



**Gobierno de Navarra**

Departamento de Obras Públicas,  
Transportes y Comunicaciones

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE NAVARRA

ESCALA 1:25.000

**HOJA 173-I**

**ARTAJONA**

MEMORIA

---

La presente hoja y memoria han sido realizadas por COMPAÑIA GENERAL DE SONDEOS, S.A., habiendo intervenido los siguientes técnicos:

ANTONIO HERNANDEZ SAMANIEGO (CGS): Coordinación y dirección. Cartografía Geológica y Memoria.

GUILLERMO PORTERO GARCIA (CGS): Cartografía Geomorfológica y Memoria.

SEGISMUNDO NIÑEROLA PLA (CGS): Hidrogeología. Memoria.

MANUEL ALONSO GARCIA (CGS): Minería. Memoria.

LILIANA JORDAN ARIAS (CGS): Base de datos.

**ASESOR:**

JOAQUIN DEL VALLE LERSUNDI

**COORDINACION:**

ESTEBAN FACI

JAVIER CASTIELLA

## ÍNDICE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....   | <b>1</b>  |
| <b>2. ESTRATIGRAFIA</b> .....  | <b>3</b>  |
| 2.1. Terciario.....  | 4         |
| 2.1.1. Ciclo I: Unidad de Añorbe-Puente la Reina (Sueviense) .....   | 4         |
| 2.1.1.1. Yesos de Añorbe (303). Sueviense .....  | 4         |
| 2.1.2. Ciclo II: unidad de Mues-Tafalla (Sueviense).....   | 5         |
| 2.1.2.1. Areniscas, limolitas y arcillas rojas. Localmente conglomerados de cantos yesíferos (areniscas de Mues) (307). Sueviense.....           | 6         |
| 2.1.2.2. Limolitas y arcillas con laminas de areniscas de ripple marks y localmente niveles de yeso y calizas arenosas (309). Sueviense.....     | 7         |
| 2.1.3. Ciclo III: unidad de Mendigorria (Sueviense-Arverniense) .....  | 8         |
| 2.1.3.1. Limolitas, arcillas y margas con capas de areniscas (324) (Sueviense-Arverniense) ..  | 9         |
| 2.1.3.2. Yesos, con intercalaciones margosas (yesos de Mendigorria) (327). Arverniense.....  | 10        |
| 2.1.4. Ciclo IV: unidad de Gallipienzo-Leoz (Arverniense-Ageniense).....   | 10        |
| 2.1.4.1. Capas extensas y potentes de areniscas, limolitas y arcillas. Localmente margas. (areniscas de Leoz) (359). Arverniense-Ageniense ..... | 11        |
| 2.1.4.2. Limolitas y arcillas con capas de areniscas (365). Arverniense-Ageniense .....  | 12        |
| 2.1.5. Ciclo V: unidad de Artajona-Olite (Ageniense-Aragoniense).....  | 14        |
| 2.1.5.1. Conglomerados, areniscas y limolitas (Conglomerados de Olleta) (364). Ageniense-Aragoniense .....                                       | 15        |
| 2.1.5.2. Areniscas, limolitas y arcillas (Areniscas de Artajona) (398). Ageniense-Aragoniense  | 15        |
| 2.2. Cuaternario.....  | 16        |
| 2.2.1. Pleistoceno.....  | 16        |
| 2.2.2. Holoceno.....   | 16        |
| <b>3. TECTÓNICA</b> .....  | <b>17</b> |
| 3.1. Tectónica regional.....   | 17        |
| 3.2. Descripción de las estructuras .....  | 19        |
| 3.2.1. Dominio plegado de la cuenca del Ebro .....   | 19        |
| 3.2.1.1. Fallas inversas .....   | 20        |
| 3.2.1.2. Pliegues asociados a las fallas inversas .....  | 20        |
| 3.2.1.3. Pliegues de amplio radio.....   | 20        |
| 3.2.2. Dominio subhorizontal de la cuenca del Ebro .....   | 21        |
| <b>4. GEOMORFOLOGIA</b> .....  | <b>22</b> |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| 4.1.      | SITUACION Y DESCRIPCION GEOGRAFICA .....  | 22        |
| 4.2.      | ANALISIS MORFOLOGICO .....  | 23        |
| 4.2.1.    | Estudio morfoestructural .....  | 23        |
| 4.2.2.    | Estudio del modelado .....  | 23        |
| 4.2.2.1.  | Laderas .....   | 23        |
| 4.2.2.2.  | Formas fluviales .....  | 23        |
| 4.2.2.3.  | Formas karsticas .....  | 24        |
| 4.2.2.4.  | Formas poligenicas .....  | 24        |
| 4.2.2.5.  | Formas antropicas .....   | 24        |
| 4.2.3.    | Formaciones superficiales.....  | 25        |
| 4.2.3.1.  | Cantos, limo-arcillas y arenas. Coluviones (a). Laderas. Holoceno. ....   | 25        |
| 4.2.3.2.  | Cantos y gravas. Limo-arcillas y arenas. Terrazas del rio Arga (b, c, d, e, f, g). Fluvial. Pleistoceno indiferenciado-holoceno ..... | 25        |
| 4.2.3.3.  | Cantos y gravas. Limo-arcillas y arenas. Fondos de valle y vaguada (h). Fluvial. Holoceno   | 27        |
| 4.2.3.4.  | Cantos, limo-arcillas y arenas. Conos de deyeccion (h). Fluvial. Holoceno.....  | 27        |
| 4.2.3.5.  | Cantos y gravas. Limo-arcillas y arenas. Llanura de inundacion del rio Arga (h). Fluvial. Holoceno.....                               | 27        |
| 4.2.3.6.  | Bloques, cantos y gravas, barras de canal del rio Arga (h). Fluvial. Holoceno .....   | 28        |
| 4.2.3.7.  | Bloques, cantos y gravas. Limos-arcillas y arenas. Glacis (i). Poligenico. Pleistoceno indiferenciado.....                            | 28        |
| 4.2.3.8.  | Limo-arcillas y arenas. Deposito aluvial-coluvial (j). Poligenico. Holoceno.....  | 28        |
| 4.3.      | EVOLUCION DINAMICA .....  | 29        |
| 4.4.      | MORFOLOGIA ACTUAL-SUBACTUAL Y TENDENCIAS FUTURAS .....  | 29        |
| <b>5.</b> | <b>HISTORIA GEOLOGICA.....</b>  | <b>31</b> |
| <b>6.</b> | <b>GEOLOGIA ECONOMICA .....</b>   | <b>35</b> |
| 6.1.      | RECURSOS MINERALES.....   | 35        |
| 6.1.1.    | Cobre .....   | 35        |
| 6.1.1.1.  | Potencial minero .....  | 36        |
| 6.1.2.    | Sal comun.....  | 36        |
| 6.1.2.1.  | Potencial minero .....  | 36        |
| 6.1.3.    | Yeso .....  | 37        |
| 6.1.3.1.  | Potencial minero .....  | 37        |
| 6.2.      | HIDROGEOLOGIA .....   | 37        |
| 6.2.1.    | Introduccion .....  | 37        |
| 6.2.2.    | Unidad hidrogeologica sur .....   | 38        |
| 6.2.3.    | Unidad del aluvial del Ebro y afluentes.....  | 41        |

|  |           |
|--|-----------|
| 6.2.4. Unidad hidrogeologica de Alaiz.....       | 42        |
| 6.3. CARACTERISTICAS GEOTECNICAS GENERALES ..... | 43        |
| <b>7. BIBLIOGRAFIA.....</b>                      | <b>48</b> |

## 1. INTRODUCCIÓN

La hoja topográfica a escala 1:25.000 de Artajona (173-I) se halla comprendida entre los meridianos 1°51'10,5" y 1°41'10,5" y los paralelos 42°35'04,2" y 42°40'04,2", ocupando una posición centrada dentro de la Comunidad Foral de Navarra.

La mayor parte de la hoja está denominada por un relieve suavemente alomado, caracterizado por presentar alturas medias comprendidas entre los 300 y 700 m. Los puntos topográficamente más elevados corresponden a los vértices del Alto del Chaparro y San Martín con 694 m y 714 m respectivamente, el Alto con 619 m y San Esteban con 708 m. Estos puntos están situados, todos ellos, en el sector nororiental de la hoja; por el contrario, las zonas más deprimidas se hallan en el sector occidental, donde se encuentra el valle del río Arga (con cotas comprendidas entre los 320 y 350 m)

El drenaje se realiza a través de una red de valles y barrancos, la mayoría con cursos de agua esporádicos, que desaguan, la mayor parte de ellos, en el río Arga, o en su afluente el arroyo de Nequeas. Solamente los barrancos del sector suroriental desaguan en el río Cidacos. Toda el área es distributaria hidrográfica de la Cuenca del Ebro.

El clima en la región es claramente de tipo continental, presentando una amplitud térmica que aumenta hacia el sur, oscilando las medias termométricas entre los 11° y los 14°. En cuanto a la precipitación anual sería inferior a los 500 mm anuales, para la mayor parte de la zona, solamente en el sector norte de la hoja las precipitaciones anuales oscilan entre los 500 y 1000 mm.

La densidad de población es de media a baja, existiendo cuatro núcleos de población: Artajona, Mendigorria, Añorbe y Tirapu.

Desde el punto de vista geológico la hoja de Artajona se sitúa en el borde norte de la Depresión del Ebro. Los materiales que la constituyen, conglomerados, areniscas, arcillas, margas y yesos son de origen continental, y sus edades oscilan entre el Oligoceno y el Mioceno. Existen también materiales de edad cuaternaria que recubren a los anteriormente citados.

Desde el punto de vista estructural lo que caracteriza a esta zona es su relativa movilidad tectónica, que ha ido acompañada de variaciones de cierta importancia en el espesor de las series detríticas. Las estructuras de mayor interés son las fallas inversas de Añorbe y Pte. La Reina que limitan los yesos intensamente plegados, con frecuentes buzamientos subverticales y localmente pliegues tumbados (Anticlinorio de Añorbe-Mañeru), de las areniscas y lutitas de las unidades posteriores, claramente subverticalizadas. En el resto de la hoja predominan los pliegues de amplio radio (Sinclinal de Artajona).

Para la realización de la cartografía y la redacción de la presente memoria ha sido de gran utilidad la documentación cedida por la Diputación Foral de Navarra y cuyos autores son el Dr. C. Puig de Fábregas y J. Solé.

## 2. ESTRATIGRAFIA

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

En la hoja existen cuatro principales dominios litológicos (ver Fig. 1) que están constituidos por:

- a) Alternancia de conglomerados y areniscas
- b) Yesos y margas yesíferas
- c) Lutitas con niveles de areniscas y ocasionalmente yesos
- d) Areniscas, limolitas y arcillas

figura 1

Teniendo en cuenta la distribución regional que presentan los cuerpos sedimentarios, puede observarse la interdigitación de los distintos ambientes deposicionales desde abanico aluvial hasta los términos lacustre-palustre. Esta interdigitación permite, asimismo, comprobar una ordenación ciclica de los sedimentos en la vertical, en este sector. Cada uno de los estos ciclos (separados unos de otros por discontinuidades sedimentarias) está constituido regionalmente por sedimentos aluviales y aluviales distales en la base, y por sedimentos lacustre-palustre a techo.

El límite entre cada ciclo es neto y brusco, 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 zona 5 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 sus relativas conformidades (no

deducibles generalmente a escala de afloramiento sino por su comportamiento regional).

Estas 5 unidades abarcan una edad comprendida entre el Sueviense (Sannoisiense) y el Aragoniense (Burdigaliense), y reciben de base a techo los nombres de:

1.-Unidad de Añorbe-Puente La Reina

2.-Unidad de Mues-Tafalla

3.-Unidad de Mendigorria

4.-Unidad de Gallipienzo-Leoz

5.-Unidad de Artajona-Olite

Dentro de la hoja 1:25.000 de Artajona estos sistemas afloran con las litofacias que serán descritas en los siguientes apartados:

Asímismo, con el fin de poder visualizar de una forma sencilla la posición de las distintas unidades y su correlación con la subdivisión regional utilizada anteriormente se ha representado en la Fig. 2 un esquema con las unidades utilizadas en esta memoria.

FIGURA 2

## **2.1. Terciario**

### **2.1.1. Ciclo I: Unidad de Añorbe-Puente La Reina (Sueviense)**

Constituye la unidad inferior del Terciario continental en la región donde sólo está representada por facies yesíferas.

#### **2.1.1.1. Yesos de Añorbe (303). Sueveniense**

Esta unidad aflora en el anticlinorio de Añorbe, donde están constituidos por una alternancia irregular de bancos de yesos y margas, intensamente replegados según

estructuras de dirección aproximada E-O. No se conoce su relación con unidades precedentes con las que nunca se encuentra en contacto.

Corresponden a los Yesos de Puente de la Reina y Mues (RIBA, O. y PEREZ MATEOS, 1962) y Yesos de Añorbe (PUIGDEFABREGAS, C. 1972).

Está constituida la unidad por bancos de yesos blanquecinos de aspecto masivo, a veces nodulosos, con intercalaciones de margas yesíferas de tonos grises y verdosos. Por datos obtenidos de dos sondeos realizados en lugares próximos, se ha comprobado la existencia de halita en el núcleo del anticlinal. Se desconoce la potencia total del tramo, ya que no existe ningún punto en que aflore la base de la unidad. La potencia estimada es de 300 m.

Desde el punto de vista sedimentológico se interpretan estos materiales como depositados en un ambiente lacustre evaporítico.

Su atribución cronológica se ha efectuado en base a su posición con respecto al conjunto de la serie.

Ha sido reconocida esta unidad en las columnas estratigráficas de Mendigorria y San Juan.

### **2.1.2. Ciclo II: unidad de mues-Tafalla (Sueviense)**

Los materiales del Ciclo II en la hoja de Artajona afloran a lo largo de una franja de dirección E-O, que se extiende desde Tirapu hasta Mañeru, bordeando el anticlinorio de Añorbe. La relación entre los materiales del Ciclo II y los yesos de Pte. la Reina, normalmente no es observable en los afloramientos, debido a que el contacto se produce mediante falla inversa. Sin embargo, localmente, se interpreta el contacto como discordante. En apoyo de esta última interpretación está la presencia de conglomerados de cantos yesíferos procedentes de la unidad inferior (Yesos de Puente la Reina), englobados en la serie detrítica del Ciclo II, como puede observarse en los desmontes de la carretera de Pte. la Reina a Mañeru.

En la hoja de Artajona este ciclo está representado por dos litofacies, la inferior, detrítica, está constituida por conglomerados, areniscas y arcillas de origen fluvial

(307) de color rojo intenso y la superior (en parte procedente por cambio lateral de facies de la anterior) formada por limolitas y arcillas (localmente con presencia de niveles de yeso y caliza) de origen fluviolacustre.

Estas unidades evolucionan hacia el Sur y Sureste aumentando progresivamente la presencia de yeso en su seno, pasando a sedimentos lacustres en las hojas de Larraga y Tafalla (yesos de Tafalla).

Han sido reconocidas con detalle en las columnas estratigráficas de Mendigorria, San Juan y Artajona.

Un detallado estudio sobre estas litofacies y los procesos sedimentarios que los originaron fué realizado por SOLE, J. (1972) en las hojas de Allo y Viana.

**2.1.2.1. Areniscas, limolitas y arcillas rojas. Localmente conglomerados de cantos yesíferos (areniscas de mues) (307). Sueviense**

Esta unidad está constituida por una alternancia de areniscas y limos, con intercalaciones arcillosas, que destacan en el paisaje por el color rojo intenso del conjunto. Las capas de arenisca no sobrepasan los 2 m de potencia siendo característicos de este tramo la continuidad lateral de estos bancos. RIBA y PEREZ MATEOS (1962), las llamaron "Areniscas tigreadas de Mués".

La potencia de este tramo dentro de la hoja varía entre 0 y 700 m, alcanzado sus máximos espesores en la esquina NO de la misma (Corte de Cirauqui, en la vecina hoja de Allo).

Los materiales de esta unidad son principalmente las areniscas, que alternan con limos arcillosos y arcillas de tonos rojizos, y localmente limos carbonatados grises y amarillentos. En la esquina NO (zona de Mañeru) los paleocanales contienen cantos de yeso blanco, procedentes de la erosión de la unidad (303) yesos de Pte. La Reina.

Las areniscas son generalmente de grano medio a grueso, a veces con pequeñas gravillas, en la base de los canales. Las capas de menor potencia presentan laminaciones debidas a ripples, rara vez laminación paralela. Suelen estar

bioturbadas, de moderada a elevada, habiendo borrado en ocasiones las estructuras primarias. Las capas de mayor potencia llegan a veces a alcanzar 6 m de potencia, por amalgamación de canales, aunque las más frecuentes oscilan entre 1 y 3 m.

Estos materiales se disponen formando secuencias granodecrecientes (fining-upwards) de unos 10 a 30 m de potencia formadas en la base por un cuerpo arenoso, con la base canalizada y estructuras de barras y canales, superficies de acreción lateral, ripples, etc. Suelen estar biotubados y son frecuentes las inclusiones de cantos blandos y restos vegetales.

Estos materiales se describen como depósitos de meandros producidos por canales no muy profundos. Representan el paso de unos depósitos formados en un ambiente fluvial de gran energía, con cursos de agua anastomosados y regímenes de sheet-flood, con presencia de abanicos aluviales, a unos depósitos de régimen fluvial meandriforme de energía decreciente.

Se atribuye la edad Sueviense por posición estratigráfica.

#### **2.1.2.2. Limolitas y arcillas con laminas de areniscas de ripple marks y localmente niveles de yeso y calizas arenosas (309). Sueviense**

Esta unidad de carácter heterolítico procede en parte de la unidad descrita anteriormente de la que es equivalente distal hacia el E y N. Sin embargo hacia el Oeste (Corte de Cirauqui, hoja de Allo), se sitúa por encima de ella.

Está formada por limolitas y arcillas grises y violáceas, con capas centimétricas de areniscas, limos carbonatados y calizas grises. Hacia el E y en las proximidades de Tirapu, se intercalan margas yesíferas verdes y niveles de yeso blanquecino.

La potencia máxima medida es de 950 m en Mendigorria.

Las areniscas suelen presentar laminación paralela y ripples de corriente, con bioturbación de moderada a elevada, siendo esta más frecuente en la parte superior de la unidad. También se encuentran en estos materiales costras y huellas de retracción (mud-craks).

Las características sedimentarias mencionadas indican para estas zonas distales y de llanura lutítica, el predominio de la deposición de lutitas, a menudo como resultado de inundaciones generalizadas originadas por fenómenos de arroyada en manto (sheet-floods), aunque coexistiendo con esporádicos flujos canalizados. En estas zonas se formarían, esporádicamente, charcas efímeras con depósitos de carbonatos. Estas zonas conectarían lateralmente con áreas lacustres situadas más al interior de la cuenca.

Las areniscas estudiadas son litarenitas, de granos subangulosos a subangulosos-subredondeados de clastos silíceos y carbonatados, estos últimos en mayor proporción, con textura de esqueleto denso, con contactos tangenciales y apretados y marcada orientación paralela de los granos, cementados por carbonatos más o menos sucios e impregnados de  $OxFe$ , haciéndose difícil la distinción cuantitativa entre cemento y clastos. Por el grado de compacidad del esqueleto se estima que la proporción de cemento varía entre 20 y 30% del total de la roca. El porcentaje de siliciclastos se distribuye en: 20-30% de cuarzo, 0-5% de feldespato, 5-10% de clastos de sílex, 0-10% de fragmentos de cuarcitas, esquistos y pizarras, 0-10% granos ferruginosos. Los clastos carbonáticos corresponden a fragmentos de calizas y fragmentos de bioclastos. Su porcentaje varía entre el 25% y 50% del total de la roca.

No se observa una variación significativa respecto a la composición de las areniscas de otras unidades litológicas.

Ante la ausencia de datos paleontológicos, la atribución cronológica de la unidad (Sueviense) se ha hecho por posición estratigráfica.

### **2.1.3. Ciclo III: unidad de mendigorria (Sueviense-Arverniense)**

Los materiales del Ciclo III en la hoja de Artajona afloran a lo largo de una franja de clara orientación E-O, que se extiende desde el Sur de Tirapu hasta las proximidades de Mendigorria. Los buzamientos, que son bastante constantes en todos los afloramientos, oscilan entre  $70^{\circ}$  y  $80^{\circ}$  hacia el sur.

Este ciclo está representado en esta hoja por dos litofacies, la inferior está constituida por lutitas con capas de areniscas (324) y evoluciona hacia el oeste y hacia la parte superior de la serie a yesos con intercalaciones margosas (327) (yesos de

Mendigorría). La relación de estos materiales con los de los Ciclos II y IV, es mediante discordancia. Asimismo, hacia el Este (hoja de Barasoain) pasan por cambio lateral de facies a areniscas de grano grueso y microconglomerados (317).

Han sido reconocidas con detalle en las columnas estratigráficas de Mendigorría, San Juan y Artajona.

#### **2.1.3.1. Limolitas, arcillas y margas con capas de areniscas (324) (Sueviense-Arverniense)**

Está constituida por una alternancia de areniscas, limolitas, arcillas y margas amarillentas y rojizas, siendo característico el progresivo aumento de la fracción arenosa hacia el techo de la unidad en el borde oriental de la hoja. Las areniscas por lo general de grano medio, se distribuyen en canales de 1 a 3 m de potencia y con una extensión lateral decamétrica.

Forman secuencias granodecrecientes (fining-upward) de unos 7 a 12 m de potencia, formadas en la base por un cuerpo arenoso, que presenta la base erosiva y estructuras tractivas. Hacia el techo del banco arenoso, el tamaño del grano se hace menor y predominan las laminaciones cruzadas de pequeña escala y la laminación paralela. Encima se sitúa un tramo margoso, que puede finalizar en un nivel carbonatado, que se interpreta como de origen edáfico. El espesor máximo de la unidad es de 1000 m.

El ambiente de depósito de este conjunto corresponde a medios fluviales relacionados con abanicos aluviales, abarcando desde sistemas braided en la zona Norte hasta cursos meandriiformes en la zona Sur.

Las areniscas estudiadas son litarenitas, de granos subangulosos a subangulosos-sobredondeados de clastos silíceos y carbonatados, estos últimos en mayor proporción, con textura de esqueleto densa, con contactos tangenciales y apretados y marcada orientación paralela de los granos, cementados por carbonatos más o menos sucios e impregnados de  $OxFe$ , haciéndose difícil la distinción cuantitativa entre cemento y clastos. Por el grado de compacidad del esqueleto se estima que la proporción de cemento varía entre 20 y 30% de total de la roca. El porcentaje de siliciclastos se distribuye en: 20-30% de cuarzo, 0-5% de feldespatos, 5-10% de

clastos de sílex, 0-10% de fragmentos de cuarcitas, esquistos y pizarras, y 0-10 de granos ferruginosos. Los clastos carbonáticos corresponden a fragmentos de calizas y fragmentos de bioclastos. Su porcentaje varía entre el 25 y 50% del total de la roca.

No se observa una variación significativa respecto a la composición de las areniscas de otras unidades litológicas.

La edad se ha atribuido por su posición estratigráfica.

#### **2.1.3.2. Yesos, con intercalaciones margosas (yesos de mendigorria) (327). Arverniense**

Está constituida por capas de potencia variable de yeso noduloso blanco con intercalaciones de margas. A veces presentan laminación interna muy clara. Los niveles de margas intercalados son de tonos ocres, con calizas subordinadas, mostrando laminación paralela como estructura dominante. A veces, intercalan láminas de areniscas de grano fino con ripples de corriente.

El ambiente de sedimentación es lacustre evaporítico.

La edad se ha atribuido por su posición estratigráfica.

#### **2.1.4. Ciclo IV: unidad de gallipienzo-leoz (Arverniense-Ageniense)**

Los materiales del Ciclo IV afloran en el sector centro meridional de la hoja de Artajona, discordantes sobre los sedimentos del Ciclo III.

Están afectados por la estructura sinclinal de Artajona. Los materiales situados en el flanco norte de la estructura presentan buzamientos entre 60° y 80° hacia el sur, mientras que los situados en el flanco sur (en hoja de Larraja), buzán entre 15 y 30 hacia el norte.

En la hoja de Artajona este ciclo está representado por dos litofacies detríticas: la inferior está constituida por areniscas en capas extensas, limolitas y arcillas (359), de origen fluvial, que hacia el oeste evolucionan a materiales más distales constituidos por limolitas y arcillas con capas discontinuas de areniscas (365). Estas unidades han

sido reconocidas en detalle en las columnas estratigráficas de San Juan y Artajona, donde afloran con una potencia máxima de 1200 m.

A su vez, estas unidades hacia el este (hoja de Barasoain) están representadas por tramos conglomeráticos (358) (conglomerados de Gallipienzo), mientras que hacia el sur (hoja de Larraga) evolucionan a margas con tablas de caliza (363).

**2.1.4.1. Capas extensas y potentes de areniscas, limolitas y arcillas. Localmente margas. (areniscas de leoz) (359). Arverniense-Ageniense**

Está constituida por una alternancia de areniscas, limos y arcillas de tonos amarillentos y rojizos. Las areniscas se disponen en capas de hasta 6 m de potencia de aspecto externo tabular, con continuidad lateral hectométrica. En detalle estas capas están formadas por la incisión de varios canales amalgamados procedentes de varias fases erosivas, y que presentan individualmente estructuras tractivas del tipo de estratificaciones cruzadas de surco y planar, con cantos blandos dispersos en la masa arenosa y a veces concentrados en la base de los canales, y ripples en el techo de los bancos arenosos. En estas secuencias el tramo lutítico superior suele faltar por erosión. Las areniscas suelen ser de grano grueso, a veces microconglomeráticas, aunque también se presentan areniscas de grano fino en capas decimétricas con estructura interna de ripples y con bioturbación de baja a moderada.

Las características expuestas indican que la sedimentación se produciría por flujos acuosos canalizados, con fases erosivas debidas a episodios tractivos distintos y que producen el amalgamiento de canales, alternando con coladas de fango esporádicas.

Las areniscas estudiadas son litarenitas de granos subangulosos a subangulosos-subredondeados de clastos silíceos y carbonatados, estos últimos en mayor proporción, con textura de esqueleto denso, con contactos tangenciales y apretados y marcada orientación paralela de los granos, cementados por carbonatos más o menos sucios e impregnados de  $OxFe$ , haciéndose difícil la distinción cuantitativa entre cemento y clastos. Por el grado de compacidad del esqueleto se estima que la proporción de cemento varía entre 20 y 30% del total de la roca. El porcentaje de siliciclastos se distribuye en: 20-30% del total de la roca. El porcentaje de siliciclastos se distribuye en: 20-30% de cuarzo 0-5% de feldespato, 5-10% de clastos de sílex, 0-

10% de fragmentos de cuarcitas, esquistos y pizarras, y 0-10% de granos ferruginosos. Los clastos carbonáticos corresponden a fragmentos de calizas y fragmentos de bioclastos. Su porcentaje varía entre el 25 y 50% del total de la roca.

En la vecina hoja de Tafalla, se han realizado dos análisis en los niveles arcillosos de esta unidad (muestras AN-29 y 59), dando los siguientes resultados:

MUESTRA AN-29: Análisis mineralógico: Difracción de Rayos X

-Polvo total (%)

Filosilicatos: 45

Cuarzo:15

Calcita:40

-Fracción arcillosa (%)

Illita:85

Clorita:15

Caolinita:-

Esmectita:-

MUESTRA AN-59: Análisis químico (%)

SiO<sub>2</sub>:36,61

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:12,00

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 4,56

TiO<sub>2</sub>: 0,48

CaO:21,66

MgO: 2,34

K<sub>2</sub>O: 2,12

Na<sub>2</sub>O: 0,25

P.p.c.:19,92

Límite líquido:31,10

Límite plástico:19,75

Índice plástico:11,35

No se observa una variación significativa respecto a la composición de las areniscas de otras unidades litológicas.

#### **2.1.4.2. Limolitas y arcillas con capas de areniscas (365). Arverniense-Ageniense**

Tiene su mayor desarrollo en el cuadrante SO de la hoja, ocupando parte del extremo occidental del sinclinal de Artajona-Olleta.

Lateralmente pasa a la unidad descrita anteriormente por un aumento progresivo de la fracción arena.

Está constituida por arcillas y limos de tonalidades dominantes amarillentas y rojizas, con capas intercaladas de areniscas de grano fino, cuya potencia no sobrepasa los 30 cm. Dispersos en la masa lutítica se encuentran paleocanales de escasa extensión lateral y de potencia máxima 1,5 m.

Las estructuras sedimentarias no son muy abundantes en los tramos inferiores, donde se reducen a ripples en las areniscas. En las zonas intermedias hay estructuras que implican una mayor energía como estratificaciones cruzadas de surco y planar, en algunas capas se observa grano selección positiva y bioturbación de baja a moderada, aunque siguen siendo las laminaciones cruzadas las más abundantes. En la parte superior del tramo fundamentalmente hacia el Sur (hoja de Larraga) además de estas estructuras se encuentran mud-cracks, costras, y pisadas de vertebrados inclasificables. En ocasiones las lutitas presentan horizontes de nódulos carbonatados a veces muy apretados, de origen edáfico.

En la vecina hoja de Larraga se ha realizado un análisis en los niveles arcillosos de esta unidad (muestra AN-10), dando los siguientes resultados:

MUESTRA AN-10: Análisis mineralógico: difracción de Rayos X

-Polvo total (%)

Filosilicatos:49

Cuarzo:14

Calcita:35

Feldespatos:<2

-Fracción arcillosa (%)

Illita:65

Clorita:ind.

Caolinita: 8

Esmectita:27

Las características sedimentológicas mencionadas indican, para estas zonas distales y de llanura lutítica, el predominio de la deposición de lutitas, a menudo como resultado de inundaciones generalizadas originadas por fenómenos de arroyada en manto (sheet-floods) aunque coexistiendo con esporádicos flujos canalizados. En estas zonas se formarían esporádicamente charcas efímeras con depósitos de

carbonatos y evaporitas. Estas zonas conectarían lateralmente con áreas lacustres situadas más al suroeste.

#### **2.1.5. Ciclo V: unidad de artajona-olite (Ageniense-Aragoniense)**

Los materiales del Ciclo V afloran, por una parte, en el borde norte de la hoja, afectados por la falla inversa que limita el anticlinorio de Añorbe, así como, sobre los yesos que constituyen esta estructura anticlinal. Por otra parte, afloran en el sector suroriental de la hoja, discordantes sobre los sedimentos del Ciclo IV.

En esta última zona están suavemente plegados, según una estructura sinclinal (Sinclinal de Artajona), que tiene la peculiaridad de que el eje del pliegue (de dirección ENE-OSO) que afecta a los sedimentos de la unidad de Artajona-Olite, está ligeramente desplazado hacia el Sur, respecto al mismo pliegue que afecta a los materiales inferiores. Esto nos confirma una nueva reactivación de los esfuerzos con posterioridad a la sedimentación de los materiales superiores.

En la hoja de Artajona este ciclo está representado por dos litofacies detríticas. Sobre el anticlinorio de Añorbe y en las proximidades de la citada localidad afloran unos 30 m. de conglomerados, areniscas y limolitas (364) (Conglomerados de Olleta). El resto de los afloramientos de este ciclo corresponden a facies arenosas, constituidas por areniscas limolitas y arcillas (398) (Areniscas de Artajona).

Esta última unidad ha sido estudiada en detalle en la columna estratigráfica de Artajona, donde aflora con una potencia de unos 300 m.

Estas unidades evolucionan hacia el sur (Hojas de Larraga y Tafalla) a facies arcillosas (383) (Arcillas de Olite).

Estos materiales han sido estudiados en detalle en la columna estratigráfica de Zabalza, donde afloran con una potencia de unos 300 m. la primera unidad y cerca de 500 m la segunda. Es importante destacar los estudios regionales y de detalle realizados por PUIGDEFABREGAS, C. (1973 y 75) en las facies detríticas de este grupo.

### **2.1.5.1. Conglomerados, areniscas y limolitas (Conglomerados de Olleta) (364). Ageniense-Aragoniense**

Está constituida por conglomerados como litología dominante alternando con capas de arenisca y limolitas rojas. Los conglomerados son masivos, aunque localmente se observan estratificaciones cruzadas de gran escala y cicatrices erosivas, que a menudo corresponden a varios niveles menores amalgamados. Están formados por cantos de hasta 25 cm de diámetro máximo, heterométricos, redondeados y de composición dominante caliza y arenisca. Las areniscas por lo general de grano grueso y microconglomeráticas, presentan estructuras de estratificación cruzada de surco y planar, y laminación paralela. En la parte superior del tramo es frecuente la bioturbación de baja a moderada, y localmente caliches.

Estos materiales se distribuyen en secuencias cuyo orden de potencias oscilan entre 3 y 8 m.

Las características expuestas indican que estos depósitos de abanicos se originaron por procesos de corrientes atractivas acuosas, coladas de derrubios (debris flow) y coladas de fango (mud-flow). La parte superior de la unidad se depositó probablemente bajo la influencia de corrientes canalizadas tipo braided.

### **2.1.5.2. Areniscas, limolitas y arcillas (Areniscas de Artajona) (398). Ageniense-Aragoniense**

Una característica de esta unidad es su disposición subhorizontal en la mayor parte de la hoja, siendo escasos los buzamientos superiores a los 20°

Litológicamente está formada por arcillas y limos amarillentos y rojizos, en los que se intercalan capas de areniscas correspondientes a rellenos de paleocanales, de sección transversal lenticular y escasa relación anchura/altura. Tienen megaestratificación cruzada y son frecuentes las estructuras de acreción lateral. Aparte de los canales, se intercalan numerosos bancos de arenisca fina, casi siempre con ripples de corriente, a veces agrupados en pequeños haces en forma de canales. En los fangos son frecuentes las huellas de bioturbación debido a raíces, que conservan la posición de vida. Las secuencias son marcadamente granodecrecientes.

Las mayores potencias dentro de la hoja se desarrollan en la vecina hoja de Tafalla, donde supera los 500 m.

Estos materiales representan el paso de unos depósitos formados en un ambiente fluvial de gran energía, con cursos de agua anastomosados y regímenes de sheet floods, con presencia de abanicos aluviales, a unos depósitos de régimen fluvial meandriforme de energía decreciente, donde predominan los sedimentos de llanura aluvial.

## **2.2. CUATERNARIO**

En la hoja de Artajona los depósitos cuaternarios recubren buena parte de su sector más occidental, alcanzando poco desarrollo en el resto del territorio.

En el capítulo de Geomorfología se describen las formaciones superficiales en orden a su génesis y edad, por lo que en el presente apartado sólo se hará una breve referencia a los mismos.

### **2.2.1. Pleistoceno**

Se han cartografiado como pertenecientes a este periodo cuaternario 5 niveles superiores de terrazas del Arga (21, 23, 24, 25 y 26 en el mapa geológico), bien desarrolladas sobre todo en la margen izquierda del río desde aguas abajo de Puente la Reina hasta el límite meridional de la hoja y un nivel de glacis, localizado en San Gregorio, entre Mendigorria y Puente la Reina.

### **2.2.2. Holoceno**

El resto de las formaciones superficiales cuaternarias se incluyen en el Holoceno: terraza inferior del río Arga (524), coluviones (543), fondos de valle y vaguada (527), conos de deyección (536), llanura de inundación del río Arga (525), barras de canal (529) y depósitos aluvial coluvial (537).

### 3. TECTONICA

#### 3.1. TECTONICA REGIONAL

Desde el punto de vista estructural la zona estudiada está situada en la zona externa meridional de la Cadena Pirenaica.

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 autóctonas "thrust sheet top basins", "piggy back basins", ORI y FRIEND (1984),

ELLIOT et al, (1985), HOMEWOOD et al (1985), RICCI LUCCHI y ORI (1985), 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 postectónica 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 postectónica.

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

Desde el punto de vista estructural se han distinguido en la hoja de Artajona los siguientes dominios:

### **3.2.1. Dominio plegado de la cuenca del Ebro**

Se caracteriza por la presencia de los siguientes elementos tectónicos:

### **3.2.1.1. Fallas inversas**

Estas fallas se carácter inverso y con cabalgamiento hacia el Sur, presentan un trazado de dirección sensiblemente E-O, y terminan con los extremos curvados según las direcciones NO-SE respectivamente. La mas importante es la Falla inversa de Mendigorria al Norte de la hoja.

### **3.2.1.2. Pliegues asociados a las fallas inversas**

Los materiales que constituyen los labios cabalgantes de las fallas inversas son yesos y margas yesíferas, cuya plasticidad ha debido favorecer el desplazamiento de estas masas. En las proximidades de la línea de falla existe una zona en la que estos sedimentos presentan una tectonización mucho más elevada que el resto de los materiales en zonas alejadas de ellas. En estas zonas la densidad de fallas y pliegues es muy acusada, e incluso se presentan pliegues apretados que lateralmente pasan a pliegues tumbados. Merecen destacarse los anticlinales de Añorbe y Arroyo Salado asociados a la Falla inversa de Mendigorria.

figura 3

### **3.2.1.3. Pliegues de amplio radio**

La zona central comprendida entre dos fallas inversas sucesivas, está ocupada por una estructura sinclinal de radio muy amplio. Es el sinclinal de Artajona-Olleta. En esta estructura el flanco Norte se encuentra generalmente verticalizado o con buzamientos muy fuertes mientras que los materiales del flanco Sur presentan buzamientos más suaves, siempre inferiores a los 40°.

El sinclinal de Artajona-Olleta, cuyo trazado es sinuoso de tendencia general E-O, queda fosilizado por sedimentos detríticos de edad Ageniense-Aragoniense, que por tanto se encuentran rellenando una estructura sinclinal anterior. A su vez estos materiales han sido plegados posteriormente (Sinclinal de Itacayo) pero su eje queda desplazado hacia el S. con respecto al de Lerga-Olleta que queda oculto.

### **3.2.2. Dominio subhorizontal de la cuenca del Ebro**

Corresponde a la zona ocupada por los materiales depositados después del movimiento principal de la fase Neocastellana. Generalmente tienen una disposición subhorizontal, o suavemente plegada como en el caso del sinclinal de Itacayo, comentado en el apartado anterior.

Existen fallas de edad finimiocena, de carácter distensivo, que afectan a estos materiales del Mioceno.

## **4. GEOMORFOLOGIA**

### **4.1. SITUACION Y DESCRIPCION GEOGRAFICA**

La hoja de Artajona ocupa una posición central dentro de la Comunidades Foral de Navarra.

Hacia su borde occidental se encuentra drenada por el río Arga que la recorre en sentido Norte-Sur.

La red fluvial secundaria está constituida por el río Salado y los arroyos del Prado, Langadera, de las Cabras, Langorica, Majada y Salado, a los que se añaden varios barrancos de régimen estacional.

El territorio estudiado se inscribe en el borde nororiental de la Depresión o Cuenca del Ebro, que en este sector queda definida por dos unidades geomorfológicas bien diferenciadas: el Valle del Arga en la zona occidental y el Dominio de los Relieves en Cuestas y Pliegues que ocupa el resto de la hoja.

La composición litológica y la estructura geológica condicionan decisivamente la distribución de los conjuntos orográficos presentes en la región. Así, sobre los materiales areniscosos, más resistentes a la erosión que los cuerpos arcillosos, se instalan los relieves cimeros de la zona estudiada: San Martín (714 m), El Boyeral (712 m) y San Esteban (708 m), todos ellos en el cuadrante nororiental de la zona estudiada. Las alturas menores se localizan en el río Arga, principal arteria fluvial, con 330 m, en el borde meridional de la hoja.

La característica morfométrica fundamental es la presencia de zonas llanas (con pendiente inferior al 4%) en todo el sector septentrional (Valle del Arga), que hacia el Este se tornan en relieves alomados de pendientes medias (en general comprendidas entre el 4 y 10%). Las áreas abruptas (>20%) se localizan tan solo en las laderas de los relieves mayores situados en los sectores central y septentrional de la hoja.

El clima es mediterráneo continental templado con temperaturas anuales medias de unos 13°C y precipitaciones absolutas comprendidas entre 500 y 600 mm anuales.

## **4.2. ANALISIS MORFOLOGICO**

### **4.2.1. Estudio morfoestructural**

La presencia de una potente serie sedimentaria afectada por un plegamiento notable, así como su naturaleza, con abundancia de niveles competentes intercalados, propicia que los agentes de la dinámica externa hayan elaborado un modelado diferencial en función de la distinta resistencia de la erosión, lo que trae consigo la generación de formas de distintas dimensiones orientadas en sentido general E-O, HERNANDEZ, A. et al, 1987.

En los sectores central y oriental de la hoja son frecuentes los cresterios y modelados en cuestras, que en algunos casos poseen frentes superiores a los 100 m de altura (Gatzeluzar) y que hacia el Sur transitan a escarpes estructurales en series monoclinales.

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

#### **4.2.2.1. Laderas**

Las laderas constituyen una parte importante del conjunto del paisaje, alimentando de agua y sedimento a la red de drenaje, por lo que son elementos fundamentales en la compresión del relieve.

En la hoja de Artajona las vertientes presentan, generalmente, perfiles con segmentos basales cóncavos (que han sido cartografiados como depósitos coluviales localmente como vertientes regularizadas, (en función de la identidad del depósito acumulado y cuando la escala del trabajo ha permitido señalarlas) que normalmente enlazan con depósitos de fondo de valle o terrazas fluviales. La parte superior de estas laderas está constituida por escarpes y cresterios estructurales o bien por interfluvios convexos (alomados).

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

Las formas fluviales no deposicionales presentes en la hoja de Artajona son la incisión lineal, las cárcavas o badlands y los interfluvios.

La incisión lineal es un proceso bien representado en el territorio de estudio, alcanzando su mayor desarrollo en la mitad septentrional de la hoja, sobre todo en las vertientes septentrionales de los Altos del Prado, Ibarbero, Portillo de Santiago y Gazteluzar, todos ellos al Este de la localidad de Mendigorria.

Este proceso puede presentar funcionalidad en la actualidad, sobre todo cuando afecta a los materiales arcillosos, poco resistentes a la erosión.

El acaravamiento o badlands constituye un "paisaje natural intensamente disectado, donde la vegetación es dispersa o ausente e inutilizable para la agricultura" (caracterizado por su origen fluvial, alta densidad de drenaje, valles en forma de "V", laderas de los valles cortas y empinadas, etc.), BRYAN, R. y YAIR, A. 1982.

En la región objeto de estudio este proceso se encuentra mal desarrollado, existiendo tan solo pequeños acaravamientos incipientes en la margen derecha del río Arga, en el paraje de Barbota, en la esquina Noroeste de la hoja.

Los interfluvios conforman los relieves de separación de la red de drenaje. Son de morfología alomada y se distribuyen por todo el territorio, principalmente por la mitad oriental.

#### **4.2.2.3. Formas karsticas**

La karstificación se reduce a una única depresión de tipo dolina de karst cubierto, a favor de los yesos infrayacentes a la llanura de inundación del río Arga, en el borde noroccidental de la hoja.

#### **4.2.2.4. Formas poligenicas**

Sólo existen formas de acumulación o depósitos superficiales dentro de este tipo de modelado, que se describen en el apartado de formaciones superficiales.

#### **4.2.2.5. Formas antropicas**

Aparte de las actividades agrícolas y ganaderas, evidentemente no reflejadas en la cartografía, las modificaciones antrópicas de los procesos geomorfológicos se limitan a las canteras de yeso del paraje de Barbota (esquina NO de la hoja) acompañadas

de grandes terraplenes o taludes artificiales y las explotaciones de sal abandonadas de Bunatermin, hacia el borde septentrional.

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

En el capítulo de Estratigrafía de la Memoria del Mapa Geológico se efectúa una breve descripción de los depósitos cuaternarios presentes en la hoja de Artajona. A continuación se describen detalladamente, en orden a su génesis y edad, expresándose entre paréntesis su situación en las leyendas de los mapas geomorfológicos (letra) y geológico (número).

Las formaciones superficiales ocupan buena parte del margen occidental del territorio estudiado, recubriendo de forma mucho más dispersa el resto de la hoja.

##### **4.2.3.1. Cantos, limo-arcillas y arenas. Coluviones (a). Laderas. Holoceno.**

Son depósitos poco potentes (entre unos pocos decímetros y 1,5 metros que enlazan las vertientes con los fondos de valle de los Arroyos de Tejeria y Langorrea, o tapizan las laderas interterrazas de la margen izquierda del río Arga.

Litológicamente constan de limo-arcillas y arenas con cantos areniscosos muy esporádicos, cuando recubren o enlazan con fondos de valle y dominantes, de composición calcárea, areniscosa, calcarenítica o cuarcítica si se disponen como enlace entre terrazas.

Su edad debe considerarse Holoceno y subactual.

##### **4.2.3.2. Cantos y gravas. Limo-arcillas y arenas. Terrazas del río Arga (b, c, d, e, f, g). Fluvial. Pleistoceno indiferenciado-holoceno**

Se han cartografiado seis niveles de terrazas correspondientes al río Arga, con las siguientes cotas relativas al cauce actual:

NIVEL ALTURA EN M

b, 21+ 100

c, 23+55-50

d, 24+45-35

e, 25+20-15

f, 26+12-10

g, 29+7-5

Los estudios sobre las terrazas del río Arga se deben a BOMER, B, 1978; JUARISTI, J.M, 1979 y HERNANDEZ, A. et al, 1987.

Su litología corresponde en casi un 50% a cantos de calizas de varios tipos y el resto a areniscas, calcarenitas, cuarcitas y pequeños cantos de cuarzo con centiles de unos 15 cm. La procedencia de los clastos es de Sierras Exteriores Pirenaicas, los espesores de los depósitos se encuentran en torno a los 5 m y su sedimentología corresponde a cursos meandriformes.

El nivel +7-5 solapa con el cauce actual del río en todo su recorrido a través de la hoja. La terraza +12-10 es cartografiable en el margen septentrional, al Norte de Mendigorria y en la margen derecha al Sur de La Plana. Los depósitos situados a +20-15 m se disponen en ambas márgenes, alcanzándose las mayores extensiones al Sur de La Torreña y al Este de Recueja, en este último caso en el margen meridional de la hoja. El nivel 45-35 se observa entre los Altos de la Borda y Campo Andión, al Oeste del río y sobre todo al Sur de Altos de la Corona donde alcanza una superficie de varios kilómetros cuadrados. La terraza +55-50 posee escasa representación, reduciéndose a un único depósito situado al Norte del arroyo de Tejeria, en el cuadrante noroccidental. Finalmente se ha cartografiado un relicto del depósito situado a +100 m en los Altos de la Corona.

Los cinco niveles superiores deben considerarse de edad Pleistoceno, que debido a la ausencia de datos que permitan una datación absoluta, se ha considerado como indiferenciado mientras que el nivel inferior (+7-5 m) debe corresponder ya al Holoceno.

#### **4.2.3.3. Cantos y gravas. Limo-arcillas y arenas. Fondos de valle y vaguada (h). Fluvial. Holoceno**

Son rellenos de barrancos en V por aportes fluviales longitudinales, de ladera y posiblemente eólicos localizados en los sectores central y oriental del territorio de estudio, según direcciones N-SE, NE-SO y E-O. El valle de mayor expresión se sitúa en el Río Salado, al Noroeste de la localidad de Mendigorria. La potencia de los rellenos es de difícil estimación, si bien no debe superar los 2-3 m.

#### **4.2.3.4. Cantos, limo-arcillas y arenas. Conos de deyección (h). Fluvial. Holoceno**

Se restringen a dos depósitos de extensiones dispares situados al E de Altos de la Corona y en el borde noroccidental de la hoja en el paraje de Santa Agueda.

En el primer caso, constituye un depósito del orden de 1 km<sup>2</sup>, que enlaza con la terraza +45-35 del río Arga. El segundo depósito es de reducida extensión y enlaza, asimismo, con el mencionado nivel de terraza.

Estas acumulaciones presentan una clara heterometría y su génesis va ligada a un transporte acúeo con sedimentación en zonas llanas o deprimidas.

Su edad es Holoceno, subactual y actual.

#### **4.2.3.5. Cantos y gravas. Limo-arcillas y arenas. Llanura de inundación del río Arga (h). Fluvial. Holoceno**

La llanura de inundación del río Arga está escasamente desarrollada en esta región, reduciéndose a dos áreas localizadas en la margen derecha, al N de la confluencia del río Salado y en El Soto, en el suroccidental de la hoja.

El espectro litológico corresponde con los niveles inferiores de las terrazas siendo los espesores visibles de 2-3 metros.

Debe considerarse como subactuales y actuales.

**4.2.3.6. Bloques, cantos y gravas, barras de canal del río Arga (h). Fluvial. Holoceno**

Son depósitos de génesis actual, localizados en el cauce del Arga, al Norte de Mendigorria.

**4.2.3.7. Bloques, cantos y gravas. Limos-arcillas y arenas. Glacis (i). Poligenico. Pleistoceno indiferenciado**

Sólamente se ha observado un depósito de estas características, situado en San Gregorio, al NO de la hoja.

Genéticamente, debe considerarse como resultado de la acción erosiva y el transporte por aguas de arroyada, acompañado de acarreo, de los materiales procedentes de las laderas o relieves del Alto de Caratea, situados en la vecina hoja de Puente La Reina (141-III) .

Consta de cantos y gravas de composición areniscosa con algun bloque disperso, empastados en una matriz limo-arcillosa y yesífera, con algo de fracción de arena.

Su potencia oscila entre 2 y 3 metros y por su posición debe tratarse de un depósito antiguo en el ámbito del Pleistoceno, posiblemente coetáneo con la terraza superior (+100) del río Arga.

**4.2.3.8. Limo-arcillas y arenas. Deposito aluvial-coluvial (j). Poligenico. Holoceno.**

Son recubrimientos limo-arcillosos y arenosos que tapizan áreas deprimidas o zonas de baja pendiente.

Se localizan al NE del Alto de Yesada y SO de Añorbe, en ambos casos en la mitad septentrional; en las Navas al E de Mendigorria y en las proximidades de Artejona, fundamentalmente.

Son poco potentes (no superan el metro) y se consideran materiales Holoceno-subactuales.

### **4.3. EVOLUCION DINAMICA**

El rasgo geomorfológico más antiguo existente en la región, lo constituye una superficie erosiva, en la actualidad muy degradada y deformada que debió originarse por procesos de glaciplanación entre finales del Mioceno y antes del Cuaternario. La Depresión del Ebro cambió su régimen de endorreico a exorreico posiblemente al final del Plioceno y tanto el río Ebro, nivel de base regional, como su afluente Arga discurrieron por sobreimposición sobre la superficie citada.

La continua actividad fluvial del Arga y sus tributarios trajo consigo la disección de la región, generando diferentes tipos de modelados estructurales (cuestas, hog-backs y mesas), mientras que las etapas de agradación y de incisión dieron lugar a sistemas de terrazas encajadas. El encajamiento del río Arga se aproxima a 100 m por encima del cauce actual.

La alternancia de las etapas citadas obedece sin duda a causas básicamente climáticas.

En relación con los procesos de agradación y de incisión ligados a la red fluvial en la hoja, se reconoce el glacis de San Gregorio que indica una génesis en un medio cuaternario semiárido.

Ya en épocas holocenas se reconocen alternancias de etapas acumulativas y de incisión en los depósitos de las laderas y valles de fondo plano, que obedecen a cambios climáticos y/o a la acción antrópica.

Finalmente, bajo las circunstancias climáticas actuales, que señalan un medio morfoclimático semiárido, los procesos dominantes son los de la erosión hídrica, a los que acompañan en menor intensidad los de meteorización mecánica y química, movimiento de masas y erosión eólica.

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

El Arga funciona en la actualidad como un río meandiforme, con notable capacidad de transporte por arrastre de la carga de fondo. Su vega actual está construida casi exclusivamente por su terraza inferior (+7-5 m), que alcanza más de 1 km de anchura al Norte de Mendigorria.

En el momento presente existe, sin embargo, un claro predominio de los procesos de erosión sobre los de acumulación: la incisión lineal conlleva el ahondamiento de los cauces y la pérdida de cobertera de suelo.

Las actividades antrópicas (de forestación, sobrepastoreo, labores agrícolas, e industriales podrían acentuar en el futuro la actividad erosiva en la zona, con imprevisibles consecuencias.

Sin embargo, una adecuada política de conservación del entorno territorial reduciría sensiblemente e incluso minimizaría estos efectos.

## 5. HISTORIA GEOLOGICA

En este capítulo se dará una visión generalizada de la evolución tectónica y sedimentaria del sector abarcado por la hoja de Artajona, teniendo en cuenta los datos obtenidos mediante el estudio de la misma así como los referentes a áreas próximas.

Aunque en esta hoja no afloran materiales paleozoicos las observaciones realizadas en la región demuestran que se ha depositado, constituyendo el substrato de los sedimentos posteriores. El vestigio más cercano de rocas del paleozoico se encuentra en el diapiro de Estella, en la zona perteneciente a la hoja Allo (172), donde flotan entre el Keuper bloques de granitos, rocas metamórficas, y cuarcitas y pizarras paleozoicas.

Tras la etapa tectogenética hercínica, una etapa distensiva tardihercínica tiene singular importancia en la posterior evolución paleogeográfica de la región, al marcar zonas de fracturas de directrices fundamentalmente E-W que posteriormente han rejugado durante los tiempos alpinos. El final de esta fase trae consigo la emersión del macizo hercínico y el posterior desmantelamiento erosivo del mismo, permitiendo la sedimentación de potentes series clásticas durante el Pérmico superior y Trías inferior, principalmente en las áreas deprimidas del zócalo.

No afloran en esta hoja depósitos correspondientes al Triásico y Jurásico. Los más próximos se encuentran en las hojas situadas al N y NE de la de Artajona. Por tanto, para la breve descripción de esta etapa nos apoyaremos en lo descrito en dichas memorias.

El Muschelkalk en la zona de Estella se presenta en facies de plataforma marina somera bajo influjo de mareas, y abre paso a la facies Keuper, depositada en medios transicionales restringidos del tipo sebka litoral. En el Keuper se emplazan importantes masas de rocas volcánicas básicas de tipo ofítico.

Durante el Jurásico, la sedimentación tuvo lugar dentro de una extensa plataforma carbonatada. La unidad basal, de edad Rethiense-Sinemuriense inferior, corresponde a una secuencia transgresiva en el ámbito de dicha plataforma. A techo de esta unidad se establece ya un régimen marino somero francamente abierto.

El máximo transgresivo del Jurásico se alcanza con los depósitos margosos del Lias Superior, depositados en una plataforma externa relativamente profunda.

A comienzos del Dogger se inicia una secuencia regresiva con disminución de la batimetría y señales de mayor proximidad dentro de plataforma.

A finales del Dogger debió producirse un rejuvenecimiento de los relieves emergidos que tuvo por consecuencia el progresivo aumento de aportes terrígenos durante el Malm.

No existe constancia en estas zonas de sedimentos correspondientes al Jurásico más alto y Cretácico inferior en facies Purbeck y Weald, lo cual es probablemente consecuencia del funcionamiento como umbral de la zona durante esta época, tal vez debido, como adelanta KING (1967) a una precoz actividad diapírica.

En el Albiense ocurre una nueva pulsación tectónica de tipo epirogenético, correspondiente a la fase austrica, originando el rejuvenecimiento de los relieves emergidos y por consiguiente el aumento de aportes terrígenos hacia el interior de la cuenca. La sedimentación en esta área tiene lugar en medios de plataforma externa con una alta contaminación detrítica.

Durante el Cretácico superior se diferencian dos grandes ciclos sedimentarios separados por una discontinuidad de orden mayor que ocupa el Turoniense superior Coniaciense inferior.

El ciclo Cenomaniense-Turoniense presenta importantes hiatos sedimentarios durante el Turoniense inferior, y su sedimentación viene caracterizada por facies muy distales de margas y margas calcáreas a veces nodulosas (Flysch de bolas) con abundante fauna planctónica que corresponde a medios profundos de cuenca.

Por encima de la discontinuidad Turoniense-Coniaciense se desarrolla el segundo ciclo Coniaciense-Maastrichtiense. En su mayor parte está caracterizado por facies de margocalizas nodulosas mostrando hacia el techo facies terrígenas. La abundante microfauna es fundamentalmente planctónica mostrando hacia el techo un considerable aumento de los Foraminíferos bentónicos. La evolución ambiental corresponde durante el Coniaciense-Santoniense superior y gran parte del Campaniense a

depositos de plataforma externa si bien puede apreciarse durante el Santoniense superior un leve impulso regresivo correspondiente a depósitos de plataforma externa próxima).

En el tránsito Santoniense-Campaniense concluye el proceso de apertura del Golfo de Vizcaya, a la vez que se produce la elevación del Macizo del Ebro que estaría situado al S de la zona de estudio con el consiguiente aumento de aportes detríticos en la cuenca. Este periodo regresivo ocupa el Campaniense superior y Maastrichtiense con depositos de plataforma interna, con una gran contaminación terrígena en un ambiente sometido probablemente a la acción de las mareas.

Por encima del Maastrichtiense se sitúa una nueva discontinuidad que constituye la base del siguiente ciclo.

El ciclo Paleoceno tiene características regresivo-transgresivas y está representado en su base de tipo intermedio entre el Garumniense típico y el Paleoceno marino, para terminar con niveles marinos que nos indican un ambiente restringido (calizas de algas del Montiense-Thanetiense).

Durante este periodo existen nuevas pulsaciones tectónicas que se traducen en hiatos locales, que son las causantes de la falta de afloramientos del tránsito Paleoceno-Eoceno.

El Luteciense descansa sobre una importante discontinuidad. En esta época se desarrollan facies de alta energía de barras bioclásticas.

Posteriormente la secuencia se va haciendo más detrítica en la plataforma. Se establece una cuenca con el depósito uniforme de las Margas de Pamplona.

Al final del Eoceno se inicia una etapa compresiva correspondiente a la fase pirenaica. Esta origina discordancias locales, al mismo tiempo que se produce una pérdida de la profundidad en la cuenca, se inician las estructuras con direcciones pirenaicas, a la vez que se va restringiendo la cuenca marina progresivamente hasta que se establece un régimen lacustre.

A partir de este momento se inician una serie de procesos geológicos que va a dar lugar a la formación de cinco Ciclos de carácter Tectosedimentario que van a tener un gran desarrollo en la zona considerada.

En términos generales se puede afirmar que las unidades detríticas, características del borde de la cuenca se van situando progresivamente más al Sur en cada proceso, respecto a la situación que ocupaban sus equivalentes detríticas del proceso anterior.

Durante el 2º y 3er. Ciclo las facies detríticas de borde se distribuyen a lo largo del borde N de las hojas 1:50.000 de Allo y Tafalla, y la zona E de la de Sangüesa; las facies lacustres ocuparían el resto de las tres hojas mencionadas y se extenderían por toda la superficie de la de Peralta. Por los datos obtenidos de las columnas estratigráficas se observa que las facies lacustres evaporíticas ocuparían el sector occidental de la cuenca, mientras que las carbonatadas estarían situadas en el sector oriental (hoja de Sangüesa).

Durante el 4º Ciclo las unidades detríticas cubren discordantemente las facies lacustres del proceso anterior, previamente plegadas, en la mayor parte de las hojas de Allo, Tafalla y Sangüesa, mientras que en un sentido amplio las facies lacustres de este ciclo se apoyan mediante paraconformidad sobre sus equivalentes del proceso anterior, en las zonas de Peralta y Sur de la hoja de Allo.

Por último los materiales detríticos del 5º Ciclo ocuparían la mayor parte de la zona estudiada, ocupando sus equivalentes lacustres únicamente el sector SO de la hoja de Peralta. Este último proceso tuvo lugar como resultado de la Fase Neocastellana, que es el último de carácter compresivo en la región.

En zonas próximas durante el Mioceno superior Plioceno se produce una fase distensiva que origina una serie de fosas rellenas posteriormente por sedimentos. Más tarde se produce el encajamiento de la red fluvial con depósitos de terrazas y sistemas de Glacis.

## **6. GEOLOGIA ECONOMICA**

### **6.1. RECURSOS MINERALES**

#### **6.1.1. Cobre**

Es, junto con el hierro, la sustancia metálica que presenta la mayor cantidad de indicios y yacimientos de Navarra.

En la Hoja de Artajona, los indicios de cobre, cuatro en total, se sitúan a unos 4-5 km al SW de Añorbe (Cuadro 1).

Estos indicios forman parte de una franja de dirección aproximada E-W que atraviesa toda la provincia en una latitud intermedia entre las localidades de Estella y Tafalla.

Estas mineralizaciones, conocidas desde el siglo pasado, muestran morfologías estratiformes, con un claro origen sedimentario. Están constituidas por sulfuros y carbonatos de cobre y se encuentran en la base de paleocanales areniscos atribuidos a la Fm. Areniscas de Mués, de edad Sueviense, que llega a alcanzar 1000 m de espesor.

Los canales muestran fuertes buzamientos hacia el sur, así como morfologías lenticulares y espesores próximos al metro en la mayoría de los casos, si bien pueden llegar a alcanzar 4 m. Aunque los colores predominantes son rojizos, los cuerpos mineralizados poseen colores blanquecinos; pese a que anteriormente han sido explotados, su ley máxima probable no debe superar el 0,4%. Composicionalmente presentan cuarzo (40-60%), feldespatos (10-12%), láminas de micas (0-12%), fragmentos de cuarcitas, pizarras, sílex y algunos minerales accesorios como turmalina, circón, rutilo, glauconita algo oxidada y clorita.

Las concentraciones se deben a procesos puramente sedimentarios como denuncia la presencia de los sulfuros y carbonatos en la base de los canales. El depósito en esta zona está relacionado con un sistema fluvial caracterizado por flujos de alta sinuosidad procedente del S-SSW, desarrollado en el Oligoceno (Fm. Mués).

#### **6.1.1.1. Potencial minero**

Desde hace algunos años, no existe en Navarra ninguna explotación de cobre, como consecuencia de varios factores, entre los que cabe destacar una notable carencia de estudios de detalle de las mineralizaciones, con un grado de conocimiento en lo concerniente a datos económicos, leyes y reservas muy bajo.

En esta zona, las explotaciones de cobre tropezaron con un doble inconveniente que hizo que fuesen abandonadas: la baja ley de las mineralizaciones y el fuerte buzamiento de los paleocanales de arenisca, lo que dificulta técnicamente los trabajos de extracción.

#### **6.1.2. Sal comun**

Los yacimientos de sal común dentro de la Hoja de Artajona estan asociados a la Fm. Yesos de Puente la Reina, formación evaporítica de edad terciaria. La disposición es más o menos estratiforme, en contraste con las sales de origen triásico, presentes en otras zonas de Navarra, cuya disposición es irregular, como consecuencia de su ascenso diapírico.

El indicio más importante de la Hoja se sitúa en San Guillermo (Obanos), correspondiente a una explotación salinera que ha estado en activo recientemente. La potencia de esta formación es del orden de 400 m y la presencia de sal en el subsuelo se ha puesto de manifiesto en diferentes sondeos (Castiella et al. 1978).

#### **6.1.2.1. Potencial minero**

Respecto a los yacimientos de sal común en Navarra, muestran una mejor disposición para su explotación las sales presentes en la facies Keuper del Triásico superior, ya que debido a su caracter diapírico, es posible encontrar los niveles salinos a menor profundidad, explotandose con técnicas de inyección de aguas dulces y extracción en salmueras.

### **6.1.3. Yeso**

Los yesos existentes en la zona centro-occidental de Navarra están relacionados con varias formaciones plegadas pertenecientes al Oligoceno.

En la Hoja de Artajona, los indicios de yeso se localizan en la Fm. Yesos de Puente de La Reina, en la que se observan dos tipos de litologías básicas: yesos laminados bien estratificados en capas masivas de 20 cm a 2 m, con intercalaciones delgadas de arcillas y yesos nodulares-micronodulares, bien estratificados en capas masivas. En ambos casos se trata de yesos secundarios de tipo alabastrino. Según los análisis de difracción de rayos x, el mineral dominante es yeso, con trazas de cuarzo.

#### **6.1.3.1. Potencial minero**

Los análisis químicos recogidos en el "Programa de Investigación de las Formaciones Evaporíticas de Navarra" (1986) determinan que la calidad de los yesos de la Fm. Yesos de Puente la Reina es buena y su explotación en niveles continuos se realiza actualmente en Mañeru (en las proximidades del indicio 522, San Vicente, en el extremo noroccidental de la Hoja), aunque la presencia de intercalaciones arcillosas dificulta las labores de aprovechamiento.

## **6.2. HIDROGEOLOGIA**

### **6.2.1. Introduccion**

La Hidrogeología de la zona es bastante conocida gracias a los estudios que ha realizado el Gobierno de la Comunidad Foral de Navarra. Entre estos 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, que han comprendido todas las unidades existentes en la Hoja y que proporcionan por tanto un buen conocimiento de las condiciones hidrogeológicas, 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 Tafalla se encuentran 3. Son las siguientes.

-Unidad Sur, que ocupa prácticamente toda la mitad Sur de Navarra y por tanto la mayor parte de la extensión de la Hoja.

-Unidad hidrogeológica del Aluvial del Ebro y afluentes, desarrollada a partir de la red fluvial instalada sobre los materiales de la unidad anterior.

-Unidad Hidrogeológica de Alaiz, al N de la Hoja 1:25.000 de Barasoain, entre esta y la de Pamplona y que comprende la Sierra del mismo nombre.

La hoja 1:50.000 de Tafalla está atravesada de Norte a Sur por los ríos Arga en la parte occidental y por el río Cidacos, afluentes del río Aragón. Toda ella está comprendida en la cuenca hidrográfica de este río.

La pluviometría media anual oscila entre menos de 500 mm al sur de Tafalla y los 1000 mm en la Sierra de Alaiz, al norte de la Hoja.

El clima es de tipo continental, con variaciones térmicas importantes. Las temperaturas medias se sitúan entre 12 y 13°C, con medias máximas y mínimas de 21, 22°C (Julio) y 4,5°C (Enero).

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

La mayor parte de la extensión de la hoja 1:50.000 de Tafalla está ocupada por la denominada unidad hidrogeológica Sur, formada por materiales del Terciario 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 de unos a otros y su estructura bastante tranquila. En líneas generales, y atendiendo a criterios litológicos los materiales se pueden agrupar en los tres grupos siguientes:

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

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

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

Desde un punto de vista hidrogeológico, los únicos que presentan algún interés son los de las facies detríticas y los materiales de alteración. Los otros, por su escasa permeabilidad y por la mala calidad química de las aguas, prácticamente se pueden desestimar, ya que raramente se pueden utilizar para satisfacer demandas. En cualquier caso, la mayor parte de los materiales incluidos los detríticos, se comportan como prácticamente impermeables.

En las facies detríticas, los conglomerados y las areniscas constituyen los acuíferos. Los constituidos por conglomerados, por lo general muy cementados, pueden alcanzar espesores de hasta 200 m. Las areniscas, más o menos consolidadas, están en alternancia con arcillas y pueden corresponder a paleocanales, normalmente de espesores comprendidos entre 0.5 y 3 m aunque a veces pueden sobrepasar los 15 m.

Ambas formaciones pueden permitir una circulación de agua en la zona próxima a la superficie, donde pueden estar más descalcificados. En zonas profundas, se presentan cementados y con poca porosidad, por lo que el agua circula a través de las escasas fisuras que lo permiten.

Los acuíferos formados, lo mismo que los constituidos por materiales de alteración, están localizados; su distribución es irregular, su extensión pequeña, su permeabilidad baja y suelen estar desconectados entre si, 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 origina por manantiales dispersos y por un flujo subterráneo hacia los ríos y arroyos a través de los cuaternarios asociados a los mismos.

Los manantiales existentes tienen caudales irregulares con medias muy bajas, (inferiores a 1-2 l/s, con caudales máximos de más de 5 l/s) y muchos se secan en los estiajes prolongados. En general estas surgencias drenan los niveles de conglomerados y areniscas y los materiales de alteración existentes en la zona. Algunos de estos manantiales se aprovechan para el abastecimiento de los pequeños núcleos de población, puesto que aunque sus caudales son escasos, a menudo son los únicos disponibles. Otros manantiales se utilizan para abrevaderos de ganado y otros no se usan.

Los pozos son normalmente excavados, su profundidad raramente supera los 10 m y los caudales que proporcionan son también escasos, con agotamientos rápidos y recuperaciones muy lentas. Se localizan normalmente cerca de los núcleos urbanos y en su mayor parte no se utilizan; los que si se usan lo suelen ser para el riego de pequeñas huertas y para complementar los abastecimientos. Los sondeos existentes son también muy escasos, así como sus caudales muy bajos, por lo que normalmente no se utilizan.

En un sondeo realizado en las proximidades de Orisoain (hoja de Barasoain), en la unidad geológica de Artajona-Olite, en las areniscas, limolitas y arcillas con alguna intercalación de conglomerados, del Mioceno inferior medio, de 186 m de profundidad, se han obtenido caudales del orden de 3 l/s, que en la zona son muy importantes para el abastecimiento de pequeñas poblaciones. El agua se ha encontrado en los contactos de las areniscas y conglomerados con arcillas y dentro de aquellas formaciones. En el Anexo nº 1 se incluye información de este sondeo.

En otro sondeo realizado en las inmediaciones de San Martín de Unx (hoja de Tafalla), al NE de la población, en la unidad geológica de Gallipienzo-Leoz, formada por capas extensas y potentes de areniscas, limolitas y arcillas, localmente margas, del Oligoceno superior-Mioceno inferior, de 150 m de profundidad, el escaso caudal de agua obtenido, del orden de 0.25 l/s, con descensos superiores a 100 m y tiempos de recuperación de más de 24 h aconsejaron su no aprovechamiento. En el mismo anexo nº 1, se incluye también información del mismo.

Las aguas subterráneas de las facies detríticas suelen ser de dureza media y mineralización notable. Por su composición iónica son casi siempre bicarbonatadas y

en algún caso, bicarbonatadas sulfatadas, cálcicas. Desde el punto de vista de aptitud para el riego pertenecen a las clases C2 S1 o bien a la C3 S1.

### **6.2.3. Unidad del aluvial del Ebro y afluentes**

Está representada por los aluviales de los ríos Arga y Cidacos. En este último río adquieren solamente un desarrollo importante en el área de Tafalla y al sur de la misma.

Sus materiales son gravas, arenas, limos y arcillas, depositados de forma irregular y con frecuentes cambios de facies entre sí, aunque de manera general, predominan los materiales gruesos en el fondo, mientras que en superficie son más frecuentes los finos. Los espesores máximos de aluvial encontrados en perforaciones, o medidos por medios geofísicos, no superan los 20 m en el río Arga y los 17 en el Cidacos.

Según los estudios geofísicos realizados en el Proyecto Hidrogeológico, los perfiles geoelectrónicos realizados en el río Cidacos presentan los valores de resistividad más bajos de todos los medidos en los aluviales de los ríos importantes, lo que indica un mayor predominio de finos.

Los materiales encajantes, que forman la base de los acuíferos de esta unidad, son siempre los materiales terciarios de la unidad Sur, en este caso las facies detríticas y evaporíticas del Oligoceno-Mioceno.

Los materiales aluviales constituyen acuíferos libres, permeables por porosidad, conectados con el río o colgados cuando corresponden a las terrazas altas. En el primer caso, los niveles piezométricos están íntimamente ligados al río y los más altos y mínimos están relacionados con estos, correspondiendo en general a invierno - primavera los primeros y al final del estiaje los segundos. En las terrazas colgadas los niveles pueden estar asociados a riegos y en este caso estar invertidos respecto a los anteriores.

Las transmisividades de los acuíferos de la llanura de inundación, según el Proyecto Hidrogeológico están comprendidas entre 100 y 500 m<sup>2</sup>/día para el Arga y entre 10 y 300 m<sup>2</sup>/día para el Cidacos. Las porosidades están comprendidas entre el 10 y el 30 %.

La recarga de estos acuíferos se realiza a partir de la infiltración del agua de lluvia, de la que procede de los excedentes de riego, de la escorrentía superficial y subterránea de los materiales del terciario del entorno y de las crecidas y desbordamientos de los ríos. La descarga se realiza a través del drenaje de los ríos y del bombeo de los pozos. Las terrazas colgadas drenan también por manantiales, que aunque presentan oscilaciones grandes de caudal, estos normalmente están comprendidos entre 1 y 10 l/s.

Los pozos suelen ser excavados, existiendo también algún sondeo. Según el inventario realizado sus caudales máximos son de 70 l/s para el Arga y de 55 l/s para el Cidacos, con valores medios de 24 y 13 l/s, respectivamente.

Estos recursos están también muy relacionados con los de las aguas superficiales de los ríos, puesto que existe una estrecha conexión hidráulica entre los acuíferos aluviales y los mismos. Además de las relaciones piezométricas, ya mencionadas, en los bombeos realizados se reflejan los efectos de la recarga inducida a partir de éstos. El sistema funciona normalmente con ríos efluentes, que drenan los acuíferos y que se convierten en influentes en los momentos de las crecidas. En general las recargas y descargas máximas tienen lugar entre Febrero y Mayo las primeras y entre Agosto y Octubre las segundas.

En cuanto a sus características químicas las aguas subterráneas del aluvial del Arga son de mineralización notable y muy fuerte, normalmente duras aunque también pueden ser extremadamente duras y de dureza media y por sus facies químicas suelen ser bicarbonatadas cloruradas, en algún caso también sulfatadas sodico cálcicas. Las del aluvial del Cidacos son de mineralización notable y duras y sus facies son en general bicarbonatadas sulfatadas cálcicas y sodico cálcicas. Desde el punto de vista de aptitud para el riego las de ambos aluviales son en general de la clase C3 S1.

#### **6.2.4. Unidad hidrogeológica de Alaiz**

La unidad hidrogeológica de Alaiz, ocupa la sierra del mismo nombre, al sur de la cuenca de Pamplona. Se extiende entre las Hojas 1:50.000 de Tafalla y la del norte, Pamplona.

Está formada por calizas, dolomías, calcarenitas y margas del Cretácico Superior, Paleoceno y Eoceno, que forman un acuífero único, que se caracteriza por tener los niveles piezométricos muy profundos y por la ausencia de manantiales en los bordes.

Este acuífero, libre en la zona de la Sierra, se prolonga por debajo de las Margas de Pamplona donde se comporta como confinado. Los límites del acuífero profundo están totalmente condicionados por características litológicas, cambios laterales de facies, por el norte y estructurales por el este, oeste y sur.

Este acuífero profundo es muy permeable en zonas de fracturación, por lo que los paquetes carbonatados deben estar compartimentados, con masas muy poco permeables y áreas fracturadas por las que circula el agua.

El funcionamiento del acuífero no es bien conocido. La alimentación se debe producir por lo menos por infiltración del agua de lluvia de la zona y es elevada en relación a la precipitación, mientras que la descarga no se sabe bien como se produce, puesto que no existen bombeos ni manantiales conocidos. Por cotas de los niveles piezométricos cabría pensar solamente en una circulación y descarga en el Ebro y afluentes, en áreas alejadas del Sur de Navarra, sino fuera por que geologicamente esta circulación es muy difícil que se produzca.

La infiltración sobre las calizas de la Sierra, con una superficie de 35 km<sup>2</sup> y una pluviometría media de 34 hm<sup>3</sup>/año, fué estimada en el Proyecto Hidrogeológico en unos 10 hm<sup>3</sup>/año.

En estos momentos el aprovechamiento hídrico de la Unidad de Alaiz es nulo y se utiliza el acuífero confinado como almacén, para la evacuación de residuos de salmuera procedentes de Potasas.

### **6.3. CARACTERÍSTICAS GEOTECNICAS GENERALES**

En la hoja de Artajona pueden diferenciarse, atendiendo a los aspectos litológicos, geomorfológicos e hidrogeológicos de los materiales que la constituyen, tres áreas de comportamiento geotécnico diferente. Estas a su vez se han subdividido en zonas que engloban distintas unidades cartográficas del mapa geológico.

#### AREA I:

Comprende los depósitos terciarios con predominio de facies yesíferas. Dentro de este área se ha distinguido la siguiente zona:

ZONA I1: A ella pertenecen las unidades cartográficas 303 (Yesos de Pte. La Reina) y 327 (Yesos de Mendigorria).

Las capas se presentan intensamente replegadas en el caso de la unidad 303 y subverticales en el caso de la unidad 327, con buzamientos próximos a los 80° hacia el sur.

Son formaciones no ripables, con deficiente drenaje profundo y riesgos de encharcamiento. Dan desmontes subverticales estables y pueden presentar problemas de agresividad a los hormigones.

No se han realizado ensayos de laboratorio de estos materiales.

#### AREA II:

Comprende los depósitos terciarios con predominio de facies detríticas y margosas que no constituyen relieves de importancia. Dentro de éste área se han distinguido las siguientes zonas.

ZONA II1: A ella pertenece la unidad cartográfica 364 (Conglomerados de Olleta).

Está constituida por bancos de conglomerados y areniscas con intercalaciones de limolitas, con disposición subhorizontal.

Es una formación ripable, con drenaje superficial y profundo deficiente y desmontes inestables.

No se han realizado ensayos de laboratorio de estos materiales.

ZONA II2: A ella pertenecen las unidades cartográficas 307 (Areniscas de Mues), 359 (Areniscas de Leoz) y 398 (Areniscas de Artajona).

Están constituidas por una alternancia de capas de areniscas, limolitas y arcillas, en disposición subvertical las dos primeras y con suaves buzamientos (<15°) a subhorizontal.

Son formaciones ripables, con drenaje superficial y profundo deficiente. Los desmontes son inestables, con riegos de desprendimientos de bloques, debido a la erosión diferencial de los distintos materiales.

a) Ensayos de indentificación

|                                     | Tz<br>200% | LL | IP | CASAG | W   | DEN-<br>SEC. | CO <sub>3</sub> | SO <sub>3</sub> | MAT.<br>ORG. |
|-------------------------------------|------------|----|----|-------|-----|--------------|-----------------|-----------------|--------------|
| Limos y margas limosas alteradas    | 82         | 33 | 17 | CL    | 16  | 2            | 38              | 2               | INAP         |
| Areniscas y margas duras (fr. fina) | 90         | 32 | 16 | CL    | 6.6 | 2.39         | 39.5            | INAP            | INAP         |
| Areniscas y margas duras (fr. dura) |            |    |    |       | 4.5 | 2.4          | 50              | INAP            | INAP         |

b) Ensayos de resistencia y deformabilidad

|                                     | Qulab | CBR | RQD | Modulo E | C. Poisson | Ang.<br><br>Rozam. | Cohesión | Qu.<br><br>Macizo |
|-------------------------------------|-------|-----|-----|----------|------------|--------------------|----------|-------------------|
| Limos y margas limosas alteradas    | 2.69  | 3   |     | 162.5    | 0.3        | 25                 | 0.8      | 2                 |
| Areniscas y margas duras (fr. fina) | 101   |     |     |          |            |                    |          |                   |
| Areniscas y margas duras (fr. dura) | 367   |     | 69  | 13.900   | 0.3        | 30                 | 0.1      | 30.56             |

c) Ensayos de compactación e hinchamiento

|                                  | Densidad proctor | Humedad proctor | Hinchamiento lambe |
|----------------------------------|------------------|-----------------|--------------------|
| Limos y margas limosas alteradas | 1.85             | 13.2            | 0.69               |

ZONAS II3: A ella pertenecen las unidades cartográficas 309, 324 y 365.

Están constituidas por limolitas, margas y arcillas con capas de areniscas. Los materiales de las unidades 309 y 324 se encuentran en disposición subvertical, mientras que los de la unidad 365 presentan desde posiciones subverticales a subhorizontales.

Son formaciones ripables, con drenaje superficial muy deficientes con riesgos de encharcamiento. Los desmontes son inestables, por la elevada erosionabilidad de los materiales.

a) Ensayos de identificación

|                            | Tz<br>200% | LL | IP | CASAG | W    | DEN.<br>SEC. | CO <sub>3</sub> | SO <sub>3</sub> | MAT.<br>ORG. |
|----------------------------|------------|----|----|-------|------|--------------|-----------------|-----------------|--------------|
| Margas rojas alteradas     | 95         | 43 | 26 | CL    | 13.5 | 1.95         | 43              | INAP            | INAP         |
| Margas rojas sanas         |            |    |    |       | 6.9  | 2.25         | 27.5            | INAP            | INAP         |
| Margas y arenas arcillosas | 79         | 30 | 12 | CL-ML |      |              | 42              | INAP            | INAP         |
| Margas calcáreas           |            |    |    |       | 5.5  | 2.42         | 46              | INAP            | INAP         |

b) Ensayos de Resistencia y deformabilidad

|                            | Qulab | CBR | RQD | Modulo E | C. Poisson | Ang.<br>Rozam. | Cohesión | Qu.<br>Macizo |
|----------------------------|-------|-----|-----|----------|------------|----------------|----------|---------------|
| Margas rojas alteradas     | 2.4   | 1.7 |     | 200      | 0.3        | 0°             | 26       | 22            |
| Margas rojas sanas         | 115   |     | 55  | 4.000    | 0.3        | 11.5           | 22       | 15            |
| Margas y arenas arcillosas |       | 5.5 |     | 100      |            | 26             |          |               |
| Margas calcáreas           |       | 3.7 | 35  | 5.000    | 0.3        | 30             | 6        |               |

## c) Ensayos de compactación e hinchamiento

|                            | Densidad proctor | Humedad proctor |
|----------------------------|------------------|-----------------|
| Margas rojas alteradas     | 1.7              | 16.5            |
| Margas y arenas arcillosas | 1.80             | 12.5            |

## AREA III:

Comprende los depósitos cuaternarios con predominio de materiales detríticos gruesos (cantos y bloques con matriz limosa y arcillosa). Dentro de este área se han distinguido las siguientes zonas:

ZONA III1: A ella pertenecen las unidades cartográficas 505, 506, 507, 508 y 524 (Terrazas del río Arga) y 516 (Glacis). Están constituidas por cantos y gravas con matriz limo-arcillosa y arenas.

Son formaciones ripables, aptas para la obtención de gravas y préstamos. Los taludes se mantienen prácticamente verticales. En general son materiales permeables, donde el drenaje se efectúa por filtración.

No se han realizado ensayos de laboratorio de estos materiales.

ZONA III2: A ella pertenecen las unidades cartográficas 543 (coluviones), 527 (Fondos de valle) y 537 (Depósitos aluvial-coluvial).

Están constituidas por materiales limo-arcillosos y arenas con cantos. Son depósitos por lo general poco potentes.

La ripabilidad de estos depósitos es alta y su permeabilidad de media a alta, no presentando problemas de drenaje. Los taludes naturales son, por lo general, bajos.

No se han realizado ensayos de laboratorio de estos materiales.

## 7. BIBLIOGRAFIA

ALMELA, A. y RIOS, J.M. (1946).- "Datos para el conocimiento estratigráfico y tectónico del Pirineo Navarro. VI Algunos datos paleontológicos de la región subpirenaica Navarra". Not. y Com. IGME, número 16, pp. 75-87.

ALMELA, A. (1962).- Tectónica yesífera de la Cuenca del Ebro. Tomo V. Comunicaciones, Tema 6, pp. 5-11. Servicio Geológico de Obras Públicas. I Coloquio Internacional sobre las Obras Públicas en los terrenos yesíferos.

BOILLOT, G. (1980).- "De la subduction a la collision: L'exemple des Pyrenées". Bull. B.R.G.M. Sec. 1 núm. 2. pp. 93-101.

BOMBER, B. y RIBA, O. (1965). Deformaciones tectónicas recientes por movimientos de yesos en Villafranca de Navarra". Com. C. 6-3 del Tomo V. 1er. Coloquio Internacional sobre las obras públicas de terrenos yesíferos".

BOMER, B. 1978. Le bassin de l'ebre et ses bordures montagneuses. Etude Géomorphologique. Tesis Doctoral, 3 vol, 602 p. (Inedito).

BRYAN, R. y YAIR, A. 1982.- Perspectives on studies of badland geomorphology (en: Bryan, R. y Yair, A. 1982. Geo Books (Geo Abstracts Ltd.), Norwich.

CARBAYO, A.; CASTIELLA, J.J. y SOLE, J. (1974).- "Memoria explicativa de la hoja núme. 172 (Allo)". Informe inédito. Excma. Diputación de Navarra.

CASTIELLA, J., SOLE SEDO, J. NIÑEROLA, S. y OTAMENDI, A. (1982).- "Las Aguas subterráneas en Navarra. Proyecto hidrogeológico". Diputación Foral de Navarra. Dirección de Obras Públicas. Servicio Geológico. Pamplona.

CASTIELLA, J., SOLE, J., Y DEL VALLE, J. (1978).- Mapa Geológico de Navarra, E. 1:200.000.

CHOKROUNE, P.; LE PICHON, A.; SEGURET, M. y SIBUET, J.C. (1973). "Bay of Biscay anot Pyrenees". Earth Plant. Sc. Letters. vol. 18, pp. 109-118.

CHOKROUNE, P. y SEGURET, M. (1973).- "Tectonics of the Pyrenees; role of compression and gravity". In Gravity and Tectonics. Ed. John Wiley, pp. 141-156.

CINCUNEGUI, M; MENDIZABAL, J. y VALLE, A. (1943).- "Mapa geológico de España 1.50.000. Explication de la hoja núm. 172 (Allo)". IGME. Madrid.

CIRY, R. (1951).- "L'evolution paleogeographie de l'Espagne septentrionale au Cretacé inferieur". Inst. Geol. Min. Esp. Libro Jubilar, T. 2, pp. 17-51.

CIRY, R. (1951).- "Observation sur le Cretacé de la Navarre espagnole du NordOuest de Pamplonne". C.R.A. Sc. Paris. T. 233, pp. 72-74.

COLOM, G. (1945).- "Estudio preliminar de las microfaunas de Foraminiferos de las margas Eocenas y Oligocenas de Navarra". Est. Geol. núm. 2, pp. 33-84.

CRUSAFONT, M; TRUYOLS, J. y RIBA, O. (1966).- "Contribución al conocimiento de la Estratigrafía del Terciario continental de Navarra y Rioja". Notas y Comunicaciones del IGME, 90, pp. 53-76.

FEUILLE, P. (1962).- "Le Cretacée moyen en Navarre espagnole". Mem. Cong. Inst. Est. Pirenaicos. P. 12, Pau.

FEUILLE, P. (1963).- "La base de Flysch Sud-Pyrénéen (Navarre Espag.)". C.R. Acad. Sc. T. 256, pp. 2640-2642.

FEUILLEE, P. (1965).- "Contribution a la connaissance des Cretacé moyen du Nord et l'Oyest de la Navarre espagnole". Actes 4º Congrès Int. Et. Pyren. pp. 48-59.

FEUILLEE, P. y RAT, P. (1971).- "Structures et Paleogeographies pyreneocantabriques". In Histoire structurale du Golfe de Gascogne. Inst. Fran. Petrol. Vol. 2, pp. 1-48.

GARCIA SINERIZ, J. (1941).- "Investigación sísmica en Puente la Reina-Obanos-Tirapu". Mem. IGME. T, 44, pp. 127-152.

GOBIERNO DE NAVARRA. (1987).- Abastecimiento a la ciudad de Tafalla. Investigación hidrogeológica de la Sierra de Alaiz. CGS.

GOBIERNO DE NAVARRA.- Las formaciones evaporíticas del Terciario continental de la Cuenca del Ebro en Navarra y La Rioja. Litoestratigrafía, petrología y sedimentología. Vol. I y II.

HERNANDEZ PACHECO, F. (1950).- "Esquema Geológico del Pais Vasco en los límites de Guipuzcoa con Navarra". (Seguido de un ensayo de síntesis de la obra de P. Lamare. "Recherches geologiques dans les Pyrénées basques d'Espagne"). Munibe, vol. 3, pp. 121-131.

HERNANDEZ, A., RAMIREZ MERINO, J.I. RAMIREZ DEL POZO, J. OLIVE, A. 1987.- Mapa Geológico de España. Ec. 1:50.000. Hoja 173. Tafalla. IGME.

HERNANDEZ, A. RAMIREZ DEL POZO, J. y OLIVE, A., 1987.- Mapa Geológico de España. IGME E. 1:50.000. Hoja 206. Peralta.

IÑIGUEZ, J.; VAL, R.; SANCHEZ., ROMERO, A. y MUNILLA, C. 1984.- Mapa de suelos de Navarra. Escala 1:50.000. Hoja 206. Peralta. Príncipe de Viana. Supl. Ciencias. 3/4, pp 3-42 Pamplona.

ITGE. Dirección de Aguas subterráneas y Geotecnia (1986).- Calidad y contaminación de las aguas subterráneas en las comunidades autónomas (Reestructuración y síntesis cartografica de los datos de análisis químicos) Navarra. Ministerio de Industria y Energia. Secretaria de la Energia y Recursos Minerales.

JUARISTI, J.M. 1979.- Terrazas y glaciares en el bajo Valle del Arga. Actas III Reunion Nacional GETC. Zaragoza. Sep. 1977, pp. 161-169.

JULIVERT, M.; FONTBOTE, J.M.; RIBEIRO, A. y CONDE, L. (1972),. "Explicación del Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares". IGME, pp. 1-113.

KRAUSSE, H.F. (1971).- The tectonical evolution of the western Pyrenées". PIRINEOS NÚM. 111, PP. 69-96.

LAMARE, P. (1936),. "Recherches geologiques dans les Pyreneées basques d'Espagne". mem. Soc. Geol. France, n. 5, mem. 27, Paris.

LEON, L. (1972).- "Síntesis paleogeográfica y estratigráfica del Paleoceno del Norte de Navarra. Paso al Eoceno". Bol. Geol. y Miner. T. 63, popp. 234-241.

LERANOS, B. 1990.- El endorreísmo en el S de Navarra. Actas de la I Reunión Nacional de Geomorfología, pp. 289-298. Teruel

LOTZE, F. (1946).- "Elementos estructurales dirigidos al NE, que intervienen en la constitución de los Pirineos occidentales". Publ. extr. sobre Geol. de España". T. III, pp. 301-313.

LLOPIS LLADO, N. (1945).- "Sobre la estructura de Navarra y los enlaces occidentales del Pirineo". Miscelanea Almela. T. 1, número. 7, pp. 159-186.

MANGIN, J., Ph (1958).- "Observaciones sobre la orogenesis pirenaica durante el periodo nummulítico". Notas y comunicaciones del IGME. núme. 52, pp. 125-132. Madrid.

MATTAUER, M. et SEURET, M. (1971).- "Les relations entre la Chaîne des Pyrenées et le Golfe de Gascogne". In Histoire Structurale du Golfe de Gascogne. Vol. 4, pp. 1-24. Paris.

MEJIAS, A.F. (1973).- Estudio geológico y relación entre tectónica y sedimentación del Secundario y Terciario de la vertiente meridional pirenaica en su zona central (Prov. de Huesca y Lérida). Tesis Doctoral Univ. de Granada.

- MEJIAS, A.F. (1982).- Introducción al análisis tectosedimentario: aplicación al estudio dinámico de cuencas. V Congreso Latinoamericano de Geología Argentina 1982. Actas, vol. I, pp. 185-402.
- MENDIZABAL, J. y CINCUNEGUI, m. (1932).- "Nota acerca de la extensión del Oligoceno en Navarra". Notas y comunicaciones del IGME. MADRID.
- MENSUA, S. (1960).- "La Navarra Media Oriental. Estudio Geográfico". Inst. "Príncipe de Viana". Dpto. Geol. Aplic. Zaragoza. Ser. Reg. 8, 1986 pag. 40 fig. 25 lám.
- MONTARDERT, L. et WINNOCK, E. (1971).- "L'Histoire structurale de Golfe de Gascogne". In Histoire structurale du Golfe de Gascogne". Vol. 16, pp. 1-18.
- ORTI, F. et al (1989).- Sedimentología y Diagénesis como criterios de prospección de recursos en el Terciario evaporítico de la Cuenca del Ebro. Dpto. Geoquímica, Petrología y Prospección. Univ. Barcelona. XII Congreso Español de Sedimentología.
- PLAZIAT, J.Cl. (1970).- "Le limite crétacé-tertiaire en Alava meridionale (Pays Basque espagnol): Le Regnacien n'y pas l'équivalent continental du Danien". C.R. Somm. Soc. Geol. France. 3 pp. 77-78.
- PUIGDEFABREGAS, C. (1972).- "Memoria geológica de la hoja núm. 173 (Tafalla). Informe inédito. Excma. Diputación de Navarra.
- PUIGDEFABREGAS, C. (1973).- "Miocene point-bar deposits in the Ebro basin northern Spain". Sedimentology journal of the internacional associations of sedimentologist. Vol. 20, núm. 133-134.
- PUIGDEFABREGAS, C. (1975).- "La sedimentación molásica en la cuenca de Jaca". Monogr. del Inst. de Estud. Pirenaís, núm. 104, 188 pp. Jaca.
- RIBA, O. (1955).- "Sur le type de sedimentation du Tertiaire continental de la parte Ouest du Basin de l'Ebro". Geol. Bundeschan. T. 43, núm. 2, pp. 363-371, 1 figs. Sttugart.
- RIBA, O. (1964).- "Estructura sedimentaria del Terciario Continental de la Depresión del Ebro en su parte Riojana y Navarra". XX Congreso Geográfico Internacional. R. Unido, Julio-Agosto, pp. 127-138.
- RIBA, O. y BOMER, B. (1957).- Terrasses et glacis du bassin de l'Ebro dans la Ribera de Navarra et la Baja Rioja". Livr. Guide Exc. núme 3. Villafranchien de Villarroya. INQUA, Congr. Int. Madrid-Barcelona, pp. 7-10.
- 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 161,

RIOS, J.M. (1960).- "Algunas notas especiales de las zonas subpirenaicas y de la cuenca del Ebro". Notas y Comunicaciones del IGME. Madrid.

ROJAS, B.J. de, LA TORRE, F. y FERNANDEZ VARGAS, E.A. (1971).- "Contribución al conocimiento de la última fase de los movimientos Meso-Alpinos en las provincias de Navarra, Zaragoza y Huesca". I Congr. Hispano-Luso americano. Geol. Econ. T. 9, núm. 33, pp. 377-385. Madrid.

RUIZ DE GAONA, M. (1952).- "Notas y datos para la Geología de Navarra". C.S.I.C.

RUIZ DE GAONA, m. (1952).- "Algunos datos geológico-paleontológicos sobre el valle de la Barranca (Navarra)". Actes 1er. Congr. Int. Est. Pyren. pp. 5-14.

RUIZ DE GAONA, M., VILLALTA, J.F. y CRUSAFONT (1946).- El yacimiento de mamíferos de las yeseras de Monteagudo (Navarra). Notas y com. del IGME NÚM. 16, PP. 157-182.

SAAVEDRA, J.L. (1964).- "Microfacies del Secundario y del Terciario de la zona pirenaica española". Mem. IGME. T. 65.

SALVANY, J.M. (1989).- Ciclos y megaciclos evaporíticos en las formaciones Falces y Lerín. Oligoceno-Mioceno inferior de la Cuenca del Ebro. (Navarra-la Rioja). Dpto. Geoquímica, Petrología i Prospecció Geologica Universitat de Barcelona. XII Congreso Español de Sedimentología.

SALVANY, J.M. (1960).- Los sistemas lacustres evaporíticos del sector Navarro-Riojano de la Cuenca del Ebro durante el Oligoceno y Mioceno inferior. Dpto. Geoquímica, Petrología y Prospección Geológica. Universidad de Barcelona. Acta Geologica Hispanica.

SOLE SABARIS, L. (1954).- "Sobre la estratigrafía de las Bárdenas y Límites del Oligoceno y Mioceno en el sector Occidental de la Depresión del Ebro". R. Soc. Est. Hist. Nat. Libro Hom. Hernandez Pacheco, pp. M. 639-656.

SOLE SEDO, J. (1972).- "Formación de Mues: Litofacies y procesos sedimentarios". Tesina de Licenciatura Univ. Central de Barcelona (inédito).

SOLER, M. y PUIGDEFABREGAS, C. (1970).- "Líneas generales de la Geología del Alto Aragón occidental". Rev. Pirineos, núme. 96, p. 5-20.

VALLE, A. del (1932).- Descubrimiento de la cuenca potásica de Navarra". Notas y Com. del IGME. Madrid.

VALLE, A. del ARACENA, C. (1930).- "Mapa Geológico de España 1.50.000. Explicación de la hoja núme. 173 (Tafalla)". IGME. Madrid.

VALLE, A. del CINCUNEGUI, M.; MENDIZABAL, J. y J.M. ALMELA, A. (1950).- "Mapa Geológico de España 1.50.000. Explicación de la hoja núm. 174 (Sangüesa)". IGME. Madrid.

VALLE, J. del PUIGDEFABREGAS, C. (1978).- "Memoria explicativa de la hoja núm. 141 (Pamplona). MAGNA". IGME. Madrid., pp. 1-23.

VILLALOBOS, L. y RAMIREZ DEL POZO, J. (1971).- "Contribución al estudio del Cretácico superior de facies Flysch de Navarra". Pirineos 111, pp. 5-20.

VOLTZ, H. (1964).- "Zur Geologie der Pyrenaiden in Nord-westlichen Navarra (Spanien)". Munster Diss. (Inédito).