



**Gobierno de Navarra**

Departamento de Obras Públicas,  
Transportes y Comunicaciones

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE NAVARRA

ESCALA 1:25.000

**HOJA 171-IV**

**LOS ARCOS**

MEMORIA

---



## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2. ESTRATIGRAFIA</b> .....	<b>3</b>
2.1. Terciario.....	4
2.1.1. Ciclo II. Unidad de mues-Tafalla (Sueviense).....	4
2.1.1.1. Arcillas y lutitas rojas con intercalaciones de areniscas y yesos (309). Sueviense. ....	5
2.1.2. Ciclo III. Unidad de mendigorria (Sueviense-Arverniense) .....	5
2.1.2.1. Arcillas y lutitas rojas con intercalaciones de areniscas y yesos (324). Sueviense-Arverniense.....	7
2.1.2.2. Yesos y margas yesíferas (354). Arverniense. ....	8
2.1.2.3. Margas grises con intercalaciones de yesos, areniscas.....	9
2.1.2.4. Areniscas y fangos ocres (322). Sueviense-Arverniense. ....	9
2.1.3. Ciclo IV. Unidad de gallipienzo-leoz (Arverniense-Ageniense).....	10
2.1.3.1. Arcillas, margas y niveles de areniscas (359). Arverniense. Ageniense. ....	10
2.1.4. Ciclos v y vi. Unidad de artajona-olite?. Sierra de ujué? (Ageniense-Aragoniense-Vallesiense) .....	12
2.1.4.1. Arcillas rojas, limolitas y areniscas (381). Ageniense-aragoniense .....	12
2.1.4.2. Areniscas ocres en paleocanales y arcillas (382). Ageniense-Aragoniense?-Aragoniense-Vallesiense? .....	13
2.2. Cuaternario .....	15
2.2.1. Pleistoceno .....	15
2.2.1.1. Cantos en matriz limo-arcillosa. Glacis y glacis degradados (519). Pleistoceno .....	15
2.2.1.2. Gravas, arenas y arcillas. Terrazas (508). Pleistoceno .....	15
2.2.2. Holoceno.....	15
2.2.2.1. Limos y arenas. Gravas. Fondos aluviales (527). Holoceno .....	15
2.2.2.2. Limos y arenas. Cantos. Glacis subactuales (534). Depósitos aluvial-coluvial (537). Holoceno 16	
2.2.2.3. Arcillas y arenas. Cantos de arenisca y yeso. Coluviones (543). Laderas. Holoceno. .16	
<b>3. TECTONICA</b> .....	<b>17</b>
3.1. TECTONICA REGIONAL.....	17
3.2. DESCRIPCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS .....	19
3.2.1. Anticlinal y sinclinal de torres del río.....	19
3.2.2. Fracturas .....	20
<b>4. GEOMORFOLOGÍA</b> .....	<b>21</b>

4.1.	SITUACIÓN Y DESCRIPCIÓN FISIAGRÁFICA .....	21
4.2.	ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO .....	22
4.2.1.	Estudio morfoestructural .....	22
4.2.2.	Estudio del modelado .....	22
4.2.2.1.	Formas de ladera .....	22
4.2.2.2.	Formas fluviales .....	23
4.2.2.3.	Formas poligénicas .....	23
4.2.2.4.	Formas antrópicas .....	24
4.2.3.	Formaciones superficiales.....	24
4.2.3.1.	Arcillas y arenas. Cantos de arenisca y yeso. Coluviones (a). Laderas. Holoceno .....	24
4.2.3.2.	Limos y arenas. Cantos. Glacis subactuales y depositos aluvial-coluvial (f). Poligénico-holoceno	28
4.2.3.3.	Materiales heterogéneos diversos. Vertederos (g). Antrópico. Actual.....	28
4.3.	EVOLUCIÓN DINAMICA .....	28
4.4.	MORFOLOGÍA ACTUAL-SUBACTUAL Y TENDENCIAS FUTURAS .....	29
<b>5.</b>	<b>HISTORIA GEOLÓGICA.....</b>	<b>30</b>
5.1.	EVOLUCIÓN DURANTE EL MESOZOICO Y TERCIARIO INFERIOR.....	30
5.2.	EVOLUCIÓN DESDE EL EOCENO FINAL AL PLIOCENO .....	34
5.2.1.	Macrosecuencia del oligoceno inferior .....	35
5.2.2.	Macrosecuencia del oligoceno superior-mioceno superior .....	36
5.2.3.	Macrosecuencia del mioceno final-plioceno .....	36
<b>6.</b>	<b>GEOLOGIA ECONOMICA .....</b>	<b>38</b>
6.1.	RECURSOS MINERALES. CANTERAS.....	38
6.2.	HIDROGEOLOGÍA .....	38
6.2.1.	Introducción .....	38
6.2.2.	Unidad hidrogeológica sur .....	39
6.2.3.	Unidad de loquiz .....	40
6.3.	GEOTECNIA.....	44
6.3.1.	Introducción .....	44
6.3.2.	Zonación geotécnica .....	44
6.3.3.	Descripción de las unidades.....	45
<b>7.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>49</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

La hoja topográfica a escala 1:25.000 de Los Arcos (171-IV), se halla comprendida entre los meridianos 2°11'10" y 2°21'10", y los paralelos 42°30'4" y 42°35'4", ocupando una posición centrooccidental dentro de la Comunidad Foral de Navarra.

La mayor parte de la hoja consta de un relieve suavemente ondulado, incluso llano, con alturas que se atenúan progresivamente hacia el Sur. Las alturas oscilan entre algo más de 700 metros y unos 380 metros.

El curso fluvial principal es el río Odrón, que discurre por el sector suroriental de la hoja.

El núcleo de población más importante es Los Arcos, existiendo otras localidades de menor densidad: Bargota, Armañanzas, Sansol, Torres del Río, El Busto y Aras, encontrándose esta última a caballo con la vecina hoja de Viana.

Geológicamente, la hoja se encuentra ocupada en su totalidad por sedimentos del terciario continental: Oligoceno y Mioceno, con litologías de areniscas, yesos y fangos limolíticos o arcillosos, principalmente, con un notable recubrimiento de materiales cuaternarios.

A nivel estructural destacan dos ejes de plegamiento; el anticlinal y sinclinal de Torres del Río. En la parte septentrional de la hoja se observan algunas fracturas de corto recorrido.

En los análisis de muestras de arcillas realizados, se ha observado que para el conjunto de la hoja 1:50.000 de Viana, en la fracción arcilla predomina la illita, con contenidos rondando el 50% de esta fracción. La caolinita está presente en todas las muestras, con más del 20% de este mineral. Estas muestras de Viana presentan frecuentemente una cristalinalidad muy mala, sobre todo en los minerales de 14 A, en los que es difícil distinguir si se trata de vermiculitas o de esmectitas, siendo muy frecuentes los interestratificados de illita con esmectita. Por otra parte, la vermiculita presenta un cierto grado de hinchamiento, por lo que debe de tratarse de una vermiculita de baja carga, lo que justifica su comportamiento en cierto modo similar al de las esmectitas.

Por otra parte, un resumen de la mineralogía total se muestra en la descripción de las unidades cartográficas analizadas.

## 2. ESTRATIGRAFIA

Como se ha mencionado en el capítulo de Introducción, en la presente hoja de Los Arcos, se hallan representados parte de los materiales oligocenos y miocenos que colmatan el borde Norte de la Depresión del Ebro.

Teniendo en cuenta la distribución regional que presentan los cuerpos sedimentarios, puede observarse la interdigitación de los distintos ambientes deposicionales, desde abanico aluvial hasta términos palustre-lacustres.

Esta interdigitación permite, asimismo, comprobar la ordenación cíclica, en la vertical, de los sedimentos en este sector. Cada uno de estos ciclos, que están separados unos de otros por discontinuidades sedimentarias, está constituido regionalmente por sedimentos aluviales, más o menos proximales en la base, y por sedimentos lacustre-palustres a techo.

El límite entre cada ciclo es neto y brusco y, sobre todo en las zonas más proximales, viene representado por discordancias, mientras que el tránsito de unos sedimentos a los superiores, dentro del propio ciclo, se produce de forma gradual.

El estudio de esta ciclicidad ha permitido distinguir en esta hoja diferentes materiales correspondientes a cuatro unidades de carácter genético-sedimentario. Estas unidades corresponden a secuencias deposicionales (MITCHUM, 1977), es decir, a "unidades estratigráficas", relativamente concordantes, compuestas por una sucesión de estratos, genéticamente relacionados, y cuyos límites a techo y muro son discordancias o relativas conformidades que, habitualmente no son observables a nivel de afloramiento, sino deducidas por su comportamiento regional.

Utilizando este criterio, se han reconocido, regionalmente, siete unidades, que abarcan una edad comprendida entre el Sueviense (Sannoisiense) y el Plioceno. De muro a techo se han denominado:

- Unidad de Añorbe-Puentelarreina

- Unidad de Mués-Tafalla

- Unidad de Mendigorriá
  
- Unidad de Gallipienzo-Leoz
  
- Unidad de Artajona-Olite
  
- Unidad de Sierra de Ujue
  
- Unidad de Oco

## **2.1. Terciario**

En la hoja de Los Arcos se localizan litofacies correspondientes a los ciclos 2 a 5, con la posibilidad de que el techo de la sedimentación miocena, corresponda ya a la secuencia 6.

### **2.1.1. Ciclo II. Unidad de mues-Tafalla (Sueviense).**

Los materiales del Ciclo II en la hoja de Los Arcos afloran solamente en una reducida banda situada en el margen nororiental de la misma.

Su relación con los sedimentos del Ciclo III, situados inmediatamente por encima, se interpreta como debida a discordancia (discordancia de Barbarín, RIBA 1976 y 1992), que evoluciona rápidamente a paraconformidad en zonas más internas de la cuenca.

En la hoja de Los Arcos este Ciclo está representado solo por una litofacies, correspondiente al techo de la Unidad, formada por arcillas y lutitas rojas con intercalaciones de arenicas y yesos de origen fluvial distal y fluviolacustre. En la literatura geológica se integran en la "Facies de Espronceda".

Un detallado estudio sobre estas litofacies y los procesos que las originaron, fué realizado por SOLE (1972), tanto en esta hoja como en la vecina de Allo.



### **2.1.1.1. Arcillas y lutitas rojas con intercalaciones de areniscas y yesos (309). Sueviense.**

Como se ha indicado corresponde a la parte alta de la Unidad "Areniscas de Mués" (Facies de Espronceda).

La potencia total supera los 150 m., si bien en el ámbito de la hoja de Los Arcos solamente están representados como máximo los últimos 50-100 m. Se trata de arcillas y limolitas de tonos rojizos dominantes, con intercalaciones de areniscas de grano fino, con escaso espesor pero gran extensión lateral. Localmente se reconocen niveles yesíferos, compuestos por yesos y arcillas yesíferas blanquecinas, de potencia centimétrica.

Se interpretan como depósitos correspondientes a zonas distales y de llanura lutítica de abanicos aluviales con procedencia S y SSO (SOLE 1972). El predominio lutítico sería el resultado de inundaciones generalizadas originadas por fenómenos de arroyada en manto (sheet floods), aunque coexistiendo con esporádicos flujos canalizados y presencia de charcas efímeras con sedimentación evaporítica.

La edad de la formación se ha atribuido por posición estratigráfica al no existir datos paleontológicos fiables. Únicamente SOLE (1972) cita la presencia de restos de un Rhinoceros indeterminado, cuya edad puede extenderse desde el Sueviense hasta el Ageniense.

### **2.1.2. Ciclo III. Unidad de mendigorria (Sueviense-Arverniense)**

Los materiales del Ciclo III en la hoja de Los Arcos constituyen casi la totalidad de la mitad oriental y margen septentrional de la misma. Se sitúan en aparente concordancia con los materiales de la Unidad anterior, si bien, como ya se ha indicado, en zonas próximas al Noreste (hoja de Arróniz) lo hacen mediante discordancia (discordancia de Barbarín).

Esta circunstancia que ya había sido observada con anterioridad por diferentes autores, ha provocado una disparidad de criterios en el sentido de interpretar este contacto como discordancia (RIBA, op. cit) y HERNANDEZ et al (1984) en la hoja MAGNA de Allo, que atribuyen una justificación tectónica a este contacto.

De la cartografía realizada en precedentes estudios (hoja 1/50.000 de Allo) se han obtenido datos que, posiblemente, contribuyan a compaginar ambas interpretaciones.

Efectivamente, en la zona de Barbarín y hacia el Norte, se ha reconocido la existencia de un contacto discordante entre materiales correspondientes a esta Unidad y los inferiores, si bien también se observa la presencia de una fractura que provoca desplazamientos en los materiales de la Unidad inferior. Al Este de esta fractura los materiales del Ciclo Mendigorria aparecen en aparente concordancia con los infrayacentes.

En nuestra opinión, la fractura actualmente observable corresponde a la reactivación de otra anterior que debió condicionar la ubicación de los sedimentos de la Unidad Mendigorria que, en esta zona, tendrían una zona de aporte local relacionada con actividad del diapiro de Estella. Estos sedimentos "canalizados" y limitados por el accidente, llegarían a rebasarlo provocando la presencia de la discordancia.

En zonas más alejadas del diapiro la falla se iría atenuando, con lo que los materiales de la Unidad Mendigorria irían perdiendo paulatinamente su carácter discordante para situarse en paraconformidad sobre los sedimentos de la Unidad inferior, apareciendo, además, en esta zona términos más bajos de la Unidad Mendigorria que, en la parte septentrional no habrían llegado a rebasar el límite creado por la falla.

En la hoja de Los Arcos, en los materiales correspondientes a esta Unidad, se han reconocido distintas litofacies, desde las correspondientes a zonas medias de abanico aluvial (paleocanales arenosos y fangos), distales y de llanura lutítica (fangos con intercalaciones de niveles arenosos), transicionales a palustre-lacustre (arcillas y margas con niveles arenosos, calizos y yesíferos y lacustre evaporítico (yesos y arcillas).

Todos estos materiales se encuentran afectados por estructuras de amplio radio, de dirección general Oeste-Este. Presentan buzamientos que raramente superan los 20° en la mayor parte de la hoja. Solamente en la zona más septentrional la serie alcanza inclinaciones notables (entre 30 y 65°). El conjunto de la Unidad supera los 1200 m. de espesor.

Su atribución cronológica se ha realizado por posición estratigráfica.

### **2.1.2.1. Arcillas y lutitas rojas con intercalaciones de areniscas y yesos (324). Sueviense-Arverniense**

Se trata de una unidad litológica que alcanza una gran extensión superficial sobre todo en la zona correspondiente al borde nororiental de la hoja. Se encuentra en cambio lateral con la unidad anterior, así como con las unidades 19 y 20 que se describirán a continuación.

Su base no es observable, por lo que su espesor es difícilmente cuantificable. Sin embargo, por su relación con la unidad anterior y las que se describirán a continuación, puede estimarse que supere los 500 m.

Está formada por fangos de tonos predominantemente rojos, que presentan intercalaciones de niveles de areniscas, habitualmente con morfología tabular, pero que pueden presentar geometría de canales que, en el primer caso, alcanzan dimensiones hectométricas, y en el caso de los paleocanales es, como máximo, métrica.

En el conjunto de la unidad se puede observar una evolución, en dirección E-O, desde facies más proximales, al E, a más distales al O. Esta característica es especialmente evidente al techo de la unidad, donde se pasa de facies de fangos con tramos de nódulos de yeso dispersos intercalados en la serie, al E, a margas y arcillas con pasadas de tramos de calizas y yesos al O indicando, por tanto, una polaridad en dirección desde el E hacia el O.

Como se ha indicado, predominan en la serie los fangos limolítico-arcillosos de tonos rojizos, linealmente ocres, presentando intercalaciones de areniscas de grano fino y medio, cuya potencia se sitúa habitualmente en el entorno de los 30-50 cms., con geometría de aspecto tabular y ripples como estructura sedimentaria interna más destacada. En la zona más septentrional y oriental de la unidad se intercalan algunos paleocanales arenosos de escasa extensión, con laminación cruzada de bajo ángulo.

Estas características sedimentológicas indican, para la unidad, la presencia de zonas distales de abanico y de llanuras lutíticas como resultado de inundaciones más o menos generalizadas, originadas por procesos de aroyada en manto (sheet-floods), aunque coexistiendo con esporádicos flujos canalizados.

Las muestras de arcillas analizadas en esta unidad han dado los siguientes resultados:

MINERALOGÍA EN FRACCIÓN TOTAL: (Muestra 6)

Filosilicatos34

Cuarzo6

Feldespatos2 (P)

Calcita53

Dolomita5

**2.1.2.2. Yesos y margas yesíferas (354). Arverniense.**

Aflora en la zona oriental y meridional de la hoja, y en menor medida en la parte noroccidental, correspondiendo a cambio lateral de las unidades anteriores y de la que se describirá a continuación, representando la culminación del Ciclo en facies evaporíticas. En la literatura geológica tradicional corresponde a los "Yesos de Los Arcos" (RIBA,1964).

En la sección de Sorlada-Los Arcos se han medido más de 300 m. de yesos, predominantemente laminados, blancos y grises, y arcillas y margas yesíferas grises, con intercalaciones de capas centimétricas de areniscas, calizas y dolomías. En la parte más alta de este tramo, son frecuentes los niveles de yeso alabastrino blanco.

Esta unidad, que se extiende de forma prácticamente continua por toda la franja meridional de la Ribera de Navarra, desde las Bardenas hasta las inmediaciones de la Sierra de Codes, puede considerarse como un buen nivel guía para la correlación de las series del Terciario continental. Este hecho ya fué destacado por RIBA (1964), y CRUSAFONT et al (1966) quienes consideraron, además, que se trataba del nivel de tránsito entre el Oligoceno y el Mioceno.

Sedimentológicamente, estos materiales representan el momento de máxima expansión lacustre del Terciario continental de Navarra.

**2.1.2.3. Margas grises con intercalaciones de yesos, areniscas****Y CALIZAS (350). ARVERNIENSE**

Sobre la unidad descrita en el apartado anterior (Yesos de Los Arcos) se sitúa un conjunto predominantemente arcilloso y margoso, de tonos grises con algún tramo de colores rojizos, y que contiene intercalaciones de niveles de areniscas, calizas y yesos.

En la sección de Sorlada-Los Arcos se han medido cerca de 100 m. de este tramo. En este área está constituido por margas arcillosas grises en la base con niveles de yeso y capas centimétricas de calizas limolíticas. Por encima, aparecen arcillas y limos grises con capas intercaladas de areniscas de grano fino con ripples.

Más al Oeste, y al N de la carretera N-111 son arcillas ocre y grises con areniscas en capas de 50 a 100 cm y yesos.

En la pista desde el km 4 de la carretera NA-112 hacia la localidad de El Busto se observan en la base arcillas de color rojizo sobre las que yacen arcillas ocre y yesos laminares o bien areniscas en capas de 20 a 50 cm. con intercalaciones de arcillas ocre y asalmonadas.

**2.1.2.4. Areniscas y fangos ocre (322). Sueviense-Arverniense.**

Aflora exclusivamente en la zona septentrional de la hoja. Está constituida principalmente por areniscas de tonos ocre y rojizos, con intercalaciones de fangos limolíticos y arcillosos de tonos dominantes también ocre y rojos. Se sitúa en aparente concordancia con los materiales de la unidad 13 y en cambio lateral con la unidad 17 anteriormente descrita.

Las areniscas aparecen en capas frecuentemente planoparalelas, con extensión lateral de orden métrico, aunque localmente se reconocen zonas canalizadas. Las estructuras sedimentarias no son muy abundantes, habiéndose reconocido laminaciones debidas a ripples. En las zonas más canalizadas se han observado estructuras de mayor energía, como estratificaciones cruzadas de surco y planar.

Estas características sedimentológicas, unido a la relación de esta facies con otras próximas, tanto hacia el Norte, como hacia el Sur, permiten interpretarlas como correspondientes a zonas medias y mediodistales de abanico aluvial de procedencia septentrional. Coexisten flujos más o menos canalizados, con depósitos de llanura lútica que serían el resultado de inundaciones generalizadas tipo sheet-floods.

En el ámbito de la hoja se observa una evolución desde las zonas más orientales de la unidad, en la que existe predominio de los materiales arenosos, hacia las más occidentales, en las que va aumentando el porcentaje de fangos, permitiendo la diferenciación cartográfica de dos niveles más arenosos y uno, intermedio, más fangoso.

El espesor total de la unidad se sitúa en torno a los 100-150 m., y su atribución cronológica se ha realizado por posición estratigráfica ante la ausencia de restos fósiles que permitan una datación precisa.

### **2.1.3.Ciclo IV. Unidad de gallipienzo-leoz (Arverniense-Ageniense)**

Los materiales atribuidos al Ciclo IV en la hoja de Los Arcos, afloran fundamentalmente en el cuadrante NE, en el núcleo del sinclinal de Los Arcos, y en menor medida en la margen derecha del río Linares. Se trata de una única unidad constituida por arcillas ocres o rojizas y margas con niveles de areniscas.

Los materiales de este ciclo se sitúan discordantemente sobre los del anterior en las zonas más proximales del aporte. En el ámbito de la hoja de Los Arcos se disponen en aparente concordancia (paraconformidad).

#### **2.1.3.1. Arcillas, margas y niveles de areniscas (359). Arverniense. Ageniense.**

Esta unidad se sitúa sobre materiales del ciclo de Mendigorriá (unidad 21), siendo las condiciones de afloramiento muy deficientes. Se trata de unos 50 m. de fangos de tonos ocres y rojizos con intercalaciones centimétricas de areniscas.

En los kms. 0,3 y 2 de la NA-112 se observan hasta 15 metros de fangos rojos y ocreos con capas de arenisca, que aumentan hacia techo. En la margen derecha del río Linares dominan los fangos rojos e intercalaciones centimétricas de arenisca.

Se interpretan como flujos acuosos canalizados, de procedencia septentrional que alternan con coladas de fangos esporádicas, todo ello en facies distales.

Las muestras de arcillas analizadas en esta unidad han dado los siguientes resultados:

MINERALOGÍA EN FRACCIÓN TOTAL: (Muestra 2)

Filosilicatos32

Cuarzo7

Feldespatos2 (P), 2 (K)

Calcita48

Dolomita9

MINERALOGÍA EN FRACCIÓN TOTAL: (Muestra 3)

Filosilicatos39

Cuarzo14

Feldespatos8 (P), 3 (K)

Calcita32

Dolomita4

#### **2.1.4. Ciclos v y vi. Unidad de artajona-olite?. Sierra de ujué? (Ageniense-Aragoniense-Vallesiense)**

Sobre el ciclo anterior se dispone en discordancia una secuencia constituida por dos unidades: la inferior se asocia a un conjunto conocido en la literatura geológica como Facies de Nájera, constituido por arcillas y limolitas rojas y ocres, con intercalaciones de areniscas que se asociarían al Ciclo V o Artajona-Olite; la superior o Facies de Haro, conformada por una alternancia de areniscas, arcillas y limos se encuentra por lo general en concordancia con la anterior, si bien al Sur de la localidad de Bargota se encuentra localmente discordante, por lo que su asignación al Ciclo Artajona-Olite es dudosa, pudiendo pertenecer ya al Sierra de Ujué, por lo que se ha estimado oportuno agrupar ambas secuencias.

##### **2.1.4.1. Arcillas rojas, limolitas y areniscas (381). Ageniense-arago-niense**

Esta unidad se localiza ampliamente en el cuadrante suroccidental de la hoja, donde se apoya siempre en discordancia sobre los Yesos de Los Arcos o sobre las arcillas con margas y areniscas de la Unidad Gallipienzo-Leoz. Más hacia el Norte siempre lo hace sobre esta última unidad.

Por lo general consta de limos y arcillas rojas, ocres y localmente amarillentos, que incluyen capas decimétricas y más raramente métricas de areniscas de grano fino y medio.

Suelen presentar estructuras sedimentarias de tipo laminación cruzada planar y en surco, con bioturbación baja a moderada.

Desde el km. 73,500 de la carretera N-111 hacia el Sur (Camino de Las Viñas) y a ambos márgenes del río Cornava llegan a aflorar casi 100 metros de esta unidad, con facies litológicas constituidas por arcillas rojas muy dominantes sobre areniscas que se presentan en niveles de 5 a 30 cm o en capas de hasta 1 m de espesor, que localmente muestran ripples de corriente. Excepcionalmente se observa algún nivelillo yesífero.



Corresponden a zonas medias-distales de abanicos aluviales, con desarrollo de canales fluviales anastomosados.

Se le asigna una edad Ageniense-Aragoniense.

MINERALOGÍA EN FRACCIÓN TOTAL: (Muestra 13)

Filosilicatos40

Cuarzo16

Feldspatos5 (P), 4 (K)

Calcita29

Dolomita6

#### **2.1.4.2. Areniscas ocreas en paleocanales y arcillas (382). Ageniense-Aragoniense?-Aragoniense-Vallesiense?**

Esta unidad, que aflora extensamente en el cuadrante noroccidental, consta de una alternancia de areniscas de grano medio y fino, en paleocanales de poca extensión lateral, y lutitas de tonos ocreos y amarillentos, que también pueden presentarse con colores rojo-asalmonados.

En los alrededores de la localidad de Aras llega a superar los 300 metros de potencia, adquiriendo una estratificación subhorizontal o suavemente buzante hacia el Sur.

Por lo general en las areniscas dominan los fragmentos de rocas carbonatadas, cuarzo y en menor medida feldespato potásico. Se encuentran rellenando paleocanales, con estratificación cruzada, base erosiva y ripples hacia techo.

En el Camino de Bargota (desde Aras a dicha localidad) en algunos taludes se observa siempre una base de arcillas ocreas sobre las que yacen areniscas en capas de espesor variable, de 5 a 100 cm.

Se interpretan como depósitos de llanura deltaica donde se desarrollan canales fluviales de carácter anastomosado. Su edad es incierta, debido a las consideraciones mencionadas en la introducción de este ciclo, bien Ageniense-Aragoniense, bien Aragoniense-Vallesiense.

Las muestras de arcillas analizadas han dado los siguientes resultados:

MINERALOGÍA EN FRACCIÓN TOTAL: (Muestra 4)

Filosilicatos55

Cuarzo13

Feldespatos6 (P)

Calcita21

Dolomita5

MINERALOGÍA EN FRACCIÓN TOTAL: (Muestra 5)

Filosilicatos38

Cuarzo7

Feldespatos

Calcita52

Dolomita3

MINERALOGÍA EN FRACCIÓN TOTAL: (Muestra 14)

Filosilicatos35

Cuarzo8

Feldespatos-

Calcita<sup>57</sup>

Dolomita-

## 2.2. CUATERNARIO

### 2.2.1. Pleistoceno

#### 2.2.1.1. Cantos en matriz limo-arcillosa. Glacis y glacis degradados (519). Pleistoceno

Se trata de formaciones superficiales muy desmanteladas, compuestas por limos con algo de arena, gravas y cantos muy subordinados, de naturaleza calcárea, yesífera o de arenisca. El espesor oscila entre 0,5 y 2 m. Se atribuyen al Pleistoceno.

#### 2.2.1.2. Gravas, arenas y arcillas. Terrazas (508). Pleistoceno

Localizadas en los ríos Odrón, Linares y Cornava. Constan de limo-arcillas dominantes, con algo de fracción arenosa y gravas. Los clastos son de arenisca, caliza y yeso.

Los espesores de estas formaciones oscilan entre 1 y 7 metros.

Se incluyen en el Pleistoceno y Holoceno.

### 2.2.2. Holoceno

#### 2.2.2.1. Limos y arenas. Gravas. Fondos aluviales (527). Holoceno

Son rellenos fluviales de composición limo-arenosa con algunas gravas.

La potencia varía entre menos de 1 m y unos 5 m.

Se atribuyen al Holoceno antiguo y actual.

**2.2.2.2. Limos y arenas. Cantos. Glacis subactuales (534).  
Depósitos aluvial-coluvial (537). Holoceno**

Estas formaciones de génesis mixta o poligénica constan de limos con arenas subordinadas y cantos, de yeso o arenisca, con espesores entre 0,50 y 1 m.

Son depósitos recientes con posible funcionalidad (glacis subactuales).

**2.2.2.3. Arcillas y arenas. Cantos de arenisca y yeso. Coluviones (543). Laderas. Holoceno.**

Estos depósitos están constituidos por limos y arenas con cantos en proporciones menores del 5%.

Su potencia, en todos los casos, es inferior a 1,5 metros.

Son materiales subactuales.

### 3. TECTONICA

#### 3.1. TECTONICA REGIONAL

Desde el punto de vista estructural la zona estudiada está al Sur de la zona externa meridional de la Cadena Pirenaica (región Vasco-Cantábrica), correspondiendo al borde septentrional de la Cuenca del Ebro.

El conjunto de los Pirineos se ha interpretado recientemente mediante un modelo estructural de piel fina ("thin skinned tectonics"), (WILLIAMS y FISCHER, 1984). En este modelo la Cadena Pirenaica se interpreta como un cinturón de cabalgamientos de doble vergencia generado por la colisión de Iberia y Europa. La estructura alpina de los Pirineos está condicionada básicamente por un cabalgamiento hacia el Sur sobre una falla maestra basal que buza unos 6° hacia el Norte. El extremo frontal del sector meridional pirenaico es en general un cabalgamiento ciego que queda cubierto por los depósitos oligo-miocenos de la Cuenca del Ebro, y que suele manifestarse mediante un amplio anticlinal. Este cabalgamiento frontal puede ser una rampa emergente hacia el Este y Oeste del sector estudiado, en las Sierras Exteriores y la Sierra de Cantabria. Hacia el interior (Norte) se desarrolla a nivel de mesozoico un abanico imbricado de cabalgamientos, con un sistema de cabalgamientos ciegos o que cortan sedimentos terciarios, que enraizan a nivel del Trias. Las cuencas terciarias existentes en la vertiente meridional de la Cadena son interpretables como cuencas de antepais (foreland basins) inducidas por el engrosamiento tectónico (PORTERO y ALVARO, 1984) que evolucionan de acuerdo con los eventos estructurales del cinturón de cabalgamientos pirenaico.

La mayor parte del territorio de la zona de estudio está constituido por depósitos clásticos continentales de edad oligomioceno. La sedimentación muestra evidencias claras de su carácter sintectónico.

-Gran espesor (mayor de 7 kilómetros), que indica una subsidencia continuada e importante. La causa de la subsidencia es la flexión de la litosfera inducida por el engrosamiento tectónico.

-Migración de facies y depocentros hacia el Sur, a lo largo del tiempo, condicionado por la migración de los frentes de cabalgamiento.

-Existencia de discordancias progresivas condicionadas por pliegues sinsedimentarios (growth-folds), posiblemente en relación con cabalgamientos ciegos en el sustrato mesozoico.

-Disposiciones sedimentarias en on-lap muy evidentes en la unidad tectosedimentaria Arverniense-Ageniense.

Los ciclos sedimentarios definidos en las hojas estudiadas están en relación clara con la actividad de los cabalgamientos. Los pulsos de subsidencia y las discontinuidades estratigráficas mayores están asociadas a la discontinuidad de la actividad tectónica: las discontinuidades estratigráficas marcan las principales etapas de actuación o aceleración de los cabalgamientos. La discontinuidad Luteciense (fase Pirenaica) marca el comienzo de la estructuración, en este periodo, de la Cadena, generándose los cabalgamientos de las zonas internas. Las discontinuidades oligocenas (fases Sávica y Castellana) están en relación con la progresión de los cabalgamientos hacia las zonas externas (Sur) durante esta época. El despegue de la cobertera debió alcanzar la actual zona frontal surpirenaica durante el Oligoceno superior. Sin embargo, la actividad tectónica persistió hasta el Mioceno inferior (fase Neocastellana).

Es destacable la correlación existente entre las principales etapas de cabalgamiento en los Pirineos y las discontinuidades que originan en los depósitos sintectónicos de sus cuencas de antepais, y las fases de deformación en las Cadenas Costero-Catalanas y Celtibérica, indicando que la génesis de las tres cadenas corresponde a un mismo acondicionamiento geotectónico de orden mayor.

La evolución de las cuencas terciarias de antepais en este sector de la vertiente surpirenaica se puede esquematizar de la siguiente manera:

Durante el Eoceno se inicia la deformación con la fase Pirenaica (Luteciense). Se forman cuencas con sedimentación marina, depósitos de tipo "flysch" (turbiditas) en las zonas situadas más al Norte de las hojas estudiadas.

La progresión del despegue basal hacia el Sur convierte a estos surcos en cuencas alóctonas "thrust sheet top basins", "piggy back basins", ORI y FRIEND (1984), que son transportadas hacia el Sur sobre el conjunto de la cobertera despegada.

Los afloramientos mesozoicos de Yesa, Sierra de Alaiz, etc. corresponden a la rampa frontal del "flysch" inicial de un conjunto de nuevos surcos cuyo relleno principal consiste en depósitos clásticos continentales oligocenos y miocenos, la "Molasa sintectónica". Estos surcos también son deformados internamente de manera progresiva y transportados hacia el sur sobre el cabalgamiento basal. Este cabalgamiento finaliza en una rampa frontal que se manifiesta en superficie como pliegues anticlinales y cabalgamientos que afectan a los depósitos oligocenos.

Las estructuras de plegamiento del relleno sintectónico de la cuenca de antepais corresponden también, posiblemente, a cabalgamientos ciegos que afectan a la cobertera mesozoica subyacente. Localmente algunos cabalgamientos son característicos de growth-folds.

Delante (Sur) del cinturón de cabalgamientos y de sus cuencas de antepais activos (alóctonos) se desarrolla una fase de antepais pasiva, la Cuenca del Ebro, inducida por el engrosamiento tectónico de la Cadena y la acumulación de depósitos sinorogénicos en su borde. Esta cuenca no ha sido deformada, y su relleno, mediante la "Molasa posttectónica o autóctona", tiene lugar principalmente durante una fase de relleno pasivo en el Mioceno. Asimismo algunas depresiones condicionadas por las estructuras residuales de las cuencas alóctonas (sinclinal de Itacayo en la hoja de Tafalla, por ejemplo) completan su relleno final durante la etapa posttectónica.

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

### **3.2.1. Anticlinal y sinclinal de torres del río**

Al Sur de la localidad de Los Arcos, se localiza una estructura sinclinal, muy suave con buzamientos máximos del orden de los 10-15°, que afecta fundamentalmente a los yesos arvernienses.

En la esquina suroriental de la hoja se reconoce una leve flexura anticlinal relacionada con la anterior.

En ambos casos, la dirección es, como en el caso del anticlinal de Allo, sensiblemente ONO-ESE.

### **3.2.2.Fracturas**

En el borde septentrional de la hoja de Los Arcos se localizan algunas fallas de componente normal y corte recorrido, que afectan a los materiales del ciclo Mendigorria. Su dirección es ONO-ESE y O-E.



## **4. GEOMORFOLOGÍA**

### **4.1. SITUACIÓN Y DESCRIPCIÓN FISIOGRÁFICA**

La hoja de Los Arcos se sitúa en el sector suroccidental de la Comunidad Foral de Navarra.

Pertenece al margen septentrional de la Depresión del Ebro, en su enlace con las estribaciones de la Sierra de Cantabria, lo que se traduce en un relieve de pendiente generalizada hacia el Sur, atenuado en el mismo sentido.

Los conjuntos orográficos más representativos son el Cerro del Medio y la Portillada de Garañango, con cotas de hasta 767 metros, existiendo otros relieves de menor entidad que en ningún caso alcanzan dichas altimetrías: Arbanta (628 m), La Edesa (643 m), etc.

La arteria fluvial fundamental es el río Odrón, que discurre por el sector suroriental. Otros cauces reseñables son los ríos Linares, de San Pedro y Cornava.

Dentro del contexto de la hoja de estudio pueden definirse tres dominios o unidades geomorfológicas: Relieves en Cuestas, Relieves Tabulares y Valles Fluviales.

Los primeros se inscriben principalmente al Norte de la alineación constituida por las localidades de Armañanzas-Los Arcos, y en menor medida en el cuadrante suroccidental.

Los segundos se distribuyen ampliamente por la mitad Oeste de la hoja, alcanzando dimensiones deca o hectométricas.

Por último los Valles Fluviales se instalan por todo el territorio de estudio, configurando una red fluvial principal de marcado carácter submeridiano.

Los rasgos geomorfológicos más significativos se encuentran en clara relación con los dominios o unidades descritos: gran implantación de las formas estructurales (cuestas, plataformas, chevrons y líneas de capa dura, principalmente) resultantes de un notable vaciado erosivo de carácter fluvial (incisión lineal y acarcavamiento), así

como procesos de vertiente (deslizamientos rocosos), a los que se superponen los fenómenos de acumulación (rellenos de valles fluviales y depósitos de ladera o poligénicos).

Por último, existe una notable actividad antrópica, destacando la presencia de vertederos de residuos y explotaciones de canteras.

## **4.2. ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO**

### **4.2.1. Estudio morfoestructural**

La litología del sustrato geológico presente en el ámbito de la hoja (areniscas, yesos y arcillas), incide en que la acción de la erosión diferencial desarrolle sobre los cuerpos rocosos más competentes (areniscas y yesos), un modelado estructural en Cuestas y Plataformas (vease apartado 3.1), de salto variable, pero en general reducido, a las que se suman algunos cresteríos.

Son notables, además, las morfologías de tipo chevron sobre yesos, algunos cerros cónicos y líneas de capa dura (en yesos y areniscas).

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

A continuación se describen las formas del modelado, de origen exógeno, presentes en la hoja, agrupadas en función de su génesis.

#### **4.2.2.1. Formas de ladera**

Sobre algunas laderas de perfil cóncavo, se acumulan depósitos procedentes de los niveles superiores o coluviones, que alcanzan dimensiones relevantes en el tercio oriental de la hoja: El Sotillo-Portillo de Marquiel, Los Aguilares, Cabracota, Valdecasajo y alrededores de la localidad de Los Arcos, mientras que, en menor medida, se distribuyen por el resto de la hoja: Valdeherrero, Corral de Valderroble, El Juncal, La Zarza, etc.

De otra parte, se ha reflejado en la cartografía un caso (margen derecha del barranco de Valdesnatos) de vertiente con perfil rectilíneo en aparente equilibrio dinámico,

asociable al modelo de ladera regularizada o de RICHTER. Finalmente, no son infrecuentes los taludes con pendientes elevadas, sometidos a procesos de deslizamiento, destacando, entre otros, los situados en Alto de Cuenca, Paso de Aras, La Escala, La Lomiza, etc.

#### **4.2.2.2. Formas fluviales**

La red fluvial de menor orden presenta en sus cabeceras las características de cauces de incisión lineal, que aguas abajo se transforman en valles de fondo plano o morfologías de suave cuna o artesa. En algunos de ellos (ríos Linares al Sur de Sansol y Odrón aguas abajo de El Charcal) se observa una clara disimetría en los márgenes: escarpes en la derecha y suaves relieves en la izquierda, lo que puede ser debido a condicionantes litológicos tectónicos. Otras características del modelado fluvial son la presencia de procesos de acarreamiento (El Romeral), gargantas o cañones (Majalascabras) e interfluvios de tipo alomado.

Por último, el encajamiento de los diferentes valles fluviales (Odrón, Linares y Cornava) se refleja en algunas terrazas, cartografiándose dos niveles a + (10-15) y + (20-25) metros sobre los cauces actuales respectivos.

#### **4.2.2.3. Formas poligénicas**

Se han incluido un conjunto de glaciares pleistocenos, muy degradados, con la cobertura prácticamente desmantelada, lo que se traduce en espesores mínimos, localizados en La Plana y Fuenteamarga (cuadrante SO), así como al sur del SO relieves de El Calvario-Valdecumbres (al Oeste de la localidad de los Arcos).

Existen, por otra parte, una serie de zonas deprimidas rellenas por materiales mixtos fluvial-vertiente) o aluvial-coluvial: Las Celadillas (cuadrante suroccidental) y La Laguna (junto a la población de Sansol), entre otros.

También se ha cartografiado como derrame o glacis subactual un depósito situado al Sur de las Cuestas (Los Arcos), que alcanza su mayor extensión en la vecina hoja de Azcona (172-III).

#### **4.2.2.4. Formas antrópicas**

Destacan las canteras de extracción de gravas cuaternarias (terrazas del río Odrón), situadas en el paraje de Los Cascajos.

Por otra parte se han incluido algunos vertederos de escombros o residuos sólidos urbanos: Armañanzas, Labeabal y El Sotillo.

#### **4.2.3. Formaciones superficiales**

En el capítulo de Estratigrafía de este informe, se realiza una sucinta descripción de los depósitos cuaternarios cartografiados en la hoja de Los Arcos. A continuación se describen detalladamente en orden a su génesis y edad, expresándose entre paréntesis la letra asignada en el Mapa Geomorfológico.

Los depósitos cuaternarios cartografiados, se refieren a formaciones de ladera (coluviones), fluviales (fondos de valle y terrazas) y poligénicos (glacis pleistocenos o subactuales y aluviales-coluviales).

##### **4.2.3.1. Arcillas y arenas. Cantos de arenisca y yeso. Coluviones (a). Laderas. Holoceno**

Como se ha mencionado en el apartado 3.2.2.1., alcanzan su mayor desarrollo, en el tercio oriental de la hoja, no superando, en ningún caso, el metro y medio de espesor.

Si bien no existen por lo general buenos cortes de estos materiales, ha sido posible su caracterización en dos puntos.

□ Cabracota (km. 2, NA-112). 1 m de limos (60-70%) y arenas (30-35%) con menos del 5% de cantos de yeso subangulosos y angulosos.

□ Camino del Valle. 1-1,5 m de coluvión arcilloso con cantos angulosos y subangulosos de yeso, en proporciones menores del 1%.

Se consideran, en todos los casos, materiales subactuales.

### 3.2.3.2. GRAVAS, ARENAS Y ARCILLAS. TERRAZAS (b, c). FLUVIAL. PLEISTOCENO-HOLOCENO

Se localizan en los ríos Odrón, Linares y Cornava, diferenciándose dos niveles a + (8-15) y + (20-25) metros.

El río Odrón posee un solo depósito (b), que sin embargo ocupa una notable extensión del borde oriental de la hoja de estudio y margen occidental de la de Azcona (172-III).

Se ha realizado una caracterización de los materiales en las canteras de Los Cascajos, observándose que están constituidos por 6-7 metros de limo-arcillas (80-% de contenido total) y gravas (20%) graduadas (mal clasificadas) de caliza y arenisca, subangulosas y subredondeadas. El material, en su conjunto, se encuentra suelto, no observándose texturas ni estructuras internas. La potencia, relativamente elevada, puede ser debida a un proceso de disolución de los yesos infrayacentes.

En el río Linares se han cartografiado los dos niveles (b y c) a + (10-15) y + (20-25) metros, habiéndose realizado un perfil del segundo de ellos, localizado unos 500 m al SE de la localidad de Torres del Río, que consta de 6 metros de gravas (25-30% del contenido total) bien graduadas, subangulosas, de composición areniscosa y yesífera. El resto (70-75%) son limos y arenas de coloración ocre. Al igual que en el caso anterior, el espesor puede ser debido a efectos de disolución de yesos.

Los demás niveles cartografiados en este sistema fluvial y en el Cornava, se reducen a retazos de escasa potencia, muy degradados.

Por consideraciones altimétricas y regionales, se incluye el depósito superior en el Pleistoceno, mientras que el inferior debe pertenecer a épocas holocenas, sin descartar su inclusión en el fin del Pleistoceno.

#### 3.2.3.3. LIMOS Y ARENAS. GRAVAS. FONDOS DE VALLE (d). FLUVIAL.HOLOCENO

Poseen una litología similar a las terrazas descritas, con la salvedad de que las fracciones de clastos mayores de 7,5 cm (cantos y bloques) se encuentran ausentes.

El relleno limo-arenoso se debe a procesos de meteorización en vertientes sin descartar la acción eólica.

El espesor de esta formación superficial es muy variable, desde menor de 1 m en la cabecera de algunos barrancos, hasta más de 5 m en los cursos principales.

Su edad es Holoceno antiguo y subactual.

#### 3.2.3.4. CANTOS EN MATRIZ LIMO-ARCILLOSA. GLACIS (e). POLIGÉNICO.

## PLEISTOCENO

Se trata de depósitos muy desmantelados que apenas conservan su cobertera detrítica y cuya alimentación procede de áreas contiguas o próximas.

Su composición litológica se ha definido en tres puntos:

- Camino de las Viñas. El Abarillo (Cuadrante SO de la hoja)

Se trata de la formación mejor conservada dentro del ámbito de la hoja. Está compuesta por 2 m de limos marrón-rojizos con escasísimos cantos angulosos de caliza y arenisca.

- Las Jordanas (1,5 a 2 km al O de Los Arcos)

Glacis muy degradado. Limos ocre y rojizos con algo de fracción arena. Gravas y cantos angulosos de arenisca y yeso. Algún bloque. Potencia menor de 1 m.

- Valseca-Las Castanas (1-1,5 km al O del anterior)

Glacis muy degradado. Facies litológica idéntica a Las Jordanas. Potencia alrededor de 50 cm.

Se consideran depósitos pleistocenos, sin mas precisiones.

#### **4.2.3.2. Limos y arenas. Cantos. Glacis subactuales y depositos aluvial-coluvial (f). Poligénico-holoceno**

Se trata de derrames recientes (glacis subactuales), y recubrimientos de génesis mixta fluvial-vertiente.

Los primeros se localizan al S de Las Cuestas (Los Arcos) y constan de limos (70%), arenas (10%) y cantos (20%) de yeso o arenisca, con una potencia inferior a 1 m.

Los segundos recubren algunos sectores del cuadrante suroccidental o se distribuyen en las inmediaciones de las localidades de Sansol y El Busto, no superando en ningun caso los 50 cm de espesor.

#### **4.2.3.3. Materiales heterogéneos diversos. Vertederos (g). Antrópico. Actual**

Se han cartografiado los de Armañanzas, Labeaval y El Sotillo ya citados en el apartado 3.2.2.4.

Los espesores oscilan entre 5 y 8 metros.

### **4.3. EVOLUCIÓN DINAMICA**

El primer evento de la construcción del relieve hoy observable en la hoja de Los Arcos, se refiere a la construcción de las morfologías estructurales que conforman la arquitectura principal del paisaje.

Durante el cuaternario “antiguo” se genera una superficie nivelada sobre los materiales poco resistentes, con pendiente constante general hacia el Ebro (MENSUA y BIELZA, 1974), donde se instalan glacis pleistocenos, que en la actualidad se encuentran muy degradados.

Posteriormente comienza el encajamiento de la red fluvial, cuyo testimonio más antiguo lo constituyen los niveles de terrazas de los ríos Odrón, Linares y Cornava.

Ya en épocas plenamente holocenas los valles van configurando unas morfologías similares a las observables hoy en día, al tiempo que se producen e instalan, en las



zonas más deprimidas, los derrames subactuales (glacis), depósitos aluvial-coluvial y formas de vertiente (coluviones).

Finalmente, bajo las condiciones climáticas actuales, que señalan un medio morfoclimático de tipo semiárido, los procesos dominantes son los de erosión hídrica, a los que acompañan en menor medida los de meteorización mecánica y química, movimientos en masa y erosión eólica.

#### **4.4. MORFOLOGÍA ACTUAL-SUBACTUAL Y TENDENCIAS FUTURAS**

Los principales cursos fluviales presentes en la hoja (Odrón, Linares y Cornava) poseen una notable capacidad de transporte por arrastre de la carga de fondo, en las épocas de crecida.

Sin embargo, en la actualidad, existe un neto predominio de los procesos de erosión sobre los de acumulación, pérdidas de cobertera de suelo, acción de la arroyada, incisión y ahondamientos de los cauces, etc.

De otro lado, las actividades antrópicas (deforestación, sobrepastoreo, labores agrícolas, vertederos, canteras, etc) pueden incidir (negativamente en el equilibrio dinámico, con imprevisibles consecuencias futuras, lo que se minimizaría con una adecuada política de conservación del entorno territorial.

## **5. HISTORIA GEOLÓGICA**

En este apartado se ofrece una visión general de la evolución tectosedimentaria regional y del sector abarcado por este cuadrante y sus adyacentes, teniendo en cuenta los datos obtenidos durante el estudio de los mismos, así como los provenientes de otros estudios previos y/o de índole más general. De este modo analizaremos la evolución areal y vertical de los distintos sistemas deposicionales representados en el cuadrante, haciendo hincapie en los principales factores que condicionaron su desarrollo y las modificaciones que produjeron a lo largo del tiempo.

A gran escala, la evolución sedimentaria registrada por esta zona se puede subdividir en dos fases principales. La primera comprendería toda la serie de acontecimientos registrados durante el Mesozoico y el Terciario inferior, periodo en el que toda la zona constituyó el borde meridional de la Región Vasco-Cantábrica. Por su parte, la segunda fase abarcaría la historia más reciente de la zona, coincidente con el depósito de la sucesión del Terciario continental, en el marco de la Cuenca de Antepaís del Ebro. Estas dos fases, pueden, a su vez, dividirse en varias etapas representadas por los diferentes ciclos y secuencias deposicionales diferenciados a lo largo de la zona.

### **5.1. EVOLUCIÓN DURANTE EL MESOZOICO Y TERCIARIO INFERIOR**

Como se acaba de indicar, durante el Mesozoico y Terciario inferior, la evolución de la zona de estudio habría estado estrechamente ligada a la experimentada por el conjunto de la Región Vasco-Cantábrica.

Esta región forma parte del cinturón orogénico de los Pirineos, constituyendo la zona de enlace entre la parte central de la cadena y el actual margen continental noribérico. Su registro sedimentario es variado y potente (en algunos puntos llega a superar los 15.000 m), y principalmente está constituido por materiales mesozoicos y más concretamente del Cretácico.

La evolución tectosedimentaria de la Región Vasco-Cantábrica ha sido dilatada y compleja, comenzando a finales del Paleozoico y extendiéndose hasta bien entrado el Terciario. Dicha evolución estuvo principalmente controlada por la interacción de las placas Europea e Ibérica, y a gran escala dentro de ella se pueden distinguir dos

periodos principales, cuyos caracteres detallados quedan recogidos en trabajos como los de MONTADERT et al. (1974), RAT et al. (1983), RAT (1988) y GARCIA-MONDEJAR (1989): un primero dominado por movimientos de caracter distensivo desde el Paleozoico final al Cretácico superior; y uno posterior caracterizado por movimientos compresivos desde el Cretácico final hasta bien entrado el Terciario (aproximadamente hasta el Eoceno superior). De forma resumida, la sucesión de acontecimientos registrados durante ambos periodos fue la siguiente:

Como resultado de la fracturación tardihercínica, durante el Triásico inferior se configuraron numerosas cuencas que se fueron rellenando con siliciclásticos continentales y carbonatos marino someros, y finalmente con evaporitas (esto último ya en el Trías Keuper, ver GARCÍA-MONDÉJAR et al, 1986) que darian lugar a las extrusiones diapíricas que se reconocen en diferentes puntos de la región.

La compartimentación en bloques desarrollada durante esos momentos queda reflejada en las importantes variaciones de espesor de estos materiales, así como en la intrusión de magmas basálticos (ofitas). Ya durante el Jurásico inferior y medio se produjo una subsidencia más uniforme y amplia, tectónicamente pasiva, con implantación progresiva de la sedimentación marina en casi toda la región. A pesar de ello, se desarrolla una gran subsidencia diferencial con desarrollo de surcos intraplataforma (MELENDEZ, 1976). A gran escala todo el intervalo Triásico-Jurásico se ha considerado como una etapa representativa de un "rift" incipiente.

La etapa de "rifting" propiamente dicha se desarrolló a partir del Jurásico final (primeros movimientos kimméricos; PUJALTE, 1981) y a lo largo del Cretácico inferior. Durante ella toda la Región Vasco-Cantábrica evolucionó como una cuenca sedimentaria individualizada. En un primer momento se definieron las denominadas "fosas wealdenses" (PUJALTE, 1977), sistema de subcuencas limitadas por fallas normales que principalmente se rellenaron con materiales continentales y transicionales.

A consecuencia de un aumento de la subsidencia, a principios del Aptiense sobrevino una etapa transgresiva, que culminó con el desarrollo de las primeras plataformas carbonatadas urgonianas ya a comienzos del Aptiense superior. A finales del Aptiense superior y hasta aproximadamente el Albiense superior, un cambio en el movimiento relativo entre las placas Europea e Ibérica, se manifestó en una compartimentación de

la cuenca en altos y surcos. En los primeros y bajo condiciones favorables, persistió la sedimentación carbonatada somera (bancos urgonianos), mientras que los surcos se fueron rellenando con potentes sucesiones turbidíticas siliciclásticas (Flysch Negro) provenientes de sistemas deltaicos localizados en los bordes de la cuenca (Formación Balmaseda, Formación Zufía y equivalentes). Este dispositivo perduró hasta el Albiense superior, momento en el que asimismo se registró el comienzo del volcanismo submarino en el Sinclinatorio de Bizkaia.

En la primera mitad del Cretácico superior (intervalo Cenomaniense-Santonense), los procesos distensivos entre Iberia y Europa alcanzaron su máxima expresión, de forma que en el Golfo de Vizcaya se llegó al estadio de oceanización. A consecuencia de una regularización y homogeneización de la subsidencia (durante ese periodo de tipo térmico), todo el dominio pirenaico se configuró como una gran cuenca marina que desde su extremo oriental se abría y profundizaba hacia el Golfo de Vizcaya. Dentro de la Región Vasco-Cantábrica, que se situaría en la parte más abierta de dicha cuenca, se registró una transgresión generalizada y se configuraron dos dominios de sedimentación principales: i) en la mitad septentrional una zona de cuenca profunda más subsidente, que se fue rellenando con depósitos turbidíticos entre los que se intercalan grandes acumulaciones de lavas basálticas (el "Flysch calcaire" de MATHEY, 1986); y ii) en la mitad meridional una zona somera más estable, sobre la que se desarrollaron amplias plataformas carbonatadas de tipo rampa (la Rampa Norcastellana de FLOQUET, 1991).

A comienzos del Campaniense finalizó la creación de corteza oceánica en el Golfo de Vizcaya y comenzaron a registrarse los primeros movimientos convergentes entre las placas Europea e Ibérica. Hasta aproximadamente el Maastrichtiense inferior, se desarrolló una primera etapa compresiva que en la parte oriental de los Pirineos provocó la emersión de grandes áreas y la creación de las primeras estructuras cabalgantes.

Sobre las áreas someras de la región Vasco-Cantábrica se registró una regresión generalizada y la entrada de gran cantidad de depósitos siliciclásticos de carácter fluvio-deltaico, mientras que en la zona de cuenca profunda se depositó una potente sucesión de turbiditas siliciclásticas (el "Flysch greseux" de MATHEY, 1986). A continuación de este episodio y a lo largo del Intervalo Maastrichtiense superior-Paleoceno-Eoceno basal, se registró un cese en la actividad compresiva que permitió

el desarrollo de una transgresión generalizada durante la cual se reinstauró la sedimentación carbonatada sobre las áreas someras, quedando la zona profunda como una cuenca de tipo "starved" (BACETA, 1996).

A partir de este último intervalo dio comienzo la orogenia pirenaica propiamente dicha, aunque el proceso de convergencia se desarrolló en varias etapas diferenciadas. Durante la primera mitad del Eoceno se emplazaron las principales unidades cabalgantes del orógeno y como rasgo significativo se configuraron la cuenca surpirenaica central y, adyacente a ella, la cuenca "piggy back" de Tremp-Graus. En muchos sectores del dominio (incluida la Región Vasco-Cantábrica), se registró una regresión que estuvo acompañada por una importante entrada de materiales siliciclásticos provenientes de las áreas sujetas a emersión y erosión.

En algunas posiciones (i.e. W de Navarra), no obstante, persistieron las plataformas carbonatadas, aunque con una extensión mucho menor que en la etapa precedente. Los materiales siliciclásticos también alcanzaron las áreas de fondo de la cuenca, donde formaron importantes acumulaciones (Grupo Hecho en la zona Surpirenaica central, Flysch Eoceno en la mitad N de la Región Vasco-Cantábrica). Con posterioridad a dicha etapa compresiva se registró un nuevo pulso transgresivo (la denominada "Transgresión Biarritziense", y tras ella una nueva etapa regresiva motivada por nuevos movimientos convergentes, que culminó con la emersión final de la mayor parte de la Región Vasco-Cantábrica y del resto del dominio pirenaico, dando paso a la sedimentación continental.

El resto de la sucesión mesozoica y del Terciario inferior, se agruparían en tres conjuntos litológicos representativos de otras tantas etapas evolutivas. Los depósitos del Cretácico inferior de la Formación Zuffía reconocidos en zonas próximas, definirían en conjunto una etapa de carácter general regresivo, que se desarrolló a consecuencia de un cambio en el movimiento relativo entre las placas europea y ibérica, y que en esta zona coincidió con los primeros impulsos de ascenso del Diapiro de Estella.

Del otro lado, los materiales carbonatados del Coniaciense serían representativos de la etapa de carácter general transgresivo que durante la primera mitad del Cretácico superior dió lugar al desarrollo de extensas plataformas carbonatadas a lo largo de toda la mitad meridional de la Región Vasco-Cantábrica.

Por último, los depósitos eocenos reconocidos en el borde E del Diapiro de Estella, formarían parte del sistemas de plataformas carbonatadas desarrolladas durante la denominada "Transgresión Biarritziense". Estos materiales se apoyan mediante discordancia erosiva sobre los materiales del Cretácico inferior, hecho que evidenciaría, la existencia de levantamientos tectónicos con anterioridad a su depósito. En base a los estudios realizados en cuadrantes próximos, dichos movimientos (que también implicarían un ascenso del Diapiro de Estella), se habrían registrado durante las etapas compresivas del Cretácico final y Eoceno inferior-medio).

## **5.2. EVOLUCIÓN DESDE EL EOCENO FINAL AL PLIOCENO**

A partir del Eoceno superior y como consecuencia de las principales etapas compresivas, tanto la Región Vasco-Cantábrica como el resto del dominio pirenaico experimentaron un levantamiento generalizado, durante el que se transformaron en áreas sujetas a emersión y/o erosión. Paralelamente, las áreas adyacentes al cinturón orogénico se transformaron en cuencas de antepaís subsidentes debido al apilamiento tectónico, que se fueron rellenando con depósitos detríticos continentales provenientes desde las áreas adyacentes sujetas a erosión. Este proceso no fue homogéneo, ya que se desarrolló durante un periodo de tiempo amplio (desde el Eoceno superior al Mioceno), en el que se registraron diferentes etapas directamente relacionadas con los cambios en la dirección e intensidad de los esfuerzos compresivos.

Como ya se ha indicado previamente, en todo ese periodo la zona próxima a la ocupada por esta hoja constituyó el borde septentrional de la Depresión del Ebro, cuenca de antepaís que se extendía por todo el borde sur del orógeno pirenaico. Debido a su localización en el borde de la cuenca, en esta zona la sedimentación continental principalmente estuvo representada por sistemas detríticos de aporte lateral, ordenados en una serie de secuencias cíclicas frecuentemente limitadas por discordancia, que evidenciarían etapas evolutivas diferenciadas. Tanto para esta zona como para las áreas adyacentes de la cuenca, en conjunto se han diferenciado para el intervalo que abarca el Oligoceno, Mioceno y Plioceno, un total de 7 secuencias o unidades principales, cuya ordenación estratigráfica para esta hoja ya se ha descrito en el capítulo 1 de la memoria: Añorbe-Puente La Reina, Mués-Tafalla, Mendigorriá, Gallipienzo-Leoz, Artajona-Olite, Sierra de Ujué y Oco.

Aunque cada una de dichas secuencias representaría una etapa diferenciada, de forma general, y a gran escala, pueden agruparse en 3 macrosecuencias principales que definirían otros tantos estadios evolutivos, que temporalmente se distribuirían de la siguiente manera: la primera macrosecuencia abarcaría El Oligoceno inferior, y estaría representada por los ciclos Añorbe-Puente La Reina y Mués-Tafalla; la segunda macrosecuencia comprendería el intervalo de depósito de las unidades de Mendigorriá, Gallipienzo-Leoz, Artajona-Olite y Sierra de Ujué (Oligoceno superior-Mioceno superior); por último, la tercera macrosecuencia se desarrollaría durante el depósito la unidad de Oco, esto es, durante el Mioceno final-Plioceno. A continuación se analizan las pautas evolutivas registradas durante el desarrollo de dichas macrosecuencias.

### **5.2.1. Macrosecuencia del oligoceno inferior**

Los materiales representativos de esta macrosecuencia están representados por una gran variedad de facies, que van desde detríticas propias de borde de cuenca a lacustres-evaporíticas de centro de cuenca, todas ellas en general caracterizadas por las intensas coloraciones rojizas. Se distribuyen en dos secuencias correspondientes a los ciclos de Añorbe-Puente La Reina y Mués-Tafalla.

Para todo el área ocupada por esta hoja, apenas se dispone de datos de la organización que presentaban los depósitos de la primera de dichas secuencias, siendo solo evidente que en sus últimos estadios debió de coincidir con el desarrollo extensivo de la sedimentación evaporítica. En base a que estos depósitos evaporíticos se han reconocido en áreas próximas a la zona de estudio, se supone que ocuparían la mayor parte de este cuadrante, estando limitada al Norte por el borde de la Región Vasco-Cantábrica.

El comienzo del ciclo de Mués-Tafalla coincidió con un aumento importante de los aportes siliciclásticos, representado a lo largo del área por la potente sucesión de las areniscas de Mués. Según FROUTÉ (1988), estos materiales tendrían una procedencia desde el W y SW (desde los bordes occidental y meridional de la Cuenca del Ebro), y formarían sistemas fluviales de tipo anostomosado y/o meandriforme, depositados dentro de una gran llanura aluvial. El tránsito lateral de estas facies fluviales hacia el diapiro de Estella y hacia el N, por datos observados en la cercana

hoja de Arróniz, indicarían que la estructura diapírica y la zona septentrional formarían áreas elevadas con respecto al fondo de la cuenca.

Durante la parte final del ciclo de Mués-Tafalla, se registró un descenso significativo en los aportes fluviales, que favoreció la implantación de un amplio lago salino, en el que se depositaron sucesiones en las que alternan yesos y depósitos lutíticos. Estos últimos depósitos serían mayoritarios en el borde septentrional de la cuenca.

### **5.2.2. Macrosecuencia del oligoceno superior-mioceno superior**

El depósito de esta segunda macrosecuencia se produjo durante las principales etapas de levantamiento del área, abarcando el depósito de las secuencias de Mendigorriá, Gallipienzo-Leoz, Artajona-Olite, y probablemente de la Sierra de Ujué.

Por una parte, se considera que toda la zona N se levantaría y bascularía hacia el S. Ello daría lugar a la erosión de una gran parte de la secuencia de Mués-Tafalla y al desarrollo de la Discordancia de Barbarín.

Durante el ciclo de Mendigorriá, los abanicos principales se situarían hacia el S desde donde evolucionarían a facies distales (sucesiones de areniscas y lutitas), y finalmente a un amplio lago salino ubicado al S y SO (Yesos de Los Arcos). El dispositivo durante el depósito de la secuencia de Gallipienzo-Leoz fue similar. Con posterioridad se origina el accidente principal de la sierra de Cantabria, así como la creación de pliegues de amplio radio en la hoja de estudio. Por último, durante el ciclo de Artajona-Olite los abanicos principales se ubicarían al S del diapiro y al SO.

### **5.2.3. Macrosecuencia del mioceno final-plioceno**

El depósito de la unidad que define esta macrosecuencia se registró en un contexto totalmente diferente al dominante en los momentos previos. Esta unidad, sólo se reconoce en las vecinas hojas de Aguilar de Codés y Mendaza, y se encuentra compartimentada por fallas de régimen normal. Dichas fallas se crearían durante una etapa de relajación posterior a las etapas compresivas principales, y en algunos casos, aprovecharían el trazado de accidentes que previamente se habían comportando como inversos. Durante el depósito del ciclo, hemos diferenciado dos estadios evolutivos.



El primero correspondería al depósito de los materiales terrígenos (conglomerados y areniscas) que forman la parte inferior de la secuencia, los cuales se depositaron mediante sistemas aluviales poco desarrollados. Estos materiales groseros pasarían al centro de la cubeta a sucesiones homogéneas de lutitas y arcillas, representativas de un ambiente palustre. De forma coetánea al desarrollo de la cubeta, en los bordes de las fallas que la compartimentan se producirían procesos de "rock-fall", que darían lugar a las acumulaciones de brechas que se reconocen en varios puntos.

El segundo estadio evolutivo dentro de la secuencia de Oco, coincidiría con el desarrollo de un lago en el que de forma extensiva predominaron las facies carbonatadas (Calizas de Oco). De acuerdo a su distribución lateral, estas calizas serían más puras y potentes según nos desplazamos hacia el centro de la cubeta, pasando hacia los bordes a sucesiones dominadas por margas. Para estos momentos se considera que las fallas normales que fragmentaban la cuenca apenas tendrían actividad.

Por último, se producen en el área los procesos de disección y encajamiento de la red fluvial, con depósito de terrazas y sistemas de glaciares.

## 6. GEOLOGIA ECONOMICA

### 6.1. RECURSOS MINERALES. CANTERAS

En la hoja de Los Arcos no existen explotaciones mineras. Se encuentran inventariadas dos canteras, ambas abandonadas en la actualidad, que beneficiaban arcillas del Terciario.

Las explotaciones inventariadas son las siguientes:

Sustancia	Número	Nombre	x	y
Arcilla	451	Hocijuelo	561.500	4706000
Arcilla	454	Los Arcos	566.350	4714225

### 6.2. HIDROGEOLOGÍA

#### 6.2.1. Introducción

La Hidrogeología de la zona es bastante conocida gracias a los estudios que ha realizado el Gobierno de la Comunidad Foral de Navarra. Destaca el Proyecto Hidrogeológico de Navarra que, desarrollado en dos fases, entre 1975 y 1983, permitió definir las unidades hidrogeológicas y los acuíferos principales de Navarra, así como sus características.

Posteriormente se han realizado otros estudios con objetivos específicos, y que proporcionan un buen conocimiento de las características hidrogeológicas del territorio, así como de sus posibilidades.

En el mencionado Proyecto Hidrogeológico de Navarra, se definieron 11 unidades hidrogeológicas, de las que en la hoja 1:50.000 de Viana tan sólo se encuentran presentes la parte más meridional de la de Lóquiz y la Unidad Sur.

### **6.2.2.Unidad hidrogeológica sur**

La mayor parte de la extensión de la hoja 1:50.000 de Viana está ocupada por la denominada unidad hidrogeológica Sur, formada por materiales del Terciario en facies continental de la Depresión del Ebro.

Su litología es compleja, debido a las condiciones en que se han depositado sus materiales, con cambios de facies entre unos y otros, y con una estructura, en general, bastante tranquila. En líneas generales, y atendiendo a criterios litológicos, los materiales se pueden agrupar en los grupos siguientes:

-Formados por facies detríticas de borde e intermedias: conglomerados, areniscas, limos y arcillas.

-Facies evaporíticas, formadas por margas yesíferas, arcillas, yesos e incluso sal.

-Facies carbonatadas, integradas por margas y arcillas calcáreas y calizas.

Desde un punto de vista hidrogeológico, los únicos que presentan cierto interés son los de las facies detríticas y los materiales de alteración. El resto, por su escasa permeabilidad y/o la mala calidad química de sus aguas, pueden prácticamente desestimarse ya que raramente se pueden utilizar para satisfacer demandas. En cualquier caso, la mayor parte de los materiales de esta unidad, incluidos los detríticos, se comportan como prácticamente impermeables o con interés hidrogeológico muy bajo.

En las facies detríticas, los conglomerados y las areniscas son los materiales que constituyen los acuíferos potenciales más notables. Los conglomerados, por lo general muy cementados, pueden alcanzar espesores muy notables, de centenares de metros. Las areniscas, por el contrario, corresponden a depósitos de paleocanal que, aunque pueden, en algunos casos, alcanzar potencias superiores a los 10 m., se encuentran interstratificadas con limolitas y arcillas.

Tanto las facies más gruesas como las arenosas, se encuentran cementadas en profundidad y, por tanto, presentan una porosidad baja, por lo que el agua solamente circula a favor de las escasas fisuras que lo permitan.

Los acuíferos formados presentan una distribución irregular, escasa extensión y permeabilidad baja. Suelen estar desconectados entre sí, o conectados a través de acuitardos.

Por lo general se trata de acuíferos libres y confinados, cuya recarga se realiza por infiltración del agua de lluvia sobre los afloramientos, y cuya descarga se produce por manantiales poco importantes y dispersos, y por flujo subterráneo hacia los ríos y arroyos próximos a través de los recubrimientos cuaternarios asociados a los mismos.

Los manantiales existentes tienen caudales irregulares, con medias muy bajas, y muchos se secan en época de estiaje. En general, drenan niveles de areniscas. Caso especial lo constituye el localizado en la población de Aras, con un caudal superior a 10 l/seg.

Los pozos excavados, con profundidades que raramente superan los 10 m. proporcionan caudales también escasos, con agotamientos rápidos y recuperaciones lentas. Su uso suele ser agrícola.

Las aguas suelen ser de dureza media y mineralización notable. Por su composición iónica son casi siempre bicarbonatadas o bicarbonatadas sulfatadas cálcicas.

### **6.2.3. Unidad de loquiz**

En la hoja 1:50.000 de Allo, solamente en la extremidad septentrional (cuadrantes de Aguilar de Codés y Mendaza), se ubican términos correspondientes a la unidad hidrogeológica de la Sierra de Lóquiz, que alcanza su mayor desarrollo en zonas situadas más al Norte

#### **ACUÍFERO DE ALBORÓN-ANCIN**

Está poco desarrollado, ocupando una estrecha franja en la parte más nororiental de la hoja de Mendaza, estando constituido por calcarenitas.

La recarga se realiza por infiltración de las precipitaciones y la descarga a través del cuaternario del Ega.

En esta zona del acuífero no existen manantiales importantes, a excepción de un punto de agua localizado al Sur de Sierra Chiquita, con caudal superior a 10 l/seg.

Con el fin de obtener un mayor conocimiento del funcionamiento del acuífero y para determinar los parámetros hidráulicos del mismo se han construido dos sondeos de reconocimiento durante los Estudios de la Unidad de Lóquiz durante los años 1986-1987 y 1996-1997, Medilibarri R1 y R2 cuyas características se reflejan en el cuadro nº 1.

Cuadro nº 1. Sondeos de reconocimiento en el acuífero Alborón-Ancin

SONDEO	ACUÍFERO	TIP O	CO TA	PROFUNDIDAD (cm)	NIVEL (m) Junio 97	ESTADO ACTUAL
MENDILIBARRI . R-1	Cuaternario  Gravas. arenas, limos, Plioceno- Mioceno.  Calizas y conglomerados  CRETÁCICO SUP. Calcarenitas	Libre	472 ,70	190,95	Surgente	Piezómetro
MENDILIBARRI . R-3	CUATERNARIO  Gravas, arenas, limos OLIGOCENO Calizas y conglomerados  CRETACICO SUP.	Libre	809	197,5	34,70	Piezómetro

---

	calcarenitas					
--	--------------	--	--	--	--	--

La transmisividad del acuífero en esta zona se ha calculado a partir de las pruebas de permeabilidad realizadas en los dos piezómetros obteniéndose unos valores comprendidos entre 30 y 70 m<sup>2</sup>/día.

Las aguas de este acuífero son de dureza media a duras y mineralización ligera a notable. Son bicarbonatadas cálcicas, con escasas variaciones tanto en la conductividad como en los iones fundamentales.

#### CUATERNARIO

Está situado en la zona nororiental de la hoja de Mendaza, y en la parte septentrional de la de Aguilar de Codés.

La recarga se realiza por infiltración de las precipitaciones y a partir de los aportes laterales que recibe del acuífero de Ancín.

Como puntos de agua más importantes dentro de la hoja se localizan dos manantiales de Ancín con oscilaciones estacionales fuertes que oscilan en conjunto entre los 15 y los 80 l/s.

Estos manantiales forman parte del drenaje del acuífero de Ancín, localmente en conexión con los depósitos cuaternarios. Nacen en el límite de un glacis-terrazza y la terraza inferior del río Ega.

Con el fin de determinar los parámetros hidráulicos del acuífero y conocer el funcionamiento hidrogeológico del mismo se han construido, durante los diferentes estudios realizados por el Gobierno de Navarra en la Unidad de Lóquiz, dos sondeos de preexplotación denominados Ancín P-4 y Mendilibarri P-2, cuyas características se describen en el cuadro nº 2.

Cuadro nº 2. Características de los sondeos de preexplotación del cuaternario del Ega.

SONDEO	ACUÍFERO	TIPO	COTA (m)	PROFUNDIDAD (m)	Perforación		Entubación		Filtros	Observaciones
					TRAMO	0 mm	TRAMO	0 mm		
ACIN P-4	Cuaternario	Libre	471,0 2	43	0-5	750	0-43	450	24	Abastecimiento
	Aluvial	5-27			590					
		27-43			540					
Mendilibarri P-2	Cuaternario	Libre	468,7 2	40	0-7	700	0-5	600	16	Red piezométrica
	Aluvial	7-21			650	0-40	450			
		21-26,5			600					
		26,5-40								

La transmisividad del acuífero en el tramo comprendido entre Ancín y Murieta se ha calculado a partir de los ensayos de bombeo realizados en estos dos sondeos habiéndose obtenido una transmisividad comprendida entre 300 y 240 m<sup>2</sup>/día.

Las aguas del cuaternario del Ega son fundamentalmente sulfatadas cálcicas, extremadamente duras y mineralización fuerte.

## **6.3. GEOTECNIA**

### **6.3.1. Introducción**

Para la realización de la cartografía geotécnica de la hoja 171 se ha tomado como base la cartografía geológica a escala 1:25.000 realizada previamente. Las distintas unidades geológicas se han sometido a un proceso de síntesis, agrupándolas en función de sus características y comportamiento geotécnico.

Para definir las características geotécnicas de los distintos materiales se debe partir como es lógico de datos de ensayos realizados en obras y proyectos, en todos sus aspectos: clasificaciones, resistencia, deformación, cohesión, etc. Sin embargo, la inexistencia de datos de ensayos geotécnicos en la actualidad, en estas hojas, impide realizar un tratamiento estadístico que permita clasificar las unidades.

Por este motivo, para clasificar las unidades geológicas en función de sus características geotécnicas será preciso utilizar otros procedimientos. Estos consistirán en la extrapolación de las características de las mismas unidades de las que se disponga de datos en hojas contiguas, mientras que para los materiales de los que no se disponga de ningún dato ni en hojas contiguas, su caracterización consistirá en una descripción basada en las observaciones de campo y datos generales de Normas y Códigos.

En cualquier caso, esta clasificación y los datos que en ella se contienen deben considerarse como meramente orientativos, siendo necesaria la realización de los ensayos pertinentes en cualquier obra o trabajo que se vaya a acometer en estas hojas.

### **6.3.2. Zonación geotécnica**

Los distintos materiales que componen la hoja 171 se han subdividido en áreas y, estas, a su vez en zonas. El criterio inicial de agrupamiento ha sido fundamentalmente geológico y litológico, al que se han incorporado criterios geotécnicos, teniendo en cuenta las limitaciones que existen en estas hojas, como ya se ha señalado.

La división en áreas resultante es la siguiente:



- Área I: Comprende los materiales cretácicos (Cuadrantes I y II)
- Área II: Incluye los materiales terciarios con facies yesíferas
- Área III: Ocupa los materiales terciarios de facies detríticas y margosas
- Área IV: Depósitos cuaternarios

Las 3 últimas se distribuyen por los cuatro cuadrantes

Estas áreas, a su vez, se han subdividido en las siguientes zonas:

- Área I: Zona Ia, Ib, Ic
- Área II: Zona IIa, IIb
- Área III: Zonas IIIa, IIIb, IIIc
- Área IV: Zona IVa, IVb

A continuación se describen las distintas unidades.

### **6.3.3. Descripción de las unidades**

#### **Zona Ia**

En el área I de materiales mesozoicos, esta primera zona agrupa los materiales carbonatados constituidos por calizas, dolomías y calcarenitas (Unidades 3, 5, 6 y 7).

En general, pueden considerarse rocas duras con algunas zonas de tipo medio, donde el índice RQD desciende. Son poco ripables y pueden soportar presiones admisibles elevadas. Son frecuentes los fenómenos kársticos en todos sus afloramientos, mientras que la estabilidad de los taludes artificiales está condicionada por el grado de fracturación.

#### **Zona Ib**

Corresponde esta unidad geotécnica a los materiales de grano fino, margas, arcillas y limolitas de edad mesozoica. (Unidades 2 y 4).

En general, debido a su grado de compactación son de resistencia media, pudiendo soportar presiones por encima de 5 kp/cm<sup>2</sup>. Su excavabilidad es variable, ya que los niveles arcilloso-margosos pueden ofrecer variaciones entre ripable y no ripable. En estas unidades, especialmente en la Unidad 4 de margas y margocalizas, en relieves fuertes y aprovechando planos de fracturación se producen fenómenos de deslizamientos de cierta importancia. Cuando no se producen estas circunstancias, los taludes sobre estos materiales son estables.

### **Zona Ic**

Agrupada esta zona geotécnica a los depósitos detríticos de grano medio a grueso: areniscas y calizas arenosas con niveles margosos (Unidades 1, 8 y 9).

Las presiones admisibles que se estima para esta zona según las diferentes Normas y Códigos establecen que puede cimentarse con cargas superiores a 3 kp/cm<sup>2</sup>. Sus primeros metros se pueden considerar como roca blanda por lo que en determinados casos serán fácilmente excavables, mientras que no lo serán en absoluto en profundidad. No presentan problemas de estabilidad de taludes, tan sólo en algún caso y debido a la alternancia de materiales de diversa competencia se producen caídas y desplomes de bloques.

### **Zona IIa**

En esta unidad se incluyen los depósitos terciarios con predominio de facies yesíferas, que en la zona que abarca la hoja 171 incluye los Yesos de Puente la Reina, (Un. 10), los Yesos de Desojo y yesos, calizas y areniscas (Ud. 14 y 12) de la Unidad de Mues-Tafalla y los materiales yesíferos de la Unidad de Mendigorriá (Ud. 18 y 19).

Las condiciones geotécnicas de estos materiales son muy variables, en general en función del contenido en yeso y arcillas. En muchos casos son materiales de baja resistencia que hacen que se comporten como una roca blanda o incluso como un suelo. Sus características geotécnicas pueden ser problemáticas debido a los efectos

derivados de la disolución de los yesos. Salvo excepciones, son materiales ripables y pueden presentar deslizamientos en taludes.

### **Zona IIb**

En esta zona únicamente se incluyen las unidades de arcillas y margas con intercalaciones de yesos. En estos materiales las condiciones geotécnicas varían en función de la mayor o menor presencia de yesos. Se incluyen en esta zona los depósitos de arcillas y lutitas rojas con intercalaciones de yesos (U. 13 de Mués-Tafalla), y los depósitos con intercalaciones de yesos de la Unidad de Mendigorría (17 y 20).

Son materiales fácilmente excavables, pudiendo aparecer fenómenos de inestabilidad en taludes naturales, originando deslizamientos de tipo rotacional. La presión admisible que pueden soportar estos materiales, según algunos Códigos de Práctica son variables, pudiéndose producir asentamientos de consolidación a largo plazo.

### **Zona IIIa**

Corresponde esta unidad geotécnica a las distintas sucesiones de arcillas y limos que afloran en las hojas, en general constituidos por materiales de fina granulometría. (Unidades 22, 23 y 26), siendo los materiales de menor resistencia dentro del Área III.

Pueden soportar presiones admisibles en un rango variable que va desde 1,5 kp/cm<sup>2</sup> a 3 kp/cm<sup>2</sup>, pudiendo presentar asentamientos a largo plazo. En general son fácilmente excavables y los taludes artificiales construidos sobre ellos se deterioran progresivamente.

### **Zona IIIb**

Esta zona corresponde a las alternancias de depósitos de menor resistencia que los que ocupan la zona IIIb. Son margas, margocalizas y areniscas, siendo su principal característica esta alternancia de materiales resistentes con otros más blandos. Corresponden a los depósitos de las unidades 11, 16, 21 y 24.

Desde el punto de vista geotécnico se consideran como un suelo muy rígido o como una roca muy meteorizada. Según su RQD, su clasificación es Mala o Muy Mala, entre 0 y 25%. Las presiones admisibles son muy bajas, del orden de 3 kp/cm<sup>2</sup> y son ripables.

### **Zona IIIc**

Agrupada esta zona a todos los depósitos conglomerativos, constituidos por conglomerados con cantos redondeados de calizas y areniscas principalmente, (Unidades 15 y 25). También se incluyen en esta zona, las calizas tabulares brechoides, denominadas Calizas de Oco (Ud. 27).

Su característica principal es su elevada cimentación lo que hace que se conformen como una roca, alcanzando presiones admisibles superiores a 10 kp/cm<sup>2</sup>, no siendo ripables en ningún caso. Sus taludes naturales son estables.

### **Zona IVa**

Incluye todos los depósitos cuaternarios formados por cantos y gravas con matriz limo-arcillosa, incluyendo glaciares, terrazas, canchales y conos de deyección.

### **Zona IVb**

Incluye todos los depósitos cuaternarios, formados por coluviones, fondos de valle y depósitos aluvial-coluvial.

En general son depósitos poco potentes, con ripabilidad alta y de permeabilidad media a alta. Sus características de cimentación son muy variables como es lógico, pudiendo diseñarse cargas admisibles entre 1 y 5 kp/cm<sup>2</sup>. Es importante en los materiales aluviales tener en cuenta la posición del nivel freático.

Especial mención dentro de esta zona merecen los fangos y arcillas de fondos endorreicos y semiendorreicos, en los que la presencia de agua de forma prácticamente permanente condiciona sus características geotécnicas, tratándose de la unidad con menor estabilidad desde el punto de vista geotécnico.

## 7. BIBLIOGRAFIA

AMIOT, M. (1982): "El Cretácico superior de la Región Navarro-Cántabra". En "El Cretácico de España". Univ. Compl. Madrid, p. 88-111.

ALONSO RAMIREZ, J. (1987).- El Cretácico superior de la Sierra de Entizia (II. Bioestratigrafía y Taxonomía). Estudios del Inst. Alavés de la Naturaleza. 2, 29-90.

BACETA, J.I. (1996): "El Maastrichtiense superior, Paleoceno e Ilerdiense basal del País Vasco y Oeste de Navarra: secuencias deposicionales y facies". Tesis doctoral Univ. País Vasco UPV-EHU. 404 p (Inédita).

BOMER, B. (1978): "Le Bassin de l'Èbre et des bordures montagneuses. Etude Géomorphologique". Tesis doctoral Univ. (Inédito).

CASTIELLA, J.J. y DEL VALLE, J. (1978). "Mapa Geológico de Navarra. A escala 1:200.000". Serv. Geol. Dir. de Obras Públ. Diput. F. de Navarra.

EVE (1993).- Cartografía geológica a escala 1:25.000. Hojas de Bernedo y Oyon.

FLOQUET, M. (1991): "La plate-forme Nord-Castellane au Crétacé supérieur (Espagne). Arrière-pays ibérique de la marge passive basco-cantabrique, sédimentation et vie". Tesis doctoral, Mem. Géol. Univ. Dijon. Vol. 14 (dos tomos), 925 p.

FROUTE (1988): "Le rôle de l'accident d'Estella dans l'histoire géologique Crétacé supérieur à Miocène des Bassins Navarro-Alavais (Espagne du Nord)". Tesis doctoral Univ. de Pau, 231 p.

GARCIA MONDÉJAR, J. (1982). "Aptiense y Albiense, Región Vasco-Cantábrica y Pirineo navarro". En: El Cretácico de España, 63-84. Universidad Complutense. Madrid.

GARCIA MONDÉJAR, J. (1989): "Strike-slip subsidence of the Basque-cantabrian Basin of northern Spain and its relationship to Aptian-Albian opening of the Bay of Biscay". En: Tankard, A. J. y Balkwill, H. R. (eds.), Extensional tectonics and stratigraphy of the North Atlantic margins. AAPG memoir n° 46, p. 395-409.

GARCIA MONDÉJAR, J.; PUJALTE, V. y ROBLES, S. (1986). "Características sedimentológicas, secuenciales y tectoestratigráficas del Triásico de Cantabria". Cuadernos de Geología Ibérica, vol. 10, p. 151-172.

GONZALO, S. (1981). "Análisis de Geomorfología Estructural". Biblioteca de Cuadernos Riojanos, n° 37, 2 v. 508 p..

- HERNANDEZ, A., RAMIREZ DEL POZO, J., CARBAYO, A., CASTIELLA, J. y SOLE-SEDO, J. (1984). "Mapa geológico de España a escala 1:50.000: Hoja de Allo (172).
- HOTTINGER, L. (1961): Recherche sur les alveolines du Paéocène et de l'Eocene". Mém. Suisses Paéont., 75-76, p 1-243.
- IGME (1978). "Mapa geológico de España a escala 1:50000, hoja 139, Eulate".
- IGME (1985). "Mapa geológico de España a escala 1:50.000. Hoja de Bernedo y Oyon.
- IGME (1987). "Mapa geológico de España a escala 1:50000, hoja 140, Estella".
- LERANOS, B. (1990). "Geomorfología del curso bajo del río Ega (Navarra). Actas I Reunión Nacional de Geomorfología. Teruel
- MATHEY, B. (1986): "Les flysch Crétacé supérieur des Pyrénées basques. Age, anatomie, origine du matériel, milieu de dépôt et relation avec l'ouverture du Golfe de Gascogne". Tesis doctoral, Mem. Géol. Univ. du Dijon, vol. 12, 399 p.
- MELLENDEZ-HEVIA, F. (1976). "El interes petrolífero del Jurásico marino de la parte SW de la Cuenca Cantábrica". II Jornadas Nacionales del Petroleo y Gas Natural, Ponencia 1: Exploración y Producción.
- MENSUA, S. Y BIELZA, V. (1974). "Contribución al estudio geomorfológico del valle inferior del Ega (Navarra)" Estudios Geográficos.
- MITCHUM, R.M. Jr. (1977). "Glossary of terms used in seismic stratigraphy". En C.E. Payton (ed.) Seismic Estratigraphy: Applications to Hydrocarbon Exploration. AAPG Mem. 26, p. 205-212.
- MONTADERT, L.; WINNONCK, E.; DELTIEL, J.R. y GRAN, G. (1974). "Continental margins of Galicia-Portugal and Bay of Biscay". En: Burk y Drake (eds.), Geology of continental margins. Springer-Verlag, Berlin, p. 323-342.
- PAYROS, A. (1997): "El Eoceno de la Cuenca de Pamplona: Estratigrafia secuencial y evolución paleogeográfica". Tesis doctoral Univ. Pais Vasco. 300 p (Inédita).
- PAYROS, A., PUJALTE, V.; BACETA, J.I.; ORUE-ETXEBARRIA, X. Y SERRA-KIEL, J. (1996): "Las calizas eocenas del Oeste de Navarra: revisión, redefinición y nueva interpretación de sus unidades estratigráficas". En: Libro Homenaje a Máximo Ruiz de Gaona, Principe de Viana (Suplemento de Ciencias), año XVI, nº 14/15, p. 137-153.
- PFLUG, R. (1967). "El Diapiro de Estella". Munibe (Sociedad de Ciencias Aranzadi), 2-4, p. 171-202.

- 
- PUIGDEFABREGAS, C. (1972). Memoria geológica de la hoja núm. 173 (Tafalla)". Informe inédito. Excma. Diput. F. de Navarra.
- PUJALTE, V. (1977). " El complejo Purbeck-Weald de Santander: estratigrafía y sedimentación". Tesis Univ. de Bilbao, 202 pp, inédito.
- PUJALTE, V. (1981). "Sedimentary successsion and paleoenvironments within a fault-controlled basin: the wealden of the Santander area, Northern Spain". *Sedimentary Geology* vol. 28, p. 293-325.
- RAT, P. (1988). "The Basque-Cantabrian Basin between the Iberian and European plates: Some facts but still many problems". *Rev. Soc. Geol. de España*, 1 (3-4), p. 327-348.
- RAT, P.; AMIOT, M.; FEUILLÉE, P.; FLOQUET, M., MATHEY, B.; PASCAL, A. y SALOMON, J. (1983). "Vue sur le Crétacé Basco-Cantabrique et Nord-Ibérique. Une marge et son arrière-pays, ses environnements sédimentaires". *Mem. Geol. Univ. de Dijon*, vol. 9, 191 pp.
- RIBA, O. (1955). "Sur le ttype de la sédimentation du Tertiaire continental de la partie Ouest du Bassin del'Ebre". *IV Int. Sedimentol. Congr., Braunschweig-Geologische Rundschau*, 43/2, p. 363-371.
- RIBA, O. (1956). "Resumen sobre el Terciario continental de la Región de Estella". *Inf. CIEPSA* (Inédito).
- RIBA, O. (1964). "Estructura sedimentaria del Terciario continetal de la Depresión del Ebro en su parte riojana y Navarra". En "Aportación Esp. al XX Congr. Geogr. Int." (1964), p. 127-138. *Inst. Geogr. "J. S. Elcano" e Inst. Est. Pir.*
- RIBA, O. (1992). "Las secuencias oblicuas en el borde Norte de la Depresión del Ebro en Navarra y la Discordancia de Barbarín". *Libro homenaje a Oriol Riba Ardireu. Acta Geológica Hispánica*, 27, p. 55-68.
- RIBA, O. y PEREZ MATEOS, J. (1962). "Sobre la inversión de aportes sedimentarios en el borde norte de la cuenca terciaria del Ebro (Navarra)". *Ila. Reun. de Sedimentol. (Sevilla, 1961). Vol. Comun. p. 201-221.*
- RIBA, O., REGUANT, S. y VILLENA, J. (1983, 1987). "Ensayo de síntesis estratigráfica y evolutiva de la cuenca terciaria del Ebro". En: *Libro Jubilar J.M. Rios. Geología de España. Vol. 2*, p. 131-159.
- RIBA, O. y JURADO, M.J. (1992). "Reflexiones sobre la geología de la parte occidental de la Depresión del Ebro". *Libro homenaje a Oriol Riba Ardireu. Acta Geológica Hispánica*, 27, p. 177-193.
- RUIZ DE GAONA, M. (1952). "Notas y datos para la geología de Navarra". *Primer congreso internacional del Pirineo, Instituto de estudios pirenaicos, Zaragoza.*
- SOLE-SEDO, J. (1972). "Formación de Mués: Litofacies y procesos sedimentarios". *Tesis de Licenciatura de la Fac. de Geología Univ. de Barcelona. 61 p., 1 mapa (Inédita).*

TOSQUELLA, J. y SERRA-KIEL, J. (1996): "Las biozonas de nummulítidos del Eoceno Pirenaico". En: Libro Homenaje a Máximo Ruiz de Gaona, Príncipe de Viana (suplemento de ciencias), 14-15, p 155-193.

WIEDMANN, J. (1979): "Itineraire geologique a travers le Crétacé Moyen des chaines Vascogotiques et Celtiberiques (Espagne du nord)". En "Mid Cretaceous events, Iberian Field Conference, Cuadernos de Geología Ibérica, 5, p. 127-214.