



**Gobierno de Navarra**  
Departamento de Obras Públicas,  
Transportes y Comunicaciones

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE NAVARRA  
ESCALA 1:25.000

**HOJA 244-III**

**ALFARO**

MEMORIA

---

La presente Hoja y Memoria, ha sido realizado por “TECNOLOGÍA DE LA NATURALEZA S.L. (TECNA)”, durante el año 2002-2003, con normas, dirección y supervisión del Gobierno de Navarra, habiendo intervenido los siguientes técnicos:

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

|                  |                        |
|------------------|------------------------|
| Faci Paricio, E. | Dirección del Proyecto |
|------------------|------------------------|

**Autores y Colaboradores (TECNA S.L.)**

|                 |                                    |
|-----------------|------------------------------------|
| Galán Pérez, G. | Cartografía, Memoria e Informática |
|-----------------|------------------------------------|

|                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|
| García de Domingo, A, | Cartografía y Memoria |
|-----------------------|-----------------------|

|               |                             |
|---------------|-----------------------------|
| Cabra Gil, P. | Geomorfología y Cuaternario |
|---------------|-----------------------------|

|                     |                |
|---------------------|----------------|
| González Lastra, J. | Sedimentología |
|---------------------|----------------|

|                |                                   |
|----------------|-----------------------------------|
| Díaz Pinto, G. | Informática, Geología y Geotecnia |
|----------------|-----------------------------------|

## ÍNDICE

|                                                                                                                                    |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>                                                                                                        | <b>1</b>  |
| <b>2. ESTRATIGRAFÍA .....</b>                                                                                                      | <b>6</b>  |
| 2.1. Terciario.....                                                                                                                | 6         |
| 2.1.1. Oligoceno.....                                                                                                              | 9         |
| 2.1.1.1. Margas y yesos. Yesos de Falces (315). Arcillas (314). Ageniense inferior.....                                            | 9         |
| 2.1.1.2. Yesos y arcillas (354). Yesos de Los Arcos. Ageniense.....                                                                | 10        |
| 2.1.1.3. Arcillas rojas. (386). Conglomerados (387). Orleaniense. ....                                                             | 11        |
| 2.1.1.4. Arcillas rojas con intercalaciones de areniscas (376). Unidad de Alfaro. Orleaniense.                                     | 12        |
| 2.2. Cuaternario.....                                                                                                              | 14        |
| 2.2.1. Pleistoceno.....                                                                                                            | 14        |
| 2.2.1.1. Gravas, cantos, arenas arcillas y limos (Terrazas) (503 a 508, 521, 523, 524, 525).<br>Pleistoceno inferior-Holoceno..... | 14        |
| 2.2.1.2. Cantos y gravas con matriz limo-arcillosa (Glacis) (517, 518). Pleistoceno medio-<br>superior                             | 15        |
| 2.2.2. Holoceno.....                                                                                                               | 16        |
| 2.2.2.1. Arcillas, arenas y gravas (Aluvial-coluvial) (537). Holoceno .....                                                        | 16        |
| 2.2.2.2. Lutitas, cantos, gravas y arenas (Fondos de valle) (527). Holoceno .....                                                  | 16        |
| 2.2.2.3. Limos, arenas y cantos (Conos de deyección) (512). Holoceno.....                                                          | 16        |
| 2.2.2.4. Limos, arcillas y arenas con cantos y bloques (Coluviones) (543). Pleistoceno.....                                        | 17        |
| 2.2.2.5. Gravas, arenas y limos (Llanura de inundación) (526). Holoceno.....                                                       | 17        |
| 2.2.2.6. Gravas, limos y arenas (Cauces abandonados) (530). Holoceno .....                                                         | 18        |
| 2.2.2.7. Gravas, cantos y bloques (Barras) (529). Holoceno .....                                                                   | 18        |
| 2.2.2.8. Arcillas y limos con materia orgánica. (Fondos endorreicos) (541). Pleistoceno .....                                      | 18        |
| <b>3. TECTÓNICA.....</b>                                                                                                           | <b>19</b> |
| 3.1. Descripción de las principales estructuras.....                                                                               | 21        |
| 3.1.1. Sinclinal de Miranda de Arga.....                                                                                           | 21        |
| 3.1.2. Anticlinal de Falces.....                                                                                                   | 22        |
| <b>4. GEOMORFOLOGÍA .....</b>                                                                                                      | <b>24</b> |
| 4.1. Descripción fisiográfica.....                                                                                                 | 24        |
| 4.2. Antecedentes .....                                                                                                            | 25        |
| 4.3. Análisis geomorfológico.....                                                                                                  | 26        |
| 4.3.1. Estudio morfoestructural.....                                                                                               | 26        |
| 4.3.1.1. Formas estructurales .....                                                                                                | 27        |

---

|                                                                   |           |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.3.2. Estudio del modelado .....                                 | 27        |
| 4.3.2.1. Formas de laderas .....                                  | 28        |
| 4.3.2.2. Formas fluviales .....                                   | 28        |
| 4.3.2.3. Formas endorreicas .....                                 | 30        |
| 4.3.2.4. Formas poligénicas .....                                 | 30        |
| 4.3.2.5. Formas antrópicas .....                                  | 30        |
| 4.4. FORMACIONES SUPERFICIALES .....                              | 31        |
| 4.5. EVOLUCIÓN DINÁMICA .....                                     | 33        |
| 4.6. MORFOLOGÍA ACTUAL-SUBACTUAL Y TENDENCIAS FUTURAS .....       | 35        |
| <b>5. HISTORIA GEOLOGICA.....</b>                                 | <b>36</b> |
| <b>6. GEOLOGÍA ECONOMICA .....</b>                                | <b>41</b> |
| 6.1. RECURSOS MINERALES.....                                      | 41        |
| 6.1.1. Minerales y Rocas Industriales. ....                       | 41        |
| 6.1.1.1. Gravas .....                                             | 41        |
| 6.1.1.2. Yesos.....                                               | 42        |
| 6.1.1.3. Arcillas comunes .....                                   | 42        |
| 6.1.1.4. Arcillas especiales.....                                 | 43        |
| 6.1.1.5. Sal común .....                                          | 43        |
| 6.1.1.6. Arenas y areniscas.....                                  | 44        |
| 6.1.1.7. Glauberita .....                                         | 44        |
| 6.2. HIDROGEOLOGIA .....                                          | 46        |
| 6.2.1. Introducción .....                                         | 46        |
| 6.2.2. Descripción de las FORMACIONES .....                       | 46        |
| 6.2.3. Unidades acuíferas .....                                   | 51        |
| 6.2.3.1. Unidad hidrogeológica sur .....                          | 51        |
| 6.2.3.2. Unidad Hidrogeológica Aluvial del Ebro y Afluentes ..... | 53        |
| 6.2.3.3. Manantiales .....                                        | 55        |
| 6.3. GEOTECNIA .....                                              | 56        |
| 6.3.1. Introducción .....                                         | 56        |
| 6.3.2. Metodología.....                                           | 56        |
| 6.3.3. Zonificación geotécnica .....                              | 58        |
| 6.3.3.1. Criterios de división .....                              | 58        |
| 6.3.3.2. División en Áreas y Zonas Geotécnicas.....               | 58        |
| 6.3.3.3. Características geotécnicas.....                         | 59        |
| <b>7. BIBLIOGRAFIA.....</b>                                       | <b>93</b> |

## 1. INTRODUCCIÓN

La Hoja a escala 1:25.000 de Alfaro (244-III), forma parte de la Hoja a escala 1:50.000 del mismo nombre del Mapa Topográfico Nacional (Alfaro, 244), constituyendo su tercer cuadrante. Administrativamente, en ella se incluyen territorios pertenecientes a las comunidades de Navarra, en la mitad nororiental de la Hoja y de La Rioja, que ocupa la otra mitad suroccidental, separadas por el límite autonómico que aproximadamente cruza diagonalmente la Hoja desde su esquina ONO hasta la esquina ESE. Este límite sigue el cauce del río Ebro, aunque no en su mismo cauce, ya que hay zonas de la margen derecha que pertenecen a la Comunidad Foral de Navarra, y viceversa, zonas de la margen izquierda que pertenecen a La Rioja.

La presencia del valle del Ebro condiciona la topografía de la Hoja, ya que más de la mitad de la Hoja está ocupada por la llanura aluvial y terrazas del Ebro, en una banda de aproximadamente 6 km de ancho, en el sentido ONO-ESE. Además, en esta Hoja se produce la confluencia del río Aragón con el Ebro, lo que amplía las zonas de valle, donde el relieve es escaso. Toda el valle se desarrolla entre una cota máxima de 280 metros, en el Ebro, al Norte de Rincón de Soto, y en el Aragón al Norte de Milagro, y la cota de salida del Ebro, junto a la población de Castejón, donde la altura es de 260 metros.

Los principales relieves aparecen en la margen derecha del Ebro, dentro de la Comunidad de la Rioja, donde se localizan elevaciones en torno a 360 metros, en una zona de suaves colinas. Sin embargo, es en la zona inmediatamente al Norte de Milagro, en los relieves de borde de la meseta triangular que se desarrolla entre esta población, Funes y San Adrián, donde aparece la cota de mayor altitud de la Hoja. Se encuentra en el paraje de Monte Alto, y tiene una elevación de 367 metros.

Es esta una zona en la que la población se concentra en los núcleos urbanos, estando muy poco diseminada la población, solamente algunas casas y caseríos de labranza en los valles de los ríos albergan población fuera de los cascos urbanos. En la Comunidad Foral, los núcleos que aparecen en la Hoja son los de Milagro y Caderita y, en la esquina suroriental, una parte del casco urbano de Castejón. En La Rioja, aparece la población

de Alfaro, que da nombre a la Hoja, y ,en el límite occidental, la localidad de Rincón de Soto.

Se trata de una zona donde la agricultura de regadío es una de las principales actividades económicas, favorecida por tartarse de una zona con abundantes recursos hídricos y con topografía adecuada. Todas las áreas de valle de los ríos están ocupadas por campos de regadío, a excepción de las áreas deprimidas y sin drenaje en las que la acumulación de agua impide el desarrollo de labores agrícolas.

Además de la agricultura, asociados a los núcleos urbanos aparecen polígonos y áreas industriales, como las de Marcilla y Villafranca de Navarra, en los que la industria de transformación de productos agrícolas es la de mayor importancia.

La red de comunicaciones se incluye dentro del corredor del Ebro, por lo que las vías de comunicación son desnsas e imporantes. La principal es la autopista A-68, Autopista del Ebro, que discurre por la esquina OSO de la Hoja, paralela al cauce del Ebro. Además de esta autopista, otra importante vía de comunicación sigue la misma dirección, se trata de la Carretera nacional N-232, que discurre entre Zaragoza y Bilbao. De esta parte diversas carreteras autonómicas, como la Na-134, que es la correspondiente autonómica que sigue el curso del Ebro entre Tudela y San Adrián. Además aparecen otras como la Na-115, que desde Rincón de Soro se dirige a Peralta y, en territorio riojano, las autonómicas LR-670 y LR-682.

En la esquina suroccidental se localiza la población de Castejón, importante nudo ferroviario, donde se cruzan las líneas ferreas Tudela-Bilbao, que sigue, como es natural, el curso del Ebro, y la línea férrea Zaragoza-Alsasua, que atraviesa la Hoja en sentido Sur-Norte, por su zona occidental.

Geológicamente, la Hoja de Alfaro forma parte de la Cuenca del Ebro, una de las principales cuencas terciarias peninsulares. En esta cuenca se distinguen dos grandes ciclos sedimentarios: Una primera de carácter marino, en la que la cuenca estaría conectada con el océano situado al Este, abarcando los sedimentos hasta el Eoceno terminal y una segunda etapa de carácter continental, actuando de forma endorreica que

se desarrollaría a lo largo de todo el Eoceno terminal, Oligoceno y Mioceno. A partir del Plioceno, en la cuenca ya colmatada se desarrolla una fase erosiva que tiene su origen en el desarrollo de la red fluvial del Ebro, con drenaje hacia el Mediterráneo.

Toda esta zona se comportó durante el Terciario como una subcuenca (Cuenca Navarro-Riojana en el sentido de SALVANY, 1989) con relativa independencia de los sectores vecinos, representados al E y O por el Sector Central o Aragonés y de La Bureba, respectivamente. Los márgenes septentrional y meridional de la Cuenca Navarro-Riojana están delimitados por los cabalgamientos de la Sierra de Cantabria y Cuenca de Pamplona (Pirineos) al Norte, y por la Sierra de Cameros (Cordillera Ibérica) al Sur.

A este segundo ciclo continental pertenecen todos los materiales de la Hoja de Rada, incluida dentro del denominado "Sector occidental de la cuenca del Ebro". Denominación acuñada por ORTI y SALVANY(), para agrupar las formaciones terciarias que están bien desarrolladas en la Ribera de Navarra y continúan hacia la Rioja y la zona occidental de la Cuenca del Ebro en Aragón.

Como en la Hojas próximas, en esta de Alfaro, la serie terciaria está representada básicamente por una alternancia entre unidades esencialmente arcillosas de origen aluvial y perilacustre, que dan lugar a zonas deprimidas, y formaciones lacustres yesíferas que destacan como resaltes morfológicos constituyendo alineaciones de pequeña elevación, que siguen una dirección ONO\_ESE, conforme a los grandes pliegues de toda esta zona de la cuenca del Ebro.

Dado que gran parte de la Hoja está ocupada por los valles de los ríos Ebro, Aragón y Arga, las formaciones cuaternarias alcanzan un gran desarrollo en estos valles, que ocupan el tercio central de la Hoja, ocupado por los depósitos cuaternarios generados por los ríos Aragón y Arga y la esquina suroccidental, donde se localizan las llanuras aluviales y terrazas del Ebro. Además de estos depósitos de carácter fluvial, también aparecen en la Hoja depósitos originados en procesos de laderas, poligénicos y de carácter endorreicos.

Aunque los primeros estudios sobre esta zona datan de las primeras décadas del siglo XX, realmente fue en la década de los años 60 del pasado siglo cuando se realizaron los primeros estudios importantes. Se trata de estudios de carácter estratigráfico regional y se deben en gran medida a ORIOL RIBA y diversos colaboradores (RIBA, 1955, 1964, RIBA y PÉREZ, 1962, CRUSAFONT et al., 1966, y más recientemente, RIBA et al., 1983, RIBA y JURADO, 1992 y RIBA, 1992). En esta misma época se inicia la prospección petrolera en el país con la perforación, en las hojas de Peralta y Calahorra, de los sondeos Marcilla-1, (Valdebro, 1953) y Arnedo-1, (Amospain, 1962), y cuyos resultados figuran de forma resumida en la publicación específica del IGME, (1987).

Ya en la década de los años 70, el conocimiento de la geología de esta zona del Terciario de Navarra se amplía con la realización de la primera cartografía a escala 1:25.000 de Navarra, pionera en España y realizada por geólogos de la Diputación Foral de Navarra: Jaime Solé, Javier Castiella, Cayo Puigdefábregas, Joaquín Del Valle y otros colaboradores. Estas cartografías se sintetizan con la publicación del primer Mapa Geológico de Navarra (CASTIELLA et al., 1978) a escala 1:200.000,. De esta misma época son también los primeros mapas geológicos a escala 1:50.000 del Plan MAGNA editados por el IGME (Hojas de Sádaba, Lodosa, Logroño, Alfaro, Calahorra, Tudela y Sos del Rey Católico) y realizados por el mismo grupo de geólogos, con la asistencia del paleontólogo Ramírez del Pozo. Otro trabajo relevante de este período es la tesis de licenciatura de SOLÉ (1972) sobre el Terciario del margen NO de la Ribera de Navarra. A finales de la siguiente década SALVANY, (1989) presenta su tesis doctoral, centrada en el estudio de los depósitos lacustres evaporíticos del Terciario de Navarra y La Rioja. Esta tesis estuvo financiada por el Gobierno de Navarra, en un convenio con la Universidad Central de Barcelona, cuyo informe final fue realizado por ORTÍ y SALVANY, (1986). De los estudios de Salvany se derivan un buen número de publicaciones, entre las que destacan las de SALVANY (1989), MUÑOZ y SALVANY (1990), SALVANY et al. (1994), SALVANY y ORTÍ (1994), y INGLÉS et al (1994, 1998).

A lo largo de la década de los 80 el IGME publica las Hojas MAGNA a escala 1:50.000 de Allo, Tafalla, Viana, Peralta y Sangüesa. Entre los estudios más recientes cabe destacar la revisión y actualización del Mapa Geológico de Navarra, a escala 1:200.000



(GOBIERNO DE NAVARRA, 1997) y a escala 1:25.000, en cuyo marco se realiza el presente trabajo.

La cartografía de esta Hoja esta basada en la realizada a escala 1:25.000 por la DIPUTACIÓN FORAL DE NAVARRA, la Hoja de Alfaro a escala 1:50.000 del plan MAGNA, y los datos cartográficos de distintos estudios. Sobre todas se ha realizado la pertinente actualización cartográfica y geológica en base a criterios estructurales y sedimentarios fundamentalmente.

## **2. ESTRATIGRAFÍA**

La estratigrafía de esta Hoja se ha realizado basándose en criterios secuenciales, definiendo unidades tectosedimentarias limitadas por rupturas deposicionales con expresión cuencal.

En este sentido hay que hacer notar la dificultad de establecer unidades tectosedimentarias debido a la disposición paraconcordante de la mayor parte de las unidades estratigráficas de la sucesión terciaria y a la generalizada convergencia de facies como consecuencia de la situación central de la zona de estudio en la Cuenca. Por lo tanto la división estratigráfica planteada en el presente informe se basa, para buena parte de la serie terciaria, en criterios esencialmente litoestratigráficos. En cada unidad así definida y delimitada se han cartografiado los distintos cuerpos litológicos, determinando hasta donde ha sido posible, sus variaciones espaciales y sus relaciones de facies.

La descripción de las distintas unidades diferenciadas en la cartografía geológica se ha realizado de forma coordinada con la elaboración de las distintas bases de datos asociadas. Por otra parte se ha atendido a la litoestratigrafía establecida en la región, lo que ha facilitado la agrupación de las unidades distinguidas en la Hoja, de acuerdo con la escala de trabajo y el objetivo eminentemente cartográfico del estudio.

### **2.1. Terciario**

En Navarra la sedimentación del Terciario continental se extiende desde el tránsito Eoceno-Oligoceno hasta el Mioceno superior y se distribuye ampliamente por toda la mitad meridional de Navarra (Ribera de Navarra).

Los depósitos aluviales se desarrollan a partir de las zonas de contacto con las cordilleras limítrofes, registrando una expansión variable de sus orlas distales hacia el interior de la Cuenca. Los depósitos lacustres son principalmente evaporíticos y se sitúan en la parte central de la cuenca, si bien las facies lacustres carbonatadas alcanzan un desarrollo destacado en los términos superiores de la sucesión miocena.

El registro estratigráfico aflorante del Terciario en la Hoja comprende desde finales del Oligoceno (Arverniense superior) hasta el Mioceno inferior-medio (Orleaniense) de modo que la mayor parte de la serie pertenece al Ageniense.

Durante el Oligoceno la subsidencia fue importante, llegando a acumularse más de 4000 m de sedimentos detríticos y lacustres. La paleogeografía de la cuenca sufrió sucesivos cambios, siendo el rasgo más relevante la deriva de los sistemas lacustres de centro de cuenca hacia el sur de forma progresiva desde el inicio del Oligoceno hasta el Mioceno, y de forma simultánea a la expansión de los sistemas aluviales y fluviales de procedencia pirenaica y regresión de los de procedencia ibérica (SALVANY, 1989).

Durante el Mioceno la subsidencia fue mucho menor (algunos centenares de metros) y la paleogeografía cambió marcadamente como consecuencia del plegamiento de la cuenca ocurrido durante el inicio de este periodo. Los sistemas lacustres se desplazaron hacia el E (Aragón) y la sedimentación fue entonces predominantemente detrítica en Navarra y La Rioja, con desarrollo de sistemas aluviales en los márgenes de cuenca y fluviales o fluvio-lacustres en su zona central con drenaje hacia el sector aragonés a través de los surcos sinclinales.

La sucesión terciaria se estructura regionalmente en una serie de anticlinales y sinclinales cuyos ejes se disponen en dirección ONO-ESE. En la Hoja parecen de Norte a Sur los siguientes:

- Anticlinal de Falces
- Sinclinal de Peralta
- Anticlinal de Arguedas

La serie terciaria se divide a grandes rasgos en cinco Formaciones litoestratigráficas (RIBA, 1964 y CASTIELLA, 1978): Fm. Yesos de Falces, de carácter yesífero, Fm. Arcillas de Marcilla, esencialmente arcillosa, Fm Lerín, constituida por una alternancia lutítico-yesífera, y Fm. Tudela, que se dispone de forma discordante sobre la anterior y

está compuesta por lutitas y areniscas con intercalaciones de calizas lacustres. Por encima de ellas, la Fm. Alfaro, y su tránsito en una unidad de lutitas rojas con intercalaciones de canales de conglomerados. La Fm. Lerín se divide claramente en varias unidades estratigráficas de gran continuidad para las que se adopta la terminología propuesta por SALVANY (1989): Arcillas y yesos de Peralta, Yesos de Sesma, Arcillas de Villafranca y Yesos de Los Arcos, esta última descrita previamente por RIBA (1964).

| LITOESTRATIGRAFÍA        |                                        | EDAD        |
|--------------------------|----------------------------------------|-------------|
| FM. TUDELA               | Unidades de Miranda de Arga y Portillo | ORLEANIENSE |
|                          | Unidad de Olite                        |             |
| FM. LERÍN                | Yesos de Los Arcos                     | AGENIENSE   |
|                          | Arcillas de Villafranca                |             |
|                          | Yesos de Sesma                         |             |
|                          | Arcillas y yesos de Peralta            |             |
| FM. ARCILLAS DE MARCILLA |                                        | ARVERNIENSE |
| FM. YESOS DE FALCES      |                                        |             |

Litoestratigrafía del Terciario en la Hoja de Alfaro (244-III) y hojas contiguas.

### 2.1.1. Oligoceno

#### 2.1.1.1. Margas y yesos. Yesos de Falces (315). Arcillas (314). Ageniense inferior.

La Unidad está representada por una serie de alternancias de frecuencia decamétrica entre facies arcillosas margosas grises y niveles de yesos, constituyendo el tránsito entre las Fms. Falces y Marcilla.

Afloran exclusivamente al Norte de la población de Milagro, en los relieves situados junto a esta localidad, formando parte del flanco sur del Anticlinal de Arguedas.

Litológicamente está representada mayoritariamente por margas arcillosas grises y yesos. Los términos lutíticos forman intervalos de potencia decamétrica y métrica de aspecto homogéneo o con intercalaciones eventuales de dolomías. Los yesos constituyen paquetes, de espesor comprendido entre 5 y más de 20 m, que registran un marcado predominio de litofacies nodulares, si bien muestran un aspecto bastante tableado como consecuencia de la alternancia rítmica con lechos de margas arcillosas grises y niveles dolomíticos laminados. Las dolomías forman capas tabulares de escasa potencia y distribución irregular en la serie correspondiendo a dolomicritas laminadas con moldes de cristales de yeso.

Intercalados entre estos niveles aparecen también areniscas y calizas micríticas. Las areniscas constituyen niveles tabulares grises de potencia decimétrica y centimétrica con abundantes estructuras tractivas, granoclasificación positiva, huellas tractivas de base, laminación paralela, estratificación ondulada de tipo *hummocky*, convoluciones, *ripples* de oleaje y *cosets* de *climbing ripples*, correspondiendo a avenidas torrenciales turbulentas en zonas subacuáticas lacustres. Las calizas forman capas tabulares de escasa potencia y distribución irregular en la serie correspondiendo a facies micríticas bastante detríticas (*wackestones* arcillosos con fósiles, intraclastos y granos terrígenos).

La presencia de una serie terrígeno-yesífera entre la Fm. Falces y la Fm. Marcilla ya fue constatada por SALVANY (1989), quien argumentó además el contacto transicional, y obviamente por cambio de facies, entre ambas formaciones.

La Unidad se enmarca ambientalmente en un contexto lacustre salino marginal en tránsito a los frentes distales de los sistemas aluviales de procedencia septentrional. Se generan en consecuencia amplias llanuras perilacustres con eventuales desarrollos de charcas carbonatadas, registrándose expansiones intermitentes del sistema lacustre salino.

Se atribuye, de acuerdo con la posición estratigráfica y ante la falta de restos paleontológicos, una edad de Ageniense inferior.

#### **2.1.1.2. Yesos y arcillas (354). Yesos de Los Arcos. Ageniense.**

En la Hoja la Unidad de Los Arcos se desarrolla en la margen derecha del Ebro, entre las localidades de Alfaro y Rincón de Soto. Es esta una zona donde apenas existen buenos afloramientos, debido a la intensa actividad agrícola y la propia alteración de esta Unidad, no pudiéndose concretar su potencia.

El tránsito con la unidad inferior se observa muy neto y definido, a techo el tránsito con la Fm. Tudela es muy neta, mediante una importante discordancia erosiva

Los Yesos de Los Arcos (RIBA, 1964 y CRUSAFONT et al., 1966) constituyen, por su potencia y extensión, el principal tramo yesífero de la Fm. Lerín, situándose en la parte superior de ésta en una amplia parte de la Cuenca Navarro-Riojana.

Litológicamente, los Yesos de Los Arcos presentan unas características similares a los de la Unidad de Sesma. En superficie constituyen un conjunto yesífero, con intercalaciones de materiales lutíticos y dolomías laminadas. En el subsuelo incluye materiales solubles, halita y glauberita, alternando con anhidritas.

En su Tesis Doctoral, SALVANY, (1989) define la estratigrafía general de la Unidad, distinguiendo de muro a techo cuatro tramos principales: 1) tramo basal (unos 20 m) de

alternancia entre margas grises y yesos nodulares, 2) tramo yesífero (30-40 m) en litofacies laminada y nodular, 3) tramo de alternancia margo-yesífera (30 m) y tramo superior yesífero con predominio alternante de litofacies laminada y nodular (hasta 100 m de potencia).

En la cartografía, como no se han podido separar los distintos tramos yesíferos y margosos se ha definido esta Unidad como la Unidad 15.

La Unidad de Los Arcos representa el episodio evaporítico más importante en la Fm. Lerín evidenciando una gran expansión del sistema lacustre salino en la Cuenca Navarro-Riojana.

Su contenido paleontológico es prácticamente nulo, de modo que la atribución al Ageniense se realiza por su posición estratigráfica.

#### **2.1.1.3. Arcillas rojas. (386). Conglomerados (387). Orleaniense.**

La Unidad 24 se trata de arcillas y limos pardo-amarillentos y rojizos con esporádicas intercalaciones de conglomerados (Unidad 25) y algunos niveles de areniscas.

Su potencia total es difícil de determinar, ya que no se aprecia el techo de la formación. En algunas zonas próximas a esta, se asocia esta Unidad con la Fm. Cascante, habiéndose podido comprobar, que la Fm. Cascante es el tránsito gradual entre la Fm. Fitero y la Fm Alfaro.

Esta unidad de arcillas rojas (386) y sus intercalaciones conglomeráticas (387) ocupan en la hoja de Alfaro la esquina nororiental, continuación de la existente en la Hoja situada al Norte (Marcilla 244-I). Esta zona se caracteriza por una serie de alineaciones de relieves y depresiones alternantes, en la que los primeros están ocupados por los canales de conglomerados (387), mientras que las zonas mas bajas corresponden a arcillas rojas (386). La orientación de estas alineaciones es la general del plegamiento en toda la zona, NO-SE. Los laderas Norte de estos relieves están ocupadas en su totalidad por cantos procedentes de los conglomerados mostrando un pendiente aproximada igual al

buzamiento de los canales. En las laderas sur de estos relieves es donde mejor pueden observarse los niveles de arcillas, ya que las zonas mas bajas, suelen estar ocupadas por depósitos cuaternarios, esencialmente coluviones que descienden ocupando las laderas y por zonas endorreicas en las depresiones entre relieves.

Los niveles canaliformes están formados por conglomerados de cantos fundamentalmente de cuarcita y esporádicamente calcáreos, con intercalaciones de areniscas, generalmente con tamaño de grano grueso y arcillas.

Los conglomerados se presentan en bancos de unos 5 m de espesor, con laminación y estratificación cruzada a gran escala mientras que en las areniscas es frecuente observar trenes de ripples. Estos conglomerados están bien clasificados y con cantos procedentes en su mayor parte del Jurásico y Cretácico inferior.

Las areniscas son de tonos grises de naturaleza silicea y fragmentos de rocas, preferentemente de calizas, con cemento calcáreo.

Estos niveles de conglomerados representan canales de tipo anastomosado en la parte distal de un sistema de abanicos aluviales en las que las zonas de desbordamiento están representados por los niveles de areniscas y limos.

Este sistema de conglomerados representa los procesos sedimentarios causados por los fenómenos de erosión anteriores a la sedimentación de la Formación Tudela en la que estos conglomerados se encuentran incluidos, formando parte de la zona basal de esta formación y adosados a los relieves preexistentes fosilizados por estos depósitos.

#### **2.1.1.4. Arcillas rojas con intercalaciones de areniscas (376). Unidad de Alfaro. Orleaniense.**

La Fm. Alfaro (CASTIELLA et al. 1978), conocida también como Facies de Alfaro, culmina la serie terciaria en la Hoja.



Está representada por una serie arcillosa de tonos rojizos, con intercalaciones areniscosas de escasa potencia, que se extiende al Sur del valle del Ebro a lo largo de buena parte de Rioja Baja.

Aflora en todo el sector de la margen derecha del Ebro, ocupando toda la esquina suroccidental de la Hoja. Forma una serie de relieves en los que es posible encontrar buenos afloramientos. En los alrededores de Alfaro existen numerosas canteras que extraen estas arcillas para su transformación en materiales de construcción. En estas canteras puede observarse con detalle, la litología, estratigrafía y estructura de esta Unidad.

Se correlaciona hacia el Norte con Fm. Tudela, (CASTIELLA, 1978), con la que presenta notables analogías litológicas, sedimentológicas y estratigráficas. Hacia el Oeste se considera un equivalente lateral de la parte superior de la facies de Nájera (RIBA, 1955), o Fm. Nájera.

Se dispone mediante una discordancia erosiva a escala regional sobre la Fm. Lerín, de manera que trunca parcialmente el techo de la Unidad infrayacente.

La potencia máxima de la Fm Alfaro en la Hoja alcanza valores próximos a los 200 m, si bien en ningún caso se aprecia su techo, al no existir unidades suprayacentes.

Litológicamente predominan los términos lutíticos, representados por arcillas rojizas en tramos homogéneos de potencia métrica a decamétrica, a veces con trazas de yesos, o alternando con otras litologías.

Las areniscas forman capas tabulares de potencia centimétrica a decimétrica y con tonos ocre-rojizos a grises. Su morfología y estructuras sedimentarias (granoclasificación positiva, huellas de base, laminación paralela, estratificación cruzada de mediana escala, escapes de fluidos y *ripples* a techo) indican su depósito bajo mecanismos de tipo *sheet flood* en avenidas torrenciales episódicas.

La Fm. Alfaro se encuentra relacionada genéticamente hacia el S con sistemas aluviales de procedencia ibérica, constituyendo sus representantes de frente distal. Hacia el N, en el eje del Ebro, son más frecuentes las facies lacustre-palustres carbonatadas.

En IGME (1977) se han identificado: *Chara* gr. *Tornata*, *Chara* cf. *Cylindrica*, *Chara* cf. *Media*, *Rhabdochara* cf. *Major*, *Elkocythereis* aff. *Minutidontis* y *Elkocythereis* aff. *Bramletti*, que representan una asociación de caráceas y ostrácodos propia del Mioceno inferior. Se cuenta además con la referencia de los yacimientos de vertebrados de la Fm. Alfaro y diversos equivalentes en la región, donde se indica una edad de Ageniense superior (MN2) a Orleaniense medio (MN4).

## 2.2. CUATERNARIO

### 2.2.1. Pleistoceno

#### 2.2.1.1. Gravas, cantos, arenas arcillas y limos (Terrazas) (503 a 508, 521, 523, 524, 525). Pleistoceno inferior-Holoceno.

Dan lugar al conjunto morfológico más característico de la zona. Dentro de la hoja, se han diferenciado ocho niveles de terrazas, de los cuales, uno pertenece al río Alhama y el resto a los ríos Ebro y Aragón. En relación a estos últimos, las alturas a las que se sitúan los diferentes niveles, sobre el cauce, son las siguientes: +5-7 m, +10-12 m, +15-20 m, +25-30 m, +40 m, +60 m, +80-85 m. Los niveles inferiores se consideran como terrazas “bajas” y poseen un dispositivo morfológico de terrazas encajadas o ligeramente solapadas, el resto se dividen entre terrazas “medias” y terrazas “altas”, todas ellas colgadas en relación al cauce actual.

Uno de los rasgos que suelen llamar más la atención en las terrazas son las deformaciones relacionadas con los procesos de disolución del sustrato yesífero. Aunque en esta hoja no son demasiado llamativos, en la cercana hoja de Lodosa (205), los autores mencionan colapsos, basculamientos y plegamientos que modifican, localmente, el aspecto típico de estos depósitos.

Las terrazas fluviales que, en su mayor parte, pertenecen al sistema fluvial del río Ebro, están formadas por gravas y cantos de origen poligénico: cuarcita, cuarzo, liditas, calizas con foraminíferos, dolomías, calcarenitas, etc. El grado de cementación, por carbonatos, parece ser algo mayor en las terrazas superiores. El contenido en arenas, en la matriz, es muy variable. En cuanto al tamaño de los cantos cabe decir que suelen ofrecer dos modas, para el tamaño medio, una entre 7 y 10 cm y otra entre 12 y 15 cm. Por lo que respecta al tamaño máximo, a veces se reconocen bloques de hasta 40 cm. A veces se pueden observar estructuras sedimentarias como imbricaciones de cantos y estratificaciones cruzadas, para las gravas. Para los cuerpos arenosos, son frecuentes las estratificaciones cruzadas en surco. Los espesores son muy irregulares y oscilan entre 4 y 10 m, pero existen datos de potencias anómalas, de hasta 30 m, en sectores próximos, que se explican con relación a fenómenos de subsidencia diferencial en áreas localizadas. En cuanto a las terrazas bajas, los espesores pueden llegar a superar los 25m, de acuerdo con los datos de sondeos (IGME 1977). Con frecuencia las terrazas bajas y medias desarrollan suelos que por sus características son frecuentemente utilizados para el cultivo. En el río Ebro las terrazas bajas desarrollan suelos del tipo 10 YR 6/4, mientras que en las medias son ya 7,5 YR 5/4.

#### **2.2.1.2. Cantos y gravas con matriz limo-arcillosa (Glacis) (517, 518). Pleistoceno medio-superior**

En el ámbito de la hoja se han podido diferenciar dos generaciones de glacis. La más antigua aparece representada por un glacis de grandes dimensiones, en la esquina suroeste, del que sólo se aprecia la parte distal puesto que la proximal se ubica en la contigua hoja de Autol (243-IV). Los glacis más recientes, también en el cuadrante suroeste, se encajan en el anterior. Son de menor tamaño y tienen una ligera inclinación hacia la parte baja de los valles. La morfología de estas formas es muy característica, con un perfil longitudinal plano-cóncavo y un planta palmeada. Todos ellos son glacis de cobertera y se desarrollan sobre depósitos neógenos, preferentemente arcillosos y yesíferos. Por lo general, su composición refleja la del sustrato sobre el que se desarrollan, estando constituidos por gravas y lutitas con cantos y, a veces bloques, de carácter anguloso a subanguloso, de composición, areniscosa, yesífera y calcárea. Los

glacis más antiguos suelen tener un encostramiento a techo. La potencia está comprendida entre 2 y 4 m, no descartando potencias mayores en las zonas apicales.

## **2.2.2. Holoceno**

### **2.2.2.1. Arcillas, arenas y gravas (Aluvial-coluvial) (537). Holoceno**

Los aluviales-coluviales forman un conjunto de depósitos de origen aluvial con aportes laterales, difíciles de separar de los anteriores. Por lo general se localizan en áreas de topografía muy suave y en zonas con cursos de carácter ligeramente divagante y bastantes efímeros. Su litología, por regla general, corresponde a materiales finos, generalmente limos, a veces yesíferos, y arenas procedentes de zonas laterales o arrastrados por el propio curso de los arroyos. Su espesor puede llegar a ser considerable, del orden de 3-6 metros. La edad asignada es Holoceno.

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

Los fondos de valle tienen una discreta representación en la hoja. Aparecen con formas alargadas y estrechas, con una longitud que varía sensiblemente, llegando, a veces, a ser de orden kilométrico. Por lo general, su geometría parece perfectamente adaptada a la estructura. Están constituidos por lutitas grises, rojas u ocreas con cantos de tamaño variable y algunos bloques. En menor medida, también se reconocen niveles de arenas. La litología de sus componentes es muy variable, predominando los clastos de yesos o areniscas, según las zonas. En general poseen un espesor comprendido entre 3 y 5m, aunque puede ser superior. Localmente pueden presentar un cierto grado de cementación. La edad asignada a estos depósitos es Holoceno.

### **2.2.2.3. Limos, arenas y cantos (Conos de deyección) (512). Holoceno**

Aparecen dispuestos sobre algunas terrazas en el valle del Ebro. Se generan cuando la carga concentrada en los barrancos alcanza áreas más amplias, expandiéndose y dando lugar a depósitos con morfologías en abanico. Aunque existen conos aislados, la

proximidad entre algunos barrancos hace que se originen dispositivos coalescentes, a modo de bandas, que orlan algunos relieves, como sucede en la esquina sureste de la hoja, en las proximidades de la localidad de Castejón.

Los depósitos asociados a los conos de deyección están formados por limos y arcillas de tonalidades ocre, a veces algo rojizas, que engloban cantos angulosos o subangulosos e incluso gravas dispuestas en delgadas hiladas. Suelen apreciarse, además, cementaciones, pero siempre muy superficiales. Su composición varía en función del área madre y su espesor, en la zona apical, puede llegar hasta los 15 m. Dada su posición en el relieve, se les asigna una edad Holoceno.

#### **2.2.2.4. Limos, arcillas y arenas con cantos y bloques (Coluviones) (543). Pleistoceno**

Los coluviones se forman al pie de las laderas de los relieves existentes y en algunos puntos de la margen del río Ebro. No son muy abundantes; aparecen como bandas delgadas a favor de la dirección de las estructuras y adosados a los fondos de valle o en la parte baja de las laderas. Son depósitos de reducido espesor, en general inferior a 3 m, y de moderada representación superficial, estando irregularmente distribuidos al pie de las laderas. Su constitución litológica es muy variable, dependiendo de la naturaleza del área madre. Predominan los materiales finos que engloban cantos y bloques angulosos y subangulosos de cuarcita, areniscas y yesos.

#### **2.2.2.5. Gravas, arenas y limos (Llanura de inundación) (526). Holoceno**

La llanura de inundación del río Ebro se desarrolla en la mitad oriental de la hoja y está representada a modo de retazos, adyacentes al cauce activo, con una superficie muy plana y ligeramente encajada en la terraza más baja. La llanura de inundación tiene una litología y una textura muy similares a la de las terrazas, aunque con pequeñas variaciones. Las terrazas fluviales que, en su mayor parte pertenecen al sistema fluvial del río Ebro, están formadas por gravas y cantos de origen poligénico: cuarcita, cuarzo, liditas, calizas con foraminíferos, dolomías, calcarenitas, etc. La potencia no es visible en ningún caso, por lo que es difícil definirse sobre ello. Se le asigna una edad Holoceno.

**2.2.2.6. Gravas, limos y arenas (Cauces abandonados) (530). Holoceno**

Asociados a las terrazas “bajas” se presentan meandros y cauces abandonados, a modo de ligeros encajamientos lineales de forma estrecha. Los primeros muestran la típica forma arqueada, en tanto que los segundos son más rectilíneos. Su composición es muy parecida a la de las terrazas pero con un mayor contenido en finos. Tienen una edad holocena.

**2.2.2.7. Gravas, cantos y bloques (Barras) (529). Holoceno**

Por debajo de la llanura, y ya pertenecientes al sector activo del río, aparecen una serie de barras en las que se observa perfectamente, sobre todo en la fotografía aérea, las cicatrices de acreción. Las barras están formadas casi exclusivamente por cantos, gravas y bloques. Gran parte del material fino ha sido lavado por el río, debido a su posición al en el cauce activo del mismo. Su edad es holocena.

**2.2.2.8. Arcillas y limos con materia orgánica. (Fondos endorreicos) (541). Pleistoceno**

Las formas endorreicas son el resultado de la confluencia de una serie de factores: pendientes suaves y sustrato impermeable. En la hoja de Alfaro, donde estas dos características aparecen, el desarrollo de fondos endorreicos es frecuente. Se localizan en los cuadrantes noreste y suroeste, sobre el sustrato terciario, además de sobre algunas terrazas. Son depresiones de formas y tamaños diversos donde se produce una cierta acumulación de agua por un drenaje deficiente. A veces se observan eflorescencias salinas. En épocas de lluvias son absolutamente funcionales. Por lo general se trata de lutitas grises y limos, a veces yesíferos, con un cierto contenido en materia orgánica y que en general poseen un reducido espesor. Ocasionalmente pueden intercalar depósitos más groseros suministrados por los aportes laterales. La potencia que alcanzan no llega a superar los 2m. Son funcionales en la actualidad, por lo que se consideran de edad holocena.

### 3. TECTÓNICA

La Hoja a escala 1.25.000 de Rada (244-II) se localiza en el “sector occidental de la cuenca del Ebro”. La cuenca del Ebro constituye un área de sedimentación terciaria de geometría triangular que se comporta a lo largo del Terciario como cuenca de antepaís respecto al orógeno pirenaico.

La estructura de Cuenca del Ebro y de las cadenas alpinas que la limitan (Pirineos al N, Cordillera Ibérica al S y Catalánides al E) es el producto de la convergencia de las placas Ibérica y Europea. Esta compresión entre dichas placas, dio lugar, en la vertiente surpirenaica, a un conjunto de láminas cabalgantes hacia el S. En el margen contrapuesto, a compresión provoca el cabalgamiento de la Sierra de la Demanda, con una flecha de desplazamiento de 20-30 km hacia Norte.

Esta estructuración comienza a finales del Cretácico, continuando hasta buena parte del Terciario. La deformación producida se desplaza de forma heterócrona hacia el Oeste a lo largo del trazado de la cadena, que enlaza en este sentido con la Sierra de Cantabria-Montes Obarenes y Cordillera Cantábrica.

Tectónicamente, esta Cuenca del Ebro está formada por un basamento rígido y una cobertera formada por materiales continentales terciarios plegados, con importantes acumulaciones de evaporitas que facilitan los despegues y los procesos halocinéticos, especialmente en zonas centrales de la cuenca.

La colisión de placas finalizó en el Luteciense, durante el Eoceno, momento en el que se produce la denominada Fase Pirenaica, aunque el régimen compresivo continuó hasta el Mioceno.

Con la culminación de esta se produjo el acercamiento definitivo entre las placas Ibérica y Europea. El resultado de esta colisión dio lugar, en la cadena pirenaica, a un cinturón de pliegues y cabalgamientos, agrupados en las denominadas láminas cabalgantes (mantos), que se propagó hacia el antepaís en secuencia de bloque inferior.

A partir del Eoceno superior y durante el Oligoceno inferior emergen los cabalgamientos de basamento de la zona axial pirenaica sobre las rocas de la cobertera deformada, lo que motiva el principal desplazamiento de las láminas cabalgantes surpirenaicas sobre la Cuenca de Ebro.

La traslación del conjunto hacia el Sur facilita la emergencia de la rampa frontal del cabalgamiento surpirenaico y se evidencia por la deformación interna y progresiva de los depósitos clásticos terciarios, con la creación de sistemas de pliegues y cabalgamientos en las series paleógenas.

Durante el Oligoceno superior y Mioceno inferior se verifica el emplazamiento definitivo del Manto de Gavarnie, originando una serie de estructuras plegadas y/o cabalgantes a lo largo del frente surpirenaico. En consecuencia, la propagación de despegues no emergentes hacia la cuenca de antepaís pasiva (Cuenca del Ebro) motiva la migración de los depocentros sedimentarios hacia el Sur.

En esta zona de la Cuenca, en cuya parte nororiental se enmarca la zona de estudio, el plegamiento tuvo lugar en el Mioceno inferior a medio.

Durante este período se produjo el plegamiento de la cuenca navarro-riojana como resultado de la etapa principal de compresión pirenaica. Se desarrollaron extensos pliegues de dirección NO-SE, que compartimentaron la cuenca en diferentes dominios sedimentarios, situados en los surcos sinclinales, más o menos independientes entre sí, desplazándose los grandes sistemas lacustres evaporíticos de centro de cuenca, característicos de la etapa anterior, hacia el sector aragonés, convirtiéndose el sector navarro-riojano en una zona de sedimentación principalmente detrítica tanto en el margen ibérico como en el pirenaico.

El resultado del plegamiento en esta zona es un conjunto de pliegues de gran longitud de eje y flancos comparativamente cortos, dispuestos en dirección NO-SE y vergentes al Sur, que definen el denominado Dominio Plegado del Ebro, del cual la Hoja que nos ocupa forma parte.



De la información de subsuelo existentes, especialmente líneas sísmicas próximas y el sondeo Marcilla-1, emplazado en la vecina Hoja de Peralta (nº 206-IV), indica que los principales anticlinales corresponden a cabalgamientos ciegos hacia el SSO, relacionados con pliegues de crecimiento. Los niveles de despegue están representados por formaciones evaporíticas terciarias, especialmente Yesos de Falces, bajo los que se encuentra la serie terciaria autóctona en disposición claramente tabular.

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

La Hoja de Rada (244-II) se localiza en el denominado Dominio Plegado del Ebro, caracterizado por una estructuración en un sistema de pliegues de dirección NO-SE y vergencia Sur con una gran extensión longitudinal

Las principales estructuras que aparecen en este dominio son las siguientes:

- Sinclinal de Miranda de Arga
- Anticlinal de Falces
- Sinclinal de Peralta
- Anticlinal de Arguedas (Lodosa o Cárcar)

De estas estructuras, las que tienen un mayor desarrollo en la Hoja de Rada son las dos primeras: el sinclinal de Miranda de Arga, que aparece en la esquina nororiental de la Hoja y, especialmente, el Anticlinal de Falces, que recorre la Hoja desde la esquina Noroccidental hasta la zona del Vedado de Eguaras, en la esquina opuesta del mapa.

#### **3.1.1. Sinclinal de Miranda de Arga**

Como se ha señalado el Sinclinal de Miranda de Arga se extiende en dirección ONO-ESE por la esquina noroccidental de la Hoja, cercana ya su terminación y soterramiento en la vecina hoja de 243-I.

El núcleo está ocupado por diversas unidades de la Fm. Tudela, que se disponen con buzamientos moderados ( $10-15^{\circ}$ ) a ambos flancos, si bien el meridional presenta buzamientos más fuertes, indicadores de una vergencia hacia el Sur y Suroeste. La principal característica distintiva de esta estructura consiste en la marcada disposición en *on lap* hacia el Anticlinal de Falces de la Fm. Tudela sobre la Fm. Lerín, lo que se traduce en un acusado incremento de espesores para la primera hacia el N. Este fenómeno se hace patente en la Hoja por el desarrollo de la Unidad de Olite, integrada por facies aluviales de procedencia pirenaica, en el flanco norte de la estructura, donde presenta una potencia superior a los 500 m. Se acuña en el flanco sur, en parte por su disposición en *on lap* hacia el Anticlinal de Falces y también por paso lateral y en vertical a las Unidades de Miranda y Portillo, que contienen niveles lacustres carbonatados.

Éste se caracteriza por su estructuración en un sistema de pliegues de dirección NO-SE y vergencia sur que registran una gran extensión longitudinal.

El Anticlinal de Falces constituye la principal estructura de la Hoja. Al Norte de éste se encuentra en primer lugar el Sinclinal de Miranda de Arga y posteriormente el Anticlinal de Pitillas.

### **3.1.2. Anticlinal de Falces**

El Anticlinal de Falces es la principal estructura que aparece en la Hoja de Rada, extendiéndose en dirección NO-SE desde la esquina nororiental de la Hoja, en las proximidades de la localidad de Marcilla, en la contigua Hoja 244-I, hasta el paraje del Vedado de Eguaras.

El núcleo del pliegue está formado por la Unidad Inferior de los Yesos de Falces, unidad que constituye un conjunto intensamente replegado, denotando la actividad halocinética de los yesos con desarrollo de pliegues menores de dirección subparalela a la dirección principal de plegamiento.

La información de subsuelo confirma la vergencia sur de la estructura a favor de un despegue principal enraizado en un horizonte próximo al muro de la Fm. Falces. Por

debajo la serie terciaria presenta una marcada disposición tabular. Las líneas sísmicas ponen de manifiesto también la presencia de despegues internos desarrollados generalmente a partir del contacto entre intervalos anhidríticos, asimilables a grupos de reflectores de gran continuidad, y tramos de deficiente definición, probablemente más halíticos.

La migración de material salino hacia el eje del anticlinal es patente en las líneas sísmicas y está respaldada por la gran potencia de la Fm. evaporítica de Falces (más de 3000 m) registrada en el sondeo Marcilla-1. Bajo la Fm. Falces se corta una serie detrítica rojiza que responde a la denominación litoestratigráfica de Fm. Detrítica basal Oligocena.

Sobre la Fm. Falces se disponen las Fms. Marcilla y Lerín constituyendo serie monoclinales a ambos flancos del pliegue. En la Hoja sólo aparece el flanco septentrional y el contacto entre las Fms Falces y Marcilla se encuentra mecanizado, faltando los términos superiores de la primera. La serie integrada por las Fms Marcilla y Lerín registra buzamientos de unos 15-30° hacia el NNE.

La sucesión terciaria culmina con la Fm. Tudela, que se dispone en franca discordancia erosiva sobre la Fm. Lerín y presenta una marcada relación de *on lap* hacia el S en el flanco septentrional de la estructura. Este dato, unido al probable carácter progresivo de la discordancia basal de la Fm. Tudela, evidencia la formación sinsedimentaria del Anticlinal de Falces durante el Mioceno inferior a medio. Además hay que hacer notar que sí bien la Fm. Tudela presenta un plegamiento más suave que la serie terciaria infrayacente, se han observado, en localidades próximas a la Hoja, pliegues menores bastante apretados, de vergencia meridional, desarrollados al Sur del Anticlinal de Falces lo que implica movimientos compresivos posteriores, con una edad mínima de Mioceno medio.

En definitiva el Anticlinal de Falces constituye un pliegue de crecimiento originado a partir del Mioceno inferior que se relaciona con un cabalgamiento ciego enraizado a muro de la Fm. Yesos de Falces, por lo que no involucra el basamento, ni la cobertera mesozoica, ni la parte inferior de la serie terciaria.

## **4. GEOMORFOLOGÍA**

### **4.1. DESCRIPCIÓN FISIOGRÁFICA**

La superficie que ocupa la hoja a escala 1:25.000 de Alfaro (244-III) se encuentra situada en la parte suroccidental de la Comunidad Autónoma de Navarra, pero incluye también una parte importante de la Comunidad Autónoma de La Rioja, siendo aproximadamente el río Ebro el límite entre ambas comunidades. La cartografía, sin embargo se ha realizado para todo el territorio limitado por la hoja.

Desde un punto de vista fisiográfico, el área pertenece a la Depresión del Ebro, cuenca de forma triangular, rellena por sedimentos durante el Terciario y que limita con los Pirineos y los Montes Vasco-cantábricos al norte, con la Cordillera Ibérica al sur, y con la Cordillera Costero Catalana al este. Más concretamente, se sitúa en su sector occidental, denominado Cuenca de La Rioja-Navarra (RIBA, 1983) o Cubeta Navarro-Riojana (ORTÍ, 1990), morfoestructuralmente caracterizada por dos dominios: “Relieves terciarios” y “Valles cuaternarios”.

El relieve, en líneas generales, ofrece una topografía suave con una altura media de 300 m. Las zonas más altas se encuentran en las proximidades de la localidad de Alfaro, con la máxima altura en el monte Tambarria (374 m) y al oeste de la hoja, donde no se superan los 364 m. Estas áreas, algo elevadas corresponden a dominio de los “Relieves terciarios”. Los “Valles cuaternarios”, correspondientes a las vegas de los ríos Ebro y Aragón, ocupan la mayor parte de la superficie de la hoja, sobre todo el sector central, con un relieve muy plano que alberga las cotas más bajas. El contacto entre ambos dominios se realiza por medio de laderas suaves, pero que no impiden apreciar el importante proceso de encajamiento de estos ríos.

El principal curso fluvial, como ya se ha señalado con anterioridad, es el del río Ebro que atraviesa diagonalmente la superficie de la hoja con dirección NO-SE y con un trazado meandriforme. Aproximadamente por la mitad del límite septentrional, aparece el río Aragón, con una dirección N-S y desemboca en el Ebro después de regar la localidad de

Milagro. El resto de ríos y arroyos carecen de importancia, a excepción del río Alhama que riega la localidad de Alfaro.

Por lo que al clima se refiere, la región pertenece al tipo Mediterráneo Templado, con precipitaciones medias anuales comprendidas entre 450 y 600 mm y temperaturas medias anuales de 13 a 14 °C.

La densidad de población es alta, con varios núcleos urbanos importantes. Destaca, sin duda, la localidad de Alfaro, seguida de las de Milagro, Rincón de Soto, Castejón y Cadreita. Hay que añadir, además, los diversos caseríos y casas de campo diseminadas por la zona.

La red de comunicaciones es buena y pone en comunicación unas localidades con otras y con el resto de la provincia de Navarra, ya sea a través de autovías (A-68), carreteras nacionales (N-232) o comarcales (NA-115, NA-6600). Hay que añadir la existencia de una amplia red de caminos y pistas que hacen posible el acceso a la práctica totalidad de la zona.

La vegetación no es muy variada, alternando los terrenos de monte bajo y matorral con los campos de cultivo que alcanzan su máximo desarrollo en el valle del Ebro. Esta labor agrícola, junto con la con la ganadera, constituye la principal ocupación de la población.

## **4.2. ANTECEDENTES**

Los trabajos de índole geomorfológica llevados a cabo en el sector occidental de la Depresión del Ebro son bastante escasos y más aún los que afectan de forma específica al territorio ocupado por la Hoja. Entre los estudios de carácter general, cabe señalar el de GUTIÉRREZ y PEÑA (1994) que trata la totalidad de la cuenca en el marco del libro "Geomorfología de España", así como el Mapa Geológico de la Comunidad de Navarra a escala 1:200.000 (GOBIERNO DE NAVARRA, 1997.)

Respecto a estudios más concretos, la mayoría se basan en los depósitos de terrazas y glaciares del río Ebro, destacando los de RIBA y BOMER (1957), GONZALO (1977 y 1979), LERANOS (1989) y LERANOS (1990 a), este último aborda el endorreísmo del sector

meridional navarro. Por su interés neotectónico es preciso señalar la publicación de ATARES et al. (1983), en relación con la existencia de fallas cuaternarias en el área de Alcanadre. También, por su relación directa con la zona de estudio, son considerables los trabajos de MENSUA y BIELZA (1974) y LERANOZ (1990 b) centrados los ríos Ebro y Ega.

También es necesario mencionar las aportaciones de las Hojas geológicas, a escala 1:50.000, correspondientes al Plan MAGNA de las áreas vecinas, especialmente las de Lodosa (205), Calahorra (243), Alfaro (244), Viana (171), Allo (172) y Tafalla (173), algunas de las cuales incluyen un capítulo de geomorfología, así como un esquema geomorfológico a escala 1:100.000. Por último, mención aparte debe hacerse de las Hojas geológicas y geomorfológicas a escala 1:25.000 realizadas dentro del presente proyecto de “ Actualización e informatización de la cartografía geológica de Navarra” (GOBIERNO DE NAVARRA, 1998) de las zonas limítrofes, por la gran cantidad de datos aportados y la puesta al día llevada a cabo en cuanto al conocimiento geológico y geomorfológico de la región.

### **4.3. ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO**

El estudio morfológico que aquí se realiza ha sido abordado desde dos puntos de vista muy diferentes. Por un lado, considerando el relieve desde un punto de vista estático, es decir, como una consecuencia del sustrato geológico y de la disposición del mismo (estudio morfoestructural) y por otro, desde la dinámica que supone la incidencia de los procesos exógenos sobre dicho sustrato (estudio del modelado).

#### **4.3.1. Estudio morfoestructural**

El territorio representado por la Hoja de Alfaro (244-III) se sitúa en la Cuenca de La Rioja Navarra, localizada en el sector noroccidental de la Depresión del Ebro y caracterizada por una clara influencia de la estructura geológica en el relieve, derivada a su vez de la acción de la tectónica sobre los diferentes conjuntos litológicos.

De acuerdo con los principales rasgos regionales, los afloramientos terciarios constituyen un dominio muy definido; de igual manera el valle del Ebro, tapizado por depósitos cuaternarios de carácter aluvial, constituye otro dominio de gran entidad, dividiendo al anterior con una dirección NO-SE.

#### **4.3.1.1. Formas estructurales**

El dominio terciario está constituido por un conjunto sedimentario atribuido al Oligoceno-Mioceno y se caracteriza por una serie detrítica fina con intercalaciones de conglomerados y areniscas, correspondientes a facies canalizadas y sólo en el límite centro-septentrional aparece una serie yesífera plegada según una dirección NO-SE. La estructura general de la hoja es, entonces, muy sencilla, correspondiendo a una serie monoclinial suavemente inclinada. La incidencia de los procesos externos sobre este sustrato, da lugar a la presencia de algunos resaltes estructurales debidos a la presencia de niveles más resistentes a la erosión, así como o pequeñas superficies estructurales y algunos cerros cónicos, dispersos por la superficie de la hoja.

Finalmente, conviene destacar que aunque poco muy visibles, en esta hoja, existen deformaciones muy localizadas en algunas terrazas como consecuencia de la tectónica de yesos. Estos fenómenos son observables en la hoja de Lodosa (205), en el valle del Ega, en las terrazas situadas al norte de Andosilla, así como en la hoja de Calahorra (243-II), en los alrededores de San Adrián.

#### **4.3.2. Estudio del modelado**

El relieve de esta zona también es el resultado de la acción de los procesos externos, tanto erosivos como sedimentarios, que han actuado durante el Terciario y el Cuaternario sobre el sustrato regional. Dichos procesos tienen diversos orígenes: gravitacional (de laderas), fluvial, poligénico, endorreico y antrópico.

#### **4.3.2.1. Formas de laderas**

Los procesos relacionados con la dinámica de vertientes no son muy frecuentes y se limitan a algunos coluviones formados al pie de las laderas de los suaves relieves y en algunos puntos de la margen del río Ebro. Los coluviones no son muy abundantes; aparecen como bandas delgadas a favor de la dirección de las estructuras y, en general, adosados a los fondos de valle o en la parte baja de las laderas.

#### **4.3.2.2. Formas fluviales**

Constituyen, sin duda alguna, el grupo de mayor relevancia, debido principalmente al cortejo de terrazas que escalonan el valle del río Ebro. Existe, también, una llanura de inundación, de escaso desarrollo y una serie de meandros y cauces abandonados que surcan los niveles de terraza más bajos. Todas estas formas son de carácter sedimentario y se completan con algunos fondos de valle de cursos secundarios, conos de deyección y barras de acreción lateral, situadas en el cauce activo del río. Las formas erosivas están representadas por la red de incisión lineal, acarcavamientos, arroyada difusa y escarpes de terraza.

Los fondos de valle tienen una discreta representación; apareciendo con formas alargadas y estrechas, cuya longitud varía sensiblemente, llegando, en algunas ocasiones a ser de orden kilométrico. Por lo general, su geometría parece perfectamente adaptada a la estructura.

La llanura de inundación del río Ebro se desarrolla en la mitad oriental de la hoja y está representada a modo de retazos, adyacentes al cauce activo, con superficie muy plana. Aparece ligeramente encajada en la terraza más baja. También asociados a esta terraza, se presentan meandros y cauces abandonados, a modo de ligeros encajamientos lineales de forma estrecha. Los primeros muestran su típica forma arqueada, en tanto que los segundos son más rectilíneos.

Por lo que se refiere a las terrazas, cabe decir que dan lugar al conjunto morfológico más característico de la zona. Dentro de la hoja, se han diferenciado ocho niveles, de los



cuales, uno pertenece al río Alhama y el resto a los ríos Ebro y Aragón. En relación a estos últimos, las alturas a las que se sitúan los diferentes niveles sobre el cauce son las siguientes: +5-7 m, +10-12 m, +15-20 m, +25-30 m, +40 m, +60 m, +80-85 m. Los niveles inferiores se consideran como terrazas “bajas” y poseen un dispositivo morfológico de terrazas encajadas y, a veces, ligeramente solapadas; el resto se divide entre terrazas “medias” y terrazas “altas”, todas ellas colgadas en relación al cauce actual.

En conjunto, el valle ofrece un aspecto escalonado, con escarpes netos entre los diferentes niveles; de entre éstos, son los inferiores los que poseen un mayor desarrollo y una mayor continuidad superficial, en tanto que los superiores aparecen a modo de retazos aislados con formas diferentes.

Uno de los rasgos que suelen llamar más la atención en las terrazas son las deformaciones relacionadas con los procesos de disolución del sustrato yesífero. Aunque en esta hoja no son demasiado llamativos, en la cercana de Lodosa (205), los autores mencionan colapsos, basculamientos y plegamientos que modifican, puntualmente, el aspecto típico de estos depósitos a lo largo del curso bajo del Ega desde las proximidades de Andosilla hasta San Adrián y en ambas márgenes

También de origen fluvial, son aquellos conos de deyección, dispuestos sobre algunas de las terrazas del valle del Ebro. Se generan cuando la carga concentrada en los barrancos alcanza áreas más amplias, expandiéndose y dando lugar a depósitos con morfologías en abanico. Aunque existen conos aislados, a veces, la proximidad entre barrancos hace que predominen los dispositivos coalescentes, a modo de bandas, que orlan alguno relieves. Un ejemplo de ello puede observarse en la esquina sureste de la hoja, en las proximidades de la localidad de Castejón.

En cuanto a las formas erosivas de origen fluvial, hay que destacar su precario desarrollo, limitándose a algunos casos de incisión y arrollada difusa a las que hay que añadir los escarpes de terraza y algunas aristas en las zonas de mayor relieve.

#### **4.3.2.3. Formas endorreicas**

Las formas endorreicas son el resultado de la confluencia de una serie de factores como pendientes suaves y sustrato impermeable. En la hoja de Alfaro, donde estas dos características están presentes, el desarrollo de fondos endorreicos no es raro. Se localizan en los cuadrantes noreste y suroeste, sobre el sustrato terciario, además de sobre algunas terrazas. Son depresiones de formas y tamaños diversos donde se produce una cierta acumulación de agua por un drenaje deficiente. A veces se observan eflorescencias salinas. En épocas de lluvias son absolutamente funcionales.

#### **4.3.2.4. Formas poligénicas**

Están representadas glaciares y depósitos de origen aluvial-coluvial. Dentro de los primeros, se han podido diferenciar dos generaciones. La más antigua aparece representada por un glaciar de grandes dimensiones, en la esquina suroeste, del que sólo se aprecia la parte distal puesto que la proximal se ubica en la contigua hoja de Autol (243-IV). Los glaciares más recientes, también en el cuadrante suroeste, se encajan en el anterior. Son formas de menor tamaño que se inclinan hacia la parte baja de los valles. La morfología de todos ellos es muy característica, ofreciendo un perfil longitudinal plano-cóncavo y una planta palmeada.

En algunas zonas, existen valles amplios, muy poco encajados, en los que resulta difícil delimitar los depósitos de origen fluvial y los procedentes de las laderas, habiendo sido preciso agruparlos cartográficamente como depósitos de origen aluvial-coluvial. Tienen poca extensión y son formas de escasa relevancia.

#### **4.3.2.5. Formas antrópicas**

La actividad antrópica se concentra casi exclusivamente en el valle del Ebro. Esta actividad que modifica localmente el paisaje, se debe exclusivamente a la explotación de gravas, manifestándose en grandes canteras.

#### 4.4. FORMACIONES SUPERFICIALES

Se definen como formaciones superficiales todos aquellos depósitos, coherentes o no, que están relacionados con la evolución del paisaje que vemos en la actualidad (GOY et al., 1981). Deben caracterizarse por ser cartografiables a la escala de trabajo y por estar definidas por una serie de atributos tales como geometría, textura, tamaño, potencia y, siempre que sea posible, edad.

Las formaciones superficiales de ladera se limitan, en esta hoja, a coluviones. Son depósitos de reducido espesor, en general inferior a 3 m, y de moderada representación superficial, estando irregularmente distribuidos al pie de las laderas. Su constitución litológica es muy variable, dependiendo de la naturaleza del área madre. Predominan los materiales finos que engloban cantos y bloques angulosos y subangulosos de cuarcita, areniscas y yesos.

Las formaciones superficiales de origen fluvial están representadas por fondos de valle, llanura de inundación, terrazas, conos de deyección y barras de acreción lateral.

Los fondos de valle están constituidos por los depósitos de la escorrentía superficial efímera, o actualmente nula, que discurre intermitentemente a través de los valles o depresiones, de la red fluvial secundaria. En ellos predominan las lutitas grises, rojas u ocre con cantos de tamaño variable y algunos bloques. En menor medida, también se reconocen niveles de arenas. La litología de sus componentes es muy variable, predominando los clastos de fragmentos de yesos o areniscas, según las zonas. En general poseen un espesor comprendido entre 3 y 5m aunque puede ser superior. Localmente presentan un cierto grado de cementación. La edad asignada a estos depósitos es Holoceno.

La llanura de inundación, las terrazas y los cauces abandonados, tienen todos ellos una litología y textura muy similar aunque con pequeñas variaciones. Las terrazas fluviales que, en su mayor parte, pertenecen al sistema fluvial del río Ebro, están formadas por gravas y cantos de origen poligénico: cuarcita, cuarzo, liditas, calizas con foraminíferos, dolomías, calcarenitas, etc. El grado de cementación, por carbonatos, parece ser algo

mayor en las terrazas superiores. El contenido en arenas, en la matriz, es muy variable. En cuanto al tamaño de los cantos cabe decir que suelen ofrecer dos modas, para el tamaño medio, una entre 7 y 10 cm y otra entre 12 y 15 cm. Por lo que respecta al tamaño máximo, a veces se reconocen bloques de hasta 40 cm. En algunos perfiles se observan estructuras sedimentarias como imbricaciones de cantos y estratificaciones cruzadas, para las gravas. Para los cuerpos arenosos son frecuentes las estratificaciones cruzadas en surco. Los espesores, muy irregulares, oscilan entre 4 y 10 m, pero existen datos de potencias anómalas, de hasta 30 m, en sectores próximos, que se explican con relación a fenómenos de subsidencia diferencial en áreas localizadas. En cuanto a las terrazas bajas, los espesores pueden llegar a superar los 25m, de acuerdo con los datos de sondeos (IGME 1977). Con frecuencia las terrazas bajas y medias desarrollan suelos que por sus características son frecuentemente utilizados para el cultivo. En el río Ebro las terrazas bajas desarrollan suelos del tipo 10 YR 6/4, mientras que en las medias son ya 7,5 YR 5/4.

Los depósitos asociados a los conos de deyección están formados, generalmente, por limos y arcillas de tonalidades ocres, a veces algo rojizas que engloban algunos cantos angulosos o subangulosos, e incluso gravas, dispuestas en delgadas hiladas. Suelen apreciarse, además, cementaciones, pero siempre muy superficiales y de poca consistencia. Se disponen a la salida de los barrancos estrechos hacia valles más amplios y lógicamente su composición de detalle varía en función del área madre así como su espesor, a veces superior a los 15 m. Es bastante frecuente, como ya se ha expuesto, el solapamiento o la coalescencia de varios conos, dando lugar a formas de amplio desarrollo lateral.

Las barras de acreción lateral están formadas casi exclusivamente por cantos, gravas y bloques. Gran parte del material fino ha sido lavado por el río, debido a su situación en el curso activo del mismo.

Las formaciones superficiales de origen endorreico están formadas por depósitos finos asociados a áreas de drenaje deficiente en las que se producen encharcamientos superficiales. Por lo general, se trata de lutitas grises y limos, a veces yesíferos, con un cierto contenido en materia orgánica y que poseen un reducido espesor. Ocasionalmente

pueden intercalar depósitos más groseros suministrados por los aportes laterales. La potencia que alcanzan no llega a superar los 2m. Son funcionales en la actualidad y, por ello, se consideran de edad holocena.

Las formaciones de origen poligénico están representadas por glaciares. Los de la hoja de Alfaro son glaciares de cobertera y se desarrollan sobre depósitos neógenos, preferentemente arcillosos y yesíferos. Por lo general, su composición refleja la del sustrato sobre el que se desarrollan, estando constituidos por gravas y lutitas con cantos y, a veces bloques, de carácter anguloso a subanguloso, de composición, areniscosa, yesífera y calcárea. Los glaciares más antiguos suelen tener un encostramiento a techo. La potencia está comprendida entre 2 y 4 m, no descartando potencias mayores en las zonas apicales.

Los aluviales-coluviales forman un conjunto de depósitos de origen aluvial con aportes laterales, difíciles de separar de los anteriores. Por lo general se localizan en áreas de topografía muy suave y en zonas con cursos de carácter ligeramente divagante y efímeros. Su litología corresponde a materiales finos, generalmente limos, a veces yesíferos, y arenas procedentes de zonas laterales o arrastrados por el propio curso de los arroyos. Su espesor puede llegar a ser considerable, del orden de 3-6 metros. La edad asignada es Holoceno.

#### **4.5. EVOLUCIÓN DINÁMICA**

La evolución geomorfológica de una zona de reducidas dimensiones es difícil de establecer si no se integra dentro de un ámbito regional más amplio. Por ello, hay que considerar esta zona dentro del contexto de la Depresión del Ebro.

En cualquier caso, las superficies de erosión degradadas, de las que se habla en hojas próximas, parecen estar claramente encajadas en las superficies de los sistemas montañosos que bordean la cuenca y, aunque poco puede precisarse sobre el modelado

finineógeno de la zona, debido a la ausencia de depósitos del intervalo Mioceno superior-Plioceno, parece muy probable su pertenencia al Cuaternario.

La superficie más elevada, desarrollada en los sectores occidental y nororiental de la hoja de San Adrián (205-IV), al noroeste, parece relacionarse con los niveles de terraza superiores del sistema fluvial de los ríos Ega, quizás Arga y Ebro, por lo que puede considerarse como la superficie de la cual arrancó el encajamiento de la red fluvial en la zona estimándose que este proceso tuvo lugar a comienzos del Cuaternario.

El encajamiento de la red fluvial como principal modelador de la zona, ha llevado aparejados una serie de procesos erosivos y sedimentarios entre los cuales cabe destacar el desmantelamiento de los relieves por parte de los cauces principales y la acumulación de depósitos, que en sucesivos encajamientos posteriores se configuran como terrazas. La erosión vertical de la red ha ido acompañada por un retroceso de las laderas.

Una vez esbozada la red principal, con valles aún poco pronunciados, posiblemente a partir del Pleistoceno medio, dio comienzo el encajamiento generalizado de la red secundaria, que propició, no sólo un incremento de la superficie susceptible de ser atacada por los procesos denudativos, sino también el desarrollo de sistemas de conos de deyección y de glaciares, orlando los principales relieves.

Ya en el Holoceno, la dinámica fluvial ha seguido gozando de una gran preponderancia en el modelado de la región, tanto por la acción de los ríos Ebro y Aragón, como por la del resto de los cauces secundarios. Los procesos de ladera dan lugar a coluviones y los procesos endorreicos comienzan a adquirir una cierta relevancia, favorecidos por una clara disminución de las pendientes regionales y de un sustrato de carácter impermeable. La influencia del sustrato se pone de manifiesto por la profusión de relieves estructurales, más acusados y numerosos en hojas adyacentes.

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

La fisonomía actual de la hoja de Alfaro (243-III) es debida fundamentalmente a dos factores, la estructura del sustrato y el encajamiento de la red fluvial, cuya preponderancia se plasma en la existencia de dos dominios morfológicos principales.

La estructura está condicionada por la existencia de un sustrato yesífero y arcilloso en el que se intercalan niveles de mayor competencia. Por su parte, la red fluvial se encaja mediante procesos de incisión vertical, más acusados en la red secundaria de las zonas más elevadas. Estos procesos van acompañados por retrocesos de las laderas con formación de aristas. También se producen fenómenos de aluvionamiento y abandono de cauces.

La evolución del relieve previsible a corto plazo no sugiere modificaciones importantes en relación con los procesos actuales, siendo de esperar una tendencia general de aproximación del relieve al nivel de base local, marcado por el río Ebro. No obstante, en las áreas donde afloran materiales blandos, se incrementará la tendencia a suavizar las formas, incluso con un aumento de las tendencias endorreicas. La superior resistencia a la erosión de algunos niveles, podría exagerar los desniveles de algunas formas estructurales. Por último, resulta imposible predecir todas aquellas modificaciones relacionadas con las deformaciones de los materiales yesíferos.

## 5. HISTORIA GEOLOGICA

La Hoja a escala 1:50.000 de Alfaro, de la que forma parte el cuadrante 244-II, Rada, se sitúa en el centro de la Depresión del Ebro, y dentro de esta, se ubica en la denominada Cuenca Navarro-Riojana (SALVANY, 1989) que constituye una subcuenca de la cuenca del Ebro.

Teniendo en cuenta las distintas unidades caracterizadas en esta Hoja y las hojas limítrofes, en este apartado se va a tratar de ajustar una síntesis paleogeográfica y evolutiva que de idea de la historia geológica de esta zona.

La cuenca terciaria del Ebro es una de las grandes cuencas terciaria peninsulares, junto con las cuencas del Duero y la del Guadalquivir. Esta cuenca se ha mantenido activa desde el Paleoceno hasta el Mioceno terminal, variando su configuración geográfica a lo largo del tiempo en función del levantamiento de las cordilleras limítrofes: Pirineos al Norte, la Ibérica al Sur y las Catalánides hacia el Este, de las cuales la mayor influencia es la de la Cadena Pirenaica, que se ha levantado cabalgando los depósitos terciarios. Respecto a esta cadena, la Depresión del Ebro se comporta como cuenca de antepaís meridional a lo largo del Terciario.

A finales del Eoceno se produce, en la cuenca de antepaís surpirenaica, la retirada definitiva del mar hacia el Oeste debido al levantamiento de la cadena. La depresión del Ebro se convierte en una cuenca endorreica que registra un importante acumulo de materiales continentales aluviales y lacustres, situación que se mantiene hasta bien entrado el Mioceno.

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



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

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

Durante los inicios del el Oligoceno superior, en esta zona de la Cuenca del Ebro, la sedimentación se concreta a partir de sistemas aluviales procedentes de los relieves pirenaico e ibérico, que pasan, a distancia creciente de los márgenes, a contextos lacustres salinos. El predominio de ambos ambientes es alternante a lo largo del Terciario, aunque cada vez con mayor influencia de los primeros en el Mioceno, de modo que se suceden los episodios generalizados de propagación aluvial, relacionados con impulsos diastróficos, y las etapas de expansión lacustre, caracterizadas por extensos cuerpos evaporíticos en el registro sedimentario.

Las áreas lacustres evaporíticas, desarrolladas de forma amplia en los sectores centrales de la cuenca, han experimentado una migración mantenida hacia el Sur, como consecuencia del levantamiento del Pirineo y de la progradación de los sistemas aluviales procedentes de este, parte de los cuales se reconocen en la zona de estudio o bien en áreas próximas.

Esta historia geológica que se desarrolla a continuación se establece de acuerdo con los datos obtenidos en la Hoja y con los del entorno próximo

Los primeros registros que aparecen en estas Hojas corresponden a los depósitos evaporíticos de la Fm. Yesos de Falces, pertenecientes al Oligoceno superior. En este período se instala en el sector central de la Cuenca Navarro-Riojana este cuerpo evaporítico de gran extensión, que ocupa los núcleos anticlinales de las estructuras existentes. Los depósitos aluviales correlativos o equivalentes están integrados en la vertiente pirenaica por las facies de Sangüesa, Cáseda y Mués y por la Fm. Arnedo en el margen meridional.

Una vez culminado este episodio evaporítico de la Fm. Falces, a continuación se produce una etapa de propagación aluvial que se evidencia en la zona por el desarrollo de la Fm. Marcilla, que enlaza hacia el N con los términos superiores de las Facies de Sangüesa y hacia el Sur con los de la Fm. Arnedo.

En el tránsito entre el Oligoceno Superior y el Mioceno Inferior se registran variaciones sucesivas en la configuración de la paleogeografía de la Cuenca Navarro-Riojana que se traducen estratigráficamente en una alternancia entre unidades detríticas y evaporíticas de gran continuidad, (SALVANY, 1989), configurando en conjunto la Fm. Lerín, formada por alternancia de ciclos evaporíticos, (Alcanadre, facies yesíferas de Peralta y Sesma, y Yesos de Los Arcos), y ciclos de carácter detríticos (facies detríticas de Peralta, Sesma y Arcillas de Villafranca):

Los episodios de propagación aluvial están representados durante el Mioceno por las unidades de Olite, Artajona y Ujúe también conocidas como Facies de Allo, Sos y San Martín de Unx. Hacia el Sur y Suroeste acontecen episodios algo similares a finales del Paleógeno y comienzos del Mioceno en la Fm. Lerín, que incluye a veces desarrollos evaporíticos importantes.

En el Mioceno, los sistemas aluviales presentan una disposición axial submeridiana y se generan facies aluviales proximales indicativas claramente ya del desplazamiento hacia el Sur del margen de la cuenca (Unidad de Olite y Facies Las Bardenas) y más claramente de manifiesto durante el Mioceno, en las Sierras de San Pedro-Peña situadas más al Norte de la Hoja.

La sedimentación de la Fm Tudela, y sus equivalentes, Fm. Olite y Miranda de Arga, se localizan por toda la zona y fuera ya de ella en los sinclinales de Miranda de Arga y en la continuación hacia el Oeste del de Peralta. Hacia el Oeste, se expande la Unidad de Olite, estando representada por facies aluviales distales. Esta, se acuña hacia el Sur por su disposición en *on lap* y por tránsito en vertical a las Unidades de Miranda de Arga, que incluyen niveles lacustres carbonatados.

Se producen en consecuencia, durante los tiempos miocenos una marcada reestructuración paleogeográfica en la cuenca que queda cubierta por facies aluviales con el desplazamiento de la sedimentación evaporítica lacustre (Yesos de Zaragoza) hacia el Este. Las facies aluviales mas progradantes y proximales de procedencia pirenaica se encuentran aflorantes en las Sierras de San Pedro y Peña y tienen sus equivalentes laterales en la Unidad de Artajona y se sitúan por el S y SE. sobre la Unidad de Olite y sobre las Facies de Las Bardenas. Por el Sur y Suroeste, los depósitos de atribución correlativa están integrados por las Fms. Fitero, Cascante y Alfaro, que en esta zona están representados por lutitas rojas y ocreas con intercalaciones de canales de conglomerados (equivalente de la Fm. Cascante) y la Fm. Alfaro por depósitos arcillosos de color rojo.

La estructuración de este borde de la Cuenca del Ebro, acontece durante el Mioceno inferior-medio y se articula en una serie monoclinas, en clara discordancia progresiva de dirección NNO-SSE y vergencia al Suroeste y Sur como resultado de la última etapa importante de compresión pirenaica.

El plegamiento sinsedimentario es el responsable de la discordancia progresiva del borde de cuenca y por consiguiente de las discordancias internas reconocibles como p.e. la discordancia basal de la Unidad de Olite (Fm. Tudela) con su marcado carácter erosivo y la disposición en *on lap* hacia las principales estructuras anticlinales. También se encuentran relacionados con este plegamiento las notables diferencias de espesor observables de un flanco a otro de algunas estructuras como la del anticlinal de Falces y el sinclinal de Peralta y en definitiva de la compartimentación incipiente en la zona a favor de los surcos sinclinales.

El origen del plegamiento está relacionado con alguna de las fases de compresión pirenaica, pero su posterior evolución debe relacionarse también con la plasticidad de las evaporitas que se presentan en el núcleo, principalmente, y flancos de las estructuras anticlinales. Este hecho se fundamenta en las estructuras observadas en los distintos cortes a través de los anticlinales de Falces y Arguedas, donde se puede apreciar que las estructuras que presentan los yesos son totalmente diapíricas, llegando a sobreponerse como en el caso del corte del río Aragón entre Marcilla y Caparroso.

Este plegamiento puede considerarse sincrónico a la sedimentación terminal de la Fm. Lerín, lo que configuraría una cuenca con subsidencia diferencial, con valores máximos en el fondo de los sinclinales y mínimos en las alineaciones anticlinales.

Paralelamente a estas fases compresivas que originó el plegamiento y diapirismo en esta zona, se produjo la reactivación de fallas del subsuelo que ocasionaron el levantamiento de bloques, y produciendo el hundimiento del valle del Arga. El hundimiento de esta fosa sería la responsable de la distinta altitud a la que se encuentran los depósitos equivalentes de la Fm. Cascante, ya que, en el valle del Arga-Aragón, topográficamente aparecen en altitudes mucho más bajas que en las zonas situadas a Oeste y Este de este valle.

Por último cabe destacar que según estudios recientes, el principio del exorreísmo en la cuenca debió producirse en un momento próximo al Mioceno superior y como muy tarde en el Plioceno. En esos tiempos tiene lugar la apertura de la Depresión del Ebro al Mediterráneo, por lo que esta pasa a comportarse como una cuenca exorreica. Empieza la etapa de vaciado erosional con la instalación de sistemas aluviales y el progresivo encajamiento de la red hidrográfica. Estos procesos, unidos al desarrollo de las diversas formas de erosión, dan lugar a la actual configuración del relieve de la Cuenca del Ebro.

## **6. GEOLOGÍA ECONOMICA**

### **6.1. RECURSOS MINERALES**

En la Hoja a escala 1:25.000 de Peralta (206-III) se han inventariado 6 indicios mineros, representados exclusivamente por rocas y minerales industriales. En su mayor parte se trata de canteras abandonadas de diversa consideración que se distribuyen de forma bastante diseminada por toda la Hoja. Corresponden a las siguientes sustancias: Yesos y gravas.

Los indicios de arcillas se encuentran en la parte nororiental de la Hoja sobre formaciones lutíticas miocenas (Fm. Tudela). Las antiguas explotaciones de yesos se emplazan sobre distintas formaciones evaporíticas. A la vera del Arga, en las proximidades de Peralta, se reconoce una gravera desarrollada sobre los niveles de terrazas bajas. Se describen además otras sustancias que si bien no cuentan con indicios inventariados en la Hoja, presentan posibilidades de aprovechamiento minero.

#### **6.1.1. Minerales y Rocas Industriales.**

Las arcillas constituyen la sustancia con más indicios registrados en la Hoja. Se han inventariado 3 indicios de arcillas, 2 de yesos y 1 de gravas. Se describen también otras sustancias, arcillas especiales, arenas, sal y glauberita, por sus posibilidades de aprovechamiento en el futuro.

##### **6.1.1.1. Gravas**

Se ha inventariado una única cantera de gravas en la Hoja.

Se sitúa al NE de Peralta y se han extraído depósitos clásticos de la terraza baja del Arga.

Litológicamente corresponden a gravas heterométricas de cantos bien rodados con contenidos variables en matriz arenosa y arenoso-limosa. El tamaño de los cantos varía

entre 2 y 15 cm y éstos corresponden mayoritariamente a calizas del Terciario y Mesozoico, y en menor medida a areniscas y ofitas.

La potencia de los niveles de terrazas es de orden métrico a decamétrico por lo que la gravera presenta frentes de explotación con alturas comprendidas entre 3 y 6 m.

No se observan en la actualidad actividades extractivas si bien se puede registrar un funcionamiento ocasional con objeto de cubrir pequeñas demandas locales

#### **6.1.1.2. Yesos**

Se han reconocido 2 canteras de yesos en la Hoja. Una de ellas se encuentra al S de Falces y se sitúa sobre la Fm. Yesos de Falces. La restante se localiza en las inmediaciones de Peralta, emplazándose en el tramo yesífero somital de la Fm. Lerín (Unidad Yesos de Los Arcos).

Los yesos de la Fm Falces y de la Unidad de Los Arcos se presentan en variedades alabastrinas, megacristalinas y porfiroblásticas. Las litofacies nodulares contienen más arcilla y exhiben un aspecto tableado mientras que las litofacies laminadas son más puras y aparecen en capas más masivas.

Las canteras de yesos de las Hoja son de dimensiones moderadas, y normalmente presentan un solo frente, a veces con varios bancos.

Se encuentran en la actualidad abandonadas si bien han registrado, en las últimas décadas, actividades extractivas intermitentes.

#### **6.1.1.3. Arcillas comunes**

Los indicios de arcillas comunes de la Hoja de Peralta (206-III) se encuentran sobre intervalos lutíticos rojizos de la Fm. Tudela.

Se han inventariado 3 indicios, que se localizan en el cuadrante NE de la Hoja. Dos de ellos, en el flanco meridional del Anticlinal de Pitillas, corresponden a pequeñas canteras abandonadas y el restante, situado en el flanco norte, se ha registrado como yacimiento.

Las arcillas de la Fm. Tudela se explotan en numerosos puntos de la región dadas sus favorables propiedades (50-60% en illita y 5-10% en clorita) para la fabricación de ladrillos (*ladrillos de Tudela*).

#### **6.1.1.4. Arcillas especiales**

Los intervalos lutíticos lacustres de la Fm. Tudela contienen arcillas de neoformación que se citan en el presente epígrafe por su potencial minero.

Los tramos productivos corresponden a horizontes arcillosos grisáceos entre el conjunto lutítico mayoritariamente rojizo de la Fm. Tudela.

Diversos análisis realizados en la región sobre este tipo de materiales ponen de manifiesto contenidos elevados en esmectita (24-64%) y sepiolita (20-44%).

No se descarta no obstante la existencia de niveles de arcillas especiales, con alto poder de absorción, asociadas a las facies lacustres de la Fm. Lerín.

#### **6.1.1.5. Sal común**

Las Fms. de Falces y Lerín, presentan un evidente potencial minero de esta sustancia puesto que contienen sal, a profundidades poco distantes de la superficie, que puede extraerse mediante procedimientos simples de inyección de agua y bombeo de salmuera.

En la Hoja de Peralta se desarrollan varios niveles evaporíticos destacables por su potencia y extensión. De muro a techo son: Yesos de Falces o Fm. Falces, y en la Fm Lerín, Yesos de Sesma y Yesos de Los Arcos.

#### **6.1.1.6. Arenas y areniscas**

Los términos arenosos de los niveles de terrazas son objeto de explotación en la región para la obtención de áridos.

Por otro lado, son frecuentes en la región las canteras establecidas sobre las principales intercalaciones de areniscas de las formaciones terciarias para la obtención de bloques de mampostería.

En la Hoja de Peralta (206-III) no se ha inventariado ningún indicio de esta sustancia, cuya cita en el presente epígrafe se debe únicamente a su potencial minero.

#### **6.1.1.7. Glauberita**

Aunque no se ha inventariado ningún indicio de esta sustancia en la Hoja, cabe señalar que las Fms. Falces y Lerín contienen niveles de glauberita dentro de sus principales tramos yesíferos.

Sin embargo, este mineral sólo se reconoce en subsuelo pues, al igual que la halita y otros minerales evaporíticos de alta solubilidad, en superficie se disuelve con las aguas de lluvia.

Excepcionalmente la glauberita se reconoce en algunos afloramientos recientes de la región (antiguas labores mineras de Alcanadre-Arrúbal y San Adrián) en los que no ha llegado a ser disuelta aunque está parcialmente transformada en yeso secundario.

En el subsuelo la glauberita está asociada a yeso, anhidrita, polihalita, halita, magnesita y dolomita.

La glauberita se presenta en capas individuales de 10 a 30 cm, que pueden estar aisladas entre sí o bien agruparse para formar capas mayores de hasta varios metros de potencia. Se emplazan facies anhidríticas laminado-nodulares. Las capas individuales de glauberita pueden ser masivas, bandeadas, nodulares o enterolíticas. Texturalmente, el tamaño de los cristales de glauberita puede variar desde grano fino (cristales de <0.5 mm



de tamaño) a grueso (cristales de hasta varios centímetros de tamaño). Forman generalmente agregados cristalinos sub-euhedrales romboédricos, de tamaño relativamente uniforme, o bien con claras tendencias granocrecientes hacia los bordes de las capas. Estos agregados cristalinos suelen ser puros, pero en las capas tabulares de textura gruesa la glauberita suele estar acompañada de abundante matriz arcillosa o carbonatada. En los afloramientos, la glauberita se presenta siempre con diferentes grados de meteorización y recubierta por eflorescencias que le dan un aparente color blanco que resalta del color grisáceo del yeso encajante. En subsuelo se muestra como un material halocristalino gris, que se puede confundir fácilmente con el yeso o anhidrita, especialmente cuando su tamaño es fino. La glauberita es generalmente de origen primario, aunque también puede proceder del reemplazamiento de anhidrita durante la diagénesis temprana.

La polihalita aparece en finas capas de algunos mm o cm de espesor, de aspecto masivo y color gris oscuro, emplazadas en niveles laminados de carbonatos (generalmente de magnesita), glauberita o halita. Texturalmente estas capas de polihalita forman agregados de esferulitos con un tamaño máximo de 2 mm. Cada esferulito es de microestructura interna fibroso-radiada. Los esferulitos pueden ser de origen primario o bien originados por reemplazamiento de glauberita durante la diagénesis temprana.

La magnesita es otro mineral propio de estos yacimientos glauberíticos. Su aspecto, tanto a simple vista como al microscopio, es idéntico al de la dolomita. Es decir, forma capas poco potentes de carácter masivo o laminado, de textura muy fina y uniforme (micrítica), y de color beige.

La halita y dolomita son minerales frecuentes en los principales tramos evaporíticos de las formaciones Falces y Lerín, independientemente del desarrollo de niveles glauberíticos y presentan siempre las mismas características petrológicas.

## **6.2. HIDROGEOLOGIA**

### **6.2.1. Introducción**

En este apartado se describen las características hidrogeológicas de las distintas unidades de la Hoja a escala 1:25.000 nº 244-IV correspondiente a Arguedas, y se establecen las características hidrogeológicas de distintas unidades acuíferas que aparecen.

### **6.2.2. Descripción de las FORMACIONES**

A continuación se describen las principales características hidrogeológicas de las distintas unidades cartográficas que aparecen en la Hoja, agrupadas en función de sus características litológicas, geométricas y de permeabilidad.

- FM. Yesos de Falces. Oligoceno superior-Mioceno inferior

La Fm. Falces incluye las unidades cartográficas 1 a 3, formadas esencialmente por yesos con intercalaciones de arcillas y margas, Unidades 1 y 2, y la Unidad 3 que representa niveles cartográficos de arcillas situados a techo de la formación. En esta Hoja afloran en el núcleo del Anticlinal de Arguedas.

La Unidad 1 esta fuertemente replegada, mientras que la Unidades Superior (315) sigue la estructura de plegamiento general de la zona. Ambas unidades se presentan como un conjunto de yesos con intercalaciones menores de margas, dolomías y eventualmente arcillas con intercalaciones de areniscas. En profundidad incluye abundantes niveles de halita alternando con anhidrita, lutitas y dolomías.

Su potencia es muy variable debido a procesos halocinéticos si bien se estima un espesor deposicional de unos 1000 m.

Es una formación salina de muy baja permeabilidad ( $<10^{-8}$  m/s) que puede sin embargo permitir cierta circulación de agua en los niveles superficiales por carstificación, aunque muy superficialmente.

- Arcillas de Marcilla y Peralta. Oligoceno superior-Mioceno inferior

Por encima de la Fm Yesos de Falces y mediante un contacto transicional se dispone un potente conjunto esencialmente arcilloso, que comprende de muro a techo las unidades de la Fm. Arcillas de Marcilla (Unidades 4, 5 y 6), y la Unidad Arcillas y yesos de Peralta (Unidades 8,9 y 10). Entre ambas formaciones se sitúa un nivel-guía de yesos de carácter regional que se describe como el Nivel de Alcanadre.

En esta Hoja, este conjunto aparece en ambos flancos del anticlinal de Arguedas. La potencia media del conjunto es de unos 500 m y su techo está definido por los Yesos y Arcillas de Sesma.

El conjunto registra una permeabilidad muy baja debido a su naturaleza arcillosa y la escasa potencia de las intercalaciones de areniscas y carbonatos impide que éstas desarrollen acuíferos locales de cierta entidad.

- Yesos y Arcillas de Sesma. Mioceno inferior

Como en la unidades anteriores, los Yesos y Arcillas de Sesma (11 y 12) se desarrollan en la hoja a ambos flancos del Anticlinal de Arguedas. Su potencia aumenta de N a S pasando de unos de 50-60 m a cerca de 100 m.

La unidad 10 aparece en superficie como un conjunto de yesos con intercalaciones lutíticas en proporciones variables. En profundidad se ha constatado la presencia de importantes volúmenes de sal intercalada entre términos sulfatados (anhidrita principalmente).

Esta es una unidad salina de muy baja permeabilidad ( $<10^{-8}$  m/s). En situación próxima a la superficie aumentan los valores de permeabilidad debido a fenómenos de karstificación por disolución de las evaporitas.

En el caso de las arcillas, son lutitas de colores ocre con algunas intercalaciones yesíferas. Su permeabilidad es muy baja.

- Arcillas de Villafranca. Mioceno inferior

Es el tramo arcilloso superior de la Fm. Lerín, separando los Yesos de Sesma de los de Los Arcos.

Litoestratigráficamente responde al término de Arcillas de Villafranca (350). Se ha diferenciado también un tramo arenoso (351) y su potencia total media en la Hoja es de 75-80 m.

Litológicamente predominan ampliamente las arcillas de tonos ocre que contienen intercalaciones de areniscas de escasa potencia y horizontes yesíferos eventuales, algo más destacables hacia techo.

La permeabilidad es muy baja debido a su carácter arcilloso y a la escasa relevancia de las intercalaciones.

- Yesos de Los Arcos. Mioceno inferior

Los Yesos de Los Arcos (15-16) representan el nivel evaporítico más importante de la Fm. Lerín, por su potencia y continuidad. Aparece como un potente paquete yesífero de aspecto masivo o tableado que alcanza una potencia de unos 200 m. Intercalados aparecen niveles arcillosos, que cuando tienen continuidad cartográfica se han cartografiado como la unidad 17.

Como en el resto de las unidades de la Fm. Lerín, los Yesos de Los Arcos, ocupan los flancos del anticlinal de Arguedas. En profundidad contiene niveles de halita en

proporciones destacadas, que alternan de forma más menos rítmica con anhidritas, dolomías y lutitas.

Constituye una formación salina de muy baja permeabilidad, ( $<10^{-8}$  m/s).

- Fm.. Tudela. Mioceno inferior a medio

La Fm. Tudela esta formada por una potente series de arcillas rojizas (378), en las que se intercalan niveles de areniscas y calizas margosas que cuando alcanzan suficiente expresión cartográfica se han diferenciado (379). Se dispone de forma discordante sobre la Fm. Lerín mediante un contacto truncacional y erosivo.

Esta unidad ocupa grandes áreas de la mitad oriental de la Hoja, con una potencia máxima del conjunto estimada en unos 300 m

La permeabilidad es muy baja dado el marcado predominio de los términos arcillosos y la escasa potencia de las intercalaciones. Únicamente se pueden desarrollar acuíferos locales a favor de los niveles de calizas y areniscas más potentes.

- Unidad de Olite. Mioceno inferior a medio

La Unidad de Olite (383) aparece en la esquina nororiental de la Hoja, disponiéndose discordantemente sobre la Fm. Tudela. Se diferencia de esta por su mayor contenido en areniscas, constituyendo un conjunto sedimentario de marcado carácter aluvial, representado litológicamente por arcillas ocre y rojizas con abundantes intercalaciones de areniscas. En éstas se pueden desarrollar acuíferos locales de poca entidad.

- Unidades de Miranda de Arga. Mioceno inferior a medio

Ocupa la zona septentrional de la Hoja, siendo la parte superior de la serie terciaria en esta zona. Registra buzamientos medios y moderados y su potencia en la Hoja alcanza los 500 m.

La permeabilidad es muy baja dado el marcado predominio de los términos arcillosos y la escasa potencia de las intercalaciones. Únicamente se pueden desarrollar acuíferos locales a favor de los niveles de calizas y areniscas más potentes.

- Formaciones cuaternarias de alta permeabilidad

Se agrupan en esta apartado las formaciones permeables del Cuaternario que litológicamente corresponden a depósitos de gravas y arenas que pueden contener términos lutíticos en proporciones menores.

Su origen está ligado principalmente a la dinámica fluvial de los principales ríos Ebro, Aragón y Argá. Las terrazas medias y bajas se desarrollan de forma escalonada ocupando extensas superficies junto con otros materiales clásticos de génesis fluvial, y las terrazas altas algo más aisladas, desconectadas parcialmente del cauce actual.

La potencia de estos depósitos es por lo general de orden métrico (1-20 m) aunque pueden registrarse localmente valores mayores sobre substratos yesíferos colapsados.

La permeabilidad es alta, al menos para los niveles bajos y medios, por porosidad intergranular dada su granulometría grosera, escasez de matriz lutítica y poca o nula cementación.

Formaciones cuaternarias de media y baja permeabilidad

Se agrupan en el presente epígrafe las formaciones del Cuaternario que están constituidas litológicamente por lutitas con un contenido variable en elementos clásticos.

Corresponden principalmente a depósitos de ladera, endorreicos y conos aluviales.

Su composición litológica depende del área de procedencia consistiendo generalmente en fangos con cantos de calizas y de areniscas en proporciones variables.

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

### **6.2.3. Unidades acuíferas**

Se describen a continuación las Unidades Hidrogeológicas que albergan formaciones geológicas susceptibles de almacenar y transmitir el agua, y por lo tanto capaces de constituir acuíferos.

En el Proyecto Hidrogeológico desarrollado entre 1975 y 1977 por la Diputación Foral de Navarra (D.F.N.), los materiales de la zona se agrupan en 2 Unidades Hidrogeológicas con funcionamiento independiente, si bien pueden presentar localmente algunas conexiones.

Por orden cronoestratigráfico son:

- Unidad Hidrogeológica Sur
- Unidad Hidrogeológica del Aluvial del Ebro y Afluentes

#### **6.2.3.1. Unidad hidrogeológica sur**

- Geometría

La Hoja se emplaza en el sector central de la Cuenca por lo que predominan las facies lutíticas de origen aluvial y las formaciones evaporíticas lacustres, constituyendo un conjunto bastante impermeable. Dentro de esta Cuenca, la Unidad Hidrogeológica Sur está representada por los materiales terciarios de relleno de la Cuenca del Ebro en condiciones endorreicas.

La estructura de la serie terciaria en la zona se realiza a partir de una serie de pliegues de gran radio ampliamente extendidos en dirección ESE-ONO, con buzamientos crecientes hacia los ejes anticlinales.

Las formaciones lutíticas intercalan niveles de areniscas y calizas de escasa potencia (decimétrica). En ocasiones estos niveles alcanzan espesores de orden métrico constituyendo acuíferos locales de escasa entidad.

Por lo que se refiere a las unidades evaporíticas, estas pueden presentar potencias de hasta cerca de 1000 m (Fm. Falces), según se deduce de datos de sondeos, aunque normalmente forman en superficie intervalos yesíferos muy expansivos de unos 50 a 200 m de potencia, (Yesos de Sesma y de Los Arcos básicamente), intercalados en facies lutíticas (Fm. Lerín). En el subsuelo aparecen como una alternancia entre anhidritas y halita con intercalaciones de lutitas y carbonatos, comportándose como formaciones salinas de muy baja permeabilidad.

La circulación de agua se circunscribe a las zonas superficiales donde la karstificación de los yesos alcanza, en la Hojas 243 y 244, profundidades máximas del orden de algunos metros, ya que normalmente se encuentran intercalados niveles arcillosos que impiden la circulación del agua, como es el caso de la Unidad Yesos de Los Arcos.

- Funcionamiento hidrogeológico

Los niveles más potentes de areniscas (Areniscas de Villafranca, etc.) pueden formar pequeños acuíferos confinados que permiten cierta circulación de agua en zonas con desarrollo de fracturación y/o diaclasado, y especialmente en situación próxima a la superficie, donde presentan procesos de descalcificación. A mayor profundidad disminuye la porosidad por una mayor cementación, aumentando la mineralización de las aguas.

Los horizontes de calizas de mayor potencia (2-3 m de espesor máximo, en las Calizas de la Fm. Tudela) pueden albergar agua y permitir su circulación través de fracturas.

En los principales niveles evaporíticos, la permeabilidad se origina en los niveles superficiales por karstificación de los yesos, lo que puede dar lugar, en ocasiones, a manantiales salinos, pero muy superficiales y de escasa entidad



En todos los casos la recarga se produce esencialmente por infiltración del agua de lluvia. La descarga se realiza por manantiales dispersos y por transferencia hacia los ríos a través de depósitos cuaternarios permeables. Los caudales registrados en los manantiales y pozos son bajos, con valores inferiores a 1 l/s.

- Parámetros hidráulicos

No existen datos concretos de permeabilidad, transmisividad, coeficiente de almacenamiento, etc., basados en ensayos de bombeo o test hidráulicos realizados en la zona.

El elevado grado de consolidación de muchos de los niveles areniscos limita la porosidad eficaz y por tanto su permeabilidad. Esto, unido a su carácter anisotrópico o individualizado, reduce las posibilidades de explotación.

En las unidades evaporíticas cabe señalar la irregular distribución de la karstificación y la pésima calidad de las aguas por su gran dureza y mineralización (aguas sulfatadas y sulfatado-cloruradas cálcicas y sódico-cálcicas magnésicas) por lo que constituyen recursos poco apreciados.

#### **6.2.3.2. Unidad Hidrogeológica Aluvial del Ebro y Afluentes**

- Geometría

De acuerdo con la descripción propuesta en D.F.N., (1975-77), la Unidad Hidrogeológica del Aluvial del Ebro y Afluentes comprende las llanuras aluviales o fondos de valle y las terrazas encajadas del río Ebro y sus principales afluentes. En la parte correspondiente a la Ribera de Navarra se extiende desde Viana hasta Cortes de Navarra y ocupa una superficie de unos 900 km<sup>2</sup>, de los que 735 km<sup>2</sup> pertenecen a Navarra.

En esta Unidad, los niveles acuíferos aparecen relacionados con depósitos de arenas y gravas de cantos heterométricos, y registran una escasa o nula cementación, normalmente intercalados en materiales limosos y arcillosos, correspondientes esencialmente a llanuras de inundación y terrazas bajas de los ríos Arga, Aragón y Ebro.

Otros depósitos cuaternarios permeables, entre los que destacan las terrazas altas, se encuentran en buena parte desconectados de los valles principales, constituyendo acuíferos locales aislados.

- Funcionamiento hidrogeológico.

El sistema del aluvial del Ebro y afluentes se comporta como un acuífero único de carácter libre en el que los diversos niveles de terrazas están conectados hidráulicamente.

La recarga se realiza esencialmente por infiltración del agua de lluvia (estimada para la Unidad en unos 45 hm<sup>3</sup>/año) y de los excedentes de los riegos (unos 90 hm<sup>3</sup>/año) y, en menor medida, por escorrentía de las aguas procedentes de los relieves circundantes o transmitidas por otros acuíferos e inundaciones estacionales por desbordamientos de los ríos.

La explotación del agua subterránea supone alrededor del 30% de la recarga por lo que los ríos son efluentes y constituyen las principales vías de descarga de la Unidad. No obstante pueden registrar esporádicamente un comportamiento como influentes por inundaciones en épocas de crecidas.

La piezometría del sistema está predominantemente influida por los ríos, presentando oscilaciones de nivel del orden de unos 4 m. En general se establece una buena conexión río-acuífero, con niveles altos en primavera-invierno y bajos en verano. Localmente se distinguen zonas de conexión hidráulica deficiente, con oscilaciones de nivel de unos 2 m. La piezometría está directamente condicionada en estos casos por los retornos de los riegos, observándose un comportamiento inverso al general, con niveles altos en verano y bajos en primavera-invierno. El gradiente hidráulico oscila entre 2 y 0,05 %.

En los acuíferos colgados la recarga se establece por infiltración del agua aportada por la lluvia y por los riegos. La descarga se realiza a favor de pequeños manantiales y por transferencia a otras formaciones más o menos permeables.

- Parámetros hidráulicos.

Se han recopilado los datos existentes en el libro de “Las aguas subterráneas en Navarra” (D.F.N., 1975-77). En el marco de este proyecto se realizaron ensayos que proporcionaron para el aluvial del Aragón unos valores de transmisividad comprendidos entre 3.000 y 100 m<sup>2</sup>/día, siendo muy frecuentes los registros de 300-500 m<sup>2</sup>/día, mientras que para el Arga se cifra en unos 100-500 m<sup>2</sup>/día. La porosidad eficaz es de un 10-30 %.

Las aguas del acuífero del Aragón muestran una composición muy poco variable, son netamente bicarbonatadas cálcicas registrando una dureza media y mineralización alta. En el Arga se trata de aguas bastante duras y mineralizadas, de carácter clorurado sódico.

#### **6.2.3.3. Manantiales**

Dentro de los niveles acuíferos descritos individualmente con anterioridad, destaca el conjunto de materiales cretácicos. Este acuífero que sufre numerosas compartimentaciones por efecto de la tectónica regional tiene en esta zona algunos de los puntos de descarga más significativos, dichos puntos se localizan en el listado adjunto

| CODIGO | NOMBRE        | TIPO      | CUENCA | SUBCUEN1 | MUNICIPIO |
|--------|---------------|-----------|--------|----------|-----------|
| 704    | EL PUENTE I   | Manantial | EBRO   | EBRO     | MILAGRO   |
| 12730  | EL PUENTE II  | Manantial | EBRO   | EBRO     | MILAGRO   |
| 730    | LA TEJA       | Manantial | EBRO   | EBRO     | MILAGRO   |
| 729    | BALDEBUTRE    | Manantial | EBRO   | ARGA     | FUNES     |
| 731    | LA CASTELLANA | Manantial | EBRO   | ARGA     | FUNES     |

---

|     |                     |           |      |      |           |
|-----|---------------------|-----------|------|------|-----------|
| 734 | CEMENTERIO          | Manantial | EBRO | ARGA | FUNES     |
| 735 | BARRANCO DEL TRUJAL | Manantial | EBRO | ARGA | FUNES     |
| 744 | DELALTO             | Manantial | EBRO | ARGA | FUNES     |
| 697 | LA QUEMADA          | Manantial | EBRO | EBRO | VALTIERRA |

### 6.3. GEOTECNIA

#### 6.3.1. Introducción

En este apartado se describe la cartografía geotécnica de la Hoja a escala 1:25.000 nº 244-III correspondiente a Alfaro, y se establecen las características geomecánicas de los materiales que la componen.

Esta caracterización geotécnica se ha realizado en función de la disponibilidad de datos geotécnicos que se han podido recopilar en obras y proyectos. En el caso de no disponer de esta información, se efectúa una valoración geotécnica según las características litológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas de los materiales.

El objetivo de este trabajo es proporcionar al usuario una información geotécnica de carácter general, pero lo suficientemente objetiva como para permitir la toma de posturas iniciales en temas de ordenación del territorio, o prever problemas en el planteamiento y diseño de campañas geotécnicas puntuales.

#### 6.3.2. Metodología

Para la realización de este capítulo se han seguido las siguientes etapas:

1. Recopilación de los datos existentes: Dado que en la Hoja no se han podido recoger datos procedentes de obras y proyectos, realizados en

Navarra por organismos públicos y empresas privadas, se ha acudido a las hojas contiguas donde existen datos geotécnicos sobre las mismas unidades

2. Tratamiento de los datos: En esta etapa se trata de establecer, de la manera más adecuada posible la naturaleza actual de la roca, su comportamiento mecánico y/o hidráulico y, la evolución y propiedades de la roca bajo los procesos de meteorización. Los datos recopilados se clasifican en los siguientes grupos:

1. Identificación; establecen la naturaleza de la roca y su estado natural aparente (granulometría, límites de Atterberg, densidad y humedad, absorción, grado de meteorización).
2. Clasificación; intentan establecer una idea general del comportamiento de la roca en relación a criterios previamente establecidos. Algunos de estos criterios se fijan en base a resultados de ensayos de resistencia. (Índice de Calidad, resistencia a compresión simple, point load test).
3. Resistencia, compactación y deformación; determinan parámetros resistivos y relaciones tensión-deformación. Algunos de estos ensayos se utilizan como base para múltiples clasificaciones (CBR, proctor normal, corte directo, Brasileño).
4. Alterabilidad; evalúa el comportamiento del macizo rocoso frente a los procesos de meteorización, una vez modificados sus condiciones originales de estabilidad. (análisis químicos, hinchamiento, durabilidad).

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

características litológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas de los materiales, observadas durante los reconocimientos de campo.

### **6.3.3. Zonificación geotécnica**

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

La superficie de las Hojas 1:50.000 de Calahorra (243) y Alfaro (244), en el ámbito de este trabajo, se ha dividido, en función de la edad de los materiales, en tres Áreas que presentan una entidad propia y cierta homogeneidad. Posteriormente, estas Áreas han sido divididas a su vez en un total de nueve Zonas, siguiendo criterios básicamente litológicos y morfológicos, ya que son éstos los que permiten diferenciar desde un punto de vista geotécnico los materiales de cada Área.

#### **6.3.3.2. División en Áreas y Zonas Geotécnicas**

Las Áreas geotécnicas consideradas en el conjunto de los 5 cuadrantes de las Hojas 243 (Cuadrante 243-II) y 244 (Cuadrantes I, II, III y IV) son las siguientes:

ÁREA I: Engloba los materiales plegados del Oligoceno y Mioceno inferior

ÁREA II: Comprende los materiales poco plegados o subhorizontales de la parte alta del Mioceno inferior y del Mioceno medio

ÁREA III: Agrupa todos los depósitos cuaternarios

Estas Áreas se han dividido en las siguientes Zonas:

ÁREA I: ZONAS I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>, y I<sub>3</sub>

ÁREA II: ZONAS II<sub>1</sub> y II<sub>2</sub>

ÁREA III: ZONA III<sub>1</sub>, III<sub>2</sub>, III<sub>3</sub>, III<sub>4</sub> y III<sub>5</sub>

En el Cuadro 1 se presenta la correlación entre las Unidades Geológicas cartografiadas y las Zonas Geotécnicas para el caso particular de la Hoja 1:25.000 de Arguedas (244-IV).

| UNIDAD CARTOGRÁFICA                         | ZONACIÓN GEOTÉCNICA | DESCRIPCIÓN                                                         |
|---------------------------------------------|---------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 511, 42, 43, 527, 530, 526, 541 y 529       | III <sub>4</sub>    | Lutitas y limos con cantos                                          |
| 543 y 549                                   | III <sub>3</sub>    | Bloques y lutitas con cantos                                        |
| 517, 518, 536, 534, 537 y 512               | III <sub>2</sub>    | Lutitas y arenas con cantos                                         |
| 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 515 | III <sub>1</sub>    | Conglomerados, gravas, arenas y lutitas                             |
| 379 y 385                                   | II <sub>3</sub>     | Conglomerados y calizas                                             |
| 369, 383 y 376                              | II <sub>2</sub>     | Arcillas rojas y areniscas                                          |
| 378, 384, 386 y 387                         | II <sub>1</sub>     | Arcillas rojas con intercalaciones de areniscas y calizas           |
| 314, 333, 332, 348 y 356                    | I <sub>3</sub>      | Arcillas con intercalaciones de areniscas y carbonatos              |
| 342, 347, 350 y 351                         | I <sub>2</sub>      | Margas, arcillas, yesos e intercalaciones de areniscas y carbonatos |
| 312, 315, 334, 338, 341, 349, 354 y 355     | I <sub>1</sub>      | Yesos con algunas intercalaciones de margas                         |

Cuadro 1.- Correlación entre las unidades geológicas y zonas geotécnicas

### 6.3.3.3. Características geotécnicas

#### 6.3.3.3.1. Introducción

De los materiales que se disponen ensayos, aunque no sea en esta Hoja, se ha realizado una caracterización geomecánica utilizando los criterios que se señalan más adelante. No obstante, la generalización a cada zona de estos valores puntuales es complicada,

sobre todo cuando en ella coexisten varios conjuntos litológicos con un comportamiento geomecánico diferente, y que no admiten ser diferenciados por razones de escala de trabajo. Cuanto mayor sea la heterogeneidad litológica de cada Zona, mayor será la dispersión de los valores; por tanto, la mayor o menor fiabilidad de los datos aportados vendrá condicionada por el grado de homogeneidad litológica de las Zonas Geotécnicas.

De cada Zona Geotécnica se aportan datos sobre características constructivas, tales como condiciones de cimentación, excavabilidad, estabilidad de taludes, empuje sobre contenciones, aptitud para préstamos, aptitud para explanada de carreteras y comportamiento para obras subterráneas. Así mismo, se señalan los principales problemas geotécnicos que pueden presentarse y que en general, van a estar relacionados con la presencia de: turbas o arcillas compresivas, nivel freático superficial, zonas de alteración superficial del sustrato rocoso, erosiones y arrastres de materiales en laderas, desprendimientos de rocas y, finalmente, suelos solubles y agresivos (yesíferos y salinos).

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

- Granulometría. Del análisis granulométrico se ha considerado el contenido de finos que presenta el suelo, es decir, el porcentaje que pasa por el tamiz Nº 200 (0.08 mm) de la serie ASTM. Estos datos son utilizados posteriormente en diversas clasificaciones.
- Plasticidad. La clasificación de los suelos cohesivos según su plasticidad se ha efectuado con el límite líquido (WL) y el índice de plasticidad (IP), utilizando la carta de plasticidad de Casagrande.



- Absorción de agua. Permite obtener una idea del grado de meteorización o fisuración por comparación de muestras del mismo material. Está relacionado con la expansividad del terreno.
- Grado de meteorización. Mediante reconocimientos y descripciones “de visu” se determina el grado de meteorización de las muestras según la siguiente relación:

| Grado de meteorización | Denominación                               |
|------------------------|--------------------------------------------|
| I                      | Sana                                       |
| II                     | Meteorización incipiente (juntas oxidadas) |
| III                    | Moderadamente meteorizada                  |
| IV                     | Muy meteorizada                            |
| V                      | Completamente meteorizada                  |

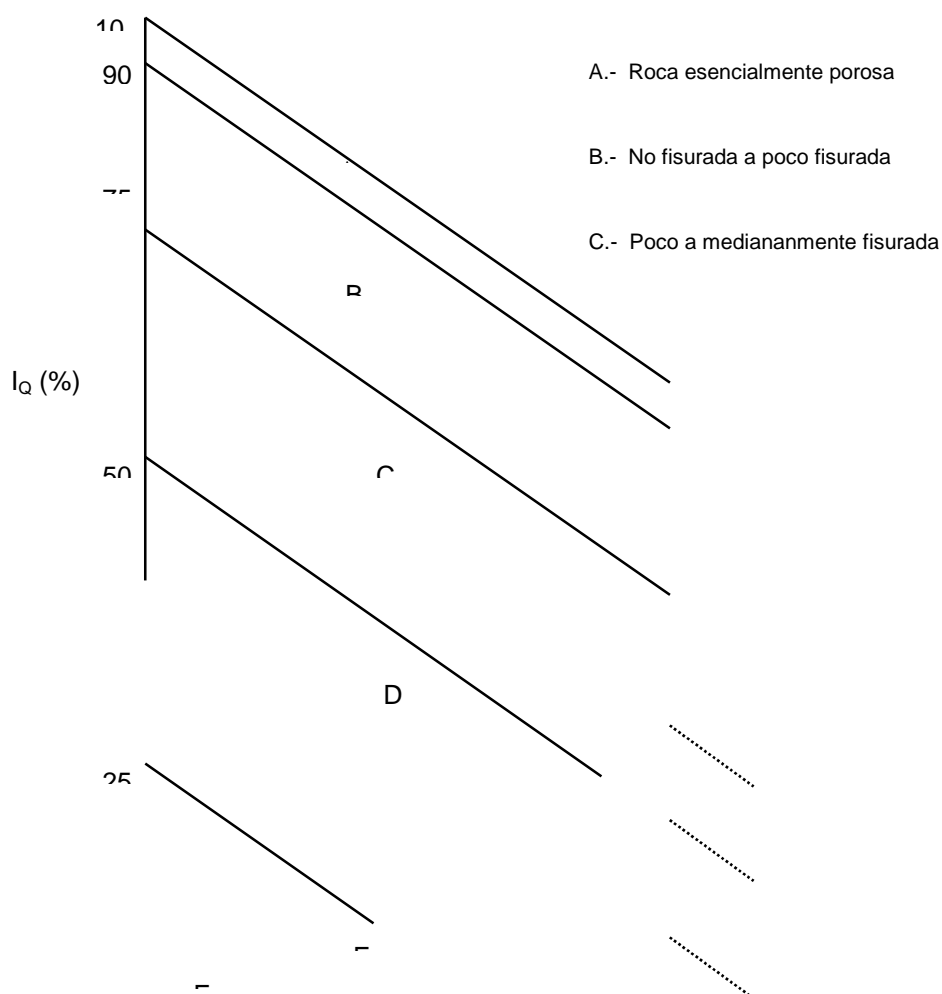
- Índice de calidad ( $I_Q$ ). Se define como la relación porcentual entre la velocidad de propagación de ondas longitudinales ( $V_L$ ) en testigos cilíndricos de roca y en roca sana (sin fisuras ni huecos). La Figura 6.1 muestra valores medios de  $V_L$  en diferentes tipos de roca en estado sano.

| Tipo de rocas | $V_L$ media (m/s) |
|---------------|-------------------|
| Gabros        | 7000              |
| Basaltos      | 6500 a 7000       |
| Cuarcitas     | 6000              |
| Granitos      | 5500 a 6000       |
| Calizas       | 6000 a 6500       |

|                      |             |
|----------------------|-------------|
| Calizas dolomíticas* | 6500 a 7500 |
| Argilitas**          | 900 a 2600  |

Fig. 6.1. Velocidades máximas medias de propagación de ondas longitudinales en los principales tipos de rocas. (\* según el contenido en dolomía; \*\* según la estructura y grado de alteración).

En general, la velocidad de propagación está en relación inversa con la porosidad de la roca ( $n$ ). Con el índice de calidad ( $I_Q$ ) y el valor de porosidad ( $n$ ) de la roca, puede determinarse la Densidad de Fisuración, tal y como muestra la Figura 6.2



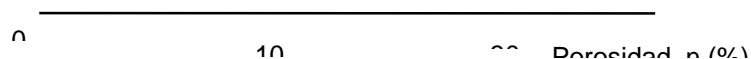


Fig. 6.2. Descripción de la densidad de fisuración de una muestra de roca con ayuda del índice de calidad y la porosidad total. (modificado de FOURMAINTREAU, 1976; en OTEO MAZO, 1978).

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

| ROCA             |           | ENSAYO DE CAMPO      |                                  |
|------------------|-----------|----------------------|----------------------------------|
| Descripción      | Co (MPa)  | Navaja               | Martillo geológico               |
| Ext. Resistente  | > 250     | No corta             | El golpe arranca pequeños trozos |
| Muy resistente   | 100 - 250 | No corta             | Se rompe con muchos golpes       |
| Resistente       | 50 - 100  | No corta             | Se rompe con varios golpes       |
| Medio resistente | 25 - 50   | No corta             | Se rompe con un solo golpe       |
| Blanda           | 5 - 25    | Corta con dificultad | Puede indentarse con el pico     |
| Muy blanda       | 1 - 5     | Corta fácilmente     | Se puede machacar                |

Igualmente, considerando la resistencia a compresión simple, se puede valorar la consistencia del terreno, de manera cualitativa.

| Tensión de rotura a compresión | Consistencia |
|--------------------------------|--------------|
| < 0,25                         | Muy blando   |
| 0,25 a 0,50                    | Blando       |

|          |           |
|----------|-----------|
| 0,50 a 1 | Medio     |
| 1 a 2    | Firme     |
| 2 a 4    | Muy firme |
| > 4      | Duro      |

- Ensayo de Carga Puntual ( $I_s$ ,  $Kp/cm^2$ ). Determina la resistencia de una muestra de testigo. Por su facilidad de realización se utiliza en aquellos casos en los que las muestras no reúnen las condiciones necesarias para realizar un ensayo de compresión simple (baja dureza, elevada anisotropía,). Requiere un elevado número de ensayos y un tratamiento estadístico de los mismos para obtener resultados fiables. Generalmente  $I_s$  presenta una buena correlación con el ensayo de resistencia a compresión simple ( $Q_u$ ), mediante la siguiente relación:  $Q_u = f \cdot I_s$ , donde  $f$  es una constante que depende del diámetro del testigo de roca.
- Ensayo Proctor Normal. Permite calcular la densidad máxima y humedad óptima de compactación del suelo o material utilizado en explanada, con el fin de que adquiera las condiciones de estabilidad volumétrica, resistencia, indeformabilidad e inalterabilidad necesarias. En suelos granulares basta conseguir una alta densidad seca, pero en suelos con finos es preciso controlar también las condiciones humedad. La presencia de agua disminuye la presión intergranular, y actúa como lubricante, facilitando el deslizamiento y giro de las partículas entre sí y su agrupamiento en estructuras más compactas. El resultado es una densidad seca más elevada.
- Ensayo C.B.R. (California Bearing Ratio). Evalúa la capacidad de soporte de los materiales para constituir una explanada, es decir, la resistencia que ofrecen a la deformación bajo cargas. Se utiliza por tanto para el dimensionamiento de firmes. A mayor CBR, mayor es la capacidad de soporte de la explanada. Normalmente se expresa el valor de CBR para el 95 % y 100% de la densidad Proctor.

- Ensayo de tracción indirecta ( $\sigma_{tb}$ , Kp/cm<sup>2</sup>). También conocido como “Brasileño”, es un ensayo normalizado de tracción más adecuado para clasificar la resistencia de la roca que la resistencia a tracción. La relación entre la resistencia a compresión simple ( $Q_u$ ) y la resistencia a tracción ( $\sigma_{tb}$ ) en el ensayo brasileño ( $Q_u/\sigma_{tb}$ ) aumenta al hacerlo  $Q_u$ , pudiendo variar de 10 a 15 para  $Q_u < 500$  Kp/cm<sup>2</sup>, y de 15 a 25 para resistencias más elevadas. El criterio de clasificación de rocas con rotura frágil a partir de ensayos brasileños es como sigue:

| Resistencia | $\sigma_{tb}$ , Kp/cm <sup>2</sup> |
|-------------|------------------------------------|
| Muy débil   | 0-15                               |
| Débil       | 15-35                              |
| Media       | 35-65                              |
| Alta        | 65-100                             |
| Muy alta    | > 100                              |

- Ensayo de corte directo. Es un ensayo rápido y económico que permite determinar la cohesión ( $c$ ) y el ángulo de rozamiento interno ( $\phi$ ) de una muestra de roca o discontinuidad. Es de gran aplicación práctica en el cálculo de estabilidad de taludes.
- Ensayo de Molinete. Permite hallar la resistencia al corte en suelos blandos, principalmente arcillas blandas saturadas o suelos orgánicos.
- Módulo de deformación y coeficiente de Poisson. El módulo de deformación se puede obtener en arcillas sobreconsolidadas, utilizando el valor de la resistencia al corte sin drenaje ( $C_u$ ) en la correlación  $E = 130 \times C_u$  definida por Butler. Para el

coeficiente de Poisson se podría adoptar un valor entre 0,30 y 0,35, dependiendo de la consistencia blanda o densa.

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

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

- **Análisis de Hinchamiento.** Mide el cambio de volumen debido al humedecimiento general de la roca. Normalmente se suele medir la componente vertical de hinchamiento. Los datos que se poseen sobre la expansividad del terreno están obtenidos a través del ensayo Lambe, que fija el cambio potencial de volumen (C.P.V.) de la manera siguiente:

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

|     |             |
|-----|-------------|
| > 6 | Muy crítico |
|-----|-------------|

- Ensayo de durabilidad ( $I_D$ ). Mide la resistencia de la roca frente a procesos de meteorización y disgregación como resultado de someter a la muestra a dos ciclos de secado y agitación en un baño de agua. Se obtiene un índice ( $I_D$ ) que muestra la relación porcentual entre el peso seco de la muestra después de dos ciclos y el peso seco antes del ensayo. La durabilidad del material puede relacionarse con el índice de plasticidad ( $I_P$ ) en rocas arcillosas según el cuadro que muestra la Figura 6.3.

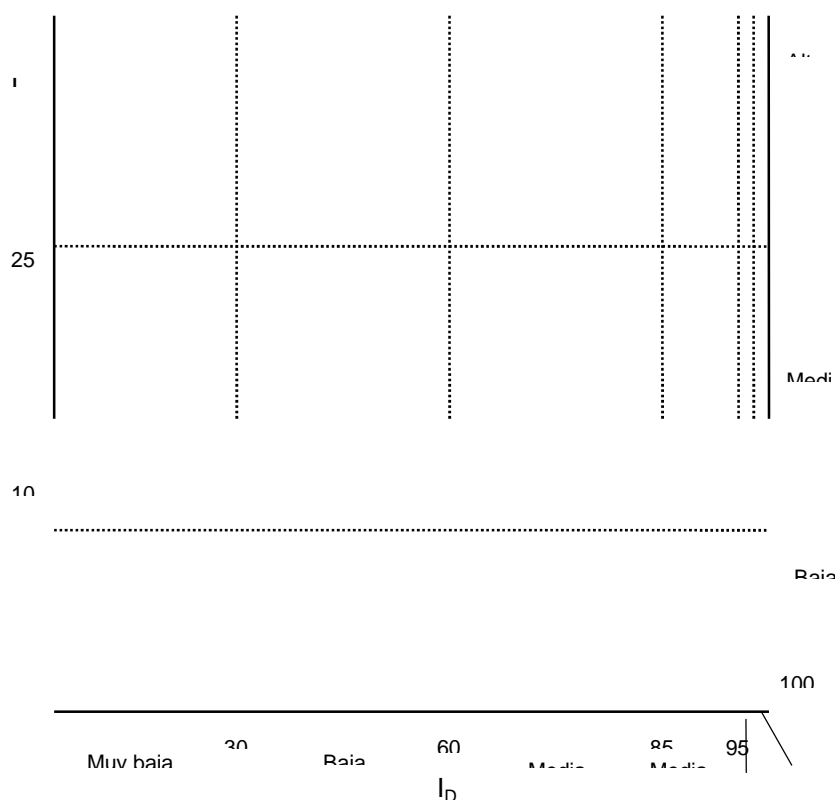


Fig. 6.3. Clasificación de durabilidad-plasticidad en rocas arcillosas propuesta por GAMBLE (ISRM, 1972).

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

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

| Descripción de la roca                       | Kp/cm <sup>2</sup> |
|----------------------------------------------|--------------------|
| Roca ígnea o gnéisica sana                   | 109                |
| Calizas masivas y areniscas duras            | 44                 |
| Esquistos y pizarras                         | 33                 |
| Lutitas duras, limolitas y areniscas blandas | 22                 |
| Lutitas arcillosas                           | 11                 |

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

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



- **Excavabilidad.** Los terrenos se han clasificado de acuerdo con la Norma Tecnológica de Edificación (Acondicionamiento del Terreno. Desmontes. Vaciados; NTE-ADV, (1976) en los siguientes grupos: 1) Duro. Atacable con máquina o escarificador, pero no con pico, como terrenos de tránsito, rocas descompuestas, tierras muy compactas; 2) Medio. Atacable con el pico, pero no con la pala, como arcillas semicompactas, con o sin gravas o gravillas; 3) Blando. Atacable con la pala, como tierras sueltas, tierra vegetal, arenas. Cuando en la excavación se encuentran mezclados los terrenos se establece el porcentaje de cada uno de los tres tipos.
- **Estabilidad.** Dos son los parámetros que condicionan estos procesos: litología (y estructura) y pendiente del talud. En consecuencia, en cuanto a la naturaleza de los materiales se evalúa su estabilidad en tres grupos (alta, media y baja), desechándose aquellas unidades geológicas que por su litología no son favorables a la aparición de situaciones de inestabilidad. Por lo que se refiere a la pendiente, se estima una inclinación del 10% como límite inferior a la aparición de estos fenómenos.
- **Empujes sobre contenciones.** Hacen referencia a contenciones del terreno natural, no de rellenos realizados con los materiales de cada zona.
- **Aptitud para préstamos.** Se ha utilizado básicamente el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales de la Dirección General de Carreteras (P.P.T.G.). El término No Apto designa suelos inadecuados; Marginal, designa suelos que unas veces son inadecuados y otras tolerables e incluso adecuados; el término Apto, designa suelos tolerables, adecuados e incluso seleccionados.
- **Aptitud para explanada en carreteras.** Se evalúa la capacidad de soporte de los materiales para constituir una explanada, es decir, la resistencia que ofrecen a la deformación bajo cargas.

Se ha tomado como referencia la Instrucción de Carreteras, Normas de Firmes Flexibles y Firmes Rígidos. Se entiende por suelo No Apto, aquel que no puede

constituir un desmonte ni un terraplén explanada tipo E-1 (Suelos tolerables al menos estabilizado en sus 15 cm superiores, con CBR de 5 a 10). Marginales son aquellos que cumplen a veces dicha condición; en especial suele referirse a terrenos tolerables, que no conviene que sean explanada directamente (CBR de 10 a 20). Aptos, son terrenos frecuentemente adecuados y seleccionados; constituyen explanadas tipo E-3 (CBR > 20).

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

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

Para las formaciones rocosas se da una idea de su categoría en las clasificaciones de Bieniawski (1979), que obtiene un índice de calidad (RMR, Rock Mass Rating), mediante la valoración de cinco parámetros:

- Resistencia de la roca
- RQD
- Separación entre diaclasas
- Presencia de agua
- Disposición de las juntas respecto a la excavación

Bieniawski establece cinco categorías en función del valor RMR:

|         |                              |
|---------|------------------------------|
| Clase I | Roca muy buena: RMR = 81-100 |
|---------|------------------------------|

Clase II      Roca buena: RMR = 61-80

Clase III      Roca media: RMR = 41-60

Clase IV      Roca mala: RMR = 21-40

Clase V      Roca muy mala: RMR 20

#### **6.3.3.3.2.      Área I**

##### *6.3.3.3.2..1      ZONA I<sub>I</sub>*

- **Características Geológicas**

En esta zona se incluyen todas las unidades predominantemente yesíferas de la Hoja (Yesos de Falces, Alcanadre, Sesma y Los Arcos, así como las unidades yesíferas de la unidad Arcillas de Marcilla). Se trata de yesos masivos, en el caso de la Fm. Falces o alternantes con margas, en proporciones variables, para el resto. Los Yesos de Falces ocupan grandes extensiones en los núcleos de las principales estructuras anticlinales (Anticlinal de Falces y Anticlinal de Arguedas y la Unidad de Los Arcos en los flancos de anticlinales(Arguedas y Falces y sinclinal de Peralta) constituyendo resaltes morfológicos de gran continuidad cartográfica.

La meteorización en los yesos produce una karstificación por disolución relativamente superficial, aunque en paquetes masivos y de cierto espesor puede ser más penetrativa. Las intercalaciones margosas disminuyen la compacidad natural del conjunto y aumentan su erosionabilidad. El tránsito entre roca sana y alterada es transicional. Su permeabilidad es baja a muy baja

En general, la permeabilidad es baja o muy baja, excepción hecha de los niveles someros carstificados. Localmente la permeabilidad y la propia karstificación pueden estar incentivadas por una fracturación intensa.

- **Características geotécnicas**

Las características fundamentales de los materiales que constituyen esta Zona son las siguientes: a) la presencia de intercalaciones de margas confiere en muchos casos una acusada heterogeneidad al conjunto, lo que se traduce en un comportamiento mecánico no uniforme; b) la constante presencia de yesos presupone un alto contenido en sulfatos tanto en los suelos como, eventualmente, en las aguas que los drenan y por tanto es de esperar una fuerte agresividad a hormigones; y c) Los fenómenos de disolución y karstificación en yesos, aunque son relativamente superficiales, pueden originar importantes discontinuidades en el subsuelo y dar lugar a fenómenos de colapso del terreno.

- Características constructivas

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN.

La Norma DIN 1054 y el Código Británico establecen presiones admisibles del orden 10-20  $\text{kp/cm}^2$ , valores que deben reducirse a la mitad cuando el espesor de los tramos lutíticos aumenta o la disposición de la estratificación y grado de diaclasado son desfavorables. Se estima que la capacidad portante de estos materiales se sitúa entonces entre 5 y 10  $\text{kp/cm}^2$ , valores suficientes para el caso de edificios habituales en los que las cargas proyectadas son inferiores a 3-4  $\text{kp/cm}^2$ . El tipo de cimentación será en general superficial, previa eliminación del horizonte de alteración. Es de esperar la presencia de asientos diferenciales debido a la intercalación de niveles margosos blandos entre los paquetes de yesos.

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

*Excavabilidad.* Son materiales de dureza media a dura, por lo que en su excavación puede ser preciso el empleo de explosivos, para los paquetes más duros, mientras que para los niveles margosos y arcillosos pueden ser excavados por medios mecánicos.

*Estabilidad de taludes.* Como se puede apreciar en los taludes existentes en la Hoja y en zona aledañas, no se registran fenómenos destacables de inestabilidad en taludes muy

inclinados de escasa altura o en cortes naturales de baja a media pendiente. Sin embargo, el riesgo de caída de pequeños bloques y deslizamientos es muy elevado en taludes subverticales de cierta altura, especialmente en las zonas de voladizo por descalce de los niveles lutíticos inferiores, tal como se observa en los farallones labrados por los ríos.

*Empuje sobre contenciones.* No serán necesarias para el caso de las margas, y a considerar para los yesos.

*Aptitud para préstamos.* No son materiales aptos para su uso en terraplenes y pedraplenes salvo tratamiento con aditivos.

*Aptitud para explanada en carreteras.* En general deben constituir suelos aptos para explanadas de tipo E3, aunque se deberán tomar medidas de impermeabilización. Localmente pueden corresponder a suelos marginales, caso en que se procederá a la mejora de la explanada, con adición de suelo más adecuado.

*Obras subterráneas.* Se incluyen entre la Clase III (Calidad Media) y Clase IV (Calidad Mala) de la Clasificación de BIENIAWSKI (1979), jugando un papel importante la orientación de la estratificación y el grado de diaclasado y karstificación.

#### 6.3.3.3.2..2 ZONA I<sub>2</sub>

- Características Geológico-Geotécnicas

Esta zona agrupa las unidades constituidas alternancias entre términos lutíticos y yesíferos: miembros de la Unidad de Peralta y las arcillas y areniscas de Villafranca.

Se trata de materiales arcillosos y margosos con intercalaciones destacadas de yesos y, en menor medida y con espesores muy reducidos, de areniscas y carbonatos (calizas y dolomías). En los términos arcilloso-margosos la meteorización produce alteraciones superficiales, fomentando la erosionabilidad ya de por sí elevada en estos materiales

La permeabilidad es muy baja para el conjunto. Únicamente los niveles más potentes de yesos pueden permitir localmente cierta circulación de agua subterránea por karstificación.

Pese a que el contenido en yesos es menor que en la zona anterior siguen siendo suelos agresivos para la utilización de hormigones por su alto contenido en sulfatos

- Características constructivas

- a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN.

Según los datos contenidos en diferentes Códigos y Normas, se puede considerar cargas admisibles entre 1,5 y 5 Kp/cm<sup>2</sup>, esperándose asientos de consolidación a largo plazo.

- b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

*Excavabilidad.* Las margas, arcillas y niveles margosos son en general ripables. Las intercalaciones que contienen son, en términos generales, de escaso espesor y su excavación puede afrontarse, alternativamente, con escarificador o martillo. Los horizontes yesíferos y areniscosos pueden presentar dificultades de excavación, en el primer caso puesto que alcanzan en muchos casos potencias considerables, de orden métrico a decamétrico, requiriendo el uso de martillo o explosivos y en el segundo debido a su mayor dureza.

*Estabilidad de taludes.* Pueden aparecer deslizamientos y caídas de bloques en tramos potentes con predominio de arcillas con una orientación desfavorable respecto al talud, al descalzarse el tramo arcilloso menos competente.

*Empuje sobre contenciones.* Serán ocasionalmente de tipo medio en zonas margosas alteradas o en taludes con problemas de estabilidad, moderados en arcillas, teniendo que considerarse en el caso de yesos.

*Aptitud para préstamos.* No son materiales aptos para su uso en terraplenes y pedraplenes.

*Aptitud para explanada en carreteras.* Son suelos poco aptos o marginales para explanadas de tipo E3.

*Obras subterráneas.* Como en caso anterior, pertenecen a la Clase III-Clase IV (Calidad Mala) de la Clasificación de BIENIAWSKI (1979).

#### 6.3.3.3.2...3 ZONA I<sub>3</sub>

- Características Geológico-Geotécnicas

Esta zona se han agrupado las formaciones eminentemente arcillosas y sus intercalaciones de escaso espesor de areniscas, calizas (eventualmente dolomías) y, esporádicamente, algunos yesos. Se trata por tanto de una zona geotécnica poco competente dentro de la cual destacan morfológicamente algunos niveles duros correspondientes a las intercalaciones mencionadas.

A excepción de las intercalaciones existentes en el seno de la Fm. Yesos de Falces (unidad cartográfica 3), los afloramientos de la Zona I<sub>3</sub> se distribuyen a ambos flancos de la estructura anticlinal correspondiendo a la mayor parte de Fm Marcilla, al nivel somital rojizo de la Fm. Peralta (Unidad cartográfica 10) y a la Unidad Arcillas de Villafranca.

La meteorización produce una alteración y cambio de coloración en la zona superficial de las arcillas fomentando la erosionabilidad ya originalmente elevada de estos materiales. En los niveles de calizas y areniscas se produce, a nivel superficial, una pérdida de cementación aunque se mantiene cierta competencia.

La permeabilidad es muy baja para el conjunto. La escasa potencia de los niveles de calizas y yeso impide el desarrollo de karstificación y únicamente puede registrarse cierta circulación de agua subterránea en los niveles areniscosos más potentes, a través de diaclasas y fracturas.

El contenido en yesos es notablemente menor que en las zonas I<sub>1</sub> y I<sub>2</sub>. No obstante puede haber puntos en los que el contenido de sulfatos en los suelos alcance proporciones destacadas.

Como en casos anteriores, no se dispone de ensayos de laboratorio. Sin embargo, en este caso la similitud de facies permite extrapolar las características constructivas consideradas para otras unidades semejantes investigadas anteriormente en la Comunidad Foral.

- Características constructivas:

- a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN

Las cargas admisibles en esta Unidad varían entre 1,3 a 3 kp/cm<sup>2</sup> para las arcillas y de 6 a 8 kp/cm<sup>2</sup> para los términos más margosos. La profundidad mínima de cimentación se estima en 1,5 a 2 m.

Los problemas de cimentación pueden ser variados: a) variación del horizonte alterado, que puede provocar asentamientos diferenciales; b) intercalaciones de materiales detríticos y calcáreos, que producen variaciones en las condiciones geotécnicas, entre ellas la facilidad de excavación, y c) presencia ocasional de sulfatos, lo que obliga a la consecuente utilización de hormigones especiales.

- b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

*Excavabilidad.* Los términos arcillosos son excavables, especialmente los niveles someros de alteración. A mayor profundidad pueden variar de excavables a ripables en función de su grado de cementación. Las intercalaciones de areniscas y calizas se consideran no ripables para espesores superiores a los 15 cm, casos en los que se requiere el uso de martillo.

*Estabilidad de taludes.* Pueden aparecer problemas de deslizamientos en tramos potentes con predominio de arcillas y orientación de los niveles desfavorable respecto al



talud. El deterioro progresivo de los taludes puede provocar la alteración y pérdida de cementación de los términos lutíticos y margosos.

*Empuje sobre contenciones.* Moderados en arcillas y bajos en los niveles margosos

*Aptitud para préstamos.* No son materiales aptos para su uso en terraplenes y pedraplenes.

*Aptitud para explanada en carreteras.* Son suelos marginales o no aptos de tipo E2, sobre los que será necesario proceder a la colocación de una explanada mejorada.

*Obras subterráneas.* Como en el resto de las Zonas del Area I, se encuadran entre la Clase III (calidad media) y la Clase IV (calidad Mala) de la Clasificación de BIENIAWSKI (1979).

#### **6.3.3.3.3. Área II**

##### **6.3.3.3.3.1 ZONA II<sub>I</sub>**

- **Características Geológico-Geotécnicas**

Esta Zona comprende unidades arcillosas de las Fm Tudela y Miranda de Arga, además de la Unidad 21 formada por arcillas rojas

Litológicamente está constituida por un conjunto de materiales básicamente arcillosos de tonos rojos, que presentan un suave plegamiento, registrando valores moderados de buzamiento. Los términos lutíticos son predominantes en esta Zona, con intercalaciones esporádicas de yesos y algunos delgados niveles de calizas y areniscas.

En los niveles superficiales la meteorización produce una alteración y cambio de coloración de los términos arcillosos aumentando su erosionabilidad mientras que en las capas de calizas y areniscas se produce una pérdida de cementación.

Debido al marcado carácter arcilloso de la Zona la permeabilidad es muy baja, solamente en los niveles más potentes de areniscas y calizas pueden desarrollarse pequeños acuíferos locales por fracturación.

La presencia de sulfatos es poco importante aunque las trazas de yeso (cristales especulares, nódulos aislados y venas) pueden concentrarse localmente en algunos intervalos. El contenido en materia orgánica debe considerarse en los horizontes próximos a los niveles carbonatados (Unidad cartográfica ) debido a la existencia de intercalaciones de lignitos

- Características constructivas:

- a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN

Los valores normalmente aceptados de cargas admisibles para arcillas son de 1,3 a 3  $\text{kp/cm}^2$  . La profundidad mínima de cimentación se estima en 1,5 a 2 m, debido a que suelen estar alteradas en superficie con el consiguiente descenso de las presiones que pueden admitir.

Entre los problemas de cimentación se pueden prever los siguientes: a) variación del horizonte alterado, que puede provocar asentamientos diferenciales; b) intercalaciones de materiales competente, calizas y areniscas, que producen variaciones en las condiciones geotécnicas, entre ellas la facilidad de excavación, y c) presencia ocasional de materia orgánica

- b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

*Excavabilidad.* Son materiales fácilmente excavable.

*Estabilidad de taludes.* Se pueden dar problemas de deslizamientos por la existencia de tramos potentes de arcillas en zonas de taludes verticales o subverticales

*Empuje sobre contenciones.* Medios en arcillas

*Aptitud para préstamos.* No son materiales aptos para su uso en terraplenes y pedraplenes.

*Aptitud para explanada en carreteras.* Son suelos de tipo E2 no aptos o marginales, que precisarán la extensión sobre ellos de una explanada mejorada.

*Obras subterráneas.* Se encuadran en la Clase IV (calidad Mala) de la Clasificación de BIENIAWSKI (1979).

#### 6.3.3.3.2 ZONA II<sub>2</sub>

- Características Geológico-Geotécnicas

La Zona II<sub>2</sub> aparece en la Hoja representada por las unidades cartográficas 18 (Lutitas rojas y ocres), 23 (Areniscas y lutitas de la Fm. Olite) y 26 (Arcillas rojas de la Fm. Alfaro). Se distingue de la Zona anterior (II<sub>1</sub>) desde el punto vista litológico por el ligero incremento en intercalaciones de areniscas y la escasa presencia de niveles carbonatados.

Se trata de un conjunto de materiales arcillosos de tonos rojos y areniscas, que presentan un suave plegamiento, registrando valores moderados de buzamiento. Los términos lutíticos, tienden a predominar en el conjunto y conforman intervalos masivos, si bien intercalan niveles de areniscas de potencia decimétrica y métrica.

En los niveles superficiales la meteorización produce una alteración y cambio de coloración de los términos arcillosos aumentando su erosionabilidad, mientras que en las capas de areniscas se produce una pérdida de cementación. Debido a la destacada proporción de arcillas la permeabilidad puede considerarse bastante baja es bastante baja para el conjunto que integra la Zona. Los niveles de areniscas pueden desarrollar pequeños acuíferos locales por fracturación.

La característica fundamental del macizo rocoso que constituye esta zona, es la alternancia de materiales de diferente litología (y por tanto, diferente comportamiento mecánico) en

estratos y capas de espesor variable, factores estos que condicionan decisivamente el comportamiento geomecánico del conjunto.

Aunque no se dispone de ensayos de laboratorio en la Hoja, no obstante se exponen a continuación los resultados obtenidos en formaciones análogas existentes en otros sectores de la Comunidad Navarra:

| Cuadro Resumen de Características Geotécnicas (Roca inalterada) |                 |                            |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------|----------------------------|
| Clasificación de Casagrande                                     |                 | CL                         |
| % pasa tamiz nº 200                                             |                 | 58,2-99,8                  |
| Límite líquido                                                  |                 | 37,25                      |
| Índice plasticidad                                              |                 | 20,33                      |
| Humedad                                                         |                 | 14,5 %                     |
| PROCTOR Normal                                                  | Densidad máxima | 2,05 gr/cm <sup>3</sup>    |
|                                                                 | Humedad óptima  | 11,6 %                     |
| Índice C.B.R.                                                   |                 | 4,4                        |
| Resistencia a compresión simple (lutitas sanas)                 |                 | > 25 kp/cm <sup>2</sup>    |
| Resistencia a compresión simple (areniscas)                     |                 | 300-700 kp/cm <sup>2</sup> |
| R.Q.D. medio                                                    |                 | 80-100 %                   |

---

|                                      |      |
|--------------------------------------|------|
| Angulo rozamiento interno ( $\phi$ ) | 30°  |
| Cohesión ( $c'$ )                    | 0,15 |

- Características constructivas:

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN

La Norma DIN 1054 y el Código Británico establecen presiones admisibles del orden 20 kp/cm<sup>2</sup>, valores estos que deben reducirse a la mitad cuando el espesor de los tramos lutíticos aumenta o la disposición de la estratificación y grado de diaclasado son desfavorables. Se estima que la capacidad portante de estos materiales se sitúa entonces entre 6 y 10 kp/cm<sup>2</sup>, valores suficientes para el caso de edificios habituales en los que las cargas proyectadas son inferiores a 3-4 kp/cm<sup>2</sup>.

El tipo de cimentación será en general superficial, previa eliminación del horizonte de alteración. Es de esperar la presencia de asientos diferenciales y fenómenos de punzonamiento debido a la alternancia entre niveles de lutitas y areniscas, lo que además origina variaciones en las condiciones geotécnicas, entre ellas la facilidad de excavación

c. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

*Excavabilidad.* Se trata de un conjunto heterogéneo en el que los materiales lutíticos son fácilmente excavables mientras que las areniscas constituyen niveles competentes que requieren el uso de explosivos, martillo o escarificador dependiendo de su espesor.

*Estabilidad de taludes.* En la Hoja no se ha observado ningún fenómeno de inestabilidad cuando la disposición de los materiales es transversal a la orientación de las laderas, y su buzamiento es superior a la pendiente. El riesgo de deslizamientos aumenta sensiblemente cuando aparecen tramos potentes de arcillas y debe considerarse la

posibilidad de caída de bloques en escarpes subverticales areniscosos o en voladizo por descalce de los niveles lutíticos inferiores

*Empuje sobre contenciones.* No serán necesarias

*Aptitud para préstamos.* No son materiales Aptos para su uso en terraplenes y pedraplenes.

*Aptitud para explanada en carreteras.* Los niveles arcillosos se consideran No Aptos para su uso en terraplenes y pedraplenes. Los niveles de areniscas, constituyen, sin embargo, Terrenos Adecuados.

*Obras subterráneas.* Se encuadran entre la Clase III (Calidad Media) y Clase IV (Calidad Mala) de la Clasificación de BENIAWSKI (1979), jugando un papel importante la orientación de la estratificación y el grado de diaclasado.

#### **6.3.3.3.4.      Área III**

##### *6.3.3.3.4..1      ZONA III<sub>1</sub>*

- **Características Geológicas**

Comprende el conjunto de formaciones cuaternarias de génesis aluvial-fluvial (terrazas) y glaciis de piedemonte. Éstas se caracterizan por presentar una proporción elevada de términos clásticos (gravas y arenas) en el depósito y por ocupar áreas llanas (zonas deprimidas de los valles y superficies medias y altas)

Predominan los materiales aportados por los dos ríos principales de la Hoja correspondiendo mayoritariamente a terrazas que cubren casi totalmente la mitad suroriental de la Hoja. Cabe mencionar también los materiales pertenecientes a los.

Litológicamente es patente el predominio de gravas y en menor proporción de arenas, constituyendo depósitos generalmente no consolidados, y en algunos casos es apreciable el contenido en finos (meandros abandonados, terrazas bajas, etc. )

- Características Geotécnicas

Se trata de materiales poco consolidados, donde los problemas geotécnicos están condicionados por su disposición. En la presente Hoja no se dispone de ensayos geotécnicos. No obstante se presentan a continuación algunos resultados de ensayos efectuados sobre depósitos semejantes en otros puntos de la Comunidad Navarra.

| <b>6.3.3.3.4..2      <i>Cuadro Resumen de Características Geotécnicas</i></b> |             |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Contenido en Grava (>5mm)                                                     | 65 %        |
| Contenido en Arena (5-0.08mm)                                                 | 20 %        |
| Contenido en Finos (<0.08mm)                                                  | 15 %        |
| Límite Líquido (WL)                                                           | -           |
| Límite Plástico (WP)                                                          | No plástico |
| Índice de Plasticidad (IP)                                                    | -           |
| Clasificación de Casagrande                                                   | GW-GM       |

---

|                                         |                         |
|-----------------------------------------|-------------------------|
| Densidad Máxima Proctor Normal          | 2,13 gr/cm <sup>3</sup> |
| Humedad Óptima Proctor Normal           | 7 %                     |
| Ángulo de Rozamiento Interno ( $\phi$ ) | 40 °                    |
| Cohesión (C')                           | 2,20                    |

Los materiales poseen, en general, una permeabilidad alta por permeabilidad intergranular. Las terrazas bajas y otros depósitos fluviales relacionados, presentan un nivel freático continuo y somero. Las terrazas medias, altas y abanicos constituyen acuíferos locales colgados.

- Características Constructivas

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN.

Para el conjunto de los materiales que definen la Zona, se estima una capacidad portante variable entre 1 y 3,5 Kp/cm<sup>2</sup>, dependiendo de que se trate de un limo de consistencia más o menos rígida o una grava de compacidad alta, y de la presencia o ausencia de nivel freático.

El tipo de cimentación será superficial, salvo cuando no se reúnan las condiciones anteriores, las cargas proyectadas sean superiores a las dadas, en el caso de depósitos aluviales (con alto riesgo de avenidas), que será necesario encontrar niveles profundos más resistentes (incluso el sustrato). En estos casos, el tipo de cimentación será semiprofunda.

Los condicionantes geotécnicos más importantes estarán relacionados con la posición del nivel freático, que puede dar lugar a subpresiones y fenómenos de inestabilidad en excavaciones y obras, así como agotamientos importantes. Por otro lado, la presencia eventual de intercalaciones de arcillas blandas puede provocar asientos diferenciales no admisibles y sobre sustrato yesífero es elevado el riesgo de hundimientos del terreno por colapso.



**b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.**

*Excavabilidad.* Constituyen Terrenos Medios, su excavación puede efectuarse por medios mecánicos sin dificultad.

*Estabilidad de taludes.* La estabilidad del talud dependerá de la profundidad del nivel freático y del tipo de unidad morfológica. En general, para alturas superiores a 3 m pueden proyectarse taludes 3H:4V. De manera ocasional, pueden producirse pequeños desprendimientos de escasa relevancia en los bordes de taludes subverticales.

*Empujes sobre contenciones.* Serán de tipo Medio. En zonas de gravas varían de Altos a Bajos en función de la profundidad del nivel freático.

*Aptitud para préstamos.* En general constituyen Terrenos Aptos, ocasionalmente marginales. Los tramos de gravas se consideran Aptos, si bien precisan una clasificación que elimine los tamaños gruesos (8-10 cm).

*Aptitud para explanada en carreteras.* Se trata esencialmente de suelos Aptos constituyendo explanadas de tipo E2 y E3, exceptuando los niveles de gravas formadas por cantos de gran tamaño que precisen una regularización de la superficie o aquellos fondos de desmonte que queden en términos lutíticos.

*Obras subterráneas.* La mayoría de las obras subterráneas de envergadura afectan al sustrato. Sin embargo en obras de menor diámetro (conducciones subterráneas) encontrarán Terrenos Difíciles, según lo establecido en la metodología, que precisarán entibación total.

**6.3.3.3.4..3 ZONA III<sub>2</sub>**

- Características Geológicas

Se integran en esta Zona las formaciones cuaternarias desarrolladas característicamente a la salida de los barrancos y en algunas laderas (conos de deyección y glaciares) y están formados por depósitos fangosos con cantos más o menos dispersos.

Presentan por tanto una cierta pendiente deposicional y gradación clástica grosera a distancia creciente del relieve.

Litológicamente constituyen un depósito bastante heterogéneo formado por una matriz fangosa que engloba cantos poco rodados en proporciones muy variables y cuya naturaleza depende de la litología del área de procedencia.

- Características Geotécnicas

Constituyen materiales sueltos de muy baja a nula consolidación cuyos problemas geotécnicos derivan directamente de su posición geomorfológica. No se cuenta con información procedente de ensayos realizados en el ámbito de la Hoja de modo que los parámetros geotécnicos se han obtenido por correlación con unidades de comportamiento similar presentes en otros sectores de la Comunidad Navarra.

| <b>6.3.3.3.4.4      <i>Cuadro Resumen de Características Geotécnicas</i></b> |           |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Humedad                                                                      | 20,5 %    |
| Contenido en Finos (<0.08mm)                                                 | 75-80,4 % |
| Límite Líquido (WL)                                                          | 28-40,4   |

|                                         |                        |
|-----------------------------------------|------------------------|
| Índice de Plasticidad (IP)              | 12-19,2                |
| Clasificación de Casagrande             | GC-CL                  |
| Densidad Máxima Proctor Normal          | 1,8 gr/cm <sup>3</sup> |
| Humedad Óptima Proctor Normal           | 15-12,7 %              |
| Ángulo de Rozamiento Interno ( $\phi$ ) | 30,5-38 <sup>00</sup>  |
| Cohesión (C')                           | 1,0                    |
| Contenido en sulfatos                   | 0,01%                  |

Los datos expuestos corresponden a suelos limo-arcillosos de baja plasticidad de baja capacidad portante, consistencia media y valor alto del índice CBR, no obstante y principalmente en función de los contenidos en fracción clástica, puede variar ostensiblemente el grado de plasticidad, cohesión y comportamiento en explanadas

Desde el punto de vista hidrogeológico corresponden a materiales de baja permeabilidad, eventualmente media, caso en el que permiten cierta circulación de agua subterránea y, en principio, no deben presentar problemas de drenaje dada la pendiente deposicional natural.

- Características Constructivas

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN.

Se consideran cargas admisibles entre 1,5-2,5 Kp/cm<sup>2</sup>. En general, se debe cimentar sobre el sustrato rocoso, mediante cimentación superficial o semiprofunda por pozos, en función de la potencia de los materiales, con el fin de evitar posibles fenómenos de inestabilidad, especialmente en áreas con pendientes apreciables. Hay que prestar atención al contenido en humedad ante la posibilidad de cambios volumétricos.

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

*Excavabilidad.* Se consideran Terrenos Medios; su excavación puede realizarse normalmente sin dificultad por medios mecánicos.

*Estabilidad de taludes.* Constituyen depósitos no consolidados estables en condiciones naturales si no se alteran sus condiciones de equilibrio.

*Empuje sobre contenciones.* En general, serán de tipo Medio.

*Aptitud para préstamos.* Previa eliminación de la cubierta vegetal, constituyen suelos Marginales, eventualmente Adecuados en función de la proporción en fangos.

*Aptitud para explanada en carreteras.* Los fondos de desmontes quedarán en suelos inadecuados a tolerables, constituyendo explanadas de categoría E1 o inferior.

*Obras subterráneas.* Normalmente este tipo de obras afectará a materiales del sustrato, dado el reducido espesor de los depósitos. No obstante, para obras de pequeña envergadura, deberán calificarse como Terrenos Difíciles, que pueden precisar entibación total.

#### 6.3.3.3.4..5 ZONA III<sub>3</sub>

- Características Geológico-Geotécnicas

Esta Zona está definida por depósitos cuaternarios generados por inestabilidades activas relacionadas con procesos de gravedad (coluviones y desprendimientos).

En la Hoja su desarrollo se localiza en las laderas (coluviones), a veces como formas de enlace entre distintos niveles de terrazas o como derrame de alguna de estas. Los desprendimientos se reconocen al pie del cantil de los Yesos de Falces existente en la margen derecha del Arga. En consecuencia los materiales movilizados están constituidos por bloques y masas de yesos con matriz lutítica o limo-yesífera en proporciones variables.

Su permeabilidad está condicionada por el contenido en finos, siendo muy alta en los desprendimientos y francamente baja en los deslizamientos. Por otra parte la pendiente natural de las formas de depósito generadas facilita la evacuación de aguas por escorrentía por lo que difícilmente se registran problemas de drenaje.

Constituyen terrenos con importantes problemas geotécnicos derivados básicamente de las inestabilidades gravitacionales registradas, heterogeneidad de los depósitos y litología yesífera o yesífero-arcillosa. No se dispone de ensayos geotécnicos específicos para este tipo de materiales.

- Características constructivas

a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN.

No son terrenos aptos para el emplazamiento de construcciones que requieran cimentación debido al riesgo de movilización de materiales. En los casos que se proceda a la estabilización del área de procedencia de los materiales movilizados se deberá recurrir a la retirada de estos últimos para establecer la cimentación en suelos de características más favorables, o sobre sustrato rocoso.

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA.

*Excavabilidad.* Se prevén graves dificultades de excavación dada la presencia de bloques y grandes masas de yesos para cuya retirada deberán emplearse consideren medios especiales

*Estabilidad de taludes.* Constituyen depósitos no consolidados ya de por sí inestables en condiciones naturales de modo que deben adoptarse ángulos muy bajos ( $<30^\circ$ ) para los taludes de desmonte en estos materiales.

*Empuje sobre contenciones.* Pueden ser altos en función de la incidencia de los procesos gravitacionales activos.

*Aptitud para préstamos.* Constituyen materiales no aptos para su uso en terraplenes y pedraplenes, salvo tratamiento con aditivos

*Aptitud para explanada en carreteras.* En fondos de desmonte definen explanadas tipo E-1 o de categoría inferior debido las desfavorables características litológicas, heterogeneidad e irregularidades del terreno.

*Obras subterráneas.* Sólo pueden verse afectadas obras de pequeña envergadura, desarrolladas a escasa profundidad, para las que deben considerarse terrenos francamente desfavorables.

#### 6.3.3.3.4..6 ZONA III<sub>4</sub>

- Características Geológico-Geotécnicas

En esta Zona se incluyen una serie de depósitos poco consolidados asociados a la red fluvial actual, así como aquellos que presentan un alto contenido en finos y de origen poligénico (unidades 41 a 43, 46, 47, 50, 53). Todos ellos presentan un cierto grado de inundabilidad, en función de las fluctuaciones del nivel de agua. También se han incluido aquí una serie de depósitos de naturaleza limo-arcillosa (unidad 51) que se localizan en zonas deprimidas con un cierto drenaje deficiente. Presentan una potencia variable, aunque generalmente no sobrepasan los 5 m..

Desde el punto de vista hidrogeológico presentan una permeabilidad baja, debido a su carácter predominantemente lutítico. Se trata de depósitos poco consolidados que se comportan como un suelo de consistencia media-blanda.

- Características constructivas

#### a. CONDICIONES DE CIMENTACIÓN

A falta de ensayos más precisos pueden considerarse valores contenidos en las diferentes Normas y Códigos. Así, el Código de Práctica Británico establece para este tipo de

materiales presiones admisibles entre 0,75 y 3  $\text{kp/cm}^2$ , esperándose asientos de consolidación a largo plazo. Para la Norma DIN 1054 a una profundidad de cimentación de 2 m, las cargas admisibles son del orden de 2,5-3  $\text{kp/cm}^2$ , esperándose asientos en torno a 4 cm.

No obstante aunque presenten una capacidad portante suficiente en algunos casos para determinados tipos de edificios, se localizan en emplazamientos muy desfavorables (áreas endorreicas, zonas de recarga del carst: dolinas, sumideros, etc.) para proyectar sobre ellos cargas concentradas. Por este motivo, y a falta de estudios detallados, se aconseja no utilizar estos materiales como terrenos de cimentación.

b. CONDICIONES PARA OBRAS DE TIERRA

*Excavabilidad.* Estos materiales se consideran terrenos Medio-Blandos, su excavación podrá realizarse por medios mecánicos sin ningún tipo de problemas.

*Estabilidad de taludes.* En general van a depender de la extensión del afloramiento y del espesor de los materiales. Pueden producirse pequeños deslizamientos de carácter superficial.

*Empuje sobre contenciones.* Serán variables en función del grado de saturación de los materiales. Pueden considerarse de bajos a medios.

*Aptitud para préstamos.* Se consideran materiales no aptos para préstamos. En algunas situaciones pueden constituir terrenos marginales en cimientos y núcleos de terraplenes pero nunca en la coronación de los mismos.

*Aptitud para explanada en carreteras.* Se trata de Materiales No Aptos.

*Obras subterráneas.* En general, las obras subterráneas importantes afectarán al sustrato. Las obras de menor entidad, encontrarían un terreno tipificado como "Difícil".





## 7. BIBLIOGRAFIA

ÁLVAREZ, M.A. (1987). Estudio sistemático y bioestratigráfico de los Eomyidae (Rodentia) del Oligoceno superior y Mioceno inferior español. *Scripta Geologica*, 86, 207 pp.

BOMER, B. y RIBA, O. (1965). Deformaciones tectónicas recientes por movimientos de yesos en Villafranca de Navarra. Com. C. 6-3 del Tomo V de las publicaciones del I Col. Inter. sobre las obras públicas en terrenos yesíferos.

CASTIELLA, J.; SOLÉ, J. y DEL VALLE, J. (1978). Mapa Geológico de Navarra, 1:200.000, Publ. Diputación Foral de Navarra.

CASAS, A. M., BENITO, G. (1988). Deformaciones cuaternarias debidas a procesos diapíricos en la depresión del Ebro. (Provincias de Zaragoza, Navarra y La Rioja). II Congreso Geológico de España. Comunicaciones 1. pp 375-378.

CRUSAFONT, M.; TRUYOLS, J. y RIBA, O. (1966). Contribución al conocimiento de la estratigrafía del Terciario continental de Navarra y La Rioja. Not. y Com. del IGME, 90, pp 53-76.

JIMÉNEZ, F., GUTIÉRREZ ELORZA, M., IBÁÑEZ, M.J., MACHÍN, J., PEÑA, J.L., POCOVÍ, A. Y RODRÍGUEZ VIDAL, J. (1984) El Cuaternario de la Depresión del Ebro en la Región Aragonesa. Cartografía y síntesis de los conocimientos existentes. Univ. de Zaragoza. Estación Experimental de Aula Dei.

GOBIERNO DE NAVARRA (1997). Mapa Geológico de Navarra a E. 1:200.000. Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.

GOBIERNO DE NAVARRA (2000). Mapa Geológico de Navarra a E. 1:25.000, Lerín (205-II). Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.

GOBIERNO DE NAVARRA (2000). Mapa Geológico de Navarra a E. 1:25.000, Pradejón (205-III). Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.

GOBIERNO DE NAVARRA (2000). Mapa Geológico de Navarra a E. 1:25.000, San Adrián (205-IV). Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.

GOBIERNO DE NAVARRA (2001). Mapa Geológico de Navarra a E. 1:25.000, Peralta (206-III). Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.

GOBIERNO DE NAVARRA (2001). Mapa Geológico de Navarra a E. 1:25.000, Caparroso (206-IV). Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.

GOBIERNO DE NAVARRA (2002). Mapa Geológico de Navarra a E. 1:25.000, Alera (245-I). Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.

GOBIERNO DE NAVARRA (2002). Mapa Geológico de Navarra a E. 1:25.000, Los Hermanos (245-IIIIV). Departamento de Obras Públicas, Transportes y omunicaciones. Pamplona.

GONZÁLEZ, A. (1989). Análisis tectosedimentario del Terciario del borde SE de la Depresión del Ebro (sector bajoaragones) y cubetas marginales ibéricas. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza. 507 pp.

GONZÁLEZ, A.; PARDO, G. y VILLENA, J. (1988). El análisis tectosedimentario como instrumento de correlación entre cuencas. II Congreso Geológico de España, Granada, pp 175-184.

GONZALO, A. (1968). Contribución al estudio del piedemonte ibérico riojano. Geomorfología del valle medio del Cidacos. Ed. Biblioteca de Estudios Riojanos, I.E.R. 508 pp, II.Vol.

GONZALO, A. (1977). Los niveles de las terrazas del Ebro en La Rioja. Geographica, XIX-XX, 131-138. Madrid.

GONZALO, A. (1979). Los glaciares de La Rioja. Actas III reunión G.E.T. Cuaternario, 139-147. Zaragoza.

GUTIÉRREZ, M. y PEÑA, J.L. (1994): Depresión del Ebro. In GUTIÉRREZ, M. (Ed.). Geomorfología de España. Ed. Rueda, 305-349. Madrid.

IGME (HERNÁNDEZ, A.; RAMÍREZ DEL POZO, J.; OLIVÉ, A. y ÁLVARO, M.) (1987). Mapa Geológico de España a E. 1:50.000, 2ª serie, 1ª edición, Peralta (206).

IGME (BEROIZ, C y SOLÉ, J.) (1972). Mapa Geológico de España a E. 1:50.000, 2ª serie, 1ª edición, Alfaro (244).

IGME (BEROIZ, C y SOLÉ, J.) (1972). Mapa Geológico de España a E. 1:50.000, 2ª serie, 1ª edición, Tudela (282).

IGME (CASTIELLA, J. y BEROIZ, C.) (1977). Mapa Geológico de España a E. 1:50.000, 2ª serie, 1ª edición, Lodosa (205).

IGME (CASTIELLA, J. y SOLE, J.) (1977). Mapa Geológico de España a E. 1:50.000, 2ª serie, 1ª edición, Calahorra (243).

IGME (1987). Contribución de la exploración petrolífera al conocimiento de la geología de España. Publ. IGME, 465 pp.

INGLÉS, M; MUÑOZ, A.; PÉREZ, A. y SALVANY, J.M (1994). Relación entre la mineralogía y los ambientes sedimentarios en el Terciario continental del sector sur-occidental de la cuenca del Ebro. Resumen, II Congreso del Grupo Español del Terciario, Jaca, pp 247-250.

INGLÉS, M; SALVANY, J.M; MUÑOZ, A. y PÉREZ, A. (1998). Relationship of mineralogy to depositional environments in the non-marine Tertiary mudstones of the southwestern Ebro Basin (Spain). *Sedimentary Geology* 116, pp 159-176.

JUARISTI, J.M. (1979). Terrazas y glaciares en el bajo valle del Arga. Actas III Reunión Nac. G.E.T.C., 161-169. Zaragoza.

LERÁNOZ, B. (1989). Terrazas y glaciares del río Ebro en Navarra. II Reunión del Cuaternario Ibérico. Madrid.

LERÁNOZ, B.(1990 a). El endorreísmo en el S. de Navarra. I Reunión Nac. de Geomorfología, 289-298. Teruel.

LERÁNOZ, B. (1990 b). Geomorfología del curso bajo del río Ega. I Reunión Nac. Geomorfología, 447-455. Teruel.

MUÑOZ, A. (1991). Análisis tectosedimentario del Terciario del sector occidental de la Cuenca del Ebro (Comunidad de La Rioja). Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 496 pp.

MUÑOZ, A. (1992). Análisis tectosedimentario del Terciario del sector occidental de la Cuenca del Ebro (Comunidad de La Rioja). Tesis Doctoral, Publ. Instituto de Estudios Riojanos, 347 pp.

MUÑOZ, A. y CASAS, M. (1997). The Rioja trough (N Spain): tectosedimentary evolution of a symmetric foreland basin. *Basin Research*, 9, pp 65-85.

MUÑOZ, A.; PARDO, G. y VILLENA, J. (1986-87). Análisis tectosedimentario del Terciario de la Depresión de Arnedo (Cuenca del Ebro, prov. de La Rioja). *Acta Geol. Hisp.*, t. 21-22, pp 427-435.

MUÑOZ, A.; PARDO, G. y VILLENA, J. (1992). Evolución paleogeográfica de los conglomerados miocenos adosados al borde norte de la Sierra de Cameros (La Rioja), *Acta Geol. Hisp.*, v.27, num 1-2, pp. 3-14.

MUÑOZ, A. y SALVANY, J.M. (1990). El sistema lacustre evaporítico del margen ibérico de la cuenca del Ebro (Mioceno inferior). In ORTÍ, F. y SALVANY, J.M. (Eds.). Formaciones evaporíticas de la cuenca del Ebro y cadenas periféricas, y de la Zona de Levante. GPPG-ENRESA, pp 123-126.

ORTÍ, F. y SALVANY, J.M. (1986). Programa de investigación de las formaciones evaporíticas en Navarra. Vol.1, Estudio Geológico, 121 pp.; Vol.2, Estudio Geoeconómico, 126 pp.; 2 anejos, informe inédito para el Gobierno de Navarra.

ORTÍ, F. y SALVANY, J.M. (1991). Depósitos de glauberita en España: aspectos sedimentológicos y petrológicos generales. In: Génesis de formaciones evaporíticas, modelos andinos e ibéricos (Pueyo, J. J., Eds.). Publ. Universitat de Barcelona. pp 191-230.

PARDO, G.; VILLENA, J. y GONZÁLEZ, A. (1989). Contribución a los conceptos y a la aplicación del análisis tectosedimentario. Rupturas y unidades tectosedimentarias como fundamento de correlaciones estratigráficas. Rev. Soc. Geol. España, 2, pp 199-221.

PÉREZ, A. (1989). Estratigrafía y sedimentología del Terciario del borde meridional de la Depresión del Ebro (sector riojano-aragonés) y cubetas de Muniesa y Montalbán. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 474 pp.

RIBA, O. (1955a). Sur le type de sedimentation du Tertiaire continental de la partie Ouest du Bassin de l'Ebre. Geol. Rundschau, t 43, 2, pp 363-371. Stuttgart.

RIBA, O. (1955b). Sobre la edad de los conglomerados terciarios del borde Norte de las sierras de la Demanda y Cameros. Not. y Com. IGME, 39, pp 39-50.

RIBA, O. (1964). Estructura sedimentaria del Terciario continental de la Depresión del Ebro en su parte riojana y Navarra. Aport. al XX Congreso Geográfico Internacional, Londres, pp 127-138. Madrid.

RIBA, O. y BOMER, B. (1957). Les terrasses et glacis du Bassin de l'Ebre dans la Ribera de Navarre et la Baja Rioja. Livret-guide de l'excursion nº 3: Villafranchien de Villarroja. V Congr. Int. INQUA, 7-10. Madrid-Barcelona.

RIBA, O. y JURADO, M. J. (1992). Reflexiones sobre la geología de la parte occidental de la Depresión del Ebro. Acta Geol. Hisp., v.27, 1-2, pp 177-193.

RIBA, O. y PÉREZ MATEOS, J. (1962). Sobre una inversión de aportes sedimentarios en el borde Norte de la Cuenca del Ebro (Navarra). Inst. Edaf. Sec. Petrol. Sedim. II Reunión del GES, Sevilla 1961, pp 201-221. Madrid.

RIBA, O.; REGUANT, S. y VILLENA, J. (1983): Ensayo de síntesis estratigráfica y evolutiva de la cuenca terciaria del Ebro. Libro Jubilar J.M. Ríos, 2, 131-159. IGME. Madrid.

SALVANY, J.M. (1989a). Las formaciones evaporíticas del Terciario continental de la cuenca del Ebro en Navarra y La Rioja. Litoestratigrafía, petrología y sedimentología. Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona, 397 pp.

SALVANY, J.M (1989b). Los sistemas lacustres evaporíticos del sector Navarro-Riojano de la Cuenca del Ebro durante el Oligoceno y Mioceno inferior. Acta Geol. Hisp., 24, pp 231-241.

SALVANY, J.M. (1989c). Ciclos y megaciclos evaporíticos en las formaciones Falces y Lerín. Oligoceno-Mioceno inferior de la cuenca del Ebro (Navarra-La Rioja). XII Congreso Español de Sedimentología. Comunicaciones. pp 83-86.

SALVANY, J.M y ORTÍ, F. (1987). La paragénesis de sulfatos de Ca y Na en el Mioceno continental de Alcanadre-Arrúbal (La Rioja) y San Adrián (Navarra). Bol. Soc. Esp. de Mineralogía, 10-1, pp 47-48.

SALVANY, J.M. y ORTÍ, F. (1992). El yacimiento glauberítico de Alcanadre: procesos sedimentarios y diagenéticos (Mioceno inferior, Cuenca del Ebro). In: Recursos Minerales de España (GARCÍA GUINEA, J. y MARTÍNEZ FRÍAS, J., Eds.). CSIC-Madrid, pp 1251-1274.

SALVANY, J.M y ORTÍ, F. (1994). Miocene glauberite deposits of Alcanadre, Ebro basin, Spain: sedimentary and diagenetic processes. In Sedimentology and geochemistry of modern and ancient saline lakes, SEPM Special Publications, 50, pp 203-215.

SALVANY, J.M. y MUÑOZ, A. (1989). Aspectos petrológicos y sedimentológicos de los Yesos de Ribafrecha (La Rioja). XII Congreso Español de Sedimentología, Leioa-Bilbao, pp 87-90.

SALVANY, J.M; MUÑOZ, A. y PÉREZ, A. (1994). Nonmarine evaporitic sedimentation and associated diagenetic processes of the southwestern margin of the Ebro Basin (lower Miocene), Spain. Journal of Sedimentary Research, vol A64, 2, pp 190-203.