleración o el freno de algunos de estos procesos (interrupción de drenajes, colmatación de lagunas, etc..).

3.3.- FORMACIONES SUPERFICIALES

Se consideran como tales todos aquellos materiales coherentes o no, que han podido sufrir una consolidación posterior y que están relacionados con la evolución del paisaje que se observa en la actualidad (GOY et al, 1981).

La característica fundamental es el ser cartografiables a la escala de trabajo y estar por una serie de atributos como : naturaleza, textura, geometría, potencia, génesis y, en ocasiones, edad.

Las formaciones superficiales existentes en la hoja y que se describirán en este apartado son : fluviales; de ladera, poligénicas y antrópicas.

Las formaciones superficiales de carácter fluvial son, junto con las poligénicas, las de mayor representación destacando, sin duda alguna, las terrazas del río Arga. Están constituidas por gravas y cantos de cuarcita y caliza mayoritariamente (> 80) con presencia de otras litologías como : cuarzo, areniscas, etc.. El tamaño medio de los cantos oscila entre 5 y 8 cm, siendo el máximo observado de aproximadamente 30 cms. La matriz es arenoso-arcillosa de color marrón y marrón rojizo. La potencia oscila entre 1,5 y 3 m. aunque en algunos sectores puede ser algo mayor. En varios de los cortes observados se pueden distinguir estructuras típicamente fluviales como : rellenos de fondo de canal, estratificaciones cruzadas, cicatrices erosivas e imbricaciones de cantos. Sobre las terrazas más bajas, es frecuente

observar una acumulación de limos arenosos con arcilla de color pardo, de unos 50 cms. de potencia, que seguramente corresponden a facies de llanura de inundación. En ocasiones, y dentro de los depósitos de grava, se observan algunos nivelillos con concentración de carbonatos.

La edad que se asigna a estos depósitos es Pleistoceno, aunque es muy posible que la terraza más baja pueda llegar al Holoceno.

Los fondos de valle también constituyen una formación superficial importante por su representación en planta. La litología que los caracteriza es muy similar a la de las terrazas pero en cuanto a la textura, el porcentaje de elementos gruesos es muy inferior, siendo la matriz más abundante. Este hecho es debido no sólo a la litología del área madre sino a las características del drenaje, desarrollado en un área de escasa pendiente y, como consecuencia, de menor capacidad de transporte.

Por último, hay que mencionar las llanuras de inundación de los ríos Elorz y Sadar. La litología es similar a la de los depósitos de fondo de valle pero con un nivel arcilloso-limoso, a techo de 0,5-1 m, correspondiente a las facies de inundación.

La edad asignada, tanto a los depósitos de fondo de valle como a los de llanura de inundación, es Holoceno por constituir el último episodio sedimentario de los valles.

Las formaciones superficiales de ladera están constituidas por los coluviones. Estos depósitos tienen una representación muy reducida limitándose al pie de algunas vertientes. Su litología es consecuencia del sustrato y todos ellos tienen en común la escasa compacidad, la heterogeneidad y la potencia irregular que depende de la pendiente, de la naturaleza de la roca madre y del clima.

Texturalmente se trata de fragmentos angulosos y subangulosos, de diversos tamaños, envueltos en una matriz de naturaleza arcillosa. La edad que se atribuye a estos depósitos es Holoceno por su situación en la parte inferior de las laderas, interdentándose o superponiéndose con los depósitos de fondo de valle o de llanura de inundación.

Las formaciones superficiales de carácter poligénico se materializan en los glaciares. Estos depósitos consisten en un conjunto de cantos y gravas de cuarcitas, areniscas y calizas cuya proporción varía según la litología del área madre. La matriz es arenosa con un

cierto contenido en limo+arcilla. El color es blanco amarillento y la potencia, no siempre visible, oscila entre 1 y 3 m.

En cuanto al tamaño de los cantos, el diámetro medio oscila entre 3 y 7 cm. con un máximo observado en campo de unos 20 cms.

La edad de estos depósitos se considera Pleistoceno por su situación con respecto a los cauces principales y a las terrazas. Algunos glaciares de menor tamaño y relacionados con la red secundaria, puede ser que se formen en el Holoceno.

Por lo que a las formaciones superficiales de carácter antrópico se refiere, la litología y textura son muy heterogéneas. Incluso los materiales que las forman no siempre proceden de la excavación de rocas sino que a veces sus componentes son productos ya elaborados por el hombre (demoliciones).

La potencia es muy variable de unos puntos a otros, e incluso dentro del mismo vertido o escombrera. La característica principal es su poca coherencia y consolidación, así como la gran heterogeneidad que ofrecen y los problemas geotécnicos que ello comporta.

3.4.- EVOLUCION GEOMORFOLOGICA

La hoja de Pamplona pertenece morfoestructuralmente a la Zona Surpirenaica. La inclusión en un dominio estructural de carácter más amplio ayuda a comprender la evolución de una pequeña superficie de terreno como ésta. La falta, sin embargo, de cartografías geomorfológicas en sectores próximos impide una visión clara del entorno. La realización, en un futuro, de trabajos geomorfológicos en otras hojas permitirá completar muchos de los datos de los que ahora se carece.

Desde el punto de vista de la evolución reciente, el nivel de referencia más antiguo lo constituyen los retazos de una superficie de erosión, bastante degradada, que se desarrolla en la Sierra Sarvil, en la contigua hoja de Cizur. El principal problema de este arrasamiento es conocer su edad pues no existen sedimentos recientes en áreas próximas que puedan relacionarse con él. No obstante si este arrasamiento fuera contemporáneo a la Superficie de Erosión Fundamental de la Cordillera Ibérica (PEÑA et al, 1984), su edad sería Vallesiense-Plioceno, coincidiendo con el cierre del ciclo neógeno, representado por las calizas del Páramo. A pesar de ello, la ausencia de depósitos de esta edad, impide reconstruir

detalladamente la evolución de dicho lapso de tiempo, pero es fácil deducir que tiene un carácter fundamentalmente erosivo.

Este carácter erosivo, es la tónica general durante el Cuaternario, pero en el proceso de encajamiento, la red fluvial deja una serie de depósitos dispuestos en plataformas escalonadas que corresponden a antiguos lechos de los cauces. Es decir, en el proceso general de rebajamiento del relieve, los cauces principales (Arga, Elorz) van erosionando los materiales, y en los momentos de avenida dejan su impronta en los depósitos de terraza. Paralelamente, en las laderas, se dan también áreas de erosión y áreas de sedimentación, estas últimas en las zonas más bajas topográficamente, dando lugar a la formación de glaciares coluviales, conos de deyección, etc.

A medida que avanza el Cuaternario (Pleistoceno medio y superior), la red fluvial sigue su proceso de definición, y tiene lugar la formación de la red secundaria con el consiguiente modelado de laderas y tiene lugar la constitución de nuevos interfluvios. La morfología de las vertientes (cóncavas, convexas, regularizadas, etc.), así como la de los valles (simétricos, asimétricos, en "u", en "v", en artesa, etc.) dependerá, en cada caso, del clima, de la litología y de la tectónica local.

Finalmente y a medida que el proceso de incisión avanza, tiene lugar otra serie de procesos: kársticos, poligénicos, lacustres y de gravedad que, aunque de menor envergadura, contribuyen de alguna manera a modificar y definir el relieve local.

3.5.- DINAMICA ACTUAL Y SUBACTUAL. TENDENCIAS FUTURAS

El relieve de la hoja de Pamplona, ofrece características muy dispares de unos sectores a otros lo que, junto a las diferencias litológicas, definirá los procesos más activos o funcionales en la actualidad.

Al ser la morfología fluvial la más importante en el ámbito de la hoja, la funcionalidad o no de los procesos dependerá mayoritariamente de la pluviometría. En este sentido, pueden observarse acusados procesos de incisión en los relieves más abruptos y formación de cárcavas en los sectores con litología más blanda, margoso-limosa (mitad E de la hoja).

También de carácter fluvial es la erosión lateral producida por los principales cauces como el Arga o el Elorz en las zonas de meandro.

En cuanto a los procesos de ladera, hay que destacar los pequeños deslizamientos de la vertiente sur de la Sierra de Tajonar que indican la inestabilidad de la misma.

Finalmente, y a la vista de las características litológicas y estructurales del sector, así como a la climatología del área, no se prevén cambios de gran magnitud, aunque como se ha indicado anteriormente, si se observan algunos procesos activos sobre todo en la mitad oriental de la hoja.

4.- 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 monotonamente 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 sedimentación 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".

5.- GEOLOGIA ECONOMICA

5.1.- RECURSOS MINERALES

En el ámbito de esta Hoja solo se han reconocido dos indicios, de uno de ellos relacionado con el nivel potásico y el otro con un manantial de agua minero medicinal. Además existen numerosas canteras de pequeña entidad, actualmente abandonadas, que han explotado los materiales detríticos aflorantes en esta Hoja.

5.1.1.- 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.

5.1.2.- Minerales Energéticos

No existen indicios de sustancias energéticas dentro de los límites de esta Hoja, aunque se han inventariado un sondeo de petróleo, con resultado negativo.

5.1.3.- Minerales y rocas industriales

5.1.3.1.- Aspectos generales

Dentro de los límites de esta Hoja hay que destacar las explotaciones desarrolladas sobre los niveles potásicos y las pequeñas explotaciones, realizadas con carácter intermitente sobre los niveles detríticos y calcareníticos eocenos que afloran en esta Hoja.

5.1.3.2.- Descripción de los materiales

5.1.3.2.1.- Sales potásicas

Se trata de una de las sustancias más emblemáticas del sector minero navarro, tanto por su antigüedad como por su importancia económica. Los estudios de la cuenca potásica navarro-aragonesa se iniciaron en 1929, sufriendo una paralización en los años treinta; las labores se reanudaron en la década de los cincuenta, período en el que se descubre el yacimiento de Nuestra Señora del Perdón, explotado por Potasas de Navarra entre 1962 y 1985 y por Potasas de Subiza; S.A. desde 1986.

La Formación Potásica navarra constituye un macrociclo evaporítico similar al reconocido en la cuenca potásica catalana (ROSELL y PUEYO, 1984) correspondiente a un tipo empobrecido en sulfato magnésico.

En la cuenca navarro-aragonesa el macrociclo comienza por una unidad basal de carácter anhídritico, constituida en esencia por una alternancia de láminas de anhidrita y carbonatos de orden milimétrico, con un espesor conjunto de 0,6 a 1 m. es frecuente la presencia de pseudomorfos de yeso y halita, que descartan un origen primario de la halita. El sedimento corresponde a carbonatos, cuando las facies son laminadas, y a materiales detríticos, en el caso de facies nodulares.

Por encima se dispone el nivel conocido como "sal de muro", con un espesor medio de 10 m; predominan halita y polihalita, observándose varios colores y litofacies, con esporádicos niveles arcillosos que aumentan su proporción hacia el techo. El tamaño del grano varía entre 1 y 3 mm, alcanzando ocasionalmente 10 mm.

A continuación se observa un paquete próximo a 2 m. de espesor, constituido por 18 capas de silvinita, con niveles halíticos intermedios. Hacia la base se observan los mayores tamaños de grano y colores rosados, que evolucionan hacia el techo a tonos rojizos. Las bandas silviniticas tienen carácter monomineral, con cristales euhedrales granoclasificados; las capas de halita poseen niveles de orden centimétrico separados por láminas arcillosas de espesor variable. En algunas zonas, sobre el tramo carnalítico se dispone un tramo halítico ("sales intermedias"), de potencia inferior a 1 m.

La serie continúa mediante un paquete de carnalita de espesor cercano a 12 m; generalmente está integrado por 8 capas de carnalita separadas por niveles de halita y lutitas, las intercalaciones de halita presentan 2 variedades petrográficas transparentes según posean inclusiones o carezcan de ellas, siendo la anhidrita el único sulfato presente. Por lo que respecta a las capas inferiores de carnalita, frecuentemente se encuentran transformadas a silvinita; en ocasiones, este tipo de transformaciones afecta a la totalidad del tramo.

Por encima se dispone una alternancia de halita y lutitas con niveles anhídriticos, cuyo espesor medio está comprendido entre 50 y 75 m; los niveles de halita de 1 a 4 cm., se encuentran separados por niveles de lutitas laminadas. Su sucesión típica es : dolomita+anhidrita, dolomita+anhidrita+halita con inclusiones, halita, halita con inclusiones+anhidrita±dolomita.

El megaciclo culmina con un tramo de lutitas versicolores laminadas cuyo espesor se aproxima a 50 m; contiene paquetes de anhidrita, con dolomita así como niveles arenosos, más frecuentes a techo.

Las 2 únicas paragénesis potásico-magnésicas de la formación evaporítica son silvinita-halita (con anhidrita y polihalita) y carnalita-halita (con anhidrita y dolomita). La ausencia de sulfato magnésico implica una variación en el quimismo del agua marina original, atribuida a 2 posibles procesos : a) reducción del sulfato presente en el agua por acción bacteriana; b) acción de aguas portadoras de Ca, que provocarían la precipitación de sulfato cálcico, o bien procesos de dolomitización, que producirían la precipitación de dolomita y magnesita. No obstante, BRAITSH (1971) señala la posible precipitación de silvinita-halita a partir de agua marina empobrecida en sulfato magnésico.

En cuanto a la génesis del yacimiento, está relacionada con un mar restringido en el que la intensa evaporación produjo un aumento en la concentración del agua, que provocaría el depósito de las sales. Posteriormente, las deformaciones relacionadas con la orogenia alpina han sido las responsables de la configuración actual; en una primera etapa se desarrollarían cabalgamientos de vergencia meridional y posteriormente, la acción de fallas profundas de dirección NNE-SSO compartimentaría el conjunto en los 3 bloques o sectores ya señalados.

Los trabajos de explotación se realizan subterráneamente mediante el sistema cámara y pilares, con arranque mediante minador continuo. Los tipos de transporte utilizados son muy variados; así, el mineral es transportado por bandas en el interior y por camiones a fábrica, en tanto que el personal se desplaza mediante telesillas y el material, por monocarriles y tractores. Las instalaciones están provistas de sistemas de ventilación primaria y secundaria. En cuanto al alumbrado, se realiza de forma individual de casco.

La producción en 1991 fué de 1.266.294 tm de todo-uno de la que se consiguió 146.733 de cloruro potásico.

5.1.3.2.2.- Areniscas calcáreas

Al este de Zolina se ha observado una explotación que beneficia las areniscas calcáreas y calcarenitas de los niveles turbidíticos de Tajonar. Estos niveles tienen un 65 % de CO_3Ca con un 35 % de terrígenos, variando el tamaño entre limo 15 % y arena 20 % de naturaleza silicea.

Este tipo de calizas se ha utilizado para la obtención de bloques con el fin de emplearlos en la construcción de edificios como roca ornamental.

En estos mismos niveles turbidíticos existen pequeñas explotaciones de estos materiales empleados como zahorra para caminos de concentración.

5.1.3.2.3.- Aguas Minero-Medicinales

En esta Hoja existe una surgencia de agua minero medicinal situado en Burlada. Este manantial, cuya composición se ha clasificado como bicarbonatado-sódicas yoduradas, actualmente se encuentra cubierto por edificaciones, habiendo funcionado como planta embotelladora hasta 1939.

5.2.- HIDROGEOLOGIA

5.2.1.- 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.

5.2.1.1.- Margas, margocalizas, lutitas y alternancia de calcarenitas y arcillas. Luteciense-Priaboniense.

En esta unidad se agrupan formaciones de litología predominantemente margosas, que corresponden a los niveles cartográficos 13, 20, 22, 25 y 27.

Los niveles 13 y 20 presentan intercalaciones de calcarenitas y areniscas de espesor variable, oscilando entre pocos centímetros en el primer nivel a algunos decímetros en el tramo 20.

Estos niveles se encuentran intercalados en el muro de las "Margas de Pamplona" representados en el nivel cartográfico 22, no conociendo con exactitud el espesor del tramo 13 ya que en esta Hoja solo afloran los niveles de techo de esta unidad turbídica.

Respecto al nivel cartográfico 20, se encuentra intercalado entre las "Margas de Pamplona", con una potencia máxima de 85 m, acunándose lateralmente hasta llegar a desaparecer, adquiriendo por tanto una geometría lenticular.

El nivel 22, diferenciado en la cartografía geológica, corresponde a las "Margas de Pamplona". Se trata de una serie monótona de margas grises de potencia considerable, con intercalaciones centimétricas de calcarenitas y limolitas, aunque en algunos sectores estos niveles pueden presentar un aumento en potencia, número y extensión de los mismos.

La potencia media estimada para esta unidad oscila entre 400 y 500 m, aumentando hacia el norte, donde puede llegar a superar los 700 m.

A techo de esta unidad se observa otro conjunto muy homogéneo compuesto por margas grises nodulosas, denominadas "Margas de Ilundain", nivel cartográfico 25.

El tránsito entre estos dos conjuntos margosos se realiza en algunos sectores mediante unos niveles calcareníticos que se describen a continuación. En otras zonas, como en el anticlinal de Ilundain, se encuentran en contacto los dos niveles margosos.

La potencia de este conjunto oscila entre 300 y 400 m, intercalando niveles de areniscas calcáreas con escaso interés desde el punto de vista hidrogeológico.

El nivel 27 está constituido por una sucesión de lutitas rojas y lutitas margosas alternando con niveles de limos y areniscas. A techo presentan intercalaciones de niveles de areniscas que pueden llegar a alcanzar potencias máximas del orden métrico.

La potencia de esta unidad es muy variable generalmente sobre los 50 m, aunque en el sector de la Peña de Izaga llegan a desaparecer.

Para todo este conjunto se ha estimado una permeabilidad baja-muy baja, dado el predominio de materiales margosos. Puntualmente presentan intercalaciones de niveles areniscos y calcareníticos, que pueden llegar a alcanzar cierta permeabilidad en niveles superficiales, aunque prácticamente se consideran despreciables.

En algunos sectores, entre los dos grandes paquetes margosos, constituidos por las "Margas de Pamplona" y las "Margas de Ilundain", se encuentran dos niveles constituidos por calcarenitas y areniscas de mayor entidad que se describen a continuación.

5.2.1.2.- Calcarenitas; areniscas y margas. Priaboniense

Esta unidad hidrogeológica comprende los tramos cartográficos expresados en la Hoja Geológica números 23 y 24.

Esta unidad se encuentra intercalada entre los dos grandes paquetes margosos principales definidos con anterioridad.

Regionalmente a estos niveles se les conoce como "Calcarenitas de Gazolaz" y "Turbiditas de Tajonar" respectivamente.

Litológicamente el nivel 23 está formado por biocalcarenitas con granos de cuarzo distribuidas en bancos de unos 10 cm a 1 m, con una potencia total máxima del orden de 50 m, llegando a desaparecer, por erosión del tramo superior, desarrollando por tanto una geometría lenticular.

El nivel 24 está formado por una alternancia de margas y areniscas calcáreas de grano fino, distribuidas en capas plano paralelas de tamaño centimétrico. La potencia de esta unidad es muy variable, no sobrepasando los 50 m de espesor, acuñándose lateralmente hasta desaparecer.

Se estima una permeabilidad media-baja para estos depósitos dando lugar a pequeños manantiales en Cizur y en la falda de la Sierra de Tajonar, como la fuente del Monte y la de Churruta, contribuyendo a través de los coluviones al caudal del río Sadar.

5.2.1.3.- Areniscas y Arenas. Priaboniense

Esta unidad se ha denominado "Areniscas de Galar" y corresponde al nivel cartográfico 28 diferenciado en la Hoja Geológica.

Litológicamente está constituido por arenas y areniscas de grano fino, alternando con niveles limosos y margosos dolomíticos.

La potencia de este conjunto detrítico es del orden de 100 m y sus afloramientos se localizan en los vértices sur-oriental y sur-occidental de la Hoja.

La permeabilidad de este tramo, se considera como media en los niveles más cercanos a la superficie, al existir una porosidad secundaria originada por la descalcificación de las areniscas por efectos de la meteorización.

En profundidad, los valores decrecen considerablemente, al desaparecer la permeabilidad secundaria superficial y encontrarse las areniscas más cementadas y por tanto más compactas.

5.2.3.4.- Arcillas y areniscas. Sueviense inferior

Esta unidad forma parte de la Fm. Javier, definida por PUIGDEFABREGAS (1975) (nivel 24 de la cartografía geológica).

Litológicamente está formado por arcillas rojas con intercalaciones de niveles areniscosos de granulometría media y cemento carbonatado.

Se disponen discordantemente sobre los niveles detríticos descritos anteriormente.

No se ha podido calcular el espesor de esta unidad ya que en esta Hoja no se observan los niveles de techo, no obstante supera el centenar de metros.

Sus afloramientos se limitan al vértice sur-oriental de la Hoja, formando parte tectónicamente del sinclinal de Izaga.

Se ha estimado una permeabilidad baja para todo el conjunto, al contar, las litologías descritas con una porosidad eficaz prácticamente despreciable. Puntualmente pueden alcanzar permeabilidades altas en algunas zonas, en donde afloran los niveles areniscosos.

5.2.1.5.- Arcillas y Yesos. Sueviense inferior

Esta unidad, al igual que la anterior, ha sido definida por PUIGDEFABREGAS (1975) como "Yesos de Undiano" (nivel 30 de la cartografía geológica).

Litológicamente está formado por margas grises dolomíticas, lutitas rojas y yesos recristalizados. En sondeos aparecen como una sucesión rítmica de fangos y anhidritas con depósitos de halita en el muro de la unidad.

Se dispone como suprayacente de las "Areniscas de Galar" alcanzando potencias del orden de 500 m.

Sus afloramientos se sitúan en el vértice sur-occidental de la Hoja, estimándose para este conjunto, una permeabilidad muy baja. Se puede alcanzar puntualmente cierta permeabilidad por karstificación y disolución de las sales (sulfatos y cloruros) que contienen.

5.2.1.6.- Cuaternario. Formaciones superficiales

En esta Hoja, los depósitos cuaternarios están ampliamente representados, alcanzado gran desarrollo en cuanto a su extensión y potencia.

En primer lugar y por orden de importancia, se consideran los depósitos de origen fluvial ya que son estos los que presentan una mayor extensión de afloramiento y volumen de sedimento.

En la realización de la cartografía geológica se han reconocido hasta cinco niveles de terrazas (niveles cartográficos comprendidos entre el 50 y el 54 de la cartografía geológica) situados a distintas alturas respecto al cauce del río Arga. Litológicamente están constituidos por gravas y cantos de cuarcita y caliza, en mayor proporción y cuarzo areniscas como litologías secundarias. La matriz es arenosa y localmente limosa y su potencia oscila entre 1,5-2,5 m, aunque puede aumentar en algunos puntos.

La permeabilidad de este conjunto de materiales se considera media-alta, debida principalmente a porosidad intergranular.

Otro depósitos de carácter fluvial, es el denominado fondo de valle, catalogado con el número 55 en la cartografía de la Hoja Geológica.

Estos depósitos presentan formas estrechas y alargadas en planta y una litología muy similar a las de las terrazas, aunque el porcentaje de elementos gruesos es muy inferior, siendo la matriz mas abundante y por lo tanto con una permeabilidad algo menor que los depósitos de terrazas.

Los últimos depósitos de caracter fluvial cartografiados en la Hoja Geológica, son los correspondientes a la llanura de inundación (número 60 de la cartografía geológica) de los ríos Sadar y Elorz. La litología es similar a los descritos para los fondos de valle, presentando a techo un nivel arcilloso-limoso, cuya potencia oscila entre 0,5 y 1 m.

Las formaciones superficiales de laderas son fundamentalmente los glacis y los coluviones.

Los primeros, catalogados con el número 47, en la cartografía geológica alcanzan un amplio desarrollo en el cuadrante SO de la Hoja. Proceden de la Sierra de Tajonar y de las estribaciones de la Sierra del Perdón.

Litológicamente están formados por un conjunto de cantos y gravas de cuarcitas, areniscas y calizas, en distinta proporción según el área madre, con matriz arenosa y un cierto contenido en limo y arcilla. La potencia de esta unidad oscila entre 1 y 3 m.

Los depósitos coluvionares, tienen una representación muy reducida, limitándose a sedimentarse al pie de algunas vertientes.

Su litología es consecuencia del sustrato y todos ellos presentan una gran heterogeneidad de componentes, una escasa compacidad y una potencia muy irregular que depende de la pendiente y de la naturaleza de la roca madre.

La permeabilidad de estos depósitos es media y puntualmente media-alta por porosidad intergranular.

5.2.2.- 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 tres conjuntos con un funcionamiento hidrogeológico, en términos generales independientes.

- Areniscas de Cizur y Tajonar
- Areniscas de Galar
- Formaciones permeables del Cuaternario

5.2.2.1.- Areniscas de Cizur. Calcarenitas y areniscas. Bartoniense superior-Priaboniense inferior

Geometría :

Esta unidad hidrogeológica se sitúa entre los dos grandes paquetes margosos de espesor considerable denominados como "Margas de Pamplona" y "Margas de Ilundain".

Litológicamente está formado por dos niveles con características litológicas similares, calcarenitas y areniscas con intercalaciones margosas. Entre estas dos unidades existe una discordancia erosiva que facilita el dominio de una u otra unidad.

En conjunto esta unidad hidrogeológica presenta una geometría lenticular con potencias máximas de unos 100 m, que se acuñan lateralmente hasta llegar a desaparecer.

Esta geometría lenticular se encuentra condicionada tanto por el carácter erosivo de la discordancia que separa los dos tramos cartográficos que componen esta unidad acuífera, como por la génesis sedimentaria de estos tramos, el inferior relacionado con una plataforma calcárea que se encuentra erosionada por el tramo superior, genéticamente relacionados con depósitos turbidíticos encauzados a favor de zonas tectónicamente prioritarias.

Funcionamiento Hidrogeológico :

La recarga se efectúa a partir de la infiltración directa del agua de lluvia, en las zonas donde aflora. La descarga se produce principalmente en la ladera septentrional de la Sierra de Tajonar, mediante la fuente de Montico, fuente de Churruta, fuente de Sariondo, además contribuye a través de los coluviones, al caudal del río Sadar y Elorz en las proximidades de Cizur Menor.

Parámetros Hidrogeológicos :

No se poseen datos de los parámetros hidrogeológicos que caracterizan esta unidad, en base a ensayos o test hidráulicos realizados en la misma.

En términos generales se estima una permeabilidad media-baja dependiendo del mayor o menor grado de cementación de las areniscas.

Los valores mayores de permeabilidad se obtienen en los niveles superficiales por permeabilidad secundaria, debido a la disolución del cemento calcáreo motivado por los procesos de alteración.

5.2.2.2.- Areniscas de Galar. Priabonense

Geometría :

En esta Hoja, afloran en una franja comprendida entre Esparza y Salinas de Pamplona, formando parte de un acuífero más importante que se extiende desde Undiano hasta Biurrun. Así mismo existe un pequeño afloramiento en la vertiente septentrional de la Peña de Izaga.

El acuífero situado al oeste de la Hoja, se ha estudiado en profundidad en las vecinas Hojas de Cizur y Puente la Reina. En líneas generales este nivel acuífero se encuentra cortado por los niveles de conglomerados del terciario continental y según estudios de Potasas de Navarra, S.A. parece que presentan una geometría lenticular.

El acuífero situado al este de esta Hoja se extiende por la vecina Hoja a escala 1:50.000 de Aoiz, presentando aquí escaso desarrollo.

Funcionamiento Hidráulico :

Este acuífero ha sido estudiado con intensidad ya que se encuentra a techo de la Formación Evaporítica intensamente explotado en el sector de la Sierra del Perdón.

Se ha tratado de explotar con resultados negativos en un sondeo, situado al sur de Galar, obteniéndose caudales del orden de 3 l/s de agua salobre, por lo que no se puso en explotación. Potasas de Navarra, S.A. ha realizado varios estudios hidrogeológicos sobre esta formación, perforando varios sondeos de investigación, llegando a la conclusión, en un primer momento, de que las zonas de mayor permeabilidad estaban relacionadas con zonas descalcificadas por la alteración meteórica. Posteriormente, e introduciendo criterios sedimentológicos obtenidos mediante la explotación del yacimiento potásico, se llegó a la conclusiones que estas zonas de areniscas poco consolidadas se relacionan con su situación paleogeográfica dentro de la cuenca sedimentaria y con procesos diagenéticos.

La recarga de estos materiales procede fundamentalmente del agua de lluvia, a través de los materiales cuaternarios, en los puntos en que la erosión haya alcanzado los niveles permeables de estas areniscas, previamente al depósito de los materiales coluvionares o por medio de alguna fractura.

Los estudios de Potasas de Navarra, S.A. han caracterizado a este acuífero como multicapa, sin circulación vertical entre los niveles de areniscas y por lo tanto con distintos niveles de salinidad. La descarga se realiza por la fuente de Subiza, fuente Chufria, fuente de la Mina y el pozo de El Soto.

Parámetros Hidráulicos

No se posee información procedente de ensayos o test hidráulicos que caracterizan esta unidad.

La permeabilidad supuesta para esta unidad, es baja debido al elevado grado de consolidación que presentan estos niveles, no obstante puntualmente puede presentar alta permeabilidad en zonas donde la consolidación es menor.

Los caudales máximos obtenidos oscilan entre 0,6 l/s en Subiza y de 1,5 l/s en la Mina.

5.2.2.3.- Formaciones permeables del Cuaternario

Geometría :

Como se ha indicado en el apartado de descripción de formaciones superficiales, estas son muy variadas, aunque en general de escasa potencia y extensión.

En esta Hoja presentan un mayor desarrollo las terrazas fluviales y los depósitos aluviales por donde se encauza el río Arga, con desarrollo de una geometría longitudinal a lo largo del curso fluvial.

Funcionamiento Hidráulico

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 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 que implican pequeños volúmenes capaces de almacenar agua. Así, en esta Hoja se han inventariado la fuente de Hierro, cuyo caudal ha ido disminuyendo a medida que el área urbanizada se extendía, reduciendo la superficie permeable de recarga.

Parámetros Hidrogeológicos

No se han recopilado datos de ensayos o test hidráulicos en estos materiales. De forma general se ha estimado una permeabilidad media-alta para estos sedimentos, reduciéndose este valor en los depósitos de fondo de valle y en las formaciones superficiales de ladera, que poseen, en su conjunto, un mayor porcentaje de material detrítico fino, reduciendo su porosidad eficaz.

5.3.- GEOTECNIA

5.3.1.- **Introducción**

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

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.

5.3.2.- **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 cartografía

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

5.3.3.- Zonación geotécnica

5.3.3.1.- 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.

5.3.3.2.- División en áreas y zonas geotécnicas

En la cartografía se presentan las siguientes áreas :

- Area III : Comprende los materiales terciarios
Area IV : Se han agrupado los depósitos cuaternarios.

Estas áreas se han dividido en las siguientes zonas :

- Area III : Zonas III₂, III₃, III₄, III₅, III₆, III₇ y III₈.
Area IV : Zona IV₁

En el Cuadro 1, se presenta la correlación entre las unidades cartográficas y las áreas geotécnicas.

5.3.4.- Características geotécnicas

5.3.4.1.- 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:

<u>En la aguas</u>	<u>En el terreno</u>	<u>Agresividad</u>
< 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 :

<u>C.P.V.</u>	<u>Descripción</u>
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 & Brag 1977

N°	DESCRIPCION	RESISTENCIA A COMPRESION SIMPLE			EJEMPLOS
		Lb/in ²	kg/cm ²	MPa	
S1	Suelo muy blando	< 5	< 0.4	< 0.04	
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	Creta, formaciones salinas
R2	Roca moderad. meteorizada	3500-7500	250-500	25-50	Carbón, esquistos, limolitas
R3	Roca moderad. dura	7500-15000	500-1000	50-100	Areniscas, pizarras
R4	Roca dura	15000-30000	1000-2000	100-200	Marmol, granito, gneises
R5	Roca muy dura	> 30000	> 2000	> 200	Cuarcita, dolerita, gabro, basalto.

- Consistencia del terreno según NTE. CEG. 1975

Tensión de rotura a compresión simple en Kg/cm² Consistencia

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

- Consistencia en arcillas

Consistencia	Plasticidad			
	Baja Media		Media Alta	
	Cohesión C'kg/cm ²	Angulo de rozamiento	Cohesión C'kg/cm ²	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

<u>Compacidad</u>	<u>Angulo de rozamiento interno ϕ°</u>
Muy suelta	28
Suelta	28-30
Medianamente suelta	30-36
Densa	36-41
Muy densa	> 41

- Indice 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 :

<u>R.Q.D.</u>	<u>Calidad</u>
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 según 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 en 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.

5.3.4.2.- Area III.

- Zona III₂

Localización : Se localizan en la proximidades de Cizur Menor y en la vertiente meridional de la Sierra de Tajonar.

Características litológicas : Está formado por biocalcarenitas marrones y niveles de areniscas silíceas.

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/cm², 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/cm².

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 III₃

Localización : Afloran en las proximidades de Huarte y en la Sierra de Tajonar

Características litológicas : Se trata de un conjunto de arcillas limolíticas y margas, alternando con niveles de areniscas calcáreas.

Características geotécnicas : La característica fundamental, es la alternancia de niveles de material resistente con otros mas blandos.

El conjunto, puede considerarse con una resistencia que clasificaría el material como suelo muy rígido y roca muy meteorizada, según la clasificación descrita en la metodología.

Si consideramos su R.Q.D. se trataría de una roca de categoría Muy Mala, es decir R.Q.D. entre 0 y 25 %.

Características constructivas :

. Cimentación :

A nivel de anteproyecto; se puede considerar una presión admisible del orden de 3 Kp/cm². Es importante considerar las posibles heterogeneidades que suponen la alternancia de niveles blandos y duros.

. Excavabilidad .

En general son terrenos ripables.

. Aptitud para explanadas de carreteras

Puede constituirse en explanada E-3, precisando la extensión de un suelo seleccionado.

- Zona III₄

Localización : Esta zona, presenta su máximo desarrollo en el sector septentrional de la Hoja formando parte del núcleo de los anticlinales de Noain e Ilundain.

Características litológicas : Se trata de una serie monótona de margas grises nodulosas con niveles centimétricos de calcarenitas.

Características geotécnicas : De estos materiales se dispone de una amplia relación de ensayos de laboratorio, además de estar perfectamente caracterizadas en la literatura geotécnica.

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

CUADRO RESUMEN DE CARACTERISTICAS GEOTECNICAS

(Margas sanas y alteradas)

Clasificación : CL (Arcillas de baja plasticidad)
Densidad seca (margas sanas) : 1,69-2,6 gr/cm²
Densidad seca (margas alteradas) : 1,70-1,87 gr/cm³
% pasa tamiz N° 200 : 82 %-95 %
Limite liquido : 33-50
Indice de plasticidad : 14-33
Humedad (margas sanas) : 5,5 % - 16 %
Humedad (margas alteradas) : 12 % - 20 %
Contenido en carbonatos (margas sanas) : 20 % - 54 %
Contenido en carbonatos (margas alteradas) : 45 %-52 %
Contenido en sulfatos : Inapreciable (< 0,01)
Densidad Proctor (margas sanas) : 1,62 - 2,14 gr/cm³
Densidad Proctor (margas alteradas) : 1,61 - 2,04 gr/cm³
Humedad óptima (margas sanas) : 9 % - 21 %
Humedad óptima (margas alteradas) : 10,6 % - 18,8 %
Indice C.B.R. (margas alteradas) : 0,8 - 3,7
R. Compresión simple (margas sanas) : 188 - 308 Kp/cm²
R. Compresión simple (margas alteradas) : 1,5 - 4,5 Kp/cm²
R.Q.D. medio : 66 %
Angulo de rozamiento interno (margas alteradas) : 28°
Angulo de rozamiento interno (margas sanas) : 25°
Cohesión (margas alteradas) : 0,05 Kp/cm²
Módulo de deformación (margas alteradas) : 100-200 kg/cm²
Módulo de deformación (margas sanas) : 10.000 Kp/cm²
Coeficiente de Poisson (margas alteradas) : 0,3
Coeficiente de Poisson (margas sanas) : 0,1
Hinchamiento Lambe : Marginal

Así mismo, se dispone de datos referentes al nivel de alteración mezclado con materiales cuaternarios (suelo de alteración); cuyos valores de resistencia y compactación se han agrupado con las margas alteradas (S.S.).

Estos ensayos (identificación y estado) se resumen a continuación :

CUADRO RESUMEN DE CARACTERISTICAS GEOTECNICAS

(Margas alteradas + Materiales cuaternarios)

- Clasificación : CL
- % pasa tamiz N° 200 : 23-89 %
- Límite líquido : 31,2 - 45
- Índice de plasticidad : 14-41,1
- Humedad : 11,2 % - 21,3 %
- Densidad seca : 0,84 - 2,13 gr/cm²
- Contenido en carbonatos : 26-49,6 %
- Contenido en sulfatos : Nulo

A grandes rasgos; se puede decir que se trata de una roca blanda de rápida alteración, lo que favorece la presencia de un perfil de alteración importante que se compartan como suelos de consistencia Firme y dura (Según NTE-CEG 1975); con una expansividad definida como marginal.

Los afloramientos donde se observa la roca sana, presentan un índice de calidad regular, con resistencia bastante elevada.

- Características constructivas

. Cimentación :

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

Las presiones admisibles calculadas para profundidad de cimentación mínima de 1,5-2 m, que corresponde al nivel superficial reblandecido o saturado, generalmente varían para las margas alteradas (de consistencia muy firme o dura casi siempre) entre 1,3 y 3 kp/cm². En las margas sanas, según los valores orientativos que se dan en el Código inglés pueden considerarse presiones admisibles entre 6 y 10 kp/cm², posiblemente superiores dada en resistencia a compresión superior en muchos casos a los 100 kp/cm² pero que para edificios habituales suponen valores suficientes. No obstante, como norma general, para edificios altos o cuando se prevean fuertes cargas concentradas, se requerirá un estudio de resistencia y deformabilidad.

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

Con mayor probabilidad la cimentación será de tipo superficial (zapatas o losa) o semiprofunda, mediante pozos. Para edificios bajos, de menos de seis alturas, la cimentación, en general, podrá realizarse mediante zapatas; para alturas superiores se deberá o bien recurrir a losa si la capacidad portante del terreno se sitúa en torno a 1,5 Kp/cm², o bien deberán buscarse niveles resistentes más profundos en cuyo caso se deberá recurrir a cimentación semiprofunda (mediante pozos) siempre que esos niveles se encuentren entre 3 y 6 m. de profundidad. Ocasionalmente, puede ser necesario el empleo de pilotes si el espesor de margas alteradas es superior en el punto considerado. El empleo de losa de cimentación puede ser particularmente adecuado cuando en el área ocupada por el edificio se produzcan variaciones notables en el espesor del horizonte alterado, que den lugar a asentamientos diferenciales inadmisibles si se pretendiera cimentar mediante zapatas aisladas; por otra parte, la cimentación por losa es una solución costosa para edificios bajos (6-8 plantas).

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

Entre los problemas de cimentación puede considerarse :

- Variaciones importantes del espesor del horizonte compresible, que dan lugar a asientos diferenciales inadmisibles.
- Presencia de niveles de arcillas blandas intercaladas entre margas sanas que pueden causar fenómenos de punzonamiento.
- Presencia de niveles de areniscas no ripables que dificulten la excavación.

. Excavabilidad :

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

Las margas sanas presentan una ripabilidad variable, entre ripable y no ripable.

. Estabilidad de taludes

Los taludes naturales son estables, unicamente presentan el problema de la alteración de las margas que progresivamente van deteriorando el talud, observándose abundantes acarcavamientos. Los taludes artificiales, en las margas alteradas producirán flujos de barro y deslizamientos, mientras que los que se efectuen en margas sanas presentará con el tiempo un deterioro progresivo, asi mismo es posible la existencia de cuñas.

. Aptitud para explanadas de carreteras

En general son suelos no aptos, que precisarán la extensión sobre ellos de una explanada mejorada.

- Zona III₅

Localización : Se desarrollan con gran extensión en el sector central de la Hoja.

Características litológicas : Están formadas por un conjunto muy homogéneo de margas grises nodulosas con intercalaciones centimétricas de niveles de calcarenitas.

Características geotécnicas : Al igual que las "Margas de Pamplona", estos niveles se encuentran bien caracterizados dado que se disponen de numerosos ensayos.

El comportamiento geotécnico es similar al de las "Margas de Pamplona", por este motivo los criterios constructivos son los mismos que se comentaron para la Zona III₄.

No obstante se ha optado por diferenciarlas dado que se disponen de ensayos puntuales para la caracterización geotécnica, además de atender a criterios morfológicos y litológicos.

Los ensayos que se han consultado se resumen a continuación :

CUADRO RESUMEN DE CARACTERISTICAS GEOTECNICAS

Clasificación : CL (Arcillas de baja plasticidad)

Densidad seca : 1,80 - 2,4 gr/cm³

% pasa tamiz N° 200 : 29 % - 98 %

Limite líquido : 33-47

Indice de plasticidad : 13-32

Humedad : 8,3 % - 13,5 %

Contenido en carbonatos : 29 % - 44 %

Contenido en sulfatos : 0,08 - 43,7 %

Densidad Proctor : 1,64 - 1,9 gr/cm³

Humedad óptima : 10,7 - 21,6 %

Indice CBR : 7

R. Compresión simple : 22

Angulo de rozamiento interno : 42°

Cohesión : 1,35 Kp/cm²

Hinchamiento Lambe : No crítico

Se trata de una roca blanda de rápida alteración, lo que facilita que presente un importante perfil de alteración y que se comporte como un suelo de consistencia firme y dura (según NTE-CEG. 1975) con la expansividad definida como no crítica.

Características constructivas :

Cimentación :

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

Las presiones admisibles calculadas para profundidad de cimentación mínima de 1,5-2 m, que corresponde al nivel superficial reblandecido o saturado, generalmente varían para las margas alteradas (de consistencia muy firme o dura casi siempre) entre 1,3 y 3 kp/cm². En las margas sanas, según los valores orientativos que se dan en el Código inglés pueden considerarse presiones admisibles entre 6 y 10 kp/cm², posiblemente superiores dada en resistencia a compresión superior en muchos casos a los 100 kp/cm² pero que para edificios habituales suponen valores suficientes. No obstante, como norma general, para edificios altos o cuando se prevean fuertes cargas concentradas, se requerirá un estudio de resistencia y deformabilidad.

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

Con mayor probabilidad la cimentación será de tipo superficial (zapatas o losa) o semiprofunda, mediante pozos. Para edificios bajos, de menos de seis alturas, la cimentación, en general, podrá realizarse mediante zapatas; para alturas superiores se deberá o bien recurrir a losa si la capacidad portante del terreno se sitúa en torno a 1,5 Kp/cm², o bien deberán buscarse niveles resistentes más profundos en cuyo caso se deberá recurrir a cimentación semiprofunda (mediante pozos) siempre que esos niveles se encuentren entre 3 y 6 m. de profundidad. Ocasionalmente, puede ser necesario el empleo de pilotes si el espesor de margas alteradas es superior en el punto considerado. El empleo de losa de cimentación puede ser particularmente adecuado cuando en el área ocupada por el edificio se produzcan variaciones notables en el espesor del horizonte alterado, que den lugar a asentamientos diferenciales inadmisibles si se

pretendiera cimentar mediante zapatas aisladas; por otra parte, la cimentación por losa en una solución costosa para edificios bajos (6-8 plantas).

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

En algunas zonas aparecen cantidades importantes de anhidrita, lo que provoca agresividad a los hormigones.

Entre los problemas de cimentación puede considerarse :

- Variaciones importantes del espesor del horizonte compresible, que dan lugar a asientos diferenciales inadmisibles.
- Presencia de niveles de arcillas blandas intercaladas entre margas sanas que pueden causar fenómenos de punzonamiento.
- Presencia de niveles de areniscas no ripables que dificulten la excavación.

Excavabilidad :

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

Las margas sanas presentan una ripabilidad variable entre ripables y no ripables.

Estabilidad de taludes

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

. Aptitud para explanadas de carreteras

En general son suelos no aptos, que precisarán la extensión sobre ellos de una explanada mejorada.

- Zona III₆

Localización : Esta zona se extiende por el vértice sur-oriental y sur-occidental de la Hoja.

Características litológicas : Está formado por un conjunto de lutitas rojas y lutitas margosas, alternando con niveles de limos y areniscas.

Características geotécnicas : No se disponen de ensayos de laboratorio, además de la escasez de afloramientos.

Las observaciones de campo indican que se trata de unas margas muy alteradas que prácticamente se comportan como un suelo de consistencia media.

Características constructivas :

. Cimentación :

Para un cálculo a nivel de anteproyecto se pueden considerar los valores que establecen las diferentes Normas y Códigos.

Así el Código de Práctica Británico, establece para este tipo de material una presión admisible entre 1,5 y 3 Kp/cm³, esperándose asientos de consolidación a largo plazo.

Si consideramos la Norma DIN 1054, para una zapata corrida de 0,5 a 2 m. de ancho, se admite la carga admisible entre 1,6 y 3,6 Kp/cm², para una profundidad de 1,5 m.

. Excavabilidad

Son materiales fácilmente excavables.

. Estabilidad de taludes

En los taludes naturales se han observado numerosos fenómenos de inestabilidad, que dan lugar a deslizamientos del tipo rotacional.

En los taludes artificiales deberán disponerse las medidas correctoras adecuadas.

. Aptitud para explanadas de carreteras

En general, son suelos no aptos, que precisarán la extensión sobre ellos de una explanada mejorada.

- Zona III,

Localización : Sus afloramientos son continuación de los descritos para la zona anterior.

Características litológicas : Se trata de un conjunto de arenas y areniscas de grano fino, alternando con niveles limosos y margosos dolomíticos.

Características geotécnicas : No se disponen de ensayos de laboratorio que permitan caracterizar el material.

Las observaciones de campo permiten considerar a estas rocas de resistencia moderada ($q_u = 200-600 \text{ Kp/cm}^2$). Según HOEK & BRAY, su descripción correspondería a una roca moderadamente dura.

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

Características constructivas :

. Cimentación :

De acuerdo con los valores orientativos que dan la norma DIN 1054 y el Código de Práctica Británico, pueden considerarse, también con carácter orientativo, presiones admisibles del orden de 20 Kp/cm².

Para edificios habituales, con cargas máximas de unos 3-4 Kp/cm², la resistencia del terreno es suficiente.

. Excavabilidad

La ripabilidad de los materiales vendrá condicionada por la fracturación, siendo en general no ripables.

. Estabilidad de taludes

Los taludes naturales son estables, mientras que en los artificiales la estabilidad viene condicionada por el diaclasado y disposición de los estratos.

. Aptitud para explanada de carreteras

Pueden constituir explanada tipo E-3.

- Zona III_g

Localización : Esta zona se extiende por unos pequeños afloramiento situados en el vértice sur-oriental y sur-occidental de la Hoja.

Características litológicas : Está formado por un conjunto de arcillas, yesos y niveles de areniscas.

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/cm², 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.

5.3.4.3.- Area IV

- Zona IV₁

Localización : Sus afloramientos se encuentran distribuidos por toda la Hoja, alcanzando un mayor desarrollo a la largo los ríos Arga, Elorz y Sadar.

Características litológicas : Está formado por un conjunto de bloques, gravas, arenas, limos y arcillas.

Características geotécnicas : Como se ha descrito anteriormente, se han agrupado dentro de esta zona todos los depósitos cuaternarios, denominándose 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/cm³

% pasa tamiz N ° 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/cm³

Humedad óptima : 9,2 % - 20,2 %

Indice CBR : 15 - 25

R. Compresión simple : 0,34 - 4,52 Kp/cm²

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/cm² 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, fácilmente 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.

6.- BIBLIOGRAFIA

ADAN DE YARZA, R.

1918

Descripción físico-geológica del País Vasco-Navarro. Geografía General del País Vasco Navarro.

t.1., pp. 1-86. 49 fig., 1 mapa geol. 1:800.000, Barcelona

ADARO

1988

Investigación y evaluación de mineral en el área de Javier-Los Pintano.

Informe para Potasas de Subiza, S.A.

ARENAS, C.; PARDO, G.; VILLENA, V.

1990

Las unidades tectosedimentarias del margen septentrional de la Depresión del Ebro en el sector Luesia-Riglos

Geogaceta nº 8

pp. 92-94

AZANZA, B.; CANUDO, J.L.; CUENCA, G.

1988

Nuevos datos bioestratigráficos del Terciario continental de la Cuenca del Ebro

II Congreso Geológico de España, Granada, vol. 1. pp. 261-264.

BARNOLAS, A.; SAMSO, J.M.; TEIXELL, S.A.; TOSQUELLA, J. Y ZAMORANO, M.

1991

Evolución sedimentaria entre la cuenca de Graus-Tremp y la cuenca de Jaca-Pamplona.

I Congreso Grupo Español del Terciario, Libro-Guia Excursión n 1, Vic, 1991, 123 pp.

BARNOLAS, A. Y TEIXELL, A.

1992

La cuenca surpirenaica de Jaca como ejemplo de cuenca de 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 surpirenaica

Estudios geológicos nº 41 391-404.

CANUDO, J.L.; MOLINA, E.; RIVELINE, J.; SERRA-KIEL, J. y SUCUNZA, M.

1988

Les événements biostratigraphiques de la zone prépyrénéenne d'Aragon (Espagne), de l'Eocène
moyen à l'Oligocène inférieur.

Rev. de Micropl., 31.

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 supérieur et la base de l'Oligocene en Europe occidentale

Memoire du BRGM, Colloque sur l'Eocene.

CIRY, R.

1951

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

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

CIRY, R. y MENDIZABAL, J.

1949

Contribution á l'etude du Cenomanien et du Turonien des confins septentrionaux des provinces de Burgos, d'Alava et Navarra.

Ann. Hebert et Hang (livre Jub. Charles Jacob). T.7, pp. 61-79

COLOM, G.

1945

Estudio preliminar de las microfaunas de foraminiferos de las margas eocenas y 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 estratigrafia del Terciario continental de Navara 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 (Tubidi tas de Yesa) of Sangüesa

6th Europ Meeting of Sedimentology IAS-Lleida 84-87.

DEL VALLE, A.

1932

Descubrimiento de la cuenca potásica de Navarra

Notas y comunicaciones del IGME, vol. IV.

DEL VALLE, J.

1993

Acuíferos de la Cuenca de Pamplona

Inédito

DEL VALLE, J. y PUIGDEFABREGAS, C.

1978

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

IGME

DELFAUD, J.

1969

Essais sur la géologie dynamique du domaine aquitano-pyrénéen durant le Jurassique et le Crétacé supérieur.

Thèse Fac. Sc. Bordeaux, 5 vol., 820 pp.

DONEZAR, M.; ILLARREGUI, M.; DEL VAL, J. y DEL VALLE DE LERSUNDI, J.

1990

Mapas de erosión actual y erosión potencial en Navarra, a escala 1:200.000.

Inst. Suelo y Conc. Parc. de Navarra y I.T.G.E.

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'âge céno-manien des calcaires à Caprines des Pyrénées basques occidentales.

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

FEUILLEE, P.

1965

Contribution à la connaissance du Crétacé moyen du Nord et de l'Oueste de la Navarre espagnole.

Actes 4º Congrès Intern. Etudes Pyrénéennes, 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 superieur 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-sedimentaire et megaturbidites du bassin turbiditique eocene sud-pyrénéen.

These 3 éme cicle, USTL, Momtpellier, 170 p.

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

1983

Megaturbidites carbonatées du bassin turbiditique d l'Eocene inferieur et moyen sud-pyrénéen.

Bull. Soc. Géol. France, (6), 25 pp.

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

1987

Megaturbidites : A Depositional Model From the Eocene of the SW-Pyrenean Foreland Basin
Geo-Marine. Letters 7 pp. 91-101.

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

1985

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

Tectonics 4 pp. 661-68.

LAMARE, P.

1927

Sur la structure des Pyrénées navarraïsses.

C.R. XIV^o Congr. Geol. Intern., T. 2, p. 693-698, Madrid.

LAMARE, P.

1931

Sur l'age des couches á facies flysch de la zone sudpyrénéenne en 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 (Abstract.)

LEON, L.

1972

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

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

LEON, L.; PUIGDEFABREGAS, C.; RAMIREZ DEL POZO, J.

1971

Variaciones sedimentarias durante el Eoceno medio en la Sierra de Andía (Navarra)

Acta Geol. Hispanica T. 4, vol. 2, pp. 36-41.

LEON, L.

1985

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

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. deposic. 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 Monegros⁹ 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.l.

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.

94º 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 microfácies 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 Río Osca (Prov. de Huesca).

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

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

1987

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

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

REMACHA, I. y PICART, J.

1991

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

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

RIBA, O. y PEREZ MATEOS, J.

1962

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

II Reunión del Grupo Español de Sedimentología. Sevilla.

RIOS 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 ORTIZ 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 geoquimic 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 sistem

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 Annual Convention, San Francisco. AAPG. Bul.

VAN DE VELDE, E.

1967

Geology of the Spanish Pyrenees, North of Canfranc, Huesca province.
Est. Geol.