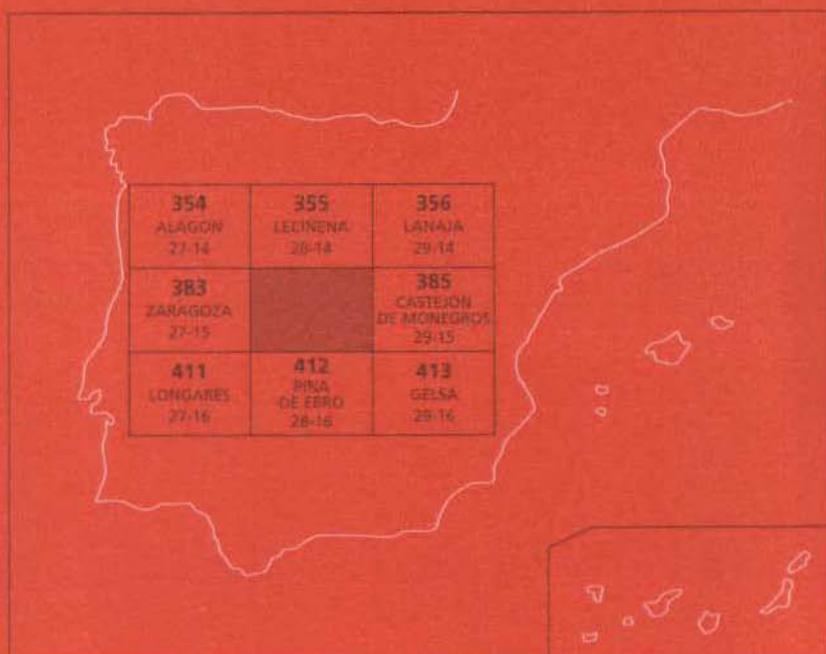




MAPA GEOLOGICO DE ESPAÑA

Escala 1 : 50.000

Segunda serie - Primera edición



FUENTES DE EBRO

MAPA GEOLOGICO DE ESPAÑA

Escala 1:50.000

SE INCLUYE MAPA GEOMORFOLOGICO A LA MISMA ESCALA

FUENTES DE EBRO

© INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA

Ríos Rosas, 23. 28003 MADRID

Depósito legal: M-2.668-1998

ISBN: 84-7840-325-6

NIPO: 241-96-007-6

Fotocomposición: Rugoma, S.A

Impresión: Máster Gráfico

El Mapa Geológico y Memoria explicativa de Fuentes de Ebro (384) han sido realizados durante 1990 y 1991 por la Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras S.A., habiendo intervenido los siguientes autores:

Mapa Geológico: L.A. Marqués, J.A. Santos, J.M. Esnaola y C. Gil (ENADIMSA)

Mapa Geomorfológico: J.M. Esnaola y L.A. Marqués (ENADIMSA)

Memoria*:

Estratigrafía: L.A. Marqués, J.A. Santos, J.M. Esnaola y C. Gil (ENADIMSA)

Geomorfología: J.M. Esnaola y L.A. Marqués (ENADIMSA)

Tectónica y neotectónica: L.A. Marqués (ENADIMSA)

Hidrogeología: E. Crespo y G. Martín (ENADIMSA)

Recursos minerales: L.A. Marqués (ENADIMSA)

Han colaborado en aspectos parciales:

Petrografía: J.A. Santos (ENADIMSA)

Micropaleontología: J. Ramírez del Pozo

Sedimentología: J.A. Santos (ENADIMSA)

Dirección del Estudio: A. Barnolas y A. Robador (ITGE)

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

* Modificada y puesta al día por A. Robador y A. Barnolas (ITGE)

INDICE

	<i>Páginas</i>
0. INTRODUCCION	7
1. ESTRATIGRAFIA	9
1.1. Terciario	10
1.1.1. Unidad arcillosa basal	10
1.1.1.1. Arcillas rojas con esporádicos niveles de yeso nodular (1)	10
1.1.1.2. Arcillas rojas con niveles centimétricos de yesos y calizas (2)..	11
1.1.2. Unidad evaporítica	12
1.1.2.1. Yesos tabulares y nodulares con arcillas grises (3) y rojas (4)..	12
1.1.2.2. Yesos tabulares y nodulares de aspecto masivo (5). Yesos tabu- lares y nodulares con margas y arcillas (6)	13
1.1.3. Unidad carbonatada	14
1.1.3.1. Calizas, margas y arcillas en niveles decimétricos (7)	14
1.1.3.2. Arcillas gris verdosas masivas (8)	15
1.2. Cuaternario	15
1.2.1. Pleistoceno	15
1.2.1.1. Terrazas (9, 10, 12 y 14)	15
1.2.1.2. Glacis (11, 13, 15)	15
1.2.2. Holoceno (16 a 26)	15
2. TECTÓNICA	16
2.1. Marco tectónico regional	16
2.2. Descripción de la estructura	16
2.3. Evolución tectónica	17
2.4. Neotectónica	18
3. GEOMORFOLOGIA	20
3.1. Descripción fisiográfica	20

	<i>Páginas</i>
3.2. Análisis geomorfológico	20
3.2.1. Estudio morfoestructural	20
3.2.1.1. Enmarque dentro de los grandes conjuntos regionales	20
3.2.1.2. Unidades morfoestructurales	20
3.2.2. Estudio del modelado	21
3.2.2.1. Laderas	22
3.2.2.2. Formas fluviales	22
3.2.2.3. Formas poligénicas	22
3.2.2.4. Formas kársticas	23
3.2.2.5. Formas lacustres	23
3.2.2.6. Formas antrópicas	23
3.3. Formaciones superficiales	23
3.3.1. Depósitos de ladera	23
3.3.2. Terrazas	24
3.3.3. Glacis	24
3.3.4. Valles de fondo plano (vales)	24
3.3.5. Depósitos lacustres	25
3.4. Evolución dinámica	25
3.5. Procesos actuales-subactuales y tendencias futuras	26
4. HISTORIA GEOLOGICA	26
5. GEOLOGIA ECONOMICA	27
5.1. Recursos minerales	27
5.2. Hidrogeología	28
5.2.1. Climatología	28
5.2.2. Hidrología	28
5.2.3. Características hidrogeológicas	30
5.2.3.1. Acuíferos cuaternarios	30
5.2.3.2. Otros posibles acuíferos	30
5.3. Geotecnia	31
6. PATRIMONIO NATURAL GEOLOGICO. PUNTOS DE INTERES GEOLOGICO (P.I.G.)	35
6.1. Descripción y tipos de interés de los P.I.G.	37
7. BIBLIOGRAFIA	39

0. INTRODUCCION

La Hoja de Fuentes de Ebro se sitúa en el sector central de la Depresión del Ebro, entre los paralelos 41° 40' 04"N y 41° 30' 04"N y los meridianos 0° 51' 10"O y 0° 31' 10"O, referidos al meridiano de Greenwich, estando toda la superficie dentro de la provincia de Zaragoza.

Entre los ángulos NO y SE de la hoja discurre el río Ebro, que origina una extensa banda deprimida de más de 6 Km de anchura, y ocupa una superficie superior al 35% del total de la hoja, desarrollada entre 170 y 200 m de altitud. Esta banda se encuentra limitada en su borde septentrional por un pronunciado escarpe, que supera localmente los 100 m de altura y da lugar a las mayores pendientes dentro de la hoja.

Tanto al SO como al NE se sitúan las zonas más elevadas topográficamente, correspondiendo las mayores cotas a los vértices Puig Aguila (461 m) y Partasona (418 m). Presentan un relieve suavemente alomado y corresponden a los enlaces del Valle del Ebro con los relieves de la Sierra de Alcubierre y la Plana de Zaragoza, que se localizan respectivamente al NE y SO, fuera de los límites de la hoja, donde se sobrepasan los 700 m de altitud.

El clima es de tipo continental, con una temperatura media anual de unos 15° C y precipitaciones por debajo de 400 mm/año. Se registran fuertes fluctuaciones de temperatura, con máximas de hasta casi 45° C y mínimas por debajo de -5° C. Las lluvias se concentran principalmente en primavera y otoño. Es de destacar la existencia de un viento dominante procedente del NO (Cierzo), bastante fuerte durante todo el año y en especial durante los períodos fríos. La existencia de persistentes nieblas completa el cuadro climatológico.

Los asentamientos humanos se localizan en el Corredor del Ebro, donde se sitúan las localidades de Fuentes de Ebro, Alfajarín, Puebla de Alfindén, etc., permaneciendo el resto de la hoja despoblado. Conviene señalar que en el ángulo NO se sitúan varios polígonos industriales y zonas periféricas de la capital (Zaragoza).

La actividad económica es variada, desarrollándose la agricultura de regadío (hortalizas, maíz, forraje, etc.) en el Corredor del Ebro y de secano (cereales) en las zonas ocupadas por depósitos cuaternarios de glaciares y rellenos de fondo de valle.

La ganadería se dedica a ovino extensivo y el sector industrial es importante en la zona de influencia de Zaragoza, donde se sitúan numerosos polígonos industriales (Insider, Montemolín, Malpica, etc.). Por último, cabe reseñar la existencia de numerosas graveras en las terrazas del Ebro, así como pequeñas explotaciones de yesos y arcillas en la parte suroccidental.

Geológicamente afloran depósitos terciarios y cuaternarios que cubren la totalidad de la hoja.

Dentro del Terciario se han diferenciado tres unidades que se denominarán como: U. Arcillosa Basal, U. Evaporítica y U. Carbonatada.

Los sedimentos cuaternarios cubren la mayor parte de la superficie, estando representados por una gran variedad de depósitos y morfologías, entre los que destacan las terrazas del Ebro, diferentes generaciones de glaciares, valles de fondo plano que localmente se conocen como "vales", coluviones, conos de deyección y los depósitos aluviales recientes.

Los objetivos principales del trabajo realizado han sido la caracterización de las diversas unidades, el estudio de su evolución secuencial y el establecimiento de las relaciones verticales y laterales entre las distintas asociaciones de facies.

El método de trabajo cartográfico ha consistido, esencialmente, en la cartografía de facies litológicas, el levantamiento detallado de columnas estratigráficas con recogida de muestras para su estudio sedimentológico y separación de microfósiles, especialmente caráceas y ostrácodos y en caso favorable, el estudio de micromamíferos.

Entre los trabajos previos relativos a la cartografía geológica de la Cuenca endorreica del Ebro cabe citar a los de RIBA (1955 y 1961) para el sector occidental de la Cuenca (Corredor de la Bureba y subcuencas de Miranda y de Treviño), el de QUIRANTES (1969, publicado en 1978) para el sector central de la Cuenca, los de la J.E.N. (1977) para la mitad septentrional de los sectores central y oriental de la Cuenca, los del IGME (1975, 1985) en las cuencas ligníferas de Calaf y Mequinenza, el de la J.E.N. (1979-81) para el sector sur-occidental. Trabajos posteriores IGME (1981) y ENRESA (1989) representaron, desde la perspectiva que nos ocupa, reelaboraciones de las cartografías geológicas anteriormente citadas, con aplicación de nuevos criterios cartográficos pero sin un trabajo de campo considerable, o bien, en otros casos aportaciones cartográficas importantes de áreas (lacustres) más localizadas (IGME, 1975, 1976, 1985, 1986, 1987; ENADIMSA, 1984). Por el contrario las hojas MAGNA elaboradas con posterioridad a las Hojas piloto, especialmente las de Cataluña (Pons, Cardona, Puigreg, Calaf) constituyen valiosas aportaciones al conocimiento estratigráfico y sedimentológico de sus materiales.

Entre los estudios paleontológicos de vertebrados de la Cuenca del Ebro, aparte de los trabajos clásicos exhaustivamente recogidos en CUENCA *et. al.* (1992), cabe citar como trabajos más recientes que suponen un gran avance en la datación de las series y el establecimiento de la bioestratigrafía, los siguientes: ANADON *et. al.* (1987), AZANZA *et. al.* (1988), AGUSTI *et. al.* (1988), ALVAREZ-SIERRA *et. al.* (1990), CUENCA *et. al.* (1989) y CUENCA (1991 a y b).

1 ESTRATIGRAFIA

La Cuenca del Ebro corresponde a los últimos estadios de evolución de la cuenca de antepaís meridional del orógeno Pirenaico (PUIGDEFABREGAS *et. al.*, 1986), actuando como margen tectónicamente activo, desde fases muy tempranas. Además, en el margen meridional se sitúa una cadena alpina intracratónica (la Cordillera Ibérica), por lo que esta cuenca carece de borde pasivo y en cierto modo, se configura como una doble cuenca de antepaís.

En consecuencia, la estrecha relación entre sedimentación y tectónica queda reflejada en la geometría, estructura, etc. de los depósitos que rellenan la cuenca y se encuentra controlada por la evolución del diastrofismo en las cordilleras adyacentes. Por tanto, la mayor o menor subsidencia, distribución de ambientes sedimentarios, posición de los depocentros, etc. dependerá directamente del tipo y edad de las estructuras pirenaicas y/o ibéricas.

Los mapas de isobatas de la base del Terciario (C.G.S., 1975; ENADIMSA, 1978; ENRESA, 1987, etc.), permiten situar la máxima subsidencia a lo largo del borde norte de la cuenca, donde se registran espesores de 4000 y 5000 m, destacando la existencia de dos cubetas con mayor subsidencia: la de Navarra-La Rioja y la de Cataluña, que se encuentran separadas por la zona central o "Alto Aragón". Sin embargo, en la parte sur de la cuenca el espesor del Terciario no llega a 1000 m.

El primer esquema que sirvió de base para la estratigrafía actual fue propuesto por QUIRANTES (1969), que agrupa los materiales en tres formaciones denominadas: "Formación Sariñena", "Formación Zaragoza" y "Formación Alcubierre". La Formación Sariñena comprende los depósitos detríticos que afloran mayoritariamente en el sector septentrional de la cuenca. La Formación Zaragoza engloba los depósitos, fundamentalmente evaporíticos, de las áreas de Zaragoza, Almudévar y Bujaraloz y la Formación Alcubierre, los depósitos carbonatados y yesíferos de la sierra que da nombre a la formación y representan la culminación del relleno terciario de la cuenca.

Recientemente (PEREZ *et al.*, 1988) han definido una serie de Unidades Tectosedimentarias en el Neógeno del sector central del borde ibérico de la Depresión del Ebro, a la vez que se correlacionan mediante criterios de evolución secuencial con las U.T.S. definidas en las cubetas marginales ibéricas (VILLENNA *et. al.*, 1991), dando un esquema coherente, confirmado por las dataciones paleontológicas disponibles hasta el momento.

En la Sierra de Alcubierre, ARENAS *et al.*, (1989) reconocen dos rupturas sedimentarias que permiten diferenciar las tres primeras U.T.S. de PEREZ *et. al.* (1988).

La hoja de Fuentes de Ebro se encuadra en el sector central de la Cuenca del Ebro, donde afloran materiales pertenecientes al Terciario (Mioceno) y Cuaternario.

Los afloramientos, a excepción del escarpe del río Ebro, donde existen taludes de casi 100 m de altura, se presentan mal conservados y generalmente, aparecen enmascarados por depósitos cuaternarios (glacis, terrazas, etc.) que ocupan la mayor parte de la superficie de la hoja.

En cuanto a los depósitos cuaternarios, se han diferenciado varios niveles de terrazas, distintas generaciones de glacis, valles de fondo plano, coluviones, conos de deyección y los depósitos aluviales recientes.

1.1. TERCIARIO

Los materiales terciarios de esta hoja abarcan un intervalo estratigráfico comprendido entre el Mioceno basal (Ageniense) y el Aragoniense medio-superior, cuyas características principales se exponen a continuación.

1.1.1. Unidad arcillosa basal

Es la unidad estratigráficamente más baja de las que afloran en esta hoja. Está formada por un conjunto, fundamentalmente arcilloso, que tiene escasa representación, aflorando únicamente en la parte suroriental en ambas márgenes del río Ebro, con un espesor máximo estimado de 40-50 m y reducidos afloramientos sobre todo en el margen meridional del río, donde no pueden realizarse series mínimamente representativas, aunque globalmente, las características de los pocos puntos observables son muy similares a las del margen septentrional.

Su límite superior no presenta rasgos que permitan definir ningún tipo de discontinuidad, por lo que la separación con la unidad suprayacente es estrictamente litológica.

A nivel cartográfico se han diferenciado dos tramos: el inferior, formado por arcillas rojas y gris-verdosas con esporádicos niveles de yeso nodular alabastrino (1) y el superior, constituido por arcillas rojas con niveles centimétricos de yesos y calizas (2). Ambos tramos presentan entre sí un paso gradual, siendo muy difícil establecer con precisión sus límites. La edad de esta unidad se sitúa en el tránsito Oligoceno-Mioceno o Mioceno basal, ya que se han determinado fósiles de edad Ageniense.

Esta unidad se depositó en un ambiente lacustre marginal, en el que en vertical, se aprecia cierta tendencia hacia la desalinización del medio, con facies de zonas lacustres y palustres de agua dulce y rasgos de edafización frecuentes en la parte superior. Es decir, se pasa de un ambiente lacustre marginal con influencia evaporítica, a un ambiente de agua dulce.

1.1.1.1. *Arcillas rojas con esporádicos niveles de yeso nodular (1)*

Este tramo aflora al sur del río Ebro en los alrededores de Fuentes de Ebro y en un pequeño afloramiento al norte del río, en la zona de Campo del Perro.

Da lugar a afloramientos de mala calidad, constituidos fundamentalmente por arcillas de tonos rojos, entre las que se intercalan niveles de yeso nodular alabastrino de poca continuidad lateral.

La potencia mínima estimada para este tramo es de 10-20 m. Localmente, esta unidad muestra en su techo un cambio lateral de facies con la unidad 2.

Estos materiales se interpretan como depósitos de un ambiente de llanura lutítica marginal, próximos a una área lacustre con influencia evaporítica, en donde la circulación de salmueras puede favorecer la formación de yeso, por crecimiento intersticial durante etapas diagenéticas tempranas.

Su edad no puede determinarse con precisión, pero por consideraciones estratigráficas se le atribuye al Ageniense, es decir, se hallaría en el tránsito Oligoceno-Mioceno o Mioceno basal.

1.1.1.2. Arcillas rojas con niveles centimétricos de yesos y calizas (2)

Esta unidad aflora en ambas márgenes del río Ebro, encontrándose bien representada en la zona de Canteras y Monte Aguilar, donde se ha estudiado en detalle en dos perfiles. La potencia estimada para este tramo es de casi 30 m.

Está constituida por una alternancia de margas y arcillas con niveles yesíferos intercalados, mucho más frecuentes hacia la base, mientras que hacia la parte alta se observan intercalaciones carbonatadas, que en ocasiones llegan a formar delgados bancos de calizas con un espesor de 5 a 40 cm.

Los yesos corresponden a nódulos de yeso alabastrino dispersos en las facies margo-arcillosas; en ocasiones se encuentran niveles de geometría lenticular, de aspecto sacaroideo y masivo, con abundante desarrollo de estructuras nodulares. También es frecuente la presencia de yeso fibroso secundario, ocupando fisuras en todas las direcciones, que se hace más patente en los niveles margo-arcillosos.

Los carbonatos suelen situarse en la parte alta de secuencias con arcillas margosas en la base, que están bien desarrolladas en la mitad superior del tramo. Corresponden la mayor parte de las veces a calizas (micritas fosilíferas) con gasterópodos, ostrácodos y caráceas. También existen facies micríticas homogéneas con concentraciones diferenciales de materia orgánica y facies de arcillas carbonatadas, cuyo aspecto es una masa arcillosa más o menos fisurada, en la que es frecuente la existencia de cristales dispersos de calcita, así como venas con concentración de cristales. Destaca la presencia de algunas dolomicritas de textura muy fina, con detríticos dispersos y masas de aspecto dendroide de materia orgánica, que corresponden a procesos de dolomitización en relación con niveles yesíferos, resultado de una diagénesis vadosa.

Las facies margo-arcillosas presentan proporciones reducidas de cuarzo y yeso, con un contenido en filosilicatos que oscila entre 30 y 80%, cuyo espectro varía de 50-75% en montmorillonita, 20-40% de micas y en torno a un 10% de caolinita. La mayoría de los minerales de la arcilla pueden considerarse como heredados, aunque cierta proporción de las esmectitas (montmorillonita) puede atribuirse a procesos de neoformación.

Este tramo se depositó en un ambiente de características similares al (1), aunque la parte superior presenta secuencias típicas de somerización que denotan un ambiente lacustre-palustre de agua dulce, con rasgos de edafización en las arcillas.

En la columna de Monte Aguilar se ha determinado la existencia de: *Rantzieniella nítida* GRAMB, *Chara notata* GRAMB y PAUL, *Sphaerochara cf. inconspicua* (AL. BRAUN EX UNGER) FEIST-CASTEL y fragmentos de gasterópodos que permiten atribuir una edad Ageniense a este tramo.

1.1.2. Unidad evaporítica

Esta unidad aflora a lo largo y ancho de toda la hoja, a excepción de la franja ocupada por el río Ebro, aunque en muchas zonas aparece cubierta por depósitos cuaternarios, dando lugar a afloramientos más o menos discontinuos.

Está formada por depósitos fundamentalmente yesíferos, a los que se asocian margas y lutitas y constituye parte de la Formación Zaragoza de QUIRANTES (1969). Equivale a la U.T.S. N-1 de PEREZ *et. al.* (1988) y dada su posición estratigráfica, se le atribuye una edad que comprende desde el Ageniense alto hasta el Aragoniense inferior-medio.

A nivel cartográfico se han diferenciado 4 asociaciones de facies, cuyos contactos son difusos. Las dos asociaciones estratigráficamente más bajas (3 y 4) se encuentran mejor desarrolladas en el margen meridional del Ebro, en la zona próxima a la localidad de Fuentes de Ebro. Por encima se sitúa un tramo fundamentalmente yesífero (5), que es el que aparece mejor representado en la hoja, que intercala hacia su parte superior niveles de margas y arcillas que permiten diferenciar un nuevo tramo (6), que ocupa las cotas superiores a 280-300 m en el sector situado en el margen septentrional del río.

1.1.2.1. Yesos tabulares y nodulares con arcillas grises (3) y rojas (4)

Estas asociaciones de facies se han caracterizado en la parte sur del río Ebro, ya que al norte del mismo, los desprendimientos y el recubrimiento existente impiden realizar secciones representativas.

En las columnas de las canteras de Puentes I y II se ha caracterizado el tramo 4 que está formado por un conjunto de arcillas de color pardo-rojizo con ligera laminación y bioturbación, entre las que se intercalan niveles de yeso que varían desde pocos milímetros hasta 1 cm de espesor, generalmente formados por yeso nodular alabastrino, con presencia de algunos niveles de yeso macrocristalino hacia techo. En los niveles más arcillosos, es frecuente la existencia de yeso fibroso secundario que rellena fisuras en todas direcciones.

Estos depósitos se ordenan en secuencias de orden métrico (1-4 m), con límites difusos, en las que predominan arcillas en la base y hacia techo se intercalan niveles yesíferos, indicando un aumento de la salinidad.

La litología predominante corresponde a arcillas cuya composición es: 5-20% de cuarzo, 25-30% de carbonatos (fundamentalmente dolomita) y 50-55% de filosilicatos. Dentro de la fracción arcilla el espectro es bastante constante, con valores extremos de caolinita entre 5 y 20%; para las esmectitas (montmorillonita) de 20-60% y para las micas de 30 a 60%, pudiendo tomarse como valores medios más frecuentes, un 10% de caolinita, un 50% de montmorillonita y un 40% de micas.

La elevada relación dolomita/calcita puede explicarse por las frecuentes intercalaciones yesíferas, que favorecen el enriquecimiento diferencial en Mg^{2+} , lo cual permite el desarrollo de procesos de dolomitización diagenéticos, en relación con episodios de bombeo evaporítico.

Al igual que se interpreta para la unidad infrayacente, la mayoría de los minerales de la arcilla parecen ser heredados, aunque cierta proporción de las esmectitas puede ser de neoformación, es decir, no se observan diferencias entre la composición de la fracción arcillosa de la Unidad evaporítica y de la Unidad arcillosa basal.

Sus características sedimentológicas sugieren que estos materiales se depositaron en un ambiente de zonas marginales de un lago salino efímero.

La potencia estimada no sobrepasa los 40 m y su edad probable, por su posición estratigráfica, comprende desde el Ageniense al Aragoniense probablemente inferior.

1.1.2.2. *Yesos tabulares y nodulares de aspecto masivo (5). Yesos tabulares y nodulares con margas y arcillas (6).*

La asociación de facies 5 es la que aflora más ampliamente en la hoja, diferenciándose una zona con mayor número de intercalaciones de margas y arcillas en la parte septentrional (asociación 6), cuyos límites son imprecisos y suele dar lugar a afloramientos más o menos aislados, al estar cubierta por depósitos cuaternarios.

El tramo fundamentalmente yesífero (5) aparece bien caracterizado en las series del escarpe septentrional del río Ebro, pudiendo apreciarse la gran monotonía de las series, sobre todo en las secciones del Casino y Villafranca de Ebro, donde es notable la escasez y reducido espesor de los niveles arcillosos, que dan al conjunto un aspecto masivo, aunque en detalle se observa cierto bandeado. No es posible distinguir ciclos, sino un único tramo de yesos con zonas más finamente estratificadas y gran predominio de las facies nodulares. En el resto de las secciones se aprecian características similares, aunque globalmente se observa un aumento en el espesor de los niveles arcillosos hacia el sur (carretera de Mediana de Aragón) y hacia el techo de la serie más septentrional (sur del vértice Primoral).

Las facies yesíferas están constituidas casi en su totalidad por yeso blanco alabastrino, con estructura nodular, que representa la estructura dominante y prácticamente omnipresente. Localmente y siempre con escaso desarrollo se han observado estructuras laminares y masivas.

Todas las texturas identificadas en el estudio petrográfico, corresponden a texturas secundarias, es decir, producidas por hidratación de la anhidrita, o como consecuencia de la recristalización del yeso primario original o del yeso secundario de hidratación. La textura dominante es la alabastrina y de forma esporádica se han identificado textura porfiroblástica, megacristalina y fibrosa.

La potencia es difícil de determinar con precisión pero oscila entre 70 y 90 m.

Su edad se establece por comparación y por criterios estratigráficos como Aragoniense inferior-medio.

Los depósitos del tramo 5 en el que predominan los sulfatos, sugieren un ambiente de lago evaporítico efímero o *playa-lake*, mientras que el tramo 6 indica el paso a condiciones más

marginales, donde las facies evaporíticas quedan muy restringidas. Es decir, se observa una tendencia a la desalinización hacia techo.

1.1.3. Unidad carbonatada

Esta unidad aflora únicamente en la parte septentrional de la hoja, dando lugar a afloramientos de escaso desarrollo superficial, mal conservados y por lo general enmascarados por glacia, lo cual, impide realizar secciones detalladas.

Está formada por depósitos de calizas a los que se asocian margas y arcillas, lo que ha permitido diferenciar un tramo inferior (7) constituido por calizas y margas fundamentalmente y, otro superior (8) en el que predominan las arcillas grises y verdes.

Esta unidad se dispone en cambio lateral de facies en la parte superior de la unidad evaporítica, con la que muestra numerosas indentaciones.

1.1.3.1. Calizas, margas y arcillas en niveles decimétricos (7)

En la vertiente occidental de la Loma de Tiro, junto al camino que sube desde Puiverde y a una cota de unos 360 m, se observa un pequeño afloramiento en el que aparecen margas y calizas arcillosas. En otros puntos de cotas ligeramente superiores (hasta 380 m) afloran depósitos margosos en los que se aprecia un aumento hacia techo en el contenido de carbonatos. En las cotas más altas (390-395 m), comienzan a ser frecuentes los bancos de calizas de unos 10 cm de espesor.

Como resumen, este tramo está representado por un conjunto de secuencias marga-caliza poco definidas, que en la base presentan términos margo-arcillosos carbonatándose hacia techo.

La potencia estimada para este tramo es de 20 a 30 m.

Las calizas corresponden a micritas y biomicritas, por lo general bioturbadas, en las que son frecuentes los restos de gasterópodos, ostrácodos y algunas caráceas. En ocasiones se observa laminación, probablemente biogénica (de tipo algal) y es frecuente la existencia de zonas recrystalizadas. El contenido en material detrítico es muy reducido, casi siempre inferior al 5%.

Entre los restos fósiles aportados por los levigados, se ha podido identificar: *Candona* cf. *ciceronis* CARBONELL, *Cavernocandona* ? *roaixensis* CARBONELL, *Chara notata* GRAMB y PAUL, *Chara* sp. y fragmentos de gasterópodos lacustres, que junto con su posición estratigráfica permiten atribuir una edad Aragoniense a estos depósitos.

Las características sedimentológicas de esta unidad sugieren que se depositó en un ambiente lacustre carbonatado somero.

1.1.3.2. Arcillas gris verdosas masivas (8)

Este tramo es difícilmente caracterizable, dado lo reducido y discontinuo de los afloramientos.

Está formado por arcillas de colores gris y verde y aspecto masivo, siendo frecuente la presencia de bioturbación. Puede alcanzar espesores próximos a los 10 m.

Entre los restos fósiles recogido, se ha identificado: *Chara notata* GRAMB y PAUL, *Nitellopsis (Tectochara) meriani* (L. y N. GRAMB), *Chara* sp., *Chara* cf. *rochettiana* STRAUB, y fragmentos de gasterópodos lacustres (posiblemente *Hydrobia*) que junto con la posición estratigráfica que ocupa este tramo, sugieren una edad Aragoniense, probablemente superior.

1.2. CUATERNARIO

Los depósitos cuaternarios afloran ampliamente dentro de la hoja, especialmente en el valle del río Ebro que atraviesa la hoja en diagonal en sentido NO-SE y, en menor medida, en el ángulo nororiental, en donde se encuentran varios niveles de glacis.

Se trata de formaciones superficiales de génesis fluvial y poligénica correspondientes a depósitos del cauce activo y llanura de inundación, terrazas, glacis y humedales que se describen ampliamente en el capítulo 3.

1.2.1. Pleistoceno

1.2.1.1. Terrazas (9, 10, 12 y 14)

Se han considerado de edad pleistocena las terrazas superiores del río Ebro, situadas en las cotas de 140-230, 90-100, 60 y 20 m sobre el cauce actual. Se encuentran situadas preferentemente en la margen derecha del río, sobre todo las más antiguas. Están constituidas por conglomerados, arenas y limos con estructuras sedimentarias de origen fluvial.

1.2.1.2. Glacis (11, 13, 15)

Los depósitos de glacis se encuentran localizados preferentemente en la esquina NE de la hoja. Son depósitos de carácter poligénico correspondientes a los tres sistemas más antiguos que han podido ser correlacionados con los niveles de terrazas de 90-100, 60 y 20 m, lo que ha permitido atribuirlos al Pleistoceno.

1.2.2. Holoceno (16 a 26)

Se consideran holocenos los depósitos de las terrazas inferiores, de cotas 10 y 5 m (unidades 17 y 21, respectivamente), glacis recientes (18 y 22), conos de deyección (16 y 20), relleños de fondo de valle plano o "vales" (19), coluviales (23), aluvial actual (24), depósitos lacustres evaporíticos (25) y humedales o áreas endorreicas (26).

2. TECTONICA

2.1. MARCO TECTONICO REGIONAL

La hoja de Fuentes de Ebro se sitúa en la parte central de la Cuenca del Ebro, dentro de su sector aragonés.

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 la Cordillera Costero Catalana, y en subsuelo su extensión es mayor, ya que está recubierta parcialmente por el 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 de antepaís.

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 orientales. Esto es un reflejo de la evolución de la deformación en el orógeno, hacia el antepaís y progresivamente más moderna de este a oeste. Así, es en La Rioja donde se registra la actividad compresiva más moderna, Mioceno medio en las Sierras de Cameros y Demanda y Vindoboniense en la Sierra de Cantabria, mientras que en esa misma época los Catalánides se encuentran sometidos a un régimen distensivo dominante.

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 están 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.

2.2. DESCRIPCION DE LA ESTRUCTURA

La disposición de los materiales presentes en la hoja de Fuentes de Ebro, al igual que los de áreas próximas, se ha considerado hasta tiempos recientes como horizontal. No obstante, un análisis detallado revela la existencia de estructuras tectónicas, si bien son extremadamente laxas

En este sentido, QUIRANTES (1978) describe una serie de estructuras en el área de los Monegros, basándose en el cálculo de buzamientos sobre fotografía aérea y en la cartografía de niveles guía. En el ámbito de la hoja aparecen el sinclinal Logroño-Sástago y el anticlinal de Torrecilla, con una dirección ONO-ESE. El primero presenta buzamientos casi siempre inferiores a 2°, mientras que en el segundo oscilan entre 2 y 3°. Las charnelas de estas estructuras discurren sobre el cauce actual del Ebro y por el ángulo SO de la hoja respectivamente.

En cuanto a las deformaciones discontinuas presentes en el área, se ha de señalar la presencia de alineaciones visibles en fotografía aérea orientadas preferentemente en dirección ONO-ESE, observándose algunas en dirección NE. Estas alineaciones se muestran con claridad en la zona de Loma Roya y La Mascarada, al este de la hoja, en forma de barrancos rectilíneos y pequeños escarpes alineados. Estas orientaciones son coincidentes con las orientaciones adoptadas por los depósitos de "vale" existentes en la zona (ZUIDAM, 1976). Asimismo, existe un perfecto paralelismo entre la orientación de la familia dominante y la trayectoria general del Ebro. Por otra parte, pueden reconocerse inflexiones bruscas en algunos valles y barrancos. Todos estos hechos abogan en favor de la existencia de discontinuidades de carácter tectónico a las que se adapta la red hidrográfica. Sin embargo, las malas condiciones de afloramiento de los materiales de la hoja han impedido la localización y caracterización de estas posibles fracturas.

En la localidad de Fuentes de Ebro se han medido microfallas en materiales del Mioceno basal cuyo análisis ha permitido deducir el régimen de esfuerzos bajo el que se generaron. Los resultados obtenidos por distintos métodos de análisis son semejantes en cuanto a la dirección de σ_3 (aproximadamente N-S), pero existen diferencias en cuanto al valor de la relación R, así, el método de Etchecopar proporciona un tensor en régimen de distensión radial, mientras que el método de los diagramas Y/R describe una distensión con cierto carácter triaxial.

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 en el Pirineo, 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, separados 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 de la cuenca la sedimentación continúa durante gran parte del Mioceno a favor de los surcos sinclinales de Navarra y La Rioja (formados a comienzos del Mioceno), 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 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 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 ANADON *et al.* (1986) interpretar el límite entre los Catalánides y la Cuenca del Ebro como el resultado de una tectónica de desgaste 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 señalada por una importante sedimentación conglomerática con una o varias discordancias progresivas. Su edad varía, siendo más reciente en el SO y más antigua en el NE (ANADON *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 noreste 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, ...). 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 (SIMON, 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. NEOTECTONICA

Los depósitos cuaternarios presentes en la hoja se observan en ocasiones deformados. Las estructuras observadas son muy diversas, encontrándose pliegues, tanto sinclinales como anticlinales y fallas normales e inversas; también se observan flexiones y basculamientos. La magnitud de las estructuras es relativamente pequeña, de orden métrico o decamétrico y su origen no es siempre de carácter tectónico.

Desde un punto de vista genético, se pueden diferenciar por una parte las estructuras determinadas por la naturaleza evaporítica del sustrato, que propicia procesos halocinéticos y de disolución, y por otra las deformaciones producidas como resultado de procesos tectónicos condicionados por el régimen de esfuerzos reinante en la zona en tiempos recientes.

Los procesos de disolución generan estructuras a modo de sinclinales laxos, pequeñas fallas normales, y eventualmente discordancias internas en el depósito. Ocasionalmente, se observan en profundidad materiales brechoídes originados por colapsos. En la superficie limitante entre los depósitos terciarios y los cuaternarios, especialmente bajo las terrazas, se acumulan residuos insolubles de carácter margoso de espesor normalmente decimétrico y que localmente pueden verse implicados en fenómenos diapíricos. Estos procesos de disolución continúan activos hoy día tal como lo evidencia la formación de dolinas aluviales y otras depresiones mayores.

Son sin duda las estructuras generadas por diapirismo las que presentan mayor diversidad y vistosidad. Dependiendo del estado evolutivo alcanzado, las deformaciones varían desde pequeños abombamientos de radio métrico a decamétrico, hasta pronunciados pliegues y fallas normales e inversas que suelen presentar saltos de orden decimétrico. Estas últimas deformaciones aparecen en relación con estructuras intrusivas donde el material movilizado corresponde a margas yesíferas masivas, tal como ocurre en el nivel de terraza más alto del Ebro y que aflora en la parte sur de la hoja, mientras que los depósitos yesíferos permanecen prácticamente inalterados (SORIANO, 1988).

Entre las estructuras generadas por procesos tectónicos, se encuentran diaclasas y fallas. Tanto unas como otras llegan a afectar a depósitos holocenos. Las orientaciones de ambas presentan gran variabilidad, pero existen dos familias dominantes en direcciones ENE y SSE y otras menos importantes en direcciones N, NNE, E y ESE (SIMON y SORIANO, 1985). Este elevado número de familias responde a un régimen de esfuerzos distensivo con carácter próximo a radial que se instaura a partir del Mioceno medio o superior y perdura hasta la actualidad (SIMON, 1989).

Algunos autores (FRUTOS, 1976; IBAÑEZ y MENSUA, 1977), en base a consideraciones geomorfológicas, consideran la posibilidad de que el escarpe que aparece en la margen izquierda del Ebro sea reflejo de una falla con dirección paralela al mismo. Estos últimos autores, basándose en la mayor altura del escarpe en la zona oriental, donde llegan a producirse deslizamientos rotacionales, suponen que podría tratarse de un pequeño bloque basculado hacia el NO.

La dirección de esta supuesta fractura sería paralela a las deformaciones observadas tanto en depósitos terciarios como cuaternarios. Así, se observa como una dirección mayoritaria en el trazado de barrancos, como fracturas de longitud hectométrica a kilométrica detectadas por fotogeología, y en la fracturación a escala de afloramiento en todos los materiales presentes en la hoja.

No obstante, no existen pruebas inequívocas de la existencia de esta fractura, y algunos autores (MANDADO *et al.*, 1985) consideran que el factor determinante en la génesis del

escarpe es la dinámica fluvial asociada a la disolución de materiales evaporíticos a favor de la fracturación preexistente.

3. GEOMORFOLOGIA

3.1. DESCRIPCION FISIOGRAFICA

La hoja de Fuentes de Ebro se halla situada en la parte central de la unidad fisiográfica de la Depresión Terciaria del Ebro, donde sus depósitos de carácter continental, esencialmente evaporíticos, pertenecientes al Mioceno, se disponen de forma subhorizontal con una ligera pendiente general hacia el Río Ebro.

El río Ebro recorre diagonalmente la hoja desde la esquina NO a la SE por un corredor de unos 6 Km de anchura constituido por terrazas holocenas al que descienden dos vertientes marginales previamente modeladas en los materiales terciarios por las terrazas y glaciares pleistocenos.

El clima de la región es de tipo mediterráneo, de templado a seco, semiárido, con una temperatura y pluviometría medias anuales de 15° C y 400 mm respectivamente.

3.2. ANALISIS GEOMORFOLOGICO

3.2.1. Estudio morfoestructural

3.2.1.1. *Enmarque dentro de los grandes conjuntos regionales*

El área de estudio se encuentra en la región natural de Los Monegros, donde regionalmente se reconocen los relieves tabulares de yesos coronados por "muelas" carbonatadas; desde éstas parten sucesivos sistemas de glaciares hacia los cursos fluviales mayores (Ebro y Gállego) que por su parte constituyen valles en artesa definidos por diferentes terrazas escalonadas.

3.2.1.2. *Unidades morfoestructurales*

El factor dinámico más influyente en el modelado de la hoja es el río Ebro, que ha representado en cada momento el nivel de base local de la red de drenaje a él confluyente.

Como factores estáticos hay que considerar el diferente comportamiento de las dos litologías culminantes del Terciario en la hoja (yesos y carbonatos) y una probable directriz tectónica NO-SE condicionante del encajamiento del Ebro.

Como resultante de la actuación de los factores antedichos, se han distinguido en la hoja las siguientes grandes unidades geomorfológicas: pasillo del río Ebro; vertiente nor-oriental y vertiente sur-occidental.

a) Pasillo del río Ebro

Este pasillo queda muy bien definido por el cauce actual y las terrazas bien desarrolladas de 5 y 10 m. La terraza de los 20 m solamente se conserva en la confluencia con el río Gállego en la zona de interferencia entre ambos.

De los niveles de terraza superiores a los indicados, solamente se reconocen con relativa facilidad los correspondientes a los 50-60 y 85-100 m, pues las deformaciones por diapirismo y colapsamiento hacen muy difícil el establecimiento de los niveles definidos en su escalonamiento por encima de esas cotas, habiéndose optado por agruparlos en un único intervalo de 120 a 230 m.

Referente al cauce del Ebro, presenta carácter meandriforme, con una pendiente media del dos por mil, no habiendo ningún afluente de suficiente relevancia, excepción hecha del Río Gállego que confluye por su margen izquierda en la esquina NO de la hoja.

b) Vertiente nor-oriental

Esta vertiente desciende desde las cotas más altas (Sierra de Alcubierre) donde los sucesivos procesos de erosión-acumulación, han modelado el relieve actual. En éste destacan los Montes de Alfajarín y los vértices de Partasona (418 m), La Puntaza (375 m) y Monte Viejo (343 m).

En la red de drenaje, a excepción del río Gállego que desemboca en la esquina NO de la Hoja, no se reconocen cursos permanentes, estando constituida la red por una serie de barrancos y "vales" de funcionamiento efímero en época de lluvias intensas que han dejado colgados una serie de glaciares en las partes altas.

c) Vertiente sur-occidental

Esta vertiente desciende de las "muelas" carbonatadas situadas al SO de la hoja que coronan cotas sobre los 500 m, destacando los vértices de Puig de Aguila (461 m), Pedregosa (384 m) y Mainar (328 m).

La red de drenaje tiene características semejantes a la de la vertiente opuesta, destacando la presencia del río Ginel, en las proximidades de Fuentes de Ebro.

Los sistemas de glaciares están peor conservados que en la vertiente norte y, a veces, sólo se han reconocido como superficies de erosión.

3.2.2. Estudio del modelado

Los sucesivos depósitos y formas cuaternarias han ido modelando el primitivo edificio terciario, debido esencialmente a la acción de los agentes externos. Se han distinguido las siguientes formas:

3.2.2.1. *Laderas*

Se han considerado, fundamentalmente, las formas de acumulación de tipo coluvial que se desarrollan al pie de los escarpes compuestos por materiales terciarios, los generados por la terraza de 10 m del Ebro y las zonas próximas a ésta de las grandes "vales" holocenas.

También se han distinguido en la margen izquierda del Ebro, en la ladera meridional de Monte Viejo, formas de deslizamiento con algo de componente rotacional que por su gran amplitud permiten reconocer la estructuración de los niveles terciarios de los que se han desgajado.

Hay que hacer notar la dificultad que entraña discriminar los depósitos de ladera que se originan bajo los escarpes de las terrazas altas del Ebro en las proximidades de Acampo del Moro, por lo que se ha optado por integrarlos dentro del mismo afloramiento de las terrazas.

3.2.2.2. *Formas fluviales*

Como formas denudativas, destacan las originadas por acaravamiento en las zonas marginales del corredor de río Ebro, especialmente en su margen izquierda, las cortas incisiones lineales de la red fluvial secundaria y los escarpes generados en la secuencia de encajamiento.

A las formas acumulativas pertenecen las terrazas en las que se han diferenciado los siguientes niveles respecto al cauce actual del Ebro: 5, 10, 20, 60, 90-100 y uno superior comprensivo de 140-230 m. También, se han distinguido los fondos de valle actuales, así como una serie de conos aluviales en la desembocadura de arroyos y "vales" que, preferentemente se sitúan sobre la terraza de los 10 m, aunque en la desembocadura del barranco de las Casas y de la Val del Olmo, en las proximidades de la Puebla de Alfindén, se han reconocido unos restos de conos más antiguos, colgados, que se deberían corresponder con la terraza de 20 m.

Es de destacar la gran variabilidad del cauce meandriforme actual del Ebro, que permite reconocer con facilidad cicatrices de acreción y meandros abandonados.

3.2.2.3. *Formas poligénicas*

Bajo este epígrafe se han considerado formas y depósitos, cuyo origen, en mayor o menor parte, se debe a más de un proceso. Así se han diferenciado: glacis de erosión, glacis de acumulación y rellenos de fondo de valle ("vales").

Como glacis erosivos se han delimitado unas superficies con bordes escarpados y morfología de glacis en las que el sustrato del Terciario yesífero está subaflorante. Así se observa en Acampo del Castillo y Llanos de la Salada en la margen derecha del río Ebro y, de forma menos definida, en los Llanos de la Mascarada en la vertiente izquierda.

En los glacis de acumulación se reconocen cuatro sistemas, además del glacis actual-subactual, que en un intento de correlación se han hecho corresponder con las terrazas de 90-100, 60, 20 y 10 m. Generalmente los tres más antiguos presentan bordes escarpados, mientras que el cuarto y el actual, holocenos, no.

A los valles de fondo plano (“vales”) pertenecen prácticamente todos los depósitos de la red dendrítica secundaria que rara vez presentan incisión, y cuando la presentan es por estar cercanos a un área que evidencia una actividad denudativa actual, posterior al relleno, que es evacuado hacia las terrazas recientes.

3.2.2.4. *Formas kársticas*

Es importante la actividad kárstica en la hoja debido a la disolución de los niveles yesíferos del Terciario. Las manifestaciones mayores se dan en las terrazas situadas a cotas de 5 y 10 m en la margen izquierda del Ebro, donde se encuentra un gran campo de dolinas activo, y en los escarpes de las terrazas colgadas de la margen derecha donde se pueden observar, ya fósiles, en, espectaculares cortes verticales (escarpe del Canal de Aragón en las proximidades de Burgo de Ebro).

Esta actividad, genera colapsos en las terrazas, que muestran puntualmente espesores anómalos por exceso y, frecuentemente, combinada con procesos de hundimiento, impide un reconocimiento exacto de su escalonamiento.

3.2.2.5. *Formas lacustres*

Entre las formas lacustres puede citarse una pequeña laguna de aguas salinas, La Salada, dentro de un área endorreica a la que afluyen las aguas superficiales y subsuperficiales, con alta concentración en sales, de un reducido entorno, sin que se pueda definir emisario alguno.

3.2.2.6. *Formas antrópicas*

Como formas antrópicas se han significado las principales explotaciones a cielo abierto (carteras de áridos y alabastros) y un importante canal de riego, el de Aragón.

3.3. FORMACIONES SUPERFICIALES

Se expondrán en este apartado las características litológicas y sedimentológicas de las distintas formaciones superficiales.

3.3.1. **Depósitos de ladera**

Estos depósitos son acumulaciones de cantos de yeso englobados dentro de una matriz de limos arenosos que presentan estratificación difusa y escasa ordenación interna. Generalmente se imbrican con los conos de deyección depositados sobre las terrazas bajas del Ebro en las áreas de desagüe de las “vales”. Su potencia es variable, habiendo llegado a reconocerse espesores de hasta 3 a 4 m.

3.3.2. Terrazas

Los depósitos de las terrazas más altas (140-230 m), que se encuentran afectadas por deformaciones y deslizamientos, presentan cantos de subangulosos a redondeados, con proporciones de un 65% de calizas y un 35% de cuarcitas, con un tamaño máximo de 40 cm y modas de 1-2 y 5-8 cm. Exhiben estratificación cruzada, marcada frecuentemente por lentes de arena, y su potencia alcanza los 12 m.

Los depósitos de las terrazas de 60 a 100 m presentan cantos rodados, con proporciones variables de cuarcitas, areniscas, calizas y rocas ígneas (granitos y subvolcánicas), procedentes en parte de la Cordillera Pirenaica. El tamaño de los cantos es semejante al de las terrazas más altas, definiéndose dos modas de 1-5 y 6-10 cm, y un máximo próximo a 15 cm (excepcionalmente alcanzan 25 cm). Tienen una matriz arenoso-limosa, y su potencia oscila entre 4 y 6 m, pudiendo incluir en la parte superior hasta un metro de limos pertenecientes a la llanura de inundación. De forma similar a como ocurre en las terrazas altas su espesor puede presentar grandes variaciones a causa de las fuertes deformaciones, deslizamientos y colapsos inducidos por la unidad salina terciaria infrayacente.

Las características de los depósitos de las terrazas inferiores son difíciles de reconocer por la ausencia de buenos afloramientos en los escarpes, aunque se ha podido constatar la existencia de una llanura de inundación de limos, de 1 a 2 metros de potencia, sobre los depósitos mayoritarios de gravas.

3.3.3. Glacis

Los niveles de glacis mejor expuestos al haber quedado colgados en la margen izquierda del río Ebro, son los de los sistemas I, II y III. Están constituidos por gravas con cantos subredondeados de calizas y, en menor proporción, de areniscas procedentes del Terciario con una matriz de limos de colores ocre-amarillentos. Ocasionalmente se han observado arenas con estratificación cruzada, así como niveles con profusión de cantos y bloques de yeso.

La potencia original de estos depósitos debe ser del orden de los 10-15 m, aunque los retoques erosivos actuales ocasionan, localmente, casi su total desmantelamiento para dejar subaflorante al Terciario infrayacente.

Los glacis holocenos tienen características litológicas semejantes, aunque su potencia es más reducida (2 a 3 m).

Una característica general de estos depósitos es la presencia de una pequeña proporción de carbonatos, que en mayor o menor proporción, están presentes como cemento, dando cohesión a la matriz.

3.3.4. Valles de fondo plano ("vales")

Estos depósitos de tipo poligénico están constituidos por limos, generalmente yesíferos, que incorporan en proporción variable cantos de calizas, areniscas y yeso; los primeros suelen ser

subangulosos, mientras que los de yeso aparecen más redondeados. La ordenación suele ser escasa, tanto en la disposición como en el tamaño de los cantos, dependiendo en gran parte de la importancia del valle y de la influencia de los aportes de las laderas marginales.

Por tratarse de rellenos de valles en V, que normalmente no presentan incisión, es difícil estimar en cada caso la potencia desarrollada, habiéndose llegado a estimar en casos favorables de observación algo más de 6 m.

3.3.5. Depósitos lacustres

Depósitos de este tipo se dan en la laguna Salada, donde se acumulan los lodos transportados por las aguas de escorrentía en la época de lluvias y las sales que precipitan en el periodo estival.

3.4. EVOLUCION DINAMICA

Una vez terminadas las fases de depósito miocenas, de carácter endorreico, el establecimiento de la red fluvial del Ebro como sistema de transporte y erosión exorreico hacia el Mediterráneo, hecho que tuvo lugar hacia el límite Mioceno-Plioceno, constituye el punto de partida de la evolución geomorfológica reciente de la región.

Este cambio provocó el inicio del vaciado erosivo en toda la Depresión del Ebro, cuya resultante es la creación de relieves estructurales por modelado diferencial de las distintas litologías que constituyen el substrato en esta zona.

El primer proceso de esta etapa del que se tiene constancia en la hoja es el encajamiento de la red de drenaje principal en la que el río Ebro deja constancia de su presencia con sus terrazas más altas, hasta llegar a la de 80-100 m. Esta constituiría el nivel de base local con el que conectarían las partes más bajas de los glacis del sistema **k** presente en los Calabazares provenientes de unos relieves, más extensos que la actual Sierra de Alcubierre, que estarían situados en áreas localizadas al norte de la hoja.

En un nuevo encajamiento durante el Pleistoceno medio, se formaría la terraza de 50-60 m con la que se ha correlacionado el sistema **l** de glacis.

Posteriormente, probablemente durante el Pleistoceno superior, procesos genéticos semejantes, aunque de menor intensidad, formarían las terrazas de 30 y 20 m con las que se ha correlacionado el sistema **m** de glacis.

Por último, hay que considerar el encajamiento y depósito de las terrazas de 10 y 5 m, datadas por estudios anteriores en Zaragoza (RODRIGUEZ y VILCHEZ, 1984) de 800 años a.d.c. para la primera y de 50 años a.d.c. para la base de la segunda, siempre dentro de una edad holocena.

A esta última etapa holocena se han atribuido también, los procesos generalizados de relleno de valles, conos aluviales, derrames y glacia actuales-subactuales incluidos en los sistemas **n** y **p**, así como los procesos de génesis antrópica.

3.5. PROCESOS ACTUALES-SUBACTUALES Y TENDENCIAS FUTURAS

Con el estudio de la evolución geomorfológica reciente de la hoja y de la evaluación de la dinámica de los procesos actuales es posible afirmar que existe un área relativamente estable, definida por las terrazas más bajas del río Ebro y su afluente el Gállego, que definen el nivel de base regional. A pesar de ello su estabilidad puede encontrarse alterada, bien por motivo de deformaciones regionales a largo plazo, bien por fenómenos de halocinesis y karsificación de carácter más local y actual.

El resto de la hoja integrado en las dos amplias vertientes hacia el Ebro, está sometido a un proceso generalizado de denudación. Este queda de manifiesto por la incisión y acarcavamiento de los tramos inferiores de las "vales", incipiente en las de la margen derecha y amplia y claramente generalizado en las de la izquierda. Este fenómeno revela un potencial mayor de erosionabilidad en esta última margen, cuyo resultado final sería el establecimiento de nuevos perfiles de equilibrio con pendientes dominantes hacia el SO, que partirían de una hipotética futura "Sierra de Alcubierre" situada más al norte que la actual, con cotas máximas reducidas a unos 400 m.

En la prospectiva anterior, para el establecimiento de estas tendencias futuras no se han tenido en cuenta variaciones climáticas importantes, ni tampoco factores endógenos, como pueden ser fallas profundas, que hacen imprevisible cualquier vaticinio.

4. HISTORIA GEOLOGICA

La hoja de Fuentes de Ebro se sitúa en el sector central de la Cuenca del Ebro. Esta cuenca corresponde a los últimos estadios de evolución de la cuenca de antepaís meridional del orógeno pirenaico, aunque sus márgenes meridional y oriental estuvieron afectados por la actividad tectónica de la Cordillera Ibérica, y de la Cordillera Costero Catalana.

Durante el Paleoceno, en el margen meridional de la cuenca de antepaís surpirenaica se depositaron materiales continentales (Formación Mediona; FERRER, 1971). En el Ilerdiense, tuvo lugar una transgresión marina generalizada de forma que durante gran parte del Eoceno, en el margen más septentrional de la cuenca se desarrollaba una sedimentación marina.

En el Eoceno superior (Priaboniense), la cuenca de antepaís pasa a ser una cuenca endorreica. En estas condiciones de sedimentación continental se desarrollaron extensos sistemas de abanicos aluviales y redes fluviales distributivas desde los márgenes hacia el centro de la cuenca, en donde se depositaron importantes acúmulos de sedimentos lacustres carbonáticos y evaporíticos.

La sedimentación de los sistemas aluviales tiene lugar de forma coetánea con la deformación de los orógenos que circundan la cuenca. Este hecho queda reflejado en las discordancias progresivas y angulares desarrolladas en los materiales conglomeráticos de abanico aluvial proximal que son observables en numerosas localidades: Formación Berga (RIBA, 1976) en el Pirineo; sistemas de Sant Miquel de Montclar, de la Llena y del Montsant (ANADON *et al.*, 1986) en la Cordillera Costero Catalana. La tectónica sinsedimentaria, desarrollada en la cuenca durante el Oligoceno y el Mioceno, también queda reflejada por la progresiva migración, a través del tiempo, que efectúan los depocentros lacustres hacia el oeste.

En el área de la hoja, la historia comienza a finales del Oligoceno o principios del Mioceno con el depósito de sedimentos en áreas marginales lacustres de carácter evaporítico con pequeñas zonas palustres periféricas. La procedencia de estos materiales se muestra claramente ibérica, tal como lo indica un seguimiento regional de las unidades sedimentarias y las paleocorrientes medidas en materiales equivalentes más groseros.

A finales del Ageniense o principios del Aragoniense, se produce una expansión importante del sistema lacustre originando depósitos netamente evaporíticos en amplios sectores de la cuenca que se prolongan hasta finales del Aragoniense medio.

A partir del Aragoniense medio tiene lugar una paulatina desalinización del medio apareciendo subambientes lacustres de naturaleza más carbonatada quedando enormemente restringidos los depósitos evaporíticos.

Desde el Aragoniense, el campo de esfuerzos regional corresponde a un estado distensivo que se prolonga hasta el Cuaternario (SIMON, 1989).

En el tránsito Mioceno Plioceno se produce un fuerte cambio en las condiciones de sedimentación de la cuenca tras el establecimiento de la red fluvial del Ebro como sistema de transporte y erosión exorreico hacia el Mediterráneo que representa el mayor cambio en las condiciones sedimentarias de la región. Desde este momento y durante todo el Cuaternario, se produce una alternancia de etapas de erosión y sedimentación en la cuenca, 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 en las que domina la sedimentación, permiten la formación de sucesivos niveles de glaciares y de terrazas asociadas a los cauces fluviales principales.

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

5. GEOLOGIA ECONOMICA

5.1. RECURSOS MINERALES

La actividad minera en la hoja de Fuentes de Ebro es muy escasa, quedando limitada casi exclusivamente a la extracción de áridos.

Las principales explotaciones corresponden a extracciones de gravas pertenecientes a las terrazas que el Ebro ha ido depositando durante el Cuaternario. También existen explotaciones de alabastro e indicios de arcillas en las proximidades de Fuentes de Ebro.

El total de la actividad extractiva se desarrolla en canteras a cielo abierto que frecuentemente aprovechan escarpes naturales para el desarrollo de las frentes de explotación.

La obtención de gravas suele presentar un carácter intermitente condicionado por la demanda producida en cada momento. Los centros de consumo son próximos, realizándose el transporte por carretera directamente desde el punto de producción.

Por lo que respecta al alabastro, la extracción se realiza con escasos medios mecánicos. Se obtienen "bolos", grandes nódulos de hasta 1 m de diámetro, que van destinados a la ornamentación. Los centros de consumo quedan más alejados que en el caso de las gravas, pero el transporte es también por carretera.

5.2. HIDROGEOLOGIA

5.2.1. Climatología

La superficie contenida dentro de los límites de la hoja nº 384 Fuentes de Ebro está integrada dentro de la Depresión Central de la cuenca del Ebro, que tiene un clima mediterráneo templado fresco. La temperatura media calculada para el período 1940-1985 es de 15° C. En invierno abundan las heladas y nieblas. La pluviometría media es de 400 mm/año para el período 1940-1985.

Las evapotranspiraciones potencial y real anuales calculadas en el Plan Hidrológico Nacional para la zona del río Ebro entre los ríos Gállego y Aguas Vivas son de 835,3 mm y 308,6 mm respectivamente. La lluvia útil, diferencia entre precipitación y evapotranspiración real, es de 91,4 mm.

5.2.2. Hidrología

La hoja de Fuentes de Ebro está atravesada por el río Ebro, que discurre en dirección NO-SE, en el que desemboca por su margen izquierda al río Gállego.

En el Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro, al tramo del río Ebro comprendido entre los ríos Gállego y Aguas Vivas, con una superficie vertiente de 2.164,6 km², se le asignan unas aportaciones de 117 Hm³/año, con un coeficiente de escorrentía de 0,149.

No existe ninguna estación de aforos dentro de la hoja, las más cercanas son las situadas en el río Ebro y río Gállego en las inmediaciones de Zaragoza, números 11 y 89 del MOPU. El caudal máximo instantáneo del río Ebro medido en Zaragoza en enero de 1961 ha sido de 4.130 m³/s.

CODIGO	NOMBRE	COORDENADAS UTM	TERMINO MUNICIPAL	SUSTANCIA	MORFOLOGIA	LABORES	OBSERVACIONES
1		684.1-4604.7	Zaragoza	Grava	Terraza	Cantera	Activa
2	Soto	680.5-4610.6	Pastriz	Grava	Terraza	Cantera	Activa
3		681.2-4608.5	Zaragoza	Grava	Terraza	Cantera	Activa
4	Mejana	681.2-4609.7	Pastriz	Grava	Terraza	Cantera	Activa
5	Alfranca	686.5-4608.0	Pastriz	Grava	Terraza	Cantera	Activa
6		686.6-4612.0	P. de Alfindén	Grava	Terraza	Cantera	Intermitente
7		686.0-4615.2	P. de Alfindén	Grava	Terraza	Cantera	Activa
8	Delfin Pardos	688.4-4611.3	P. de Alfindén	Grava	Terraza	Cantera	Activa
9		688.6-4611.0	P. de Alfindén	Grava	Terraza	Cantera	Activa
10		688.2-4611.4	P. de Alfindén	Grava	Terraza	Cantera	Activa
11		699.2-4597.7	Fuentes de Ebro	Arcilla	Estratificada	Cantera	Abandonada
12		686 -4607.2	Burgo de Ebro	Grava	Terraza	Cantera	Intermitente
13		680 -4614.4	Zaragoza	Grava	Terraza	Cantera	Parada
14		680.5-4607.7	Zaragoza	Grava	Terraza	Cantera	Activa
15		698.0-4604.1	Osera	Grava	Terraza	Cantera	Activa
16		698.5-4603.8	Osera	Grava	Terraza	Cantera	Intermitente
17		699.9-4602.6	Osera	Grava	Terraza	Cantera	Intermitente
18		700.4-4598.3	Fuentes de Ebro	Grava	Terraza	Cantera	Activa
19		694.2-4599.3	Fuentes de Ebro	Alabastro	Estratificada	Cantera	Intermitente
20		693.9-4599.1	Fuentes de Ebro	Alabastro	Estratificada	Cantera	Intermitente
21		694.0-4598.6	Fuentes de Ebro	Alabastro	Estratificada	Cantera	Intermitente
22		695.2-4597.4	Fuentes de Ebro	Alabastro	Estratificada	Cantera	Intermitente
23		691.1-4697.7	Zaragoza	Grava	Terraza	Cantera	Abandonada

Existen abundantes canales y acequias superficiales de donde se abastecen la mayor parte de los regadíos y alguna población.

El índice de calidad general (I.C.G.), adoptado por la Comisaría Central de Aguas, que expresa la calidad de un agua por medio de un número de índice adimensional, medido en la estación de la red de control nº 11 en el río Ebro en Zaragoza es de 66,32. Los sólidos en suspensión se han evaluado en 54,05 mg/l y la demanda biológica de oxígeno en 4,93 mg/l.

5.2.3. Características hidrogeológicas

5.2.3.1. *Acuíferos cuaternarios*

Los acuíferos explotables que están presentes dentro de los límites de la hoja de Fuentes de Ebro son los pertenecientes al sistema 62 (terrazas aluviales del Ebro) y subsistema 62.8 (terrazza aluvial del Gállego), según la numeración del Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE). Estos acuíferos tienen una distribución longitudinal a lo largo de ambos ríos, estando conectados hidráulicamente.

La litología de estos acuíferos está compuesta por gravas, arenas y limos que conforman acuíferos libres de alta permeabilidad con porosidad intergranular. Aunque se han distinguido a lo largo del cauce del Ebro y sus inmediaciones hasta 6 niveles de terrazas fluviales, sólo la llanura de inundación, la terraza baja y los conos de deyección adyacentes constituyen un acuífero con una explotación viable. La potencia es variable, de tal manera que en la zona de confluencia del río Gállego con el Ebro alcanza un espesor máximo de 50-60 metros, mientras que la potencia media en el Ebro es de 15-20 metros.

La alimentación del sistema se realiza directamente por infiltración del agua de lluvia (37 Hm³/año en río Ebro y 4 Hm³/año en río Gállego), aportaciones de los ríos, retornos del riego y aportaciones laterales (300 Hm³/año el Ebro y 68 Hm³/año el Gállego). La descarga de los acuíferos se produce por bombeos (42 Hm³/año en el río Ebro, 19 Hm³/año en el río Gállego) y por salidas a los ríos (295 Hm³/año Ebro y 53 Hm³/año Gállego).

Las transmisividades medias de los acuíferos son las siguientes:

- Acuífero del Ebro: transmisividades comprendidas entre 1.500 y 2.500 m²/día.
- Acuífero del Gállego: transmisividades comprendidas entre 5.000 y 10.000 m²/día.

5.2.3.2. *Otros posibles acuíferos*

Se pueden considerar como acuíferos de poco interés las gravas, arenas y limos (terrazas) y las gravas y cantos con matriz limo-arcillosa (glacis).

La alimentación de estos acuíferos es muy poco importante, realizándose poca infiltración directa del agua de lluvia. La descarga se efectúa por drenaje directo a los arroyos que los atraviesan.

Los aluviales de los arroyos que desaguan en el cauce del Ebro, son generalmente pobres por lo que su interés hidrogeológico es muy escaso.

En las facies evaporíticas, en zonas muy concretas se desarrollan karstificaciones de permeabilidades altas, pero la mala calidad del agua imposibilita su utilización.

5.3. GEOTECNIA

En este apartado, se propone la división del área comprendida en la hoja en una serie de zonas con un comportamiento geotécnico y riesgo geológico similares.

El conjunto de materiales aflorantes en la hoja, se ha dividido en tres áreas en función de criterios de tipo litológico, genético y morfológico. Estas áreas se subdividen a su vez en zonas de acuerdo con criterios geomorfológicos, estructurales, hidrogeológicos y geotécnicos, considerándose para cada una de ellas, de un modo cualitativo, permeabilidad, drenaje, capacidad de carga, ripabilidad y riesgo geológico. En la cuantificación de este último se contempla la erosionabilidad, la posibilidad de desprendimiento de laderas y escarpes naturales, de aterramientos, disolución y hundimientos, inundación (tanto por la posición del nivel freático como por deficiencias de drenaje), la agresividad al cemento y los asientos diferenciales.

AREA I

Se incluyen en este área el conjunto de los depósitos terciarios aflorantes. Su composición predominante es yesífera, apareciendo materiales más arcillosos en la base y carbonatados a techo.

Zona I,

Su composición litológica es básicamente arcillosa, pudiendo intercalar esporádicamente niveles de yeso nodular. Se incluyen aquí las unidades cartográficas 1 y 8.

La disposición estructural de estos materiales es aproximadamente horizontal y presenta abarrancamientos de pequeña entidad.

Apenas existe drenaje profundo, dada la impermeabilidad del conjunto, por lo que la evacuación de las aguas se produce por escorrentía superficial que genera los abarrancamientos.

Este grupo es ripable.

La capacidad de carga es, previsiblemente, de media a baja.

Por lo que respecta al riesgo geológico, éste no es demasiado importante, presentando niveles de riesgo considerables en lo respectivo a erosionabilidad, aterramiento y agresividad al cemento.

Zona I₂

Se compone de arcillas con intercalaciones de yeso, que pueden llegar a ser dominantes, y algunos niveles centimétricos de calizas. Incluye los niveles cartográficos 2, 3 y 4.

Los estratos presentan una disposición subhorizontal con distorsiones locales producidas por halocinesis. El conjunto aparece afectado por barrancos y escarpes naturales.

El conjunto es impermeable, por lo que el drenaje se efectúa fundamentalmente por escorrentía.

La capacidad de carga se estima de media a baja, pudiendo producirse asientos diferenciales.

En general el grupo es ripable, si bien, cuando predominan los yesos, la ripabilidad disminuye sensiblemente pudiendo llegar a desaparecer.

Son previsible problemas de erosión, desprendimientos, aterramiento, disolución y agresividad a los cementos.

Zona I₃

El término litológico predominante es el yeso, que intercala cantidades variables de arcillas y margas. Incluye los tramos cartográficos 5 y 6.

La estructura es subhorizontal con distorsiones locales por tectónica salina. Presenta una tupida red de barrancos y forma escarpes naturales de orden decamétrico.

Excepción hecha de fenómenos kársticos, estos materiales son impermeables, con lo que el drenaje se produce principalmente por escorrentía.

El grupo no es ripable y se estima una capacidad de carga media.

El riesgo geológico es alto en todos los aspectos considerados, excepto en el riesgo de inundación, ya que se encuentra alejado del nivel freático y la red de drenaje facilita la rápida evacuación del agua.

Zona I₄

Está compuesta por calizas, margas y arcillas en una disposición subhorizontal con distorsiones locales producidas por halocinesis. Corresponde a la unidad cartográfica 7.

Morfológicamente destaca la aparición de escarpes naturales.

El comportamiento global de estos materiales es semipermeable, existiendo drenaje tanto por escorrentía como por infiltración.

El conjunto, en general, no es ripable, si bien localmente puede serlo. La capacidad de carga se estima de tipo medio.

Es importante el riesgo de erosión y desprendimientos en laderas y escarpes, y de cierta consideración los de aterramiento, disolución, hundimiento, y asientos diferenciales; éstos dos últimos condicionados por la naturaleza yesífera del sustrato.

AREA II

Se incluyen en este área los distintos niveles de glacis generados durante el Cuaternario, así como fondos de valle plano, conos de deyección, coluviones, etc.

Zona II₁

Se compone de gravas, arenas, limos y arcillas. Son depósitos de glacis antiguos (unidades cartográficas 11, 13 y 15), que constituyen superficies llanas elevadas con pendiente suave y frecuentemente bordeadas por escarpes.

Son materiales permeables con drenaje por infiltración básicamente.

En general, salvo costras travertínicas locales que no suelen superar algunos decímetros de espesor, son ripables.

La capacidad de carga se estima de tipo medio.

Pueden existir problemas de erosión, sobre todo en las zonas escarpadas, y existen riesgos de asentamiento diferencial condicionados tanto por la heterogeneidad litológica, como por la naturaleza yesífera del sustrato sobre el que se apoyan con frecuencia.

Zona II₂

Está constituida por gravas, limos y arcillas, encontrándose proporciones importantes de componentes yesíferos.

Se incluyen aquí las unidades cartográficas 16, 18, 20, 22 y 23 que corresponden a formas de glacis modernos, conos de deyección y depósitos coluviales. Por lo tanto, la pendiente está condicionada por el tipo de depósito. Localmente, pueden aparecer escarpes naturales.

Son materiales permeables con drenaje profundo, si bien puede existir escorrentía en función de la pendiente y las características de las precipitaciones.

Todos los materiales son ripables.

La capacidad de carga es de media a baja, pudiendo existir asentamientos diferenciales.

Son previsible problemas de aterramiento, de disolución y hundimiento, y de agresividad al cemento.

Zona II₃

Los depósitos de esta zona están compuestos por limos, arcillas y cantos; éstos últimos frecuentemente son de naturaleza yesífera. Se incluyen aquí todos los fondos de valle plano y formas endorreicas asociadas (unidades cartográficas 19, 25 y 26).

La permeabilidad de estos materiales es muy variable, pudiendo ser desde permeables hasta impermeables. Esto condiciona la existencia de drenaje tanto superficial como profundo.

Todo el conjunto es ripable, y su capacidad de carga es baja, pudiendo existir asentamientos diferenciales por la plasticidad de las arcillas.

El riesgo geológico en conjunto es alto, y varía de unas zonas a otras. La erosión tiene lugar mediante incisión lineal y procesos de *piping*. Es especialmente importante en una franja al norte del escarpe de la margen izquierda del Ebro, y en los tramos de "vales" con pendientes elevadas.

Existe posibilidad de aterramiento e inundación en zonas de escasa pendiente.

La disolución puede afectar tanto a los depósitos de "vale" como al sustrato, casi siempre yesífero.

La agresividad al cemento puede ser importante por los iones sulfato disueltos en el agua.

AREA III

Se incluyen en este área los depósitos de terraza que ha ido generando el Ebro a lo largo de su evolución cuaternaria.

Zona III₁

La conforman depósitos de gravas, arenas y limos pertenecientes a las terrazas medias y altas del Ebro.

Aparecen como superficies subhorizontales colgadas, frecuentemente deformadas, y limitadas en muchos puntos por escarpes. Incluye las unidades cartográficas 9, 10, 12 y 14.

Se comportan de modo permeable, presentando un drenaje profundo bien desarrollado.

Salvo costras travertínicas, que no suelen alcanzar gran espesor, son materiales ripables.

La capacidad de carga es previsiblemente media.

La erosionabilidad será baja en general, pero en las zonas escarpadas puede ser importante.

Pueden esperarse procesos de hundimiento y asentamientos diferenciales como consecuencia de la disolución de los materiales evaporíticos infrayacentes.

Zona III₁

La litología de este grupo incluye gravas, arenas, limos y arcillas pertenecientes a las terrazas bajas del Ebro y aluvial actual. Engloba las unidades cartográficas 17, 21 y 24.

Son superficies muy planas que se aprovechan para cultivos.

En general es permeable, pero aparecen zonas arcillosas donde la permeabilidad disminuye e incluso desaparece.

La capacidad de carga es media, pudiendo ser baja por la presencia de arcillas.

El conjunto es ripable.

Son esperables procesos erosivos, especialmente en los alrededores del curso fluvial, aterramientos e inundaciones en épocas de crecida.

Al situarse en el seno de importantes series evaporíticas, son previsibles procesos de disolución y hundimiento, asientos diferenciales y agresividad al hormigón.

En el cuadro resumen se esquematizan las características geotécnicas más importantes de los materiales de la hoja.

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

En este epígrafe se trata de dejar constancia de los lugares de interés geológico o de protección de la naturaleza, como continuación del Inventario Nacional de Puntos de Interés Geológico, puesto en marcha por el ITGE en 1978.

CUADRO RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOTECTÓNICAS DE LOS MATERIALES DE LA HOJA DE FUENTES DE EBRO

AREA	ZONA	UNIDAD CARTOG.	LITOLOGIA	ESTRUCTURA MORFOLOGIA	PERMEAB.	DRENAJE	CAPACID. DE CARGA	RIPABIL	RIESGO GEOLOGICO						
									Erosión	Desprend. laderas escarpes	Aterram.	Disoluc. Humidim.	Inundac. nivel freático	Agresivi. cemento	Asientos diferenc.
I	I-1	1, 8	Arcillas con esporádicos niveles de yeso	Subhorizontal Abarrancamientos	I	E	M-B	R	A	B	M	B	B	M	B
	I-2	2, 3, 4	Arcillas con intercalaciones de yeso y calizas	Subhorizontal Abarrancamientos y escarpes	I	E	M-B	R-NR	A	M	M	A	B	A	M
	I-3	5, 6	Yesos con arcillas y margas	Subhorizontal. Abarrancamientos y escarpes	I	E	M	NR	A	A	A	A	B	A	A
	I-4	7	Calizas, margas y arcillas	Subhorizontal Escarpes	SP	I+E	M	NR-R	A	A	M	M	B	B	M
II	II-1	11, 13, 15,	Gravas, arenas, limos y arcillas	Planicies elevadas con suave pendiente	P	I	M	R	B-M	B	B	B	B	B	M
	II-2	16, 18, 20, 22, 23	Gravas, limos y arcillas	Pendiente variable	P	(E)	M-B	R	B	B	A	M	B	M	M
	II-3	19, 25, 26	Limos, arcillas y cantos	Valles de fondo plano	P-I	I+F	B	R	B-A	B	A	M	M	M-A	M
III	III-1	9, 10, 12, 14	Gravas, arenas y limos	Superficies subhorizontales colgadas	P	I	M	R	B-(A)	B	B	B (A)	B	B	M
	III-2	17, 21, 24	Gravas, arenas, limos y arcillas	Superficies subhorizontales. Niveles inferiores	P-SP	I	M-B	R	B (A)	B	M-A	B (A)	A	M	M-A

Simbología:

Permeabilidad: P, permeable; Sp, semipermeable; I, impermeable

Drenaje: I, infiltración; E, escorrentía

Capacidad de carga: A, alta; M, media; B, baja

Ripabilidad: R, ripable, NR, no ripable

Riesgo geológico: A, alto; M, medio; R, bajo

Los fines perseguidos con este proyecto pueden resumirse como sigue:

- Conocimiento de un patrimonio natural, hasta hoy poco conocido y mal explotado.
- Creación de archivos de documentación.
- Conservación organizada de este patrimonio.
- Aprovechar, sistematizándola, gran cantidad de información obtenida en la realización del MAGNA y otras actividades geológicas.
- Propiciar el conocimiento y conservación de la Naturaleza.
- Proporcionar material didáctico para la enseñanza.
- Fomentar la investigación de enclaves de interés geológico, lo que conlleva un mayor conocimiento de nuestra geología.

Uno de los objetivos de la realización de este inventario, es el establecimiento de una red de estaciones susceptible de organizar en itinerarios que permitan reconocer las características de cada región geológica.

6.1. DESCRIPCIÓN Y TIPO DE INTERÉS DE LOS P.I.G.

Se han seleccionado en el área un total de 9 P.I.G. que intentan reflejar algunos aspectos de la evolución geológica de la región, 3 de los cuales se reseñan en esta memoria.

Dado que las características geológicas de la hoja se extienden de modo más o menos uniforme por regiones próximas más amplias, los procesos geológicos observables en estos P.I.G. se han considerado de influencia regional, no obstante, no pasan de ser ejemplos locales de fenómenos presentes en zonas más amplias

El contenido de estos P.I.G. se encuadra en las disciplinas de estratigrafía, tectónica, geomorfología y geotecnia, siendo su utilización fundamentalmente de carácter científico y didáctico.

Del total de los 9 P.I.G. seleccionados, los que mayor interés pueden tener son los siguientes

P.I.G. n° 1: Glacis de Zurripas

Aparecen representados aquí diferentes elementos de la evolución geomorfológica cuaternaria, pudiendo establecerse una cronología relativa entre ellos. En concreto, se observa un depósito de glacis que ha sido incidido por la red de drenaje. Esta aparece rellena de depósitos detríticos originando valles de fondo plano ("vales") afectados a su vez por procesos actuales de "piping".

P.I.G. n° 2: Diapiro de la cantera de La Salada

Es éste uno de los máximos exponentes de las deformaciones diapíricas que afectan a depósitos cuaternarios. Se observa que el material responsable de la deformación es de carácter margoso.

Asimismo, es de destacar la gran altura y distancia a que queda colgado el depósito de terraza respecto al cauce actual, visible desde este punto.

P.I.G. n° 3: Falla de monte Aguilar

En este punto puede observarse una falla con salto de orden métrico afectando a un depósito de terraza del Ebro.

7. BIBLIOGRAFIA

- AGUSTÍ, J.; CABRERA, L.; ANADÓN, P. y ARBIOL, S. (1988). A late Oligocene-Early miocene rodent biozonation from the SE Ebro Basin (NE Spain). A potencial mammal stage stratotype. *Newsl. stratigr.* 18 (2), 81-97.
- ALVAREZ-SIERRA, M. A.; DAAMS, R.; LACOMBA, J. I.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, N.; VAN DER MEULEN, A. J.; SESE, C. y DE VISSER, J. (1990). Paleontology and biostratigraphy (micromammals) of the continental Oligoceno-Miocene deposits of the North-Central Ebro Basin (Huesca, Spain). *Scripta. Geologica.* 94: 75 pp.
- ANADÓN, P.; COLOMBO, F.; ESTEBAN, M.; MARZO, M.; ROBLES, S.; SANTANACH, P. y SOLE SUGRAÑES, L. (1979). Evolución tectonoestratigráfica de los Catalánides. *Acta Geol. Hispánica.* 14: 242-270.
- ANADÓN, P.; CABRERA, L.; COLOMBO, F.; MARZO, M. y RIBA, O. (1986). Syntectonic intradeformational unconformities in alluvial fan deposits. Eastern Ebro Basin margins (NE Spain). *En: P. H. Allen and P. Homewood (eds.). Foreland basins. Spec. Publ. I.A.S.,* 8, pp. 259-271.
- ANADÓN, P., VIANEY-LIAUD, M., CABRERA, LL. y HARTENBERGER, J. L. (1987). Gisements à vertébrés du paléogène de la zone orientale du bassin de l'Ebre et leur apport à la stratigraphie. *Paleontologia i evolució,* 21, pp. 117-131.
- ARENAS, C.; PARDO, G.; VILLENA, J. y PÉREZ, A. (1989). Facies lacustres carbonatadas de la Sierra de Alcubierre (Sector Central de la Cuenca del Ebro). *XII Congr. Esp. Sedimentología.* Bilbao. Comunicaciones, 71-74.
- AZANZA, B.; CANUDO, J. I. y CUENCA, G. (1988). Nuevos datos bioestratigráficos del Terciario continental de la Cuenca del Ebro (sector centro-occidental). *II Congr. Geol. España.* Granada. vol. 1, 261-264.
- C.G.S. (1975). Síntesis previa para la exploración de uranio en el valle del Ebro. *Min. Industria. J.E.N.* 94 pp. (Inédito).
- CUENCA, G. (1991 a). Nuevos datos bioestratigráficos del sector oriental de la Cuenca del Ebro. *I Congreso del grupo Español del Terciario, CONGET'91.* Vic, pp. 97-100.
- CUENCA, G. (1991 b). Nuevos datos bioestratigráficos del Mioceno del sector central de la Cuenca del Ebro. *I Congreso del grupo Español del Terciario CONGET'91.* Vic, pp. 101-104.
- CUENCA, G.; AZANZA, B.; CANUDO, J. I. y FUERTES, V. (1989). Los micromamíferos del Mioceno inferior de Peñalba (Huesca). Implicaciones bioestratigráficas. *Geogaceta,* 6, pp. 75-77.
- CUENCA, G.; CANUDO, J. L., LAPLANA, C. y ANDRÉS, J. A. (1992). Bio y cronoestratigrafía con mamíferos en la Cuenca Terciaria del Ebro: ensayo de síntesis. *Acta Geol. Hisp.,* v 27 (1-2), pp. 127-143.
- ENADIMSA (1978). Estudios para el emplazamiento de una C.N. en el Bajo Cinca (Chalamera-Huesca). Estudio geológico y estudio hidrogeológico. ENADIMSA-ENHER, 3 tomos. (Inédito).

- ENADIMSA (1984). Investigación de lignitos en el área de Mequinenza (Zaragoza, Huesca, Lérida) (inédito).
- ENRESA (1987). Inventario nacional de formaciones geológicas favorables para el almacenamiento de residuos radiactivos de alta actividad (Fase Iª). ENRESA_(Inédito).
- ENRESA (1989). Estudio de las formaciones favorables de la región del Ebro y Pirineo alóctono (E.R.A.) (inédito).
- FERRER, J. (1971). El Paleoceno y el Eoceno del borde sur-oriental de la Depresión del Ebro (Cataluña). *Mém. Suiss. Paleontol.* 90: 70 p. Basilea
- FRUTOS, L. M. (1976). *Estudio geográfico del Campo de Zaragoza*. Inst. Fernando el Católico. 342 p. Zaragoza.
- IBAÑEZ, M. J. y MENSUA, S. (1977). Los valles asimétricos de la orilla derecha del Ebro. *Trabajos Neógeno-Cuaternario*, 6. II. *Reun. Nac. Grup. Esp. Trab. Cuat.*, 113-122.
- IGME (1975). Estudio geológico y minero del área lignitífera de Calaf (inédito).
- IGME (1975). Proyecto de investigación de radioactivos del área lignitífera y uraninífera de Santa Coloma de Queralt (Barcelona-Tarragona) (inédito).
- IGME (1976). Área lignitífera y uraninífera de Mequinenza (Lérida-Tarragona, Huesca y Zaragoza) (inédito).
- IGME (1981a). Exploración de pizarras bituminosas en el Terciario de Pamplona-Zaragoza (inédito).
- IGME (1981b). Exploración de pizarras bituminosas en el Terciario del sector de Benabarre-Igualada (inédito).
- IGME (1985). Prospección previa de lignitos en el área de Pinós-Molsosa (Lérida-Barcelona) (inédito).
- IGME (1986). Prospección previa de lignitos en el área de Bages-Moianes (Barcelona) (inédito).
- IGME (1987). Síntesis Geológico-Minera de los carbones del noreste peninsular (inédito).
- J.E.N. (1977a). Estudio geológico, litológico, estructural y de posibilidades uraniníferas de la zona de Huesca-Estella (inédito).
- J.E.N. (1977b). Estudio geológico, litológico, estructural y de posibilidades uraniníferas de la zona de Solsona-Olot (inédito).

- J.E.N. (1979-81). Estudio estratigráfico y sedimentológico del borde meridional de la Depresión del Ebro entre Alcañiz y Borges Blanques (Provincias de Teruel, Zaragoza, Lérida y Tarragona) (inédito).
- MANDADO, J., RODRÍGUEZ, J. y TENA, J. M. (1985). La disolución de rocas evaporíticas: un importante factor geomorfológico en el valle del Ebro. *Cuad. Inv. Geogr.*, 10, 139-148. Logroño.
- PÉREZ, A.; MUÑOZ, A.; PARDO, G.; VILLENA, J. y ARENAS, C. (1988). Las unidades tectosedimentarias del Neógeno del borde Ibérico de la Depresión del Ebro (sector central). In: A. Pérez, A. Muñoz y J.A. Sanchez eds. *Sistemas lacustres neógenos del margen ibérico de la Cuenca del Ebro. Guía Campo III. Reunión Grupo Especial de Trabajo*. PICG 219, pp.7-20.
- PUIGDEFÁBREGAS, C.; MUÑOZ, J. A. y MARZO, M. (1986). Thrust belt development in the eastern Pyrenees and related depositional sequence in the southern foreland basins. En: P. H. Allen y P. Homewood (eds.), *Foreland basins. Spec. Publ., Int. Ass. Sediment*, 8, pp. 319-336.
- QUIRANTES, J. (1969). *Estudio sedimentológico y estratigráfico del Terciario continental de Los Monegros*. Tesis Doctoral. Univ. Granada. Pub. por *Institución "Fernando El Católico" (CSIC)*, Diputación Provincial de Zaragoza, 1978. 200 p.
- RIBA, O. (1955). El Terciario continental de la Rioja alta y de la Bureba. Informe nº 97, CIEPSA (inédito).
- RIBA, O. (1961). Geological Report on the Continental Tertiary of the Western Ebro Basin and Neighbouring Basins. Report CV-131, CIEPSA (inédito).
- RIBA, O. (1976). Tectogenèse et sédimentation: deux modèles de discordances syntectoniques pyrénéennes. *Bulletin du B.R.G.M. (2ª Serie)*. Section 1, nº 4. pp. 383-401, 12 figs.
- RIBA, O.; REGUANT, S. y VILLENA, J. (1983). Ensayo de síntesis estratigráfica y evolutiva de la cuenca del Ebro. *Libro Jubilar J.Mª Ríos. Geología de España*, IGME, T. 2, pp. 131-159.
- RODRÍGUEZ, J. y VILCHEZ, J. (1984). Precisiones cronológicas sobre las terrazas inferiores del río Ebro en Zaragoza. *I Congr. Esp. Geología*. Segovia. T. 1, 553-559.
- SIMÓN, J. L.; GIL, I. y CASAS, A. (1989). "La fracturación distensiva cuaternaria en el sector occidental de la Cuenca del Ebro". *II Reun. Cuat. Ibérico*. Resúmenes, pág. 56.
- SIMÓN, J. L. (1989). Late Cenozoic stress field and fracturing in the Iberian Chain and Ebro Basin (Spain). *Jour. Struct. Geol.*, v. 11 (3), 285-294.
- SIMÓN, J. L. y SORIANO, M. A. (1985).-Deformaciones cuaternarias en el área de Zaragoza. *I Reuniao do Quaternário Ibérico*, II, 329-343.
- SORIANO, M. A. (1988). Superficies de erosión finiterciarias desarrolladas al S y SW de Zaragoza. *Acta Geol. Hisp.*, v. 23, pp. 39-46.

VILLENNA, J.; PÉREZ, A.; PARDO, G. y GONZÁLEZ, A. (1991). Estudio sedimentológico del Terciario de la hoja de Daroca. En: Memoria del Mapa Geológico de España a escala 1:200.000, hoja nº 40. Daroca. I.T.G.E.

ZUIDAM, R. A. VAN (1976). Geomorphological development of the Zaragoza region, Spain". *Inst. Inv. Aer. Surv. Earth. Sc. (ITC)*. Enschede, 211 p.

INSTITUTO GEOLOGICO
Y MINERO DE ESPAÑA
RIOS ROSAS. 23 · MADRID-3



SERVICIO DE PUBLICACIONES
MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA