



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

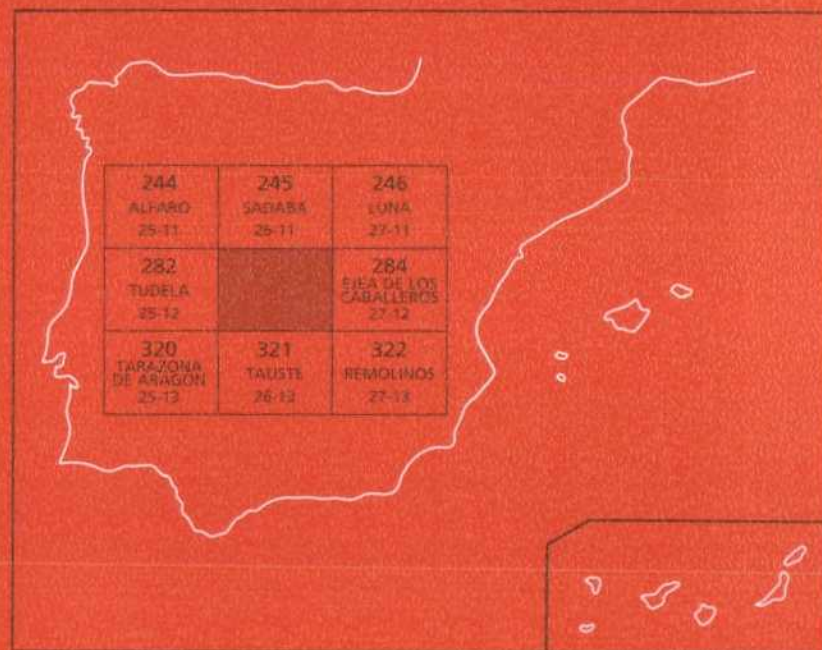
283

26-12

MAPA GEOLOGICO DE ESPAÑA

Escala 1:50.000

Segunda serie - Primera edición



FUSTIÑANA



SECRETARÍA GENERAL DE LA ENERGÍA Y RECURSOS MINERALES
MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGÍA

20283

MAPA GEOLOGICO DE ESPAÑA

Escala 1:50.000

SE INCLUYE MAPA GEOMORFOLOGICO A LA MISMA ESCALA

FUSTIÑANA

© INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA
Ríos Rosas, 23. 28003 MADRID

Depósito Legal: M.-21.948-1995

ISBN: 84-7840-218-7

NIPO: 241-95-005-0

Fotocomposición: Cartografía Madrid, S. A.

El Mapa Geológico y Memoria explicativa de Fustiñana (283) han sido realizados, durante 1990 y 1991 por la Compañía General de Sondeos S.A., habiendo intervenido los siguientes autores:

Mapa Geológico:

J. M. Salvany y A. Hernández (CGS)

Mapa Geomorfológico:

G. Portero (CGS)

Memoria:

Estratigrafía

J. M. Salvany (CGS)

Geomorfología

G. Portero (CGS)

Tectónica

H. Pascual y J. J. Navarro (CGS)

Neotectónica

J. L. Simón e I. Gil Peña (Univ. Zaragoza)

Hidrogeología

R. Rodríguez Santisteban (CGS)

Geología Económica

A. García Villar (CGS)

Han colaborado en aspectos parciales:

Estratigrafía

E. Mateo (CGS)

Sedimentología

J. M. Costa, J. Solà y A. del Olmo (CGS)

Micropaleontología

J. Ramírez del Pozo

Micromamíferos

G. Cuenca (Univ. Zaragoza)

Normalización del Mapa Geomorfológico

J. Fernández-Gianotti y A. Martín-Serrano (ITGE)

Dirección del Estudio

A. Barnolas y A. Robador

Se pone en conocimiento del lector que en el Centro de Documentación del ITGE existe para su consulta una documentación complementaria de esta Hoja y Memoria constituida por:

- Muestras y sus correspondientes preparaciones.
- Informes petrográficos, micropaleontológicos y sedimentológicos de dichas muestras.
- Columnas estratigráficas de detalle.
- Fichas bibliográficas, álbum de fotografías y demás información varia.

INDICE

| | <i>Páginas</i> |
|---|----------------|
| 0. INTRODUCCION | 9 |
| 1. ESTRATIGRAFIA..... | 11 |
| 1.1. Terciario..... | 11 |
| 1.1.1. Arcillas y margas grises con yesos. (1) (Ageniense) | 12 |
| 1.1.2. Arcillas rojizas con areniscas, capas de caliza y yeso nodular. (2). (Ageniense-Aragoniense) | 13 |
| 1.1.3. Arcillas rojas con paleocanales de arenisca. (3) (Ageniense-Arago- niense). | 13 |
| 1.1.4. Arcillas y margas ocre con capas de caliza. (4) (Aragoniense) | 13 |
| 1.1.5. Calizas y margas grises. (5) (Aragoniense) | 14 |
| 1.1.6. Arcillas rojas con nódulos de yeso y calizas. (6) (Aragoniense inferior- medio) | 15 |
| 1.1.7. Arcillas y margas ocre con calizas. (7) (Aragoniense inferior-medio) | 15 |
| 1.1.8. Arcillas y margas grises rojas con yesos, areniscas y calizas. (8) (Ara- goniense medio) | 16 |
| 1.1.9. Arcillas rojas y grises con paleocanales de arenisca y capas de cali- za. (9) (Aragoniense) | 17 |
| 1.1.10. Calizas, margas, arcillas y areniscas, de colores grises y rojizos (10) (Aragoniense) | 18 |
| 1.1.11. Arcillas rojas con areniscas. (11) (aragoniense)..... | 19 |
| 1.1.12. Calizas y margas grises-ocres. (12) (Aragoniense) | 19 |
| 1.1.13. Margas grises-ocres y calizas. (13) (Aragoniense) | 20 |
| 1.2. Cuaternario | 20 |
| 1.2.1. Pleistoceno | 21 |
| 1.2.1.1. Glacis de la Plana de la Negra (14a) y costras calcáreas (14b) Plioceno-Pleistoceno | 21 |
| 1.2.1.2. Cantos y gravas polimícticos. Arenas, limos y arcillas. Depó- sitos aluviales y fluviales del Piedemonte Pirenaico (15- 16). Pleistoceno | 22 |

| | | |
|----------|--|----|
| 1.2.1.3. | Cantos y gravas polimícticos. Arenas y limos. Terrazas de los ríos Riguel y Arba de Biel (17-18-19). Pleistoceno | 22 |
| 1.2.1.4. | Cantos y gravas polimícticos. Arenas, limos y arcillas. Terraza del río Ebro. (20). Pleistoceno | 22 |
| 1.2.1.5. | Cantos y gravas calcáreas. Arenas, limos y arcillas. Glacis. (21-22-23-24). Pleistoceno | 23 |
| 1.2.2. | Holoceno | 24 |
| 1.2.2.1. | Cantos y gravas polimícticos. Arenas, limos y arcillas. Fondos de valle (25). Holoceno | 24 |
| 1.2.2.2. | Gravas, arenas, limos y arcillas. Llanura de inundación del río Ebro (26). Holoceno | 24 |
| 1.2.2.3. | Limos, arcillas, arenas y gravas. Depósitos aluvial-coluvial y rellenos de "vales" (27). Limos, arenas y gravas. Conos de deyección (28). Gravas, cantos, arenas y arcillas. Coluviones (29). Arcillas y limos. Depósitos endorreicos (30). Holoceno | 24 |
| 2. | TECTONICA | 25 |
| 2.1. | Marco tectónico regional | 25 |
| 2.2. | Descripción de la estructura | 25 |
| 2.3. | Evolución tectónica | 27 |
| 2.4. | Neotectónica..... | 28 |
| 3. | GEOMORFOLOGIA | 29 |
| 3.1. | Descripción fisiográfica | 29 |
| 3.2. | Análisis geomorfológico..... | 29 |
| 3.2.1. | Estudio morfoestructural | 29 |
| 3.2.2. | Estudio del modelado | 30 |
| 3.2.2.1. | Laderas | 30 |
| 3.2.2.2. | Formas fluviales | 30 |
| 3.2.2.3. | Formas endorreicas | 31 |
| 3.2.2.4. | Formas antrópicas | 32 |
| 3.2.2.5. | Formas poligénicas | 32 |
| 3.2.3. | Formaciones superficiales | 33 |
| 3.4. | Evolución dinámica | 33 |
| 3.5. | Morfología actual-subactual y tendencias futuras..... | 34 |
| 4. | HISTORIA GEOLOGICA | 35 |
| 5. | GEOLOGIA ECONOMICA | 39 |
| 5.1. | Recursos minerales | 39 |
| 5.1.1. | Minerales no metálicos | 39 |
| 5.1.2. | Rocas industriales | 39 |
| 5.2. | Hidrogeología | 39 |

| | <i>Páginas</i> |
|---|----------------|
| 5.2.1. Climatología | 41 |
| 5.2.2. Hidrología | 43 |
| 5.2.3. Características hidrogeológicas | 43 |
| 5.2.3.1. Acuíferos terciarios | 43 |
| 5.2.3.2. Acuíferos cuaternarios | 45 |
| 5.2.3.2.1. Acuíferos aluviales | 45 |
| 5.2.3.2.2. Sasos de Sádaba y Miraflores | 46 |
| 5.2.4. Hidrogeoquímica | 46 |
| 5.3. Características geotécnicas generales | 47 |
| 6. PATRIMONIO NATURAL GEOLOGICO. PUNTOS DE INTERES GEOLOGICO (P.I.G.) | 51 |
| 7. BIBLIOGRAFIA | 53 |

0. INTRODUCCION

El territorio que ocupa la hoja de Fustiñana (26-12, 283) se sitúa entre los paralelos $42^{\circ}10'04",3$ y $42^{\circ}00'04",3$; y los meridianos $1^{\circ}11'10",5$ y $1^{\circ}31'10",5$, y se reparte entre las provincias de Navarra (aproximadamente la mitad occidental de la hoja) y Zaragoza (la mitad oriental).

Este área comprende las comarcas de Las Bardenas y Cinco Villas, que corresponden respectivamente a la zona montañosa de la Plana de la Negra y relieves circundantes, y a la zona deprimida de confluencia de los ríos Arba de Biel y Riguel, poco antes de su desembocadura en el río Ebro. Este último río también cruza la hoja por su extremo suroccidental.

Topográficamente la hoja de Fustiñana está dominada por el relieve tabular de la Plana de la Negra, que alcanza los 646 m de altura. Por el este se produce una fuerte caída de pendiente hasta el valle del río Arba (sobre los 300 m) a través de un relieve en escalones condicionado por la alternancia de materiales blandos y duros que constituyen la zona. Por el norte se muestra una disposición similar con un escalón intermedio mejor desarrollado, que determinan las planas del Farillo y de Tripa Azul.

Por el oeste y el sur la forma del relieve varía debido a la diferente estructura de sus materiales; por el oeste y noroeste se trata de una suave estructura periclinal, en la que se definen dos zonas elevadas (Las Planas de Carnero y la Plana de la Bandera) separada por dos zonas deprimidas (barrancos de Ardarragúa y de Tudela).

Por el sur y suroeste se trata de una estructura tabular ligeramente inclinada hacia el SSO, que desciende desde la base de la Plana de la Negra hasta el valle del Ebro. Sobre esta pendiente se encajan transversalmente diversos barrancos de orientación N-S y NNE-SSO, que aprovechan un sistema de fracturas que afectan a esta parte de la hoja. También se eleva un prominente cerro residual (el Fraile Alto) en cuya cumbre afloran los niveles calizos basales que constituyen la Plana de la Negra.

Un último aspecto morfológico a destacar en la hoja es la profunda depresión excavada al sur

de la Plana de la Negra por los barrancos de Lázaro, del Viso y de la Cabaña Bautista. Esta constituye una de las zonas más aisladas e inaccesibles del territorio perteneciente a la hoja de Fustiñana.

El clima es marcadamente continental, con veranos breves y muy calurosos, e inviernos rigurosos y largos. Las precipitaciones son escasas y mal repartidas aunque algo superiores a las de la zona de Zaragoza. Son frecuentes los vientos de procedencia oeste (Cierzo) que en ocasiones son de gran intensidad. Debido a estos caracteres climáticos la hoja entra de lleno en la categoría de país estepario que se refleja en la falta de arbolado en el paisaje.

La economía de la región es fundamentalmente agrícola, basada en cultivos de secano: cereal, remolacha, vid, etc. y, actualmente, con la construcción del canal de Cinco Villas, también de regadío. Esta agricultura está principalmente desarrollada en la ribera de los ríos Arba y Riguel, aunque también en parte se instala sobre las extensas planas que constituyen la hoja. Su ganadería se reduce casi exclusivamente a la cría de ganado lanar, cabrío y porcino en granjas. La actividad industrial es prácticamente nula.

La región de Las Bardenas, recientemente declarada zona natural protegida, ofrece una gran variedad de fauna y flora esteparia, con especial relevancia para la fauna ornitológica (cigüeñas, buitres, rapaces, etc.).

El territorio ocupado por la hoja está marcadamente despoblado, siendo su principal población Fustiñana, con 2.347 habitantes (censo de 1970). En el vértice SO, la población de Ribaforada, con 3.129 habitantes, sólo entra parcialmente en la hoja. Las otras tres localidades existentes (El Sabinar, Sta. Anastasia y Valareña) tienen una población inferior a los 500 habitantes, tratándose de núcleos rurales de reciente fundación (años 50-60) establecidos con el fin de promover el desarrollo agrícola y ganadero de la región.

La hoja de Fustiñana se sitúa geológicamente en la zona central de la cuenca terciaria continental del Ebro, ocupando una posición de enlace entre las subcuencas navarro-riojana al oeste y aragonesa al este, que constituyen dos dominios paleogeográficos y estructurales diferentes.

La cuenca navarro-riojana tuvo su desarrollo principalmente durante el Oligoceno, actuando como un importante depocentro sedimentario que permitió la acumulación de más de 5.000 m de materiales detríticos y lacustres evaporíticos (Riba, 1955 y 1964; Crusafont *et al.* 1966; Castiella *et al.* 1978; Salvany, 1989; entre otros). Durante este período el sector aragonés de la Cuenca del Ebro actuó como una zona de alto relativo con una acumulación sedimentaria mucho menor (Riba *et al.* 1983).

Durante el Ateniense (Mioceno inferior) se produce un importante cambio paleogeográfico en la cuenca, como resultado del plegamiento de los materiales del Oligoceno y Mioceno basal de la Ribera de Navarra. A partir de este momento el sector aragonés se individualiza como depocentro principal de la cuenca, con una potente acumulación de materiales detríticos procedentes de los Pirineos y Cordillera Ibérica, así como lacustres evaporíticos y carbonatados (Quirantes, 1978; Birnbaum, 1976; Cabrera, 1983; Muñoz, 1985; Mandado, 1987; Pérez, 1989; Salvany, 1989; Muñoz, 1991, entre otros).

Los depósitos cuaternarios, de poco espesor, están compuestos por las terrazas fluviales y la llanura de inundación de los ríos Ebro, Riguel y Arba de Biel, fondos de valle, glacis asociados a los relieves cimeros y depósitos coluviales, que junto a los fenómenos de erosión que dominan el resto del área, han sido estudiados por Alastrue (1953), Bomer (1978), Gracia (1985a, 1985b, 1986) y Gracia *et al.* (1985).

En la hoja de Fustiñana los materiales terciarios muestran en conjunto una estructura tabular ligeramente deformada en la parte occidental y meridional de la hoja.

En el extremo noroeste afloran los materiales más antiguos (Yesos de Los Arcos y base de la Fm. Tudela), formando una suave estructura periclinal correspondiente a la terminación oriental del anticlinal de Arguedas, bien desarrollado en la Ribera de Navarra. Esta estructura periclinal se amortigua rápidamente y hacia la mitad de hoja resulta ya totalmente inapreciable. En la mitad meridional de la hoja, la serie terciaria buza suavemente hacia el SSO, y está afectada por una intensa fracturación que ha sido descrita por Gracia y Simón (1986). A estas estructuras principales se le superponen otros accidentes de carácter local.

1. ESTRATIGRAFIA

1.1. TERCIARIO

La mayor parte de la hoja (mitad occidental y parte central) está constituida por materiales miocenos, con una edad comprendida desde el Ageniense hasta el Aragoniense medio-superior. La serie aflorante presenta una potencia del orden de 400 m y está constituida principalmente por arcillas, margas y calizas, con tramos de areniscas y yesos en menor importancia. Estos materiales, descritos clásicamente con los nombres de Yesos de Los Arcos (Riba, 1964) y Fm. Tudela, han sido motivo de numerosos estudios: Hernández Pacheco (1949), Solé Sabarís (1954), Alastrue (1954, 1958), Riba (1964), Crusafont *et al.* (1966), Castiella *et al.* (1978), Ortí *et al.*, (1986) entre otros.

Los Yesos de Los Arcos constituyen la unidad superior de la Fm. Lerín (Castiella *et al.* 1978) y estratigráficamente se sitúan por debajo de la Fm. Tudela. Afloran sólo en el extremo NO de la hoja, tratándose de sus niveles más altos, aunque tienen gran potencia y extensión cartográfica en las hojas vecinas de Tudela, Alfaro y Sádaba. Constituyen materiales evaporíticos depositados en un medio evaporítico del tipo lago salino efímero (*playa-lake*) que se desarrolló durante el tránsito Oligoceno-Mioceno en el sector navarro-riojano de la Cuenca del Ebro. Estas evaporitas pasan lateralmente a materiales aluviales procedentes del Pirineo -Fm. Ujué- y de la Cordillera Ibérica -Fm. Arnedo-. Por el oeste, en el área de Logroño, pasan lateralmente a la Fm. Haro. Por el este se desconocen, por falta de afloramiento y de datos de subsuelo, sus equivalentes laterales.

La Fm. Tudela agrupa en sentido amplio a todos los materiales detrítico-carbonatados (y también en parte evaporíticos) del Mioceno que afloran en la región de las Bârdenas y zona meridional de la Ribera de Navarra. Se trata de materiales aluviales distales y lacustres carbonata-

dos que muestran unas facies muy características en la región de Tudela (facies de Tudela de Castiella *et al.* 1978). Hacia el sur y suroeste estos materiales pasan lateralmente a las Fms. Alfaro (aluvial distal) y Fitero (aluvial proximal). Hacia el norte pasa lateralmente a las Fms. Ujué y Uncastillo (Soler y Puigdefàbregas, 1970) de facies aluvial-fluvial. Por el este su equivalente lateral son los yesos de la Fm. Zaragoza, ampliamente desarrollados en la ribera aragonesa del Ebro.

Dentro de la Fm. Tudela de Castiella *et al.* (1978) se distinguen tres unidades cartográficas: las Calizas de Sancho Abarca (son las calizas que constituyen la Plana de la Negra), los Yesos de Monteagudo, que bordean la hoja por el S y el SE, y las Facies de Tudela constituidas por arcillas, areniscas y niveles de calizas.

La disposición de carácter rítmico que puede observarse en las sucesiones litológicas del Oligoceno y Mioceno de la cuenca del Ebro ha permitido distinguir una serie de unidades, denominadas como unidades genético-sedimentarias. Estas están definidas con un criterio cronoestratigráfico, y se encuentran compuestas por diversas asociaciones de facies que corresponden a las unidades cartográficas.

1.1.1. Arcillas y margas grises con yesos. (1) (Ageniense)

Esta unidad corresponde a los Yesos de Los Arcos y sólo aflora en el vértice NO de la hoja, tratándose a su vez del afloramiento más oriental y meridional de esta unidad en la Ribera de Navarra.

En la hoja de Fustiñana estos materiales tienen una potencia máxima aflorante de 20 a 30 m, y están constituidos principalmente por arcillas y margas grises entre las que se encajan abundantes niveles de yesos.

Los yesos son nodulares (ocasionalmente laminados) y pueden estar formando capas con un contenido en arcillas variable o bien tratarse de nódulos individuales dispersos entre las arcillas. El tamaño de los nódulos puede variar entre 1-2 cm y 20 cm. Texturalmente se trata de yesos secundarios alabastrinos y porfiroblásticos. Estas facies arcillosas y yesíferas propiamente constituyen los niveles de tránsito entre los Yesos de Los Arcos y las arcillas basales de la Fm. Tudela (Pérez *et al.*, 1988).

Desde el punto de vista sedimentológico estos depósitos corresponden a facies marginales de lago salino (*playa-lake*), con crecimiento de nódulos de anhidrita (que aparecen ahora como yeso secundario) entre materiales arcillosos y margosos de llanura lutítica distal.

Clásicamente se ha venido considerando a los Yesos de Los Arcos como los niveles de tránsito Oligoceno-Mioceno (Crusafont *et al.* 1966), de acuerdo con los datos de los yacimientos de vertebrados de Tudela I y II. Sin embargo, los yacimientos agenienses de AutoI (Cuenca, 1985), emplazados en niveles que lateralmente se sitúan por debajo de los Yesos de Los Arcos, permiten considerar que esta unidad corresponde al Mioceno inferior (Ageniense) en su totalidad.

1.1.2. **Arcillas rojizas con areniscas, capas de caliza y yeso nodular. (2) (Ageniense-Aragoniense)**

En la parte NO de la hoja y por encima de los Yesos de Los Arcos se reconocen unos materiales arcillosos con areniscas, calizas y yesos, predominantemente rojizos y con algunos horizontes grisáceos que constituyen la base del escarpe que desde la Plana de Carnero cae hasta el fondo del barranco de Andarraguía donde afloran los yesos de Los Arcos.

La serie del Portal (03) ofrece un corte completo de esta unidad, con un espesor de 90 m. Constituye una serie netamente arcillosa con frecuentes nódulos de yeso alabastrino de forma dispersa y algunos niveles de arenisca y calizas de poco desarrollo. Las areniscas son rojas, micáceas y de grano fino y homogéneo, formando pequeños paleocanales de hasta 50 cm de espesor y de poca continuidad lateral. Estos niveles de arenisca están desarrollados principalmente en la parte inferior de la unidad, en relación con las arcillas más rojas. Las calizas, de espesor decimétrico, son de composición algal (caráceas) y muestran trazas de bioturbación. Los nódulos de yeso pueden presentarse de forma individual, dispersos entre las arcillas o bien formar grandes estructuras nodulares complejas, de forma planar de hasta 2 m de longitud por 10-15 cm de espesor, atravesando la estratificación de las arcillas más o menos transversalmente.

Estos materiales representan el desarrollo de una llanura lutítica distal con claras influencias evaporíticas. La presencia de pequeños paleocanales de areniscas pone de manifiesto el inicio de una expansión fluvial sobre esta llanura post-evaporítica.

Dentro de esta unidad, en la vecina hoja de Tudela, se emplazan los yacimientos de Tudela I y II, por lo que puede atribuirse al Ageniense superior-Aragoniense inferior.

1.1.3. **Arcillas rojas con paleocanales de arenisca. (3) (Ageniense-Aragoniense)**

Sobre la unidad anterior se dispone un nivel continuo arcilloso de color rojo, con una potencia de 28 m (serie 03) en el que se intercalan niveles de arenisca de geometría canaliforme de 30 a 50 cm de espesor. Las areniscas son de grano fino y homogéneo y tienen siempre tonos rojizos. También se individualiza alguna capa de caliza de forma subordinada.

Estos materiales se interpretan como depositados en un sistema fluvial bien desarrollado.

Se atribuye esta unidad al Ageniense superior-Aragoniense inferior por su relación estratigráfica con unidades vecinas.

1.1.4. **Arcillas y margas ocreas con capas de caliza. (4) (Aragoniense)**

Por encima del nivel anteriormente descrito se desarrolla una serie arcilloso-margosa de tonos ocreos, de 60 m de potencia (serie 03), que intercala capas de caliza de espesor decimétrico. La base de esta unidad queda bien determinada por la presencia de una capa de caliza con gasterópodos de mayor espesor (2 m) que forma un nivel guía continuo en la parte alta del escarpe.

Las calizas son de tipo calcarenítico, de origen algal (caráceas), con gasterópodos y bioturba-

ción. El espesor de los bancos puede variar entre 10 y 30 cm (ocasionalmente hasta 50 cm). En los últimos 10 m de la serie se observan frecuentes micronódulos de yeso dispersos entre las arcillas.

Estas mismas facies se siguen a través de la vertiente norte del vértice Tripa Azul hasta la parte del NE de la hoja, donde afloran muy erosionadas y cubiertas por los depósitos cuaternarios que caracterizan este sector. Más hacia el este se extienden por la hoja de Ejea de los Caballeros aunque en ésta el carácter de los materiales es más detrítico.

Esta asociación de facies corresponde al desarrollo de un sistema lacustre-palustre carbonatado (caráceas y ostrácodos) poco estable y de carácter posiblemente efímero, como pone de manifiesto el escaso espesor de los niveles carbonatados. La presencia de pequeños nódulos de yeso entre las arcillas pone en evidencia que estas aguas lacustres sufrieron periódicas concentraciones con precipitación de evaporitas.

La edad de la unidad en base a su posición estratigráfica puede considerarse como Aragoniense, probablemente inferior.

1.1.5. Calizas y margas grises. (5) (Aragoniense)

Sobre las unidades antes descritas se apoyan unos potentes niveles de calizas que dan lugar a una extensa superficie estructural, ligeramente inclinada hacia el SE y erosionada por diversos barrancos, que se sigue de forma continua desde las Planas de Carnero hasta el barranco de Tudela. En ambos márgenes del barranco de Tudela las calizas afloran de forma continua y han sido motivo de explotación por diversas pequeñas canteras.

Hacia el sur del citado barranco las calizas se sumergen bajo las unidades superiores pero llegan a aflorar de nuevo en la parte SE de la hoja, formando un nivel de afloramiento discontinuo, entre los depósitos cuaternarios del río Arba, entre las localidades del Sabinar y Sancho Abarca (esta última en la hoja de Tauste). Más al norte del Sabinar este tramo de calizas deja de seguirse bien, pasando lateralmente a los materiales margosos del techo de la unidad cartográfica inferior. Este acuñaamiento se observa también en la parte NO de la hoja. También en la hoja de Ejea de Los Caballeros se reconocen estas calizas aunque con menor desarrollo.

En la serie del Monte Olivete (07), levantada en el barranco de Tudela, la unidad está dominada por una capa masiva de caliza con gasterópodos, que se encuentra bioturbada, de 3 m de potencia (nivel de cantera), a la que están asociadas otras capas calizas de menor espesor (de 30 cm a 1 m) por encima y debajo, separadas por niveles de margas grises. El conjunto muestra una potencia total de 15 m.

En la serie de Sancho Abarca (01) esta unidad muestra un espesor de 3 m, y se individualiza bien entre las series predominantemente arcillosas que la limitan por encima y debajo. Se trata en este caso de una alternancia de calizas con caráceas, de espesor decimétrico, bioturbadas, bien estratificadas y con finas intercalaciones margosas. La capa superior, más potente (0,5-1 m), permite observar en diferentes puntos estructuras *hummocky* a techo.

Estas calizas se depositaron en un sistema lacustre carbonatado estable y probablemente de cierta profundidad, con abundante fauna y flora (gasterópodos, ostrácodos, caráceas, peces, etc). Este sistema lacustre no debió rebasar por el norte los límites de la hoja, como pone de manifiesto el acuñamiento de las capas de caliza en esta misma dirección.

Por su posición estratigráfica esta unidad puede atribuirse al Aragoniense inferior.

1.1.6. **Arcillas rojas con nódulos de yeso y calizas. (6) (Aragoniense inferior-medio)**

En el sector NO de la hoja y por encima de la unidad de calizas antes descrita, se encuentra un potente tramo de arcillas rojizas, de carácter muy puro, con presencia de pequeños nódulos de yeso y algunas finas capas de caliza. En la serie del Monte Olivete (07) esta unidad tiene un espesor de 46 m.

Hacia el norte y el este estas facies pasan lateralmente a las arcillas y margas de tonos ocres con niveles de calizas que constituyen la parte inferior de la unidad 7.

Estos materiales se depositaron en una llanura lutítica distal con precipitación intersticial de evaporitas (nódulos de anhidrita).

Se considera una edad Aragoniense inferior-medio para estos materiales por su posición estratigráfica por debajo del yacimiento de vertebrados de Remolinos (Llamas, 1959).

1.1.7. **Arcillas y margas ocres con calizas. (7) (Aragoniense inferior-medio)**

Estos materiales tienen una gran extensión cartográfica en la hoja, formando una orla continua alrededor de las planas de la Negra y del Farillo. Se trata de una unidad dominada por las arcillas y margas de tonos ocres y grises con niveles de calizas algales con caráceas. El desarrollo y distribución de estas calizas es variable según las zonas, siendo la parte SO de la hoja la que muestra un mayor desarrollo de las mismas. Entre estos materiales se intercala la unidad cartográfica 8, de carácter yesífero, que se describirá más adelante.

Las series de Sancho Abarca (01), El Sabinar (05) y Los Estrechos (06), situadas en la parte oriental de la hoja, permiten reconocer esta unidad, a la que se le puede atribuir una potencia del orden de 100 m (incluyendo el tramo yesífero correspondiente a la unidad 8). En éstas series los materiales de la unidad que nos ocupa, muestran características diferentes por encima y debajo de los yesos:

Por debajo de los yesos, y con una potencia de 35-40 m, la serie es muy carbonatada. Entre las arcillas y margas ocres se intercalan abundantes capas de caliza de espesor decimétrico (raramente superan los 30-40 cm). Se trata de calizas y margocalizas con caráceas y ostrácodos, muy bioturbadas, que se distribuyen de forma relativamente homogénea en la serie. Ocasionalmente se observan pequeños niveles limolíticos y de arcillas rojizas. En la base de esta serie margocarbonatada se individualiza bien el nivel de calizas que constituye la unidad 5 antes descrita.

Por encima de los yesos la unidad es netamente margosa, con tonalidades grises, entre la que puntualmente se intercala alguna capa de caliza de poco espesor. Este tramo superior tiene una potencia de 20-25 m.

En la serie del Portillo (02) estos materiales presentan características parecidas, aunque con menor desarrollo de las capas de caliza y presencia de algunos niveles de areniscas y limolitas de poco espesor. En esta serie no están desarrollados los yesos y la unidad muestra un espesor parcial de 87 m (no llega a cortarse la base de la unidad).

En el cuadrante SO de la hoja algunos niveles de calizas llegan a mostrar un desarrollo mayor, con espesores superiores a 1 m, constituyendo buenos niveles guía.

Desde el punto de vista sedimentológico estas facies corresponden al desarrollo de un ambiente lacustre-palustre carbonatado que con pequeñas variaciones se mantiene en toda la superficie de la hoja. El escaso desarrollo de los carbonatos hace pensar en un carácter efímero de estos lagos, que periódicamente podrían quedar desecados o colmatados por sedimentos lutíticos de origen aluvial distal.

La presencia de niveles evaporíticos intercalados entre estas facies margocarbonatadas (unidades 6 y 8) pone de manifiesto la estrecha relación lateral de este sistema lacustre-palustre con un sistema evaporítico, tratándose probablemente estas facies carbonatadas de una zona sedimentaria de transición entre los sistemas aluviales de margen de cuenca y los lagos salinos de centro de la misma.

Se establece una edad Aragoniense inferior-medio para estos materiales en base a su posición estratigráfica próxima al yacimiento de vertebrados de Remolinos.

1.1.8. Arcillas y margas grises rojas con yesos, areniscas y calizas. (8) (Aragoniense medio)

Los materiales yesíferos que afloran entre Remolinos y Tauste se extienden hacia el oeste por buena parte de la hoja de Fustiñana en progresivo acúñamiento hasta llegar a desaparecer totalmente dentro de la misma hoja. Esta cuña evaporítica, desarrollada entre los materiales margocalizos de la unidad 7 antes descrita, se sigue bien por el corte de la carretera de Fustiñana y también por la base del escarpe oriental de la Plana de la Negra. En ambos casos se puede ver como los yesos pierden progresivamente desarrollo en beneficio de las arcillas y margas encajantes hasta llegar a desaparecer por completo.

Se trata de una unidad heterolítica, de unos 30 m de potencia, dominada por las arcillas grises y yesos, entre las que se individualizan bien dos tramos arcillosos rojos con niveles de arenisca (paleocanales).

Los yesos son exclusivamente nodulares, de origen secundario y textura alabastrina, formando capas de espesor decimétrico o bien como nódulos individuales, dispersos entre las arcillas grises o rojas indiferentemente. En la parte alta de la unidad es donde mejor se definen los yesos,

formando un continuo resalte de 1-2 m de potencia, con superposición de capas de yeso nodular separadas por finos niveles margocalizos y de calizas micríticas laminadas.

Entre las arcillas y margas grises se observan finas capas de calizas de caráceas de unos pocos centímetros de espesor. En Tauste, las arcillas grises situadas entre los dos niveles rojos muestran un buen desarrollo de nódulos de yeso, formando un nivel similar al que se localiza a techo de la unidad. Sin embargo, en la hoja de Fustiñana este carácter yesífero se pierde y sólo se encuentra el situado a techo de la unidad.

Los dos niveles rojos con paleocanales de arenisca que se reconocen en esta unidad tienen una gran continuidad lateral y se siguen bien en las hojas vecinas de Tauste y Remolinos. Un aspecto interesante a remarcar, es que en Tauste el nivel rojo más alto está constituido fundamentalmente por areniscas, llegándose a individualizar un paleocanal de hasta 4 m de potencia, con estratificación cruzada de gran escala y estructuras de acreción lateral.

Esta unidad yesífera corresponde al desarrollo de un margen de lago salino: llanura lutítica con crecimientos intersticiales de nódulos de anhidrita. Estas evaporitas marginales sólo se extienden por la mitad meridional de la hoja, pasando lateralmente a las facies margocarbonatadas de la unidad 7. La presencia de paleocanales de arenisca entre las evaporitas pone de manifiesto la expansión de facies fluviales sobre el sistema evaporítico al menos en dos episodios.

Esta unidad yesífera, como se ha dicho, se sigue bien hasta Remolinos, donde en subsuelo contiene el nivel de sales que se explota en las minas de esta localidad. Entre estas sales se halla el yacimiento de vertebrados de Remolinos (Llamas, 1959) que, con ciertas dudas, puede atribuirse al Aragoniense medio.

1.1.9. Arcillas rojas y grises con paleocanales de arenisca y capas de caliza. (9) (Aragoniense)

Esta unidad cartográfica constituye un continuo nivel de 45-50 m de potencia que rodea las planas de la Negra y del Farillo, formando la base del escarpe que constituye las calizas de la unidad 10 suprayacente. En la parte meridional de la hoja dominan los colores rojizos, pero hacia el norte las facies toman tonalidades más grisáceas y ocreas, y tienen un carácter menos detrítico (menor desarrollo de los paleocanales de arenisca).

Las series de Sancho Abarca (01), Los Estrechos (06) y El Portillo (02) cortan enteramente esta litofacies con unas potencias respectivamente de 47 m, 46 m y 43 m. Estas tres series, determinan un corte aproximadamente S-N de la unidad a través de la hoja, permitiendo ver cómo en este mismo sentido las entradas de paleocanales de arenisca disminuyen progresivamente.

En la serie de Sancho Abarca los paleocanales están bien representados en todos los niveles de la unidad (especialmente en su parte superior), con espesores que superan los 2 m. Entre los paleocanales también se desarrollan, de forma subordinada, algunas capas de caliza de caráceas, bioturbadas, y puntualmente pequeños nódulos de yeso.

En la serie de Los Estrechos la presencia de paleocanales es menor y localizada en los tramos arcillosos más rojizos. En los tramos más grisáceos se desarrollan finas capas de caliza. En esta serie y la anterior los contactos con las unidades supra- y subyacentes son claros al estar determinados respectivamente por la base de la unidad 10, que constituye una potente capa de calizas, y el contraste entre las margas grises muy puras del techo de la unidad 7 con las arcillas rojizas con areniscas de la base de la unidad que se describe.

En la serie del Portillo las características son parecidas a la serie de Los Estrechos, aunque en este caso sí tienen buen desarrollo las capas de caliza, con espesores de hasta 1 m. En esta serie el contacto con las unidades por encima y debajo es menos evidente debido al carácter transicional entre las mismas.

Estas facies representan el desarrollo de un importante sistema fluvial procedente del sur, que hacia el norte pasa lateralmente a una llanura lutítica distal con presencia de pequeños lagos carbonatados.

Sin más precisión esta unidad puede atribuirse al Aragoniense.

1.1.10. **Calizas, margas, arcillas y areniscas, de colores grises y rojizos. (10) (Aragoniense)**

Esta unidad, con una potencia de 35-40 m, constituye uno de los niveles más característicos de la región al formar la extensa superficie estructural que determina la Plana del Farillo y sus prolongaciones hacia el sur alrededor de la Plana de la Negra. Su afloramiento más septentrional lo constituye la cumbre de Tripa Azul, donde sólo están representados los niveles basales de la unidad, y el más meridional la falda del Fraile Alto. En la serie de Sancho Abarca (01) se muestra un corte completo y representativo de esta unidad con las siguientes características:

La unidad, con una potencia total de 35 m, se inicia con un potente nivel calizo de 5 m, constituido por una superposición de capas de calizas de caráceas, bioturbadas, con ostrácodos, que constituye un buen nivel guía en la parte central de la hoja (en algunos puntos ha sido motivo de explotación en cantera). Por encima le sigue una serie alternante de arcillas grises y rojas con capas de caliza que no llegan a superar 1 m de espesor. En la parte central se individualiza un tramo arcilloso rojizo más potente (9 m) entre el que se intercalan algunos niveles de areniscas y limolitas.

Hacia el norte el tramo calizo basal se adelgaza progresivamente, de tal manera que en la serie del Portillo (02) llega a tener un espesor de menos de 2 m. También en esta misma dirección las arcillas se hacen más grises y las areniscas desaparecen por completo. En conjunto la serie se hace más margosa, aunque las capas de caliza siguen estando bien representadas.

Hacia el sur el tramo detrítico intermedio toma mayor relevancia (corte del Fraile Alto) con un buen desarrollo de los paleocanales de arenisca. Las capas de calizas se hacen más delgadas, dando en conjunto a la unidad un aspecto más margoso, con límites graduales con las unidades inferior y superior.

Sedimentológicamente esta unidad representa una etapa de buen desarrollo de los medios lacustres carbonatados. Entre estos carbonatos se intercala alguna cuña de materiales fluviales de procedencia meridional. Hacia el margen sur de la hoja y también hacia el margen norte estas facies lacustres carbonatadas pierden protagonismo en beneficio de los materiales aluviales encajantes. Probablemente estos lagos carbonatados se desarrollaron en un estrecho corredor de orientación E-O abierto hacia Aragón, es decir hacia el depocentro evaporítico de la cuenca.

Sin más precisión esta unidad puede atribuirse al Aragoniense.

1.1.11. **Arcillas rojas con areniscas. (11) (Aragoniense)**

Entre las calizas que constituyen la Plana del Farillo y la Plana de la Negra se presenta una potente serie detrítica de tonos rojizos que en conjunto tiene un espesor de 70-80 m. Constituye una monótona serie arcillosa con algunos niveles de arenisca (paleocanales) que raramente superan 1 m de espesor. Estas areniscas están preferentemente desarrolladas en la base de la unidad. Hacia techo las arcillas se hacen gradualmente grisáceas y empiezan a intercalar capas de caliza, dando gradualmente paso a la unidad de calizas suprayacente.

Estos materiales corresponden al desarrollo de un sistema aluvial distal, principalmente caracterizado por una extensa llanura lutítica, cruzada por algunos canales de arenisca. Con toda probabilidad este sistema aluvial estuvo relacionado con el margen meridional de la Cuenca.

Estos materiales pueden atribuirse al Aragoniense por correspondencia estratigráfica con unidades de las hojas vecinas.

1.1.12. **Calizas y margas grises-ocres. (12) (Aragoniense)**

Se trata de la unidad que constituye la Plana de la Negra y la cumbre del Fraile Alto. Está compuesta por una potente serie de calizas bien estratificadas con niveles subordinados de margas de tonalidades grises y ocres, todo ello con un espesor de 40 m en la serie de Sancho Abarca (01). Esta serie constituye el mejor corte de la unidad, con las siguientes características:

En contacto neto sobre un tramo de arcillas grisáceas con capas de calizas que representan el techo de la unidad inferior, se levanta un potente tramo de calizas de 23 m de espesor constituido por una superposición de capas de calizas, de 0,5 a 2 m de espesor, muy ricas en fragmentos fósiles (caráceas, gasterópodos, ostrácodos, espinas de pez, etc) que llegan a formar finos niveles lumaquéllicos. Las capas son de aspecto masivo, con trazas de bioturbación a techo. En algunos niveles muestran estructuras de diverso tipo: ondulaciones, laminación, estratificación cruzada de pequeña escala, etc.

Por encima de este tramo monótono de calizas se desarrolla una serie alternante de margas y calizas que gradualmente pasa a la unidad superior. Entre estas margas destaca una capa de

calizas de 3 m, de estructura brechosa, con abundantes gasterópodos, que se presenta parcialmente silicificada.

Esta unidad representa el desarrollo de un importante sistema lacustre carbonatado, muy estable y de gran extensión areal (se sigue por buena parte de la región central aragonesa: Montes de Castejón, Alcubierre, etc.). Los lagos debieron tener una notable profundidad y estabilidad, tal como muestra la gran acumulación de restos de organismos descrita.

Estos materiales pueden atribuirse al Aragoniense sin más precisión.

1.1.13. **Margas grises-ocres y calizas (13) (Aragoniense)**

La parte meridional de la Plana de la Negra culmina con unos materiales margosos de tonos ocres que intercalan algunas capas de caliza (calcarenitas). En ningún caso puede llegarse a establecer el techo de esta unidad. En el resto de la Plana estas margas se encuentran recubiertas por depósitos cuaternarios (14) o erosionadas.

El corte más completo de estos materiales es el que constituye la cumbre sobre la que se encuentra el Santuario de Sancho Abarca (serie 01). En este corte, y con una potencia total de 35 m, se distinguen los siguientes tramos: 16 m de margas ocres de gran pureza; 11 m de margas ocres con capas calcareníticas de espesor decimétrico en las que se reconocen fragmentos de gasterópodos y otros tipos de microorganismos indiferenciados; una capa de calcarenitas de 2 m de potencia, con gasterópodos y trazas de bioturbación a techo, la base de este banco parece ser erosiva; y finalmente 6 m de margas ocres con capas calcareníticas.

Por consideraciones cartográficas regionales, se sabe que los metros basales de esta unidad, pasan lateralmente a facies de abanico aluvial distal, por lo que, en este sector, pueden interpretarse como facies de transición entre este ambiente deposicional mencionado y un ambiente lacustre-palustre. Por el contrario los tramos superiores, corresponden a facies lacustre-palustres, con cierta influencia fluvial, reflejada por el contenido en siliciclásticos que poseen las calizas.

Estos materiales pueden atribuirse al Aragoniense sin más precisión.

1.2. CUATERNARIO

La ausencia de dataciones de los materiales cuaternarios que aparecen en la hoja de Fustiñana, obliga a establecer una cronología aproximativa, basada únicamente en las relaciones espaciales entre los distintos depósitos.

Así, se han considerado como pleistocenos los sedimentos superficiales no relacionados con la dinámica actual y holocenos el resto de las formaciones.

1.2.1. Pleistoceno

1.2.1.1. *Glacis de la Plana de la Negra (14a) y costras calcáreas (14b)*. Plioceno-Pleistoceno

Sobre los relieves tabulares situados al noroeste de la hoja y delimitados al norte por los barrancos de Andarraguía y Jiménez y al sur por el de Tudela, se desarrollan localmente un conjunto de encostramientos calcáreos de aspecto pulverulento, con nódulos micríticos, y porosidad fenestral con rellenos de calcita.

El espesor es variable, oscilando entre 0,5 y 1 m. Es, sin embargo, en la estructura culminante constituida por la plataforma de La Plana de la Negra, donde mejor se puede reconocer y estudiar este tipo de depósitos. En esta superficie las costras están acompañadas de un depósito de glacis que recubre la mayor parte de la plataforma.

El glacis ha sido descrito por Gracia *et al.* (1985). Está compuesto por cuerpos detríticos canaliformes de arenisca con limos y arcillas verdes y amarillentas con hiladas de cantos. Tiene una potencia máxima de 6 m y lateralmente varía mucho de espesor, pudiendo desaparecer.

Sobre los depósitos del glacis, Gracia *et al.* (1985) describen en La Plana de la Negra un conjunto de costras calcáreas que cubren la superficie de la plataforma, apoyándose sobre el sustrato carbonatado neógeno, que alcanzan espesores de hasta 1,5 m. Estos mismos autores reconocen y describen dos perfiles tipo, localizados al noreste (perfil 1) y al noroeste (perfil 2) de la Plana:

El perfil 1 consta de muro a techo de roca soporte constituida por arcillas y margas, costra pulverulenta con cantos de arenisca y caliza, retrabajada y con nodulizaciones puntuales y, un tramo conformado por una costra nodulosa, con ooides y cantos, y finalmente un nivel superior compuesto por una costra acintada laminada, con algún tramo noduloso y pulverulento.

El perfil 2 contiene cinco tramos: el primero de ellos consta de la roca soporte constituida por caliza bioclástica retrabajada, el segundo es una costra pulverulenta con pasadas nodulosas compactas, el tercero se compone de costra laminada a discontinua, el cuarto es una costra nodulosa con algún canto y el quinto y último consta de una costra laminada y acintada, con huecos rellenos de ooides, cantos, etc.

Si bien es indudable la existencia de un nivel de alteración sobre los depósitos carbonatados miocenos de La Plana de la Negra, los efectos de la elevada antropización llevada a cabo sobre la misma (labores agrícolas) hacen que el conjunto de costras calcáreas sólo sea reconocible en puntos aislados de la plataforma, por lo que se ha considerado conveniente reducir su representación cartográfica a las zonas más representativas. Lo mismo sucede con el depósito de glacis, que ocupa una gran extensión, pero es difícil de reconocer debido a la intensa roturación a que se ha visto sometido.

Gracia *et al.* (1985) consideran una edad Plioceno "alto" para este conjunto. Por correlaciones con otros depósitos de este tipo presentes en hojas adyacentes también podría atribuirse una edad Plioceno-Pleistoceno.

1.2.1.2. *Cantos y gravas polimícticos. Arenas, limos y arcillas. Depósitos aluviales y fluviales del Piedemonte Pirenaico (15-16). Pleistoceno*

Por el significado geomorfológico (véase capítulo de geomorfología) y la extensión y espesor de estos depósitos cuaternarios, se ha considerado oportuno diferenciarlos de las demás terrazas presentes en la hoja.

Dichos depósitos se disponen de norte a sur y de oeste a este flanqueando la margen derecha del barranco de Valareña, en los interfluvios comprendidos entre dicho cauce y el río Riguel, entre este último y el Arba de Biel y finalmente, en el sector oriental de la hoja, aparece un pequeño depósito de este tipo situado entre el último río mencionado y el Barranco Español. Se extiende además por las vecinas hojas de Ejea de los Caballeros y Sádaba conformando el denominado Saso de Sádaba. La extensión regional de estos materiales supera los 100 km² (Gracia, 1985), con una potencia media de 3 a 4 m.

Su litología está compuesta por cantos y gravas polimícticos, con disposición en barras de canales de tipo anastomosado y frecuentes intercalaciones y lentejones de limos y arenas.

En la hoja de Fustiñana se distinguen dos niveles de depósitos de estas características: superior e inferior. El superior es un nivel residual, con bordes escarpados de hasta 5 m, y que o bien yace sobre los materiales miocenos, o descansa sobre el nivel inferior. Este último presenta bordes menos escarpados que el superior, llegando incluso a enlazar insensiblemente con el fondo de valle del río Riguel.

1.2.1.3. *Cantos y gravas polimícticos. Arenas y limos. Terrazas de los ríos Riguel y Arba de Biel (17-18-19). Pleistoceno*

Estos depósitos se encuentran en ambas márgenes de los ríos Riguel y Arba de Biel, constituyendo 3 niveles de terrazas con un espesor en conjunto de unos 10 m. Litológicamente son cantos y gravas bastante bien redondeadas y localmente cementadas de composición areniscosa, cuarcítica y calcárea y un tamaño medio comprendido entre 5 y 10 cm.

Dichos cantos adoptan por lo general disposiciones de barras de canal de ríos de tipo anastomosado, observándose además secuencias de tipo *point-bar*.

La edad de estos depósitos es Pleistoceno, sin más precisiones, al no existir datos que permitan datarlos con mayor exactitud.

1.2.1.4. *Cantos y gravas polimícticos. Arenas, limos y arcillas. Terraza del río Ebro. (20). Pleistoceno*

En ambos márgenes de la llanura de inundación del río Ebro destaca un nivel de terraza de unos 5 m de potencia, y situada a unos 25 m sobre el cauce activo del río.

La terraza está constituida principalmente por gravas poco cementadas y subredondeadas, heterométricas, con cantos de cuarcita y arenisca, lentejones de arenas con cantos dispersos, limos y arcillas muy esporádicos y encostramientos calcáreos muy locales.

No existe ninguna evidencia paleontológica para datar este nivel de terraza. Por criterios morfológicos puede situarse en un Pleistoceno "alto", coincidiendo cronológicamente con alguno de los niveles de los ríos Arba de Biel y Riguel.

1.2.1.5. *Cantos y gravas calcáreas. Arenas, limos y arcillas. Glacis. (21-22-23-24). Pleistoceno*

En este apartado se engloban un conjunto de glacis que descienden de los relieves culminantes de los sectores septentrional (Balcón de Pilatos, Planas del Carnero, Plana Alta, Loma de la Madera) y central (Planas del Farillo, la Negra y Sancho Abarca), recubriendo los materiales miocenos.

Estos depósitos presentan acumulaciones de gravas, cantos y bloques de calizas terciarias.

La diversidad de tamaños que presentan está en relación a la procedencia de dichos glacis. Así en el sector septentrional de la hoja, se reconocen gravas y cantos de centiles de unos 25 cm y modas de unos 10 cm.

En este sector los materiales calcáreos que componen los relieves culminantes son de espesor decimétrico y los desniveles topográficos máximos oscilan entre 100 y 150 m, por lo que no existen cantos ni bloques de grandes dimensiones.

Sin embargo, en la zona central de la hoja, las calizas miocenas del techo de la serie alcanzan potencias de varios metros y entre los escarpes estructurales y los valles de los ríos Arba de Biel y Riguel existen desniveles de hasta 350 m. Los niveles de glacis depositados al pie de estas plataformas poseen cantos y bloques heterométricos con centiles de hasta 1 m y tamaños medios de 10-15 cm.

En el sector septentrional y central de la hoja pueden establecerse dos secuencias cronológicas de glacis. Los más antiguos, con espesores de 3 y 5 m presentan por lo general un escarpe más o menos vertical producido por la acción de la incisión fluvial. Los más recientes llegan a alcanzar en algunos sectores hasta 10 m de potencia, estando en algunos casos disectados por la red de drenaje.

Hacia el borde suroriental de la hoja se encuentran dos glacis contiguos de varios kilómetros cuadrados de extensión (unidad 22) que enlazan con el nivel de terraza intermedio del río Arba de Biel. Las características morfológicas del tránsito glacis-terracea (escarpe prácticamente ausente entre ambos depósitos) hace pensar en una isocronía entre ambos. Estas consideraciones sugieren que este glacis puede encuadrarse cronológicamente entre los dos niveles de glacis anteriormente descritos.

Finalmente tanto hacia el este como al oeste de la localidad de Fustiñana se ha cartografiado un nivel de glacis transversal que recubre parte de la terraza del río Ebro.

Se han considerado como glacis subactuales de edad Plioceno superior en tránsito hacia el Holoceno.

1.2.2. Holoceno

1.2.2.1. *Cantos y gravas polimícticos. Arenas, limos y arcillas. Fondos de valle (25).* Holoceno

Este tipo de depósitos alcanza su mayor importancia en el sector oriental de la hoja (ríos Arba de Biel y Riguel), que generan fondos de valle de hasta 2 km de anchura en el sector más septentrional del río Riguel.

En el resto de la hoja se encuentra únicamente en el Barranco de Tudela y sus tributarios y en una serie de arroyos que enlazan con la llanura de inundación del río Ebro. Los ríos y barrancos actuales transportan cantos y gravas polimícticos, similares a los que componen las terrazas, depositando limos y arenas en las márgenes contiguas al canal.

1.2.2.2. *Gravas, arenas, limos y arcillas. Llanura de inundación del río Ebro (26).* Holoceno

El río Ebro se caracteriza por presentar un desarrollo fluvial meandriforme, con un curso fluvial divagante a través de la llanura aluvial.

Los depósitos de la llanura de inundación están constituidos principalmente por gravas y limos con cuerpos lenticulares de areniscas en las zonas más altas.

Dentro de la llanura aluvial se reconocen meandros abandonados que poseen por lo general sedimentos más finos que el resto de la llanura de inundación.

Finalmente se observan algunas barras de canal, que engloban los depósitos que se están sedimentando en la actualidad. Constan de gravas, arenas y limos.

1.2.2.3. *Limos, arcillas, arenas y gravas. Depósitos aluvial-coluvial y rellenos de "vales" (27). Limos, arenas y gravas. Conos de deyección (28). Gravas, cantos, arenas y arcillas. Coluviones (29). Arcillas y limos. Depósitos endorreicos (30).* Holoceno

El conjunto de depósitos superficiales actuales o subactuales presenta unas características similares en cuanto a composición litológica (limos, arcillas con arenas subordinadas y algún nivel de gravas) y génesis, estando ligados a procesos morfogenéticos de clima semiárido existentes en la hoja (arroyada y gravedad fundamentalmente). Los criterios de diferenciación entre los distintos tipos de depósitos señalados son, por tanto, fundamentalmente morfológicos.

2. TECTONICA

2.1. MARCO TECTONICO REGIONAL

La Hoja de Fustiñana (26-12) está situada en el sector centro-occidental de la Cuenca del Ebro.

La Cuenca del Ebro, en sentido tectónico, corresponde fundamentalmente a la cuenca de antepaís de la Cordillera Pirenaica. En superficie sus límites están marcados por esta cadena, la Cordillera Ibérica y los Catalánides, y en subsuelo su extensión es mayor, ya que está recubierta parcialmente por las unidades alóctonas del Pirineo y su prolongación occidental, la Cordillera Cantábrica, y por parte de la Cordillera Ibérica. De estos orógenos son los Pirineos los que han ejercido una mayor influencia en la génesis y evolución de la cuenca.

El sustrato de la Cuenca del Ebro está constituido por un zócalo paleozoico sobre el que se dispone una cobertera mesozoica incompleta, con predominio de los materiales triásicos y jurásicos, ocupando los materiales más modernos la posición más meridional. Los mapas de isobatas de la base del terciario (Riba *et al.*, 1983) muestran una inclinación general de la superficie superior del sustrato pre-cenozoico hacia el norte (Pirineos), llegando a alcanzar profundidades superiores a 3500 m. bajo el nivel del mar en su sector septentrional (más de 5000 m. en La Rioja alavesa), mientras la parte meridional se mantiene siempre a menos de 1000 m.

La edad del relleno sedimentario, muestra una pauta clara: los depósitos más antiguos se ubican en los sectores septentrional y oriental y los más modernos en las áreas meridionales y occidentales. Esto es un reflejo de la evolución de la deformación en el orógeno, hacia el antepaís y progresivamente más moderna de este a oeste.

El estudio de superficie de la Cuenca del Ebro muestra una estructura geológica muy sencilla, con capas subhorizontales o con buzamientos muy suaves en la mayor parte de la cuenca, excepción hecha de aquellas áreas próximas a las cadenas colindantes. Las deformaciones más abundantes en la cuenca está ligadas a fenómenos halocinéticos. Sin embargo, la cartografía de detalle pone de manifiesto la existencia de estructuras que, si bien no suelen ser deformaciones de gran intensidad, sí presentan cierta continuidad lateral que refleja la presencia de direcciones paralelas a las estructuras ibéricas a lo largo de prácticamente la totalidad de la cuenca, así como otras de orientación NNE a NE, más difíciles de detectar. Estas direcciones preferentes también se manifiestan en los lineamientos detectados con imágenes de satélite y parecen ser reflejo en superficie de estructuras mayores que en algunos casos llegan a afectar al sustrato, como ponen de relieve los hasta el momento no muy abundantes datos de subsuelo.

La hoja de Fustiñana se localiza en la parte central de la Depresión del Ebro, próxima a los pliegues navarros y algo más alejada del borde pirenaico. Los materiales que afloran son de edad miocena y presentan una disposición general subhorizontal en la mayor parte de la hoja, o con buzamientos muy pequeños.

2.2. DESCRIPCION DE LA ESTRUCTURA

La hoja de Fustiñana se sitúa en la zona de enlace entre la Ribera de Navarra, donde los materiales terciarios están extensamente plegados y la Ribera de Aragón, donde los materiales ter-

ciarios se caracterizan por una estructura tabular escasamente deformada.

En este contexto, la parte occidental de la hoja está influida aún por los pliegues navarros (cierre periclinal del anticlinal de Arguedas) lo que produce un levantamiento de la serie terciaria y un ligero basculamiento de la misma hacia el sur y sureste. Hacia el este la deformación se amortigua totalmente para dar paso a una disposición tabular que es la que en su mayor parte caracteriza la hoja. Así, los materiales más antiguos (Yesos de Los Arcos) que afloran en la hoja se sitúan en el extremo NO, y se sumergen hacia el sur y el este por debajo de los más modernos que tienen mayor extensión cartográfica.

Otro aspecto relevante que condiciona la estructura de la hoja es el buzamiento de los materiales terciarios en su mitad meridional, que aunque muy suave ($1-3^\circ$), supone una importante caída de cota de los materiales estratigráficamente más altos en pocos centenares de metros. Así, por ejemplo, las calizas que constituyen la Plana de la Negra, situadas a cotas de 600 m descienden en el límite sur de la hoja (Fraile Alto) por debajo de los 500 m. Igualmente, los niveles de margas y calizas que afloran en la Plana de La Bandera (a 400 m) descienden progresivamente hasta la llanura aluvial del Ebro (a 280 m). El eje a partir del cual los materiales pasan de estar horizontales a buzarse hacia el sur puede situarse alrededor del paralelo que pasa por la Plana de la Negra, aunque el carácter suave de esta estructura no permita definir con demasiada precisión ni su posición ni su orientación.

En el área de materiales terciarios con inclinación meridional están desarrolladas numerosas fracturas de dirección N a NNE que se reconocen bien a partir del estudio fotogeológico en esta parte de la hoja. Algunas de ellas se observan bien sobre el terreno en el corte que constituye la carretera de Tudela-Fustiñana-Tauste así como en los márgenes del barranco por el que transcurre la carretera de Tudela-Ejea de Los Caballeros. Se trata de un sistema de fallas de escaso desplazamiento que afectan principalmente a calizas y margas. Por lo general las fallas son normales aunque también pueden presentar, de forma subordinada, saltos en dirección.

Gracia y Simón (1986) realizan un análisis detallado de la fracturación a escala macro y microestructural y llegan a la conclusión de que el campo de fallas cartográficas de la Bárdena Negra ha sido generado por un estado de esfuerzos distensivo con σ_3 orientado en dirección E-O a ESE (distensión triaxial), responsable también de las microfallas normales asociadas a las fracturas mayores. Este estado de esfuerzos sucede a otro anterior, que en régimen comprensivo con σ_1 norte a NNE originaría las microestructuras con componente direccional. De este estudio se desprende asimismo que el basculamiento de las capas es netamente posterior a la etapa compresiva y ligeramente anterior o sincrónica en parte respecto a la etapa distensiva.

Otras estructuras presentes en la hoja, aunque no tienen escala cartográfica son los sistemas de diaclasas, que afectan a todos los términos de la serie miocena. Se disponen en general en dos familias perpendiculares entre sí, siendo sus orientaciones más frecuentes N-S y E-O. Este esquema de fracturación es similar al desarrollado en la mayor parte de la Depresión del Ebro y en la Cordillera Ibérica, y puede asimilarse a un régimen de distensión radial al que se superpone una compresión N-S (Simón, 1989). Este régimen tectónico es similar al campo de esfuerzos reciente.

En cuanto a la asignación de edades a estos episodios tectónicos, lo único que se puede afirmar con cierta seguridad es que las estructuras compresivas y distensivas mencionadas se originan con posterioridad al Aragoniense medio, sin mayores precisiones.

Los tránsitos de cada una de las etapas mencionadas a las siguientes se realizan de forma continua y paulatina. De hecho, todas estas etapas pueden enmarcarse en un único modelo tectónico: un campo de esfuerzos distensivo triaxial desarrollado durante el Mioceno, en el que una modificación transitoria de la relación entre los esfuerzos principales debido al incremento ocasional del eje de máxima compresión horizontal habría dado lugar al intercambio entre los ejes σ_1 y σ_2 , originando el tránsito entre las etapas principales compresiva y distensiva. Este campo evoluciona aproximadamente en el Mioceno superior hacia un régimen de distensión próxima a radial con σ_3 según la misma orientación que en la etapa triaxial, representando ya el campo de esfuerzos reciente.

2.3. EVOLUCION TECTONICA

Los datos existentes en el marco de la hoja no permiten establecer grandes precisiones sobre su evolución tectónica, que debe contemplarse en el contexto regional.

El relleno de la cuenca por depósitos molásicos fluviales y lacustres parece condicionado desde el Oligoceno (al menos) por la actividad tectónica de la Cadena Pirenaica, que origina una gran subsidencia relativa de la Cuenca del Ebro. Los datos de subsuelo (Riba *et al.*, 1983) indican que el eje del surco sedimentario sufre una traslación hacia el sur desde el Paleoceno al Mioceno superior. También se observa que durante el Eoceno y Oligoceno existen dos depocentros, uno en Navarra-La Rioja y otro en Cataluña, separadas por un alto relativo situado en Los Monegros. A partir del Mioceno el depocentro se sitúa en la zona de Los Monegros-Bajo Aragón al tiempo que cesa la sedimentación en la parte catalana. En la parte occidental la sedimentación continúa durante gran parte del Mioceno a favor de los surcos de Navarra y Rioja, prolongándose durante el Mioceno superior al menos en la Rioja Alta y la Bureba, cuyo Terciario más moderno llega a enlazar con el de la Cuenca del Duero.

La actividad tectónica pirenaica se desarrolla fundamentalmente durante el Eoceno inferior (emplazamiento de los mantos del Montsec, Cotiella y Pedraforca) y en el Oligoceno tiene lugar el mayor desplazamiento hacia el sur de la vertiente surpirenaica sobre el autóctono de la Cuenca del Ebro. La deformación migra hacia el oeste, de manera que en el Pirineo oriental y central los primeros indicios de deformaciones compresivas del Pirineo son de edad Cretácico superior, y desaparecen antes del Mioceno, mientras que en la zona occidental (Rioja) existen cabalgamientos cuya actividad se prolonga al menos hasta el Mioceno medio (Vindoboniense).

Aunque el orógeno pirenaico ha sido el que mayor incidencia ha tenido en la configuración y evolución de la Cuenca del Ebro, las demás cadenas periféricas han ejercido también cierta influencia sobre la misma, aunque quizás más restringida a los bordes. Las relaciones entre tectónica y sedimentación han permitido a Anadón *et al.* (1986) interpretar la estructura de los Catalánides y la Cuenca del Ebro como el resultado de una tectónica de desgarre convergente a lo largo de fallas sinistras escalonadas que afectan al basamento. Durante el Paleógeno el borde de la cuenca ha sufrido traslaciones, y la última posición del mismo está señalado por

una importante sedimentación conglomerática con una o varias discordancias progresivas. La edad de la deformación varía, siendo más reciente en el SO y más antigua en el NE (Anadón *et al.*, 1979). En lo que respecta al borde ibérico, también registra actividad tectónica con repercusiones en la cuenca, sobre todo detectada en los extremos NO (frente de las sierras de Cameros y Demanda) y SE (enlace con los Catalánides).

Durante el Mioceno y Plioceno tiene lugar una etapa de tectónica predominantemente extensional que afecta a la mayor parte del NE peninsular, aunque siguen existiendo indicios de actividad compresiva incluso hasta el Mioceno inferior en el sector central de la cuenca, y durante el Mioceno medio en la parte occidental. Este régimen tectónico originó en la parte oriental fosas distensivas frecuentemente controladas por fallas preexistentes que se superponen a las estructuras de plegamiento de los Catalánides (fosas del Vallés-Penedés, Camp de Tarragona, p. ej.). La influencia de esta tectónica extensional excede con frecuencia el dominio de las fosas, y se manifiesta en los depósitos terciarios del borde oriental de la cuenca mediante enjambres de fallas normales.

El régimen distensivo generalizado da lugar, no sólo en el borde oriental, sino en la totalidad de la cuenca y en las cadenas periféricas, a una fracturación y diaclasado (Simón, 1989) que ponen de manifiesto la presencia en profundidad de accidentes mayores, principalmente de orientación ibérica, que pueden haber condicionado la sedimentación y geometría de la cuenca a lo largo de su evolución (alto relativo de Los Monegros durante el Oligoceno).

2.4. NEOTECTÓNICA

Durante el Neógeno se desarrolló en la región una tectónica de tipo distensivo que se manifestó en la formación de fallas normales de distintas escalas y diaclasas que dibujan un patrón de fracturación bastante homogéneo. El campo de esfuerzos compatible con estas deformaciones es una distensión triaxial con σ_1 próximo a E-O que da lugar a un conjunto de fallas normales de orientación N-S. Este campo evoluciona aproximadamente en el Mioceno superior hacia un régimen de distensión próxima a radial con σ_3 según la misma orientación, representando ya el campo de esfuerzos neotectónico *s.s.* Dicho campo origina una familia principal de diaclasas en torno a N-S. El intercambio de σ_2 y σ_3 en la horizontal tras producirse dichas fracturas daría lugar a una familia secundaria en dirección E-O. En ciertas áreas las trayectorias de los esfuerzos principales fueron desviadas probablemente por efecto de fallas mayores de dirección ESE a SE. Indirectamente esta tectónica distensiva dio lugar a basculamientos suaves en los materiales terciarios.

Durante el Plioceno la Plana de la Negra es cubierta por un glacis de procedencia posiblemente pirenaica y cuya génesis estaría relacionada con movimientos verticales que dieron lugar al levantamiento relativo del Pirineo (Gracia, 1985).

En el Cuaternario continúa activo en alguna medida el proceso distensivo radial iniciado en el Mioceno, originando el basculamiento de un nivel de terraza en las proximidades de Fustiñana y dando lugar a fracturas de orientación N-S y ENE que afectan a los niveles medios de glacis que arrancan de la Plana de la Negra. Estas dos familias de fracturas han sido originadas de acuerdo con un proceso de intercambio de los ejes σ_2 y σ_3 en la horizontal.

3. GEOMORFOLOGIA

3.1. DESCRIPCION FISIOGRAFICA

El territorio abarcado por la hoja de Fustiñana se enmarca dentro de la unidad fisiográfica y geológica de la Depresión Terciaria del Ebro. En concreto, se sitúa en la unión de la subunidad del Somontano o Piedemonte Pirenaico (Alberto *et al.* 1984) con las plataformas o mesas calcáreas de la Bardena Negra (Loma de la Negra, Plana del Farillo, etc.) localizadas en el sector meridional de la hoja.

La precipitación anual oscila entre los 500 y 400 mm y la temperatura media es de unos 16°C. El clima corresponde a un dominio semiárido con inviernos fríos y húmedos y veranos cálidos y extremadamente secos.

Los relieves principales se disponen en la zona central de la hoja (Planas de la Negra y del Farillo, con 646 y 568 metros respectivamente). El río Ebro discurre por un amplio valle que atraviesa la zona suroccidental de la hoja. El sector oriental queda recorrido por tres valles principales: el Barranco de la Valareña y los valles de los ríos Riguel y Arba de Biel.

3.2. ANALISIS GEOMORFOLOGICO

3.2.1. Estudio morfoestructural

El contenido litológico, junto a la estructura geológica del sustrato, condicionan el relieve de la región, justificando así la distribución orográfica.

La situación de la hoja en el sector central de la Depresión del Ebro, en su vertiente pirenaica, junto a la disposición subhorizontal de los estratos (de ligero buzamiento hacia el sur-suroeste), inciden decisivamente sobre las características morfológicas del territorio.

El principal rasgo morfoestructural de la hoja lo constituyen los relieves tabulares o plataformas calcáreas desarrolladas principalmente sobre los niveles calcáreos. Se distinguen tres plataformas: la formada por la unidad cartográfica 5 y dos niveles que dan lugar a las planas más representativas de la hoja, las del Farillo (desarrollada sobre la unidad 10) y La Negra (sobre la U. 12), ambas de extensión kilométrica y ligerísimamente basculadas hacia el SSO.

Tanto al norte del Barranco de Tudela (unidad 3) como al este de Sancho Abarca (unidad 9), el Terciario está formado por depósitos fluviales compuestos por niveles de paleocanales de arenisca intercalados entre paquetes arcillosos. Sin embargo, no llegan a individualizarse como relieves residuales con entidad morfológica propia y suficiente extensión cartográfica. Así pues, el predominio de los sedimentos arcillosos sobre las areniscas, condiciona que los depósitos superficiales controlen el relieve en las áreas adyacentes a las grandes plataformas estructurales.

Al SO de la hoja aparece un conjunto de fracturas de dirección NNE-SSO (Gracia y Simón 1986) que alcanzan su máximo desarrollo al este de la localidad de Fustiñana, formando un sistema de estructuras *horst-graben*. Se han representado dos de ellas con marcado control morfológico.

Al oeste de Sancho Abarca se han cartografiado además otras dos líneas de fractura paralelas y de juego inverso.

Finalmente, son abundantes a lo largo y ancho de la hoja los cerros cónicos, que alcanzan alturas de algunas decenas de metros en determinados casos.

3.2.2. Estudio del modelado

3.2.2.1. Laderas

Las laderas configuran una unidad fundamental del paisaje.

Solapando los fondos de valle se depositan coluviones de poca continuidad y pequeño espesor. Las vertientes regularizadas flanquean las grandes plataformas estructurales, es decir, Las Planas del Farillo y La Negra.

La ladera oriental de La Negra y Sancho Abarca se encuentra recubierta de grandes bloques calcáreos que en algunos puntos llegan a alcanzar e incluso superar el metro de diámetro.

Al oeste del barranco de La Virgen y hacia la base del cantil de la plana de Sancho Abarca se reconoce una cicatriz de deslizamiento que puede seguirse unos 2 km en la horizontal.

Finalmente, hacia la base de la plana situada al norte de Los Estrechos, sobre la vertiente pueden observarse un conjunto de morfologías del tipo facetas triangulares.

3.2.2.2. Formas fluviales

Los ríos de procedencia pirenaica (Arba de Biel y Riguel) son un elemento "extrazonal" sin relación con las condiciones climáticas de la hoja (Alberto *et al.* 1984), mucho más áridas que las existentes en la zona pirenaica. Dicha diferencia climática está mucho más marcada en los cursos fluviales procedentes de la zona axial pirenaica (Gállego, Aragón, Cinca) que en el presente caso, debido a que las precipitaciones medias anuales en la cabecera del río Arba de Biel oscilan entre los 800 y 900 mm.

En los ríos Arba de Biel y Riguel, a su paso por la hoja de Fustiñana, pueden reconocerse tres niveles de terraza que sumados al nivel de acumulación fluvial (o fondo de valle) y el fondo actual (fuertemente incidido por el Arba de Biel en el sector meridional de la hoja) configuran cinco estadios reconocibles del desarrollo secuencial de los valles de ambos ríos.

En la margen derecha del río Riguel se reconocen dos niveles de terraza situados a +12 y +15 m sobre el cauce actual del río, localizándose en la población de El Sabinar y sus alrededores.

En las confluencias del Arba de Biel y Riguel se observan los depósitos de terraza más potentes y de mayor extensión, que continúan en la vecina hoja de Ejea de los Caballeros. El nivel

inferior situado a +7 m se encuadra en la margen izquierda del Arba, entre los parajes de Añesa y Valchica. La terraza intermedia a +12 m se sitúa en el entorno de La Juncaruela pudiendo seguirse bien su escarpe a lo largo del camino rural que desde El Sabinar bordea el cauce del Riguel; asimismo se reconoce en las inmediaciones de Valchica. La terraza superior a +15 m alcanza sus mayores dimensiones al este de la Estanca de Escorón solapándose con el nivel situado a +12 m.

Hacia el sur de la hoja sólo está presente el nivel intermedio, de reducidas dimensiones, y dispuesto principalmente entre glacis y depósitos de fondo de valle.

En el sector suroccidental de la hoja y en ambas márgenes del Ebro, existe una terraza cuyo escarpe se encuentra a 25-27 m sobre el cauce actual del río.

En la vecina hoja de Tudela se han diferenciado los depósitos situados en ambas márgenes, asociándose a un sistema glacis-terracea el nivel de la ribera izquierda y a una terraza el de la derecha.

La margen izquierda, en la hoja de Fustiñana, se ha cartografiado como terraza parcialmente recubierta de depósitos de glacis subactual, asociándose por consideraciones morfológicas al nivel fluvial de la ribera derecha.

A su paso por la hoja de Fustiñana el río Ebro ha generado una extensa llanura de inundación, altamente antropizada, en la que se reconocen antiguos cauces mendriformes abandonados y barras de canal.

La dinámica de los ríos Arba de Biel y Riguel no llega a crear una llanura de inundación en sentido estricto, por lo que se ha creído oportuno asociar sus depósitos a rellenos de fondo de valle.

Los procesos fluviales restantes ofrecen características diferentes correspondientes a un sistema de erosión semiárido (Rodríguez, 1982 y 1986), predominando los fenómenos de erosión intensa (cárcavas, *piping*, incisión lineal, arroyada, aristas en interfluvios) y rápida sedimentación por pérdida de la capacidad de transporte (rellenos de *vales*, depósitos aluvial-coluvial, conos de deyección de torrentes, depósitos de arroyada y fondos de ramblas).

3.2.2.3. *Formas endorreicas*

Si bien el endorreísmo es un fenómeno frecuente en el valle del Ebro, tiene poca entidad en la hoja de Fustiñana.

Las áreas endorreicas más representativas se sitúan al norte de la hoja, en las proximidades del Barranco de la Valareña.

3.2.2.4. *Formas antrópicas*

Las labores agrícolas y ganaderas son las principales actividades de la región, aunque como es lógico no se reflejan en la cartografía geomorfológica.

Si se ha representado, sin embargo, el Canal de las Cinco Villas, que atraviesa la hoja en sentido NO-SE y N-S.

3.2.2.5. *Formas poligénicas*

En este apartado se engloban aquellas formas y depósitos cuya génesis es debida a la acción simultánea o sucesiva de varios factores y procesos.

Las alteraciones con formación de costras calcáreas o caliches se han señalado en la Plana de la Negra y en algunos relieves tabulares del noroeste de la hoja.

Existen otras cementaciones locales por carbonatación (Gracia, 1985) en los niveles de los depósitos de Piedemonte Pirenaico, con seriación de facies constante, de muro a techo.

Los depósitos de Piedemonte Pirenaico se sitúan en el cuadrante nororiental de la hoja. Constituye una acumulación de características bien diferenciable del resto de los materiales cuaternarios de génesis fluvial. Alastrue (1953) ya cita su existencia y Gracia (1985) los asocia a "sistemas de glacis-terrazza". Este depósito pertenece a un medio fluvial de canales de tipo anastomosado que cubre extensas áreas de la depresión Somontana, creando una amplia planicie deposicional. En la hoja de Fustiñana se ha reservado la terminología de "glacis" para caracterizar aquellas formas y depósitos de carácter "zonal" (en oposición a los materiales de piedemonte pirenaico, marcadamente "extrazonales").

Los glacis que cubren una buena parte de la región ocupada por la hoja se han generado sobre los materiales más lábiles de la zona (facies margo-arcillosas), y conectan los relieves calcáreas situados al noroeste y en el sector central con los valles del Arba, Riguel, Barrancos de la Valareña y Andarragüa.

Las *val* o *vales* son valles rellenos de material detrítico de origen aluvial-coluvial por removilización de los suelos de las laderas (Zuidam, 1976); otros autores (Llamas, 1962) suponen un origen eólico para estos materiales o bien una combinación de procesos eólico-vertiente-fluvial (Alberto *et al.* 1984). El resultado final de este relleno son valles de morfología muy suave con un relleno de carácter limoso muy apto para el cultivo y en bastantes casos fuertemente incidido por la red de drenaje actual (por lo que hay que suponer que el equilibrio acumulación-evacuación de estas *vales* es precario o bien que la acumulación no es el proceso activo en la actualidad).

Cabe señalar que el uso tradicional de las *vales* como zona de cultivo, mediante aterrazamientos y bancales, ha tenido forzosamente que influir en los procesos de retención del relleno. La distinción entre rellenos de fondo de *vales* y depósitos aluvial-coluvial es meramente morfológica y está establecida en función de la pendiente longitudinal del *vale*, su jerarquía en la red de drenaje y la importancia mayor o menor del acarreo longitudinal de material.

3.2.3. Formaciones superficiales

La selección de los distintos depósitos superficiales representados, se ha confeccionado de acuerdo a tres criterios fundamentales: la composición litológica, su aspecto deposicional y el significado geomorfológico regional y a escala de la hoja. Las características litológicas y sedimentológicas de los depósitos superficiales, fueron expuestas en el capítulo de estratigrafía del Cuaternario y las formas de relieve deposicional han sido mencionadas en el capítulo anterior, por lo que en este sólo se tratarán brevemente algunos aspectos genéticos de las formaciones superficiales no expuestos en los capítulos precedentes.

La formación de un depósito de superficie queda condicionada por la generación de un gradiente originador de un flujo con la suficiente capacidad de transporte y el posterior depósito, o bien por un cambio en el régimen de un flujo ya establecido, con episodios de mayor y menor descarga. Cada ciclo sedimentario origina los respectivos niveles de glaciares y terrazas, que aparecen como formas de acumulación sincrónicas y cuyos procesos genéticos se encuentran relacionados por causas comunes (Alberto *et al.*, 1984).

En los casos de las terrazas y los niveles de los piedemontes pirenaicos Gracia (1985), considera que el origen de la alternancia acumulativa y las etapas de erosión y encajamiento, se sitúa en sucesivas fluctuaciones climáticas. La existencia, por otro lado, de un relieve enérgico y un nivel de base cercano (río o barranco), favorece la creación de altos gradientes que generan flujos de agua, cuya capacidad es función de la pluviometría y por tanto de los cambios climáticos regionales.

3.4. EVOLUCION DINAMICA

Finalizadas las fases de depósito miocenas, el establecimiento de la red fluvial del Ebro, como sistema de transporte y erosión exorreica hacia el Mediterráneo, produciendo un importante vaciado erosional, es el primer evento a considerar en la evolución del relieve regional. El paso de régimen deposicional endorreico a erosión exorreica debe producirse en el tránsito Mioceno-Plioceno (Riba *et al.*, 1983) o quizá algo antes, aunque debido a la falta de dataciones en las facies terminales miocenas es difícil establecer claramente el comienzo de este momento, que debió estar acompañado de un levantamiento generalizado de la Cuenca del Ebro.

Zuidam (1976), señala la existencia de una superficie de erosión sobre las calizas de La Muela (a una cota de 620 m aproximadamente) al sur de Zaragoza. En la hoja de Fustiñana los niveles encostrados de la Plana de la Negra se sitúan entre 620-640 m.

Este nivel de encostramiento ("g", en el mapa geomorfológico) podría representar una primera superficie de erosión comparable a la señalada por Zuidam (1976) al sur del Ebro. Este autor supone una edad fini-pliocena o comienzos del Pleistoceno para esta superficie.

La siguiente etapa dinámica se caracteriza por el desarrollo de un intenso aluvionamiento de la Depresión Presomontana de las Cinco Villas con la generación del extenso depósito del Saso de Sádaba. En esta etapa se reconocen dos fases o impulsos representados en la cartografía ("h" e "i" en el mapa geomorfológico).

En el estadio siguiente se produce el encajamiento de la red fluvial en los ríos Arba de Biel y Riguel, con la formación de los niveles de terrazas de los mismos y de los sistemas de glaciares que enlazan los relieves cimeros con los valles y barrancos actuales. En el río Ebro se instala un nivel de terraza difícil de correlacionar con las de los ríos Arba y Riguel.

En una etapa relativamente reciente el paisaje adquiere unas características muy similares a las actuales. Los fondos de valle de los ríos Arba de Biel y Riguel se sitúan en su posición actual. La red secundaria excava los principales valles, generándose depresiones en golfo en las que se instalan glaciares subactuales.

Finalmente, se produce un nuevo encajamiento de la red a la que se corresponde la etapa actual del relieve.

3.5. MORFOLOGIA ACTUAL-SUBACTUAL Y TENDENCIAS FUTURAS

El Ebro a su paso por la hoja de Fustiñana, funciona como un río de canal meandriforme, con gran capacidad de transporte por arrastre de carga de fondo, formando barras de canal. La llanura de inundación es extensa dando lugar a una amplia vega en la que la actividad agrícola y el trasvase de aguas al vecino canal de Tauste influirá forzosamente en su dinámica fluvial.

El río Riguel discurre al N de la hoja por un amplio fondo de valle, que progresivamente se va estrechando hacia su confluencia con el Arba de Biel. Este último, por el contrario, aumenta la amplitud de su fondo de valle a medida que discurre por la hoja, adaptándose a un cauce meandriforme de sinuosidad media y encajándose hacia el sur.

El acarreamiento, la formación de barrancos con marcada incisión lineal y la erosión por sub-fusión o *piping* son procesos regionales ligados a la acción torrencial propia de zonas de clima semiárido, presentes en todo el ámbito de la hoja.

La pérdida de vegetación y el uso del suelo, son en general, las variables fundamentales que controlarán la evolución futura de estos procesos.

Los rellenos de fondo de las *vales* están en muchos casos sujetos a procesos de *piping* y abanarramiento, lo que indica un proceso de erosión intensa de los mismos o bien un estado de equilibrio acumulación- evacuación precario, en el que pequeñas variaciones zonales pueden modificar la dinámica de las mencionadas *vales*.

4. HISTORIA GEOLOGICA

El conjunto de materiales terciarios que constituyen la hoja de Fustiñana corresponden al relleno sedimentario continental de la Cuenca del Ebro durante el Mioceno inferior-medio. Se trata de sedimentos detríticos finos, carbonatos y evaporitas, que fueron depositados en la parte central de la cuenca formando una continua serie próxima a los 400 m de espesor.

Los sedimentos detríticos fueron transportados hacia el centro de la cuenca a través de sistemas aluviales y fluviales procedentes del Pirineo y de la Cordillera Ibérica, estando representadas en este área sus facies distales. Los carbonatos y evaporitas proceden del desarrollo de sistemas lacustres alimentados igualmente por las aguas de drenaje de ambas cordilleras.

El depósito de carbonatos o evaporitas en estos medios lacustres estuvo condicionado principalmente por la relación entre la tasa de aportes de agua a la cuenca y la tasa de evaporación en la misma, estando esta relación directamente condicionada por el clima.

Las etapas lacustres carbonatadas corresponden a épocas húmedas, con periódicas precipitaciones sobre la cuenca y relieves periféricos que permitieron mantener un nivel relativamente permanente de aportes de agua a la cuenca. Estos aportes fueron principalmente de forma superficial a través de flujos confinados (cursos fluviales) o difusos (escorrentía).

Las etapas lacustres evaporíticas corresponden a épocas secas con muy escasa precipitación, durante las cuales la alimentación de aguas a la cuenca se realizó principalmente por la lenta descarga de los acuíferos periféricos. Estas aguas subterráneas, cargadas en sales procedentes de la disolución de los macizos rocosos (principalmente evaporitas mesozoicas), dieron lugar por evaporación a la precipitación de sulfatos y cloruros en la zona más deprimida de la cuenca (núcleo endorreico de la misma). En su mayor parte, estas evaporitas precipitaron intersticialmente entre el sedimento blando de la zona central de la cuenca, en forma de nódulos de anhidrita o cristales lenticulares de yeso, formando una ancha orla alrededor del lago salino (sistema *playa-lake*). En el lago salino las evaporitas precipitaron como facies laminadas de yeso y sal (halita).

Estas facies lacustres carbonatadas y evaporíticas se encajan entre materiales aluviales distales que volumétricamente constituyen el material sedimentario más importante en esta zona central de la cuenca. Se trata principalmente de arcillas y margas acompañadas por areniscas (paleocanales fluviales y niveles asociados) y finas capas de caliza (facies palustres de zona de desbordamiento entre canales). También muestran en ocasiones niveles dispersos de nódulos y micronódulos de yeso que ponen de manifiesto la proximidad de zonas evaporíticas mejor desarrolladas.

Todos estos materiales sedimentarios se presentan distribuidos en la hoja con una estratigrafía que refleja la siguiente evolución sedimentaria:

Durante el depósito de la unidad 1 (y probablemente también de la unidad 2) se mantiene una paleogeografía ligada a la evolución sedimentaria del ciclo oligoceno de la cuenca navarro-riojana. Los Yesos de Los Arcos constituyen un extenso sistema lacustre evaporítico (del orden de 100 km de extensión) que aflora de forma prácticamente continua desde el límite entre Aragón y Navarra hasta las proximidades de Logroño. Los materiales que se observan en la hoja

de Fustiñana constituyen sus facies marginales, estando en ese momento la zona central lacustre localizada en el sector comprendido entre las localidades de Logroño, Los Arcos, Lerín y Calahorra, con una importante acumulación de yeso, anhidrita, halita y glauberita (200 m de espesor). Por el norte y el sur estas evaporitas estuvieron limitadas por sistemas aluviales y fluviales bien desarrollados en Navarra (Fm. Ujué) y La Rioja (Fm. Arnedo). En Aragón la sedimentación estuvo dominada por depósitos aluviales de procedencia pirenaica, con drenaje hacia el sur y suroeste (Fm. Uncastillo).

Desde la unidad 2 hasta la 13 el Terciario de la hoja de Fustiñana refleja una paleogeografía dominada por la sedimentación lacustre evaporítica y carbonatada en el sector aragonés de la cuenca. La presencia de los yacimientos de vertebrados de Tudela (Crusafont *et al.*, 1966) permite datar el cambio paleogeográfico en el Ageniense superior, relacionado con la etapa de compresión que afecta a la Ribera de Navarra durante este período.

Dentro de este nuevo contexto paleogeográfico los materiales terciarios de la hoja de Fustiñana están igualmente compuestos por facies aluviales distales y lacustres marginales, aunque en esta ocasión relacionadas con sistemas sedimentarios centrados en Aragón (Fm. Zaragoza). Se distinguen, al menos, tres estadios lacustres carbonatados bien desarrollados, que se corresponden con las unidades cartográficas 5, 10 y 12, así como un cuarto estadio lacustre de carácter evaporítico. Entre estos materiales lacustres se intercalan facies aluviales, fluviales y palustres de características más o menos variables según las zonas. Las unidades lacustres se extienden ampliamente hacia el este por toda la zona central aragonesa llegando a presentar en hojas vecinas mucho mayor desarrollo.

Las unidades detríticas representan estadios de reactivación de los sistemas aluviales-fluviales, con expansión hacia centro de cuenca, llegando a invadir zonas anteriormente de dominio lacustre. Estas expansiones se reflejan bien en las zonas lacustres marginales, como es el caso de la hoja de Fustiñana, mientras que en zonas lacustres centrales (hojas de Remolinos, Alagón, etc.) la sedimentación lacustre se muestra más continua al estar menos influenciada por los materiales aluviales.

No resulta difícil distinguir el origen de estos materiales pues los de procedencia ibérica tienen característicos colores rojos mientras que los pirenaicos son de tonos ocre y en ellos con frecuencia están reciclados materiales terciarios marinos del Prepirineo. También el desarrollo de los paleocanales de arenisca y el sentido de acunamiento de estas intercalaciones reflejan bien la procedencia. Es de señalar que los materiales rojos, de procedencia Ibérica se acunían hacia el norte, hecho remarcable en la hoja de Ejea de los Caballeros.

Se distinguen tres principales episodios de actividad de los sistemas deposicionales detríticos en la hoja de Fustiñana, representados por las unidades 2-3, 9 y 11. Por sus características, estos materiales proceden respectivamente de los Pirineos-Ibérica, Ibérica e Ibérica. Dentro de las unidades lacustres se intercalan otros pequeños tramos detríticos que corresponden a ciclos de rango inferior de carácter local.

Las unidades 4, 6-7 y 13 corresponden a situaciones sedimentarias intermedias entre los episodios lacustres y fluviales bien desarrollados.

En resumen, se pueden distinguir seis episodios detrítico-lacustres diferentes en el depósito de los materiales miocenos que constituyen la hoja de Fustiñana:

El *primero* de ellos (unidad cartográfica 1) se corresponde con el final del ciclo sedimentario oligoceno de la cuenca navarro-riojana y está constituido por materiales evaporíticos de margen de lago salino.

El *segundo* está representado por el desarrollo de un sistema aluvial en la base (unidades 2 y 3) que a través de una unidad intermedia de carácter aluvial-palustre (4) culmina con el desarrollo de un sistema lacustre carbonatado de gran extensión en la cuenca (5).

El *tercer* episodio es de carácter aluvial-evaporítico (unidades 6, 7 y 8), representando las facies marginales del sistema lacustre evaporítico que da lugar a las sales de Remolinos.

Los episodios *cuarto*, *quinto* y *sexto*, son parecidos, constituidos por el desarrollo de un sistema aluvial-fluvial en la base (respectivamente unidades 9, 11 y base de 13) que gradualmente pasa a un sistema lacustre carbonatado a techo (unidades 10, 12 y techo de 13).

A partir del Aragoniense la región se ve sometida a un régimen tectónico distensivo, bajo el cual se produce el campo de fallas existente al S y al O de la Bárdena Negra (Gracia y Simón, 1986).

En el tránsito Mioceno-Plioceno se produce un fuerte cambio en las condiciones de sedimentación de la cuenca al transformarse en una cuenca exorreica que desagua hacia el Mediterráneo a través de la Cordillera Costero Catalana. Desde este momento y durante todo el Cuaternario se produce una alternancia de etapas denudativas y acumulativas en la región, relacionadas con cambios climáticos, y con claro predominio global de las primeras.

El intenso proceso de vaciado erosivo configura la morfología actual del área mediante un modelado de erosión diferencial. Las etapas acumulativas permiten la formación de sucesivos niveles de glaciares y terrazas asociados a los cauces fluviales principales.

Regionalmente hay constancia de una moderada actividad neotectónica, relacionada principalmente con la halocinesis de las formaciones evaporítico-salinas del substrato.

5. GEOLOGIA ECONOMICA

5.1. RECURSOS MINERALES

Se han inventariado tan sólo 3 indicios de rocas industriales, lo que se explica por la escasa población y débil demanda existentes.

5.1.1. Minerales no metálicos

Durante la ejecución del Sondeo petrolífero Ejea-1 (1963) en las proximidades de Santa Anastasia (IDYDA) se cortó entre 2.070 y 2.300 m de profundidad una potente formación salina de sales sódicas y anhidrita peteneciente con mucha probabilidad a la Fm. Barbastro del Eoceno superior.

5.1.2. Rocas industriales

Aunque probablemente han existido pequeñas explotaciones de arcilla para ladrillos y tejas, así como para la extracción de piedra de sillería, actualmente no quedan rastros ni referencias de las mismas.

Tan sólo en las cercanías de Fustiñana se tienen referencias de dos explotaciones de grava de actividad intermitente, sobre las terrazas baja y alta del Ebro.

La situada sobre la terraza alta, la mayor con mucho, explota una potencia de 2 m sobre 60 m de frente, extrayendo una grava poligénica y heterométrica con buena disposición de tamaños. Las reservas son bajas, pero el impacto ambiental es alto, afectando a terrenos urbanizables.

La cantera situada en la terraza baja es de pequeñas dimensiones, y aunque las reservas son altas, al afectar a terrenos de vega de alto valor, tiene un futuro problemático.

5.2. HIDROGEOLOGIA

Dentro de la hoja de Fustiñana se encuentran dos afloramientos del sistema acuífero número 62 - Aluvial del Ebro y Afluentes: En la parte suroccidental aparece una pequeña parte del aluvial y terrazas del propio río Ebro, y en la parte oriental se encuentran los sedimentos asociados a los ríos Arba de Biel y su afluente el Riguel (ver esquema hidrogeológico regional).

Otros materiales que presentan buenas características acuíferas son los depósitos cuaternarios que forman los sasos de Sádaba y de Miraflores. Con menor importancia se pueden considerar el resto de materiales recientes, como fondos de barrancos, glacia, etc., y los bancos fundamentalmente calcáreos que aparecen dentro de la Fm. Tudela (unidades 5, 10 y 12). Los materiales restantes son de litología predominantemente arcillosa y por tanto se consideran impermeables.

| NUMERO (*) | COOR. UTM X Y Z | Litología | Municipio y Provincia | Sustancia | Depósito | Notas |
|-------------------|---------------------------------------|---|----------------------------------|------------------------|----------------------------|--|
| 1 | X: 644.575 Y: 4664.840 Z: 332 m | Fm. Barbastro del Eoceno superior : Margas yesíferas y con sales | Ejea de los Caballeros (Z) | Sal sódica y Anhidrita | Sedimentario (evaporítico) | Fundamentalmente una potente formación de margas salinas cortadas entre los metros 2.070 y 2.300 por el sondeo petrolífero EJEA-1 (1963) |
| 2 | X: 625.230 Y: 4653.900 Z: 258 m | Arenas y gravas poligénicas de aluvial (Q) (de terraza alta) | Fustiñana (Na) | Aridos naturales | Sedimentario (aluvial) | Gravera pequeña e intermitente sobre 2 m de potencia. (Pocas reservas potenciales) |
| 3 | X: 624.215 Y: 4652.925 Z: 240 m | Arenas y gravas poligénicas de aluvial (Q) (de terraza alta) | Fustiñana (Na) | Aridos naturales | Sedimentario (aluvial) | Gravera mediana e intermitente sobre 2 m de potencia en pleno aluvial de la vega (Potencial alto) |

Los estudios hidrogeológicos más relevantes que se han efectuado en el área han sido elaborados por el Gobierno de Navarra dentro del "Proyecto Hidrogeológico" de toda la Comunidad (1976-1983) y por la D.G.A.-I.T.G.E., dentro de su estudio sobre los "Recursos Hidráulicos Totales de la Cuenca del Río Arba" (1985).

El inventario de puntos de agua dentro del área consta de un total de 21 puntos, cuya distribución por octantes y naturaleza figura en el cuadro adjunto:

| Octante | Naturaleza (*) Núm. de puntos | | | | Total |
|-------------------|----------------------------------|----------|----------|----------|-----------|
| | M | P | S | O | |
| 1 | | 1 | | | 1 |
| 2 | 1 | | | | 1 |
| 3 | | | | | |
| 4 | 2 | 4 | | 3 | 9 |
| 5 | 3 | 4 | 1 | | 8 |
| 6 | | | | | |
| 7 | 1 | | | | 1 |
| 8 | 1 | | | | 1 |
| Total hoja | 8 | 9 | 1 | 3 | 21 |

* Naturaleza:

M Manantial

P Pozo

S Sondeo

O Pozo-galería, galería, zanja

La mayoría de ellos no se utilizan en la actualidad. El uso más frecuente entre los restantes es el agrícola.

5.2.1. Climatología

El I.N. de Meteorología dispone de cinco estaciones distribuidas en la hoja, situadas preferentemente en la mitad oriental de la misma. En la mayoría se recogen datos de temperatura y precipitación.

Las estaciones con un registro más prolongado son las nº 9333 —Santa Anastasia y 9335E— Tauste (Sancho Abarca), que funcionan intermitentemente desde finales de la década de los sesenta.

La mayoría de la hoja está incluida en la Comarca de Las Bardenas Reales, bien conocida por sus características de aridez. La precipitación anual media es de 400 mm (ver mapa de isoyetas medias), siendo los periodos más lluviosos la primavera y el otoño. La distribución es bas-

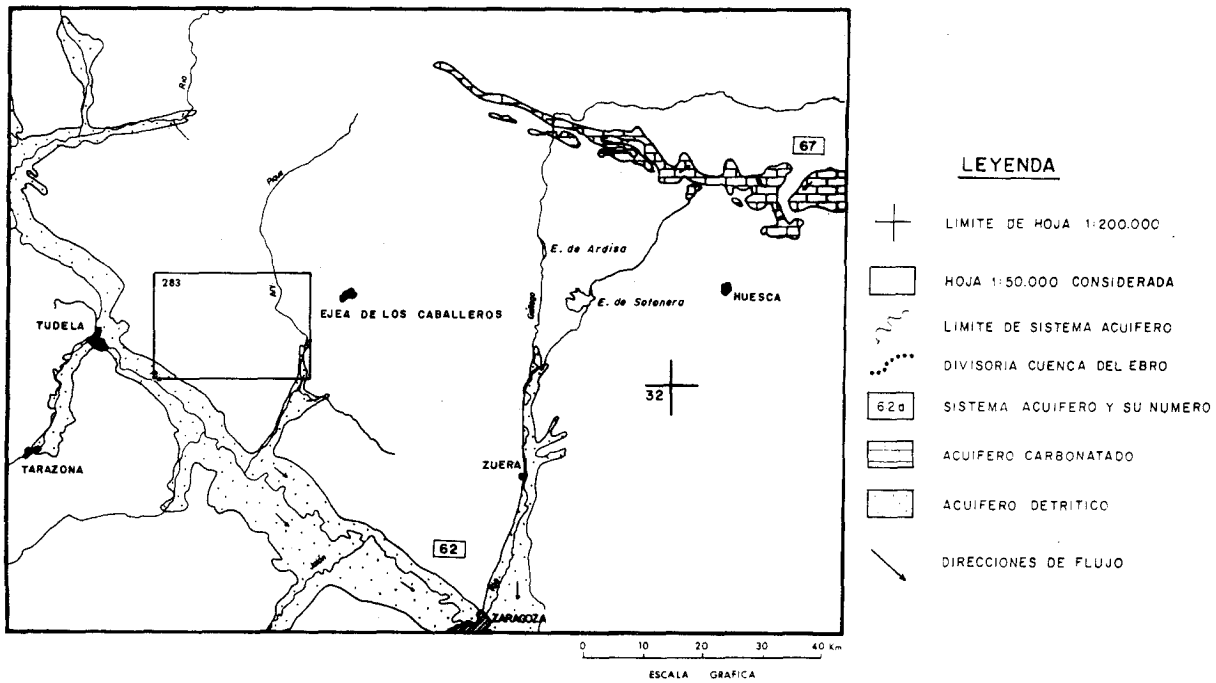


Fig. 1. Esquema hidrogeológico regional

tante irregular, son frecuentes las lluvias de gran intensidad y corta duración, seguidas por períodos secos prolongados.

La temperatura media anual es del orden de 16°C, coincidiendo el mes más frío con enero (6.1°C) y el más caluroso con julio (26.5°C).

Según la clasificación climática de J. Papadakis, la hoja de Fustiñana tiene un clima Mediterráneo Continental Templado, con invierno Avena Fresco, verano Arroz y régimen de humedad Mediterráneo Seco.

5.2.2. **Hidrología**

El río que presenta mayor recorrido dentro de la hoja es el Riguel, que se une con el Arba de Biel en la parte suroriental de la hoja. Además de estos ríos, y del pequeño tramo del río Ebro que aparece en el extremo SO, el resto de cursos de agua presentes son de carácter efímero. La circulación en ellos responde a los episodios de lluvia.

Según la clasificación decimal de ríos del M.O.P.U. se pueden distinguir varias cuencas, todas ellas incluidas en la Cuenca del Ebro.

Coincidiendo prácticamente con el límite provincial entre Navarra y Zaragoza, se encuentra la principal divisoria, que separa a los barrancos afluentes directos del Ebro en su parte izquierda, y a la derecha, los afluentes al río Arba. En esta parte se diferencian también los afluentes del Riguel de los tributarios al Arba de Biel.

Con respecto a la infraestructura hidráulica existente, las principales obras son el Canal de Cinco Villas, el Canal de Tauste y el Canal Imperial de Aragón, que delimitan las zonas de regadío de la parte suroccidental (vega del Ebro), y oriental.

En la zona situada en la margen izquierda del río Arba, existen una serie de "estancas" acondicionadas antropicamente donde se acumula el agua y que corresponden a zonas originalmente endorreicas.

5.2.3. **Características hidrogeológicas**

Se pueden distinguir dos tipos de formaciones acuíferas, atendiendo a su edad y litología característica: acuíferos terciarios carbonatados y acuíferos detríticos cuaternarios.

5.2.3.1. *Acuíferos terciarios*

En este apartado se incluyen aquellos niveles miocenos (5, 10 y 12 de la cartografía geológica) que presentan abundancia de niveles calizos. Cada uno de ellos puede considerarse como un nivel acuífero a escala local dada la impermeabilidad del resto de materiales terciarios entre los que están interstratificados.

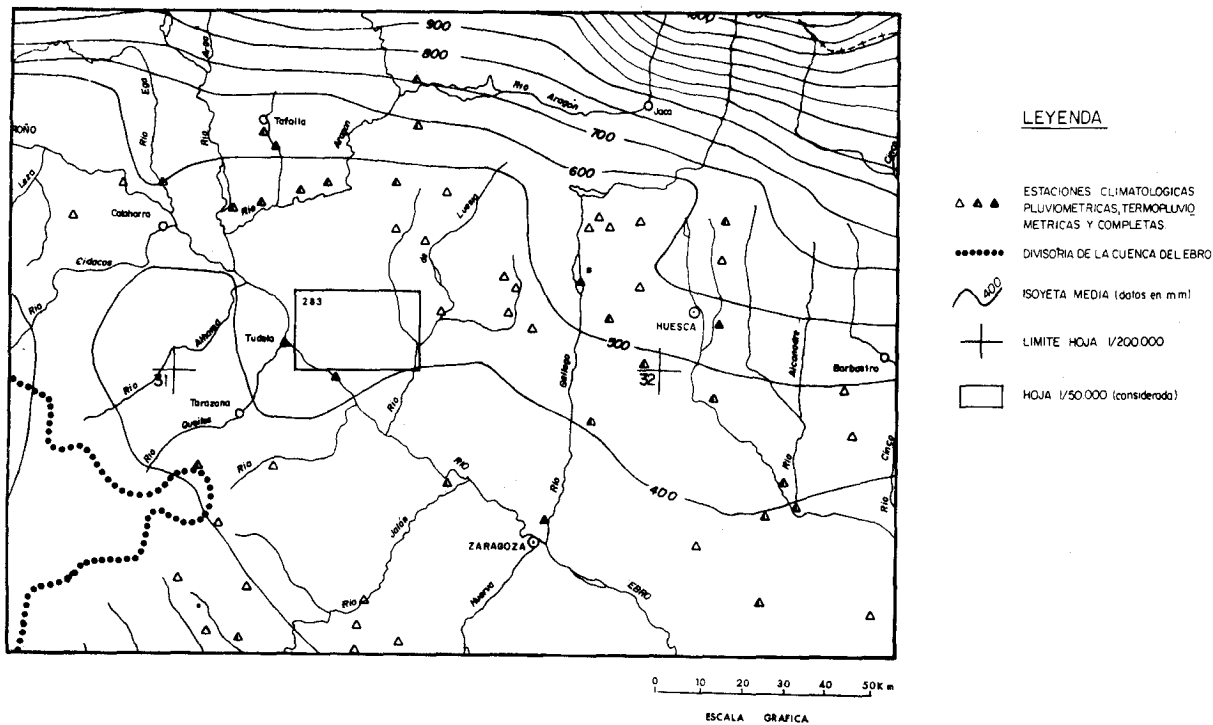


Fig. 2. Mapa regional de isoyetas medias

Son series de calizas y margas alternantes, que forman extensas superficies estructurales. En general, el porcentaje de margas se incrementa hacia el N. Su disposición subhorizontal condiciona que la permeabilidad en sentido vertical sea mucho menor que en la horizontal, ya que los niveles margosos actúan como barrera al paso del agua. En cualquier caso, no es muy elevada y depende del grado de fracturación que presenten las calizas en cada sector.

La recarga se realiza por infiltración de la lluvia que cae sobre el acuífero. Al tratarse de niveles prácticamente colgados, la descarga se produce por descargas laterales en el contacto con el impermeable subyacente, como es el caso del manantial 261270001. No se puede descartar la posibilidad de que parte de las aguas infiltradas pasen a niveles inferiores y lleguen a formar parte de sistemas de flujo a escala regional en un medio de baja permeabilidad.

La explotación de estos acuíferos es nula. Los recursos son muy pequeños debido a la escasez de la recarga, y las reservas inexistentes debido al desagüe que se produce en el nivel de base de los acuíferos.

5.2.3.2. *Acuíferos cuaternarios*

Son sin duda las formaciones más interesantes con vistas a la utilización de aguas subterráneas.

Dentro de éstos, los más importantes corresponden a los sedimentos asociados a los ríos: aluviales y terrazas del Riguel, Arba de Biel, y Ebro. También presentan interés los depósitos de piedemonte pirenaico que forman los sasos de Sádaba y Miraflores (extremo NE de la hoja).

Mucho menos importantes son los depósitos asociados a fondos de barrancos, glaciares, etc., debido a su menor extensión superficial y a su litología, que incluye mayor proporción de fracción fina que los anteriores.

5.2.3.2.1. *Acuíferos aluviales*

Los de mayor extensión dentro de la hoja son los correspondientes a los ríos Riguel y Arba de Biel. La llanura aluvial y los depósitos de terrazas de ambos ríos están formados por cantos y gravas dispuestos en forma de barras, con intercalaciones de materiales arenosos y limosos. Estas formaciones aluviales constituyen acuíferos permeables por porosidad intergranular y de carácter libre. Las terrazas están frecuentemente colgadas sobre el aluvial y sus potencias oscilan entre 3 y 8 m.

Los niveles presentan oscilaciones cíclicas estacionales, registrándose notables ascensos en las épocas de regadío motivados por infiltración de excedentes. Los ríos en la zona considerada son efluentes, drenando al acuífero.

La recarga procede de la infiltración de la precipitación directa sobre el acuífero, así como de los retornos de regadío. También pueden recibir aportes provenientes de los materiales terciarios.

La descarga se produce hacia los ríos que son los principales ejes de drenaje. Otras salidas se producen a través de zanjas drenantes, y manantiales que se sitúan en el borde de las terrazas.

La utilización de los recursos subterráneos de estas formaciones es muy pequeña debido a la existencia de una densa red de distribución de aguas superficiales derivada del canal de Cinco Villas.

Aunque el aluvial del Ebro constituye un acuífero muy importante, su presencia dentro de la hoja es muy reducida. Los depósitos corresponden a una amplia llanura de inundación; sólo está presente un nivel de terrazas, colgado sobre ésta. El inventario correspondiente a este acuífero dentro de la hoja es de 4 pozos, 1 sondeo y 3 manantiales. Su litología y funcionamiento son similares a los descritos anteriormente.

5.2.3.2.2. Sasos de Sádaba y Miraflores

El más importante de ambos es el Saso de Sádaba, que se extiende entre los ríos Arba de Luesia y Riguel. Está formado por cantos y gravas polimícticas dispuestas en barras, con lentejones de limos y arenas. Su potencia oscila entre 30 m al N del Canal de las Bárdenas y menos de 2 m en los bordes. El espesor saturado medio es de 7 m.

El otro saso se extiende en el área entre la carretera de Valareña a Sádaba y el río Riguel. Su espesor está comprendido entre 3 y 7 m y la litología es similar a la descrita para el anterior.

Forman acuíferos libres con permeabilidad por porosidad. Se encuentran en su mayor parte colgados, sin conexión con el acuífero aluvial del Riguel. La transmisividad de estos depósitos es del orden de 50 m²/día. Los gradientes medios son de 0.5 a 0.9 %, con una dirección principal de flujo hacia el S, principalmente hacia el río.

La alimentación del acuífero proviene de la infiltración de la precipitación y de los retornos de regadío. La descarga principal se realiza a través de zanjas de drenaje.

El inventario existente para estas formaciones es de 5 pozos, 2 galerías y 1 manantial. Se utilizan fundamentalmente en ganadería y agricultura. Los volúmenes extraídos no son importantes.

5.2.4. Hidrogeoquímica

En la actualidad no se poseen datos suficientemente representativos de las formaciones terciarias. Son esperables mineralizaciones moderadas debido a que la baja permeabilidad de los materiales condiciona un mayor tiempo de contacto con el medio y por tanto un incremento en la concentración.

Los análisis de las aguas del aluvial del Ebro muestran facies mixtas, con mineralizaciones

medias, y altos contenidos en nitratos, que superan los 50 mg/l, con un valor puntual de 245 mg/l para el punto 261250006. En el resto de aluviales y sasos la tipología ha de ser similar.

5.3. CARACTERISTICAS GEOTECNICAS GENERALES

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

En el cuadro resumen adjunto, se han diferenciado las características geotécnicas más importantes de los materiales de la hoja.

AREA I: Comprende los depósitos terciarios con predominio de facies detríticas y margoso-carbonatadas, que se extienden por todo el ámbito de la hoja.

Dentro de este área podemos distinguir las siguientes zonas:

Zona I₁: a ella pertenecen las unidades cartográficas (3), (4), (7), (9), (11) y (13). Está constituida por arcillas y margas con intercalaciones de areniscas y calizas. La disposición es subhorizontal, con suaves pendientes hacia el sur.

La ripabilidad de los paquetes arcillosos y margosos es elevada, pero la de los tramos de areniscas y calizas es muy heterogénea. En conjunto se puede clasificar como ripable.

Posee un mal drenaje profundo, debido a la impermeabilidad de las arcillas y margas.

Cuantitativamente presenta una capacidad de carga moderada entre media y baja.

El riesgo más relevante es la fácil erosionabilidad de los materiales.

Zona I₂: a ella pertenecen las unidades cartográficas (5), (10), (12) y (14 b). Está formada por calizas y margas, en disposición subhorizontal, con suaves pendientes hacia el sur. Puede presentar problemas de ripabilidad en los niveles de caliza, cuando éstos alcanzan espesores superiores a 1 m.

Se prevén posibles desprendimientos de bloques de caliza por descalce de los niveles margosos subyacentes.

La permeabilidad diferencial entre calizas y margas puede ser causa de pequeños manantiales en los niveles superiores. Buen drenaje superficial.

AREA II: Comprende los depósitos terciarios en cuya composición figuran niveles yesíferos. Se extienden por la esquina NO de la hoja y en el zona sur de la Plana de la Negra.

Dentro de este área se distingue la zona:

Zona II₁: formada por las unidades cartográficas (1), (2), (6) y (8). La constituyen unas arcillas y margas con yesos. También presentan capas de areniscas y calizas intercaladas. Las arcillas y margas se presentan en forma masiva.

Este grupo puede presentar problemas importantes, derivados de la escasa permeabilidad de las arcillas y margas, unido al mal drenaje superficial por la horizontalidad del terreno.

También se prevén problemas de agresividad a los hormigones derivados de la presencia de yesos. Posibles aterramientos.

Formación ripable.

AREA III: Comprende los depósitos cuaternarios, formados por limos, arenas y gravas.

Se han distinguido las siguientes zonas:

Zona III₁: está formada por las unidades cartográficas: (27), (28) y (29), que constituyen los depósitos de coluviones, conos de deyección, depósitos aluvial-coluviales y rellenos de *vale*.

Los materiales que la componen son fundamentalmente arcillas y limos con arenas y gravas.

Carecen de diferenciaciones apreciables en su masa, estando los cantos dispersos irregularmente. Dan lugar a laderas tendidas o áreas llanas.

Es un conjunto ripable, de capacidad portante media baja, con mal drenaje en profundidad y fácilmente encharcable en superficie.

Zona III₂: está formada por la unidades cartográficas: (14a) (15), (16), (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23), (24), (25) y (26), que constituyen los depósitos de terraza, glacis y Piedemonte Pirenaico. Los materiales que la componen son gravas, bien rodadas por lo general, de diversos tamaños y naturaleza poligénica, si bien destacan las calcáreas. Eventualmente presentan cementación. También están presentes, arenas, limos y arcillas en mayor o menor proporción.

Esta formación es perfectamente ripable y los materiales son aptos para la obtención de gravas y préstamos.

Los taludes se mantienen prácticamente verticales.

En general, son materiales permeables donde el drenaje se efectúa por infiltración.

Zona III₃: está formada por la unidad cartográfica (30), compuesta por arcillas y limos, depositados en zonas endorreicas. Se trata de un depósito poco potente de materiales de sedimentación endorreica, en disposición horizontal.

Representa una zona inundable debido a su baja permeabilidad y mal drenaje superficial.

CUADRO RESUMEN DE LAS CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS MATERIALES DE LA HOJA DE FUSTIÑANA

| AREAS | ZONAS | UNIDADES CARTOGRAFICAS | LITOLOGIA | ESTRUCTURA | CARACTERISTICAS GEOTECNICAS |
|-------|------------------|---------------------------------|--|---|--|
| I | I ₁ | (3), (4), (7), (9), (11) y (13) | Arcillas y margas con intercalaciones de areniscas y calizas | Disposición subhorizontal. Suaves pendientes hacia el sur | Formación ripable. Mal drenaje profundo. Capacidad de carga moderada. Fácil erosionabilidad de los materiales |
| | I ₂ | (5), (10) (12) y (14b) | Calizas y margas. Caliche | Disposición subhorizontal | Problemas de ripabilidad en los niveles potentes de caliza. Posibles desprendimientos de bloques de caliza por descalce. La permeabilidad diferencial entre calizas y margas puede ser causa de pequeños manantiales. Buen drenaje superficial |
| II | II ₁ | (1), (2), (6) y (8) | Arcillas y margas con yesos | Masiva | Puede presentar problemas importantes la escasa permeabilidad de las arcillas y margas. Mal drenaje superficial por la horizontalidad del terreno. Problemas de agresividad a los hormigones. Posibles aterramientos. Formación ripable |
| III | III ₁ | (27), (28) y (29) | Arcillas y limos con arenas y gravas | Coluviales, conos de deyección y depósitos aluvial-coluvial | Laderas tendidas o áreas llanas. Conjunto ripable. Capacidad portante media-baja. Mal drenaje en profundidad y fácilmente encharcable en superficie |
| | III ₂ | Desde (15) a (26) y (14a) | Gravas con arenas, limos y arcillas | Terrazas, glacis y piedemonte pirenaico | Formación ripable. Taludes verticales. Materiales permeables |
| | III ₃ | (30) | Arenas y limos | Zonas endorreicas | Zonas inundables |

6. PATRIMONIO NATURAL GEOLOGICO. PUNTOS DE INTERES GEOLOGICO (P.I.G.)

La hoja de Fustiñana se sitúa en el sector central o aragonés de la cuenca del Ebro. Está compuesta por sedimentos continentales de edad miocena. Presenta además un alto recubrimiento de depósitos cuaternarios (glacis y terrazas) sobre todo en la mitad N y E (la hoja está atravesada por el río Arba de Biel y el Ebro en el extremo suroccidental).

La morfología de la hoja de Fustiñana, variada, viene determinada por las diferentes litologías de los depósitos que la conforman y los procesos dominantes que actúan sobre los mismos, sobre todo erosivos. La hoja está caracterizada por el relieve tabular de la Plana de la Negra que alcanza los 646 m de altura. En torno al mismo se desarrollan una serie de zonas deprimidas y elevadas en forma de escalones, alternando en función del depósito de materiales blandos y duros que conforman la zona.

En la parte meridional de la hoja cabe destacar un sistema de fallas normales de dirección N-S que afectan a la mayor parte de los depósitos terciarios.

La selección de PIG viene condicionada por todas estas características geológicas, siempre incluyendo un componente subjetivo aceptado por todos los técnicos que han contribuido a la realización de la hoja.

De esta selección se han obtenido un total de 8 PIG, principalmente de interés estratigráfico, se propone una utilización científico-didáctica y se les atribuye una importancia local.

Posteriormente se eligieron 3 de los 8 iniciales por considerar que eran los que mejor representaban las características geológicas y los procesos que actúan en la hoja.

FIG. 1: Corte del Balcón de Pilatos. Se incluye por considerarse uno de los cortes más continuos de los materiales terciarios que afloran en la hoja. Abarca 4 unidades litológicas principalmente constituidas por arcillas de tonalidades rojizas y ocres.

FIG. 2: Glacis de Socorrada. Excelente ejemplo de depósito cuaternario, constituido por cantos de tamaños variables. En este punto se puede apreciar además el escarpe del glacis y su enlace con la terraza media del río Arba en este sector.

FIG. 3: Talud de la carretera de Fustiñana a Cabanillas. Espectacular afloramiento de fallas normales conjugadas, de dirección aproximada N-S y salto métrico, afectando a materiales miocenos.

7. BIBLIOGRAFIA

- ALASTRUE, E. (1953): El Cuaternario de la comarca de Ejea de los Caballeros. *Not. y Com. Inst. Geol. y Min. de España*, nº 32, pp. 69-84.
- ALASTRUE, E. (1954): Las formaciones del Terciario continental entre Ejea de los Caballeros y Tauste (Zaragoza). *Not. y Com. IGME*, 33, pp 71-80.
- ALASTRUE, E. (1958): Nota sobre la estratigrafía de las Bârdenas en su extremo meridional. *Not. y Com. IGME*, 50, pp 229-240.
- ALBERTO, F.; GUTIÉRREZ, M.; IBAÑEZ, M. J.; MACHIN, J.; PEÑA, J. L.; POCOVÍ, A. y RODRIGUEZ, 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. Zaragoza*, 217 p., 2 mapas.
- ANADÓN, P.; COLOMBO, F.; ESTEBAN, M.; MARZO, M.; ROBLES, S.; SANTANACH, P. y SOLE SUGRAÑÉS, L. (1979): Evolución tectonoestratigráfica de Los Catalánides. *Acta Geol. Hisp.*, t. 14, Homenaje a Lluís Solé Sabarís, pp. 242-270, 2 mapas.
- ANADÓN, P.; CABRERA, LI.; COLOMBO, F.; MARZO, M. y RIBA, O. (1986): Sintectonic intraformational unconformities in alluvial fan deposits, eastern Ebro basin margins (NE Spain). En: P.H. Allen y P. Homewood (eds.), *Foreland basins. Spec. Pub., Int. Ass. Sedim.* 8, pp. 259-271.
- BIRNBAUM, S. J. (1976): *Non-marine evaporite and carbonate deposition, Ebro Basin, Spain*. Tesis Doctoral, Univ. Cambridge. 148 p. (inédita).
- BOMER, B. (1978).-*Le bassin de l'Ebre et ses bordures montagneuses: étude geomorphologique*. Tesis doctoral. Université de Caen, 3 vol., 662 p.
- CABRERA, LI. (1983): *Estratigrafía y sedimentología de las formaciones lacustres del tránsito Oligo-Mioceno del SE de la Cuenca del Ebro*. Tesis doctoral, Univ. de Barcelona. 443 p., (inédita)
- CASTIELLA, J.; SOLE, J.; DEL VALLE, J. (1978): Mapa Geológico de Navarra, E. 1:200.000, *Diputación Foral de Navarra*.
- CRUSAFONT, M.; TRUYOLS, J.; RIBA, O. (1966): Contribución al conocimiento de la estratigrafía del Terciario continental de Navarra y La Rioja. *Not. y Com. IGME*, 90, pp 53-76.
- CUENCA, G. (1985): Los roedores (Mammalia) del Mioceno inferior de Autol (La Rioja). *Inst. Est. Riojanos, Ciencias de la Tierra*, 2, pp 1-96.
- GRACIA, F. J. (1985a): Las formaciones aluviales de la depresión presomontana de Cinco Villas. *Bol. Geol. y Min.* 96-6. pp. 596-606.
- GRACIA, F. J. (1985b): *Geomorfología de las Bârdenas orientales*. Tesis de Licenciatura, Universidad de Zaragoza, 172 pp.

- GRACIA, F. J. (1986): Dinámica erosiva del piping: un ejemplo en la Depresión del Ebro. *Cuad. Inv. Geográfica*, Logroño, t. 12, pp 11-24.
- GRACIA, F. J.; GUTIÉRREZ ELORZA, M. y SANCHO MARCÉN, C. (1985): Las etapas terminales del Neógeno-Cuaternario de la Depresión del Ebro en la Plana Negra (provs. de Zaragoza y Navarra). Consideraciones morfogenéticas. *Actas de la I Reuniao do Quaternario Iberico*. Lisboa, vol. II, pp. 367-379.
- GRACIA, F. J. y SIMÓN, J. L. (1986): El campo de fallas miocenas de la Bárdena Negra (prov. de Navarra y Zaragoza). *Bol. Geol. y Min.*, T. XCVII-VI, pp. 693-703.
- HERNÁNDEZ PACHECO, F. (1949): Las Bárdenas Reales. *Principe de Viana*, Pamplona, 10, pp 427-440.
- LLAMAS, R. (1959): Las minas de sal gema de Remolinos (Zaragoza) y la geología de sus proximidades. *Bol. R. Soc. Esp. de Hist. Nat.*, LVII, pp. 33-49.
- LLAMAS, R. (1962): Estudio geológico-geotécnico de los terrenos yesíferos de la cuenca del Ebro y los problemas que plantean en los canales. *Bol. Serv. Geol. Obras Públicas*, Madrid, 12, 192 p.
- MANDADO, J. (1987): *Litofacias yesíferas del sector aragonés de la Cuenca Terciaria del Ebro. Petrogénesis y Geoquímica*. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza. 443 p.
- MUÑOZ, A. (1985): *Estratigrafía y sedimentología del Terciario de la Depresión de Arnedo (prov. de La Rioja)*. Tesis de Licenciatura. Universidad de Zaragoza, 140 p.(Inédita).
- MUÑOZ, A. (1991): *Análisis tectosedimentario del Terciario del sector occidental de la Cuenca del Ebro (Comunidad de La Rioja)*. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza. II tomos, 496 p. (Inédita).
- ORTI, F.; SALVANY, J. M.; ROSELL, L.; PUEYO, J. J. y INGLÉS, M. (1986): Evaporitas antiguas (Navarra) y actuales (Los Monegros) de la Cuenca del Ebro. *XI Congreso Español de Sedimentología. Guía de las Excursiones*. Barcelona.
- PÉREZ, A.; MUÑOZ, A.; PARDO, G.; VILLENA, J. y ARENAS, C. (1988): Las unidades tectosedimentarias del Neógeno del bordé Ibérico de la Depresión del Ebro (sector central). En: A. Pérez, A. Muñoz y J.A. Sánchez (eds.), *Sistemas lacustres neógenos del margen ibérico de la Cuenca del Ebro, Guía de Campo. III Reunión Grupo Especial de Trabajo, PICG 219*, pp. 7-20.
- 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, 525 p.
- PUIGDEFABREGAS, C.; MUÑOZ, J. A. y MARZO, M. (1986): Thrust belt development in the eastern Pyrenees and related depositional sequences in the southern foreland basins. En: P.H. Allen y P. Homewood (eds.), *Foreland basins. Spec. Pub., Int. Ass. Sedim.* 8, pp. 319-336.

- QUIRANTES, J. (1978): Estudio sedimentológico y estratigráfico del Terciario continental de Los Monegros. Tesis Doctoral. Univ. de Granada. *Institución "Fernando El Católico" (CSIC). Diputación Provincial de Zaragoza*, 200 p.
- RIBA, O. (1955): Sur le type de sédimentation du Tertiaire continental de la partie Ouest du Bassin de l'Èbre. *Geol. Rundschau*, t. 43, 2, pp. 363-371.
- RIBA, O. (1964): Estructura sedimentaria del Terciario continental de la Depresión del Ebro en su parte riojana y navarra. *XX Congreso Geográfico Internacional*, Londres, pp. 127-138.
- RIBA, O.; REGUANT, S. y VILLENA, J. (1983): Ensayo de síntesis estratigráfica y evolutiva de la cuenca del Ebro. *Libro Jubilar J.M^o Ríos. Geología de España*, IGME, T. 2, pp. 131-159.
- RODRIGUEZ, J. (1982): Geomorfología de las Sierras Exteriores Oscenses y su piedemonte. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza. *Colección de Estudios Altoaragoneses*, 4, 172 p.
- RODRIGUEZ, J. (1986): Deformaciones recientes en los depósitos cuaternarios de la Puebla de Alfandén (Zaragoza). *Boletín Geológico y Minero*, T. XCVII-1, pp 3-8.
- SALVANY, J. M. (1989): *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 p. (Inédita).
- SALVANY, J. M. (1989): Ciclos y megaciclos evaporíticos en las formaciones Falces y Lerín, Oligoceno-Mioceno inferior de la Cuenca del Ebro (Navarra-La Rioja). *XII Congreso Español de Sedimentología, Bilbao. Comunicaciones*, pp. 83-86.
- SIMÓN, J. L. (1989): Late Cenozoic stress field and fracturing in the Iberian Chain and Ebro Basin (Spain). *Jour. Struct. Geol.*, 11 n^o 3, pp. 285-294.
- SOLER, M. y PUIGDEFABREGAS, C. (1970): Líneas generales de la geología del Alto Aragón Occidental. *Pirineos*, 96, pp. 5-20.
- SOLÉ SABARIS, L. (1954): Sobre la estratigrafía de las Bardenas y los límites del Oligoceno y del Mioceno en el sector occidental de la Depresión del Ebro. *Rev. Real Soc. Hist. Nat.*, t. extr. homenaje a E. Hernandez Pacheco, pp 637-657.
- ZUIDAM, R. A. VAN (1976): Geomorphological development of the Zaragoza region, Spain. *Int. Inst. of Aerial Survey and Earth Sc. (ITC)*, Enschede, 211 p.