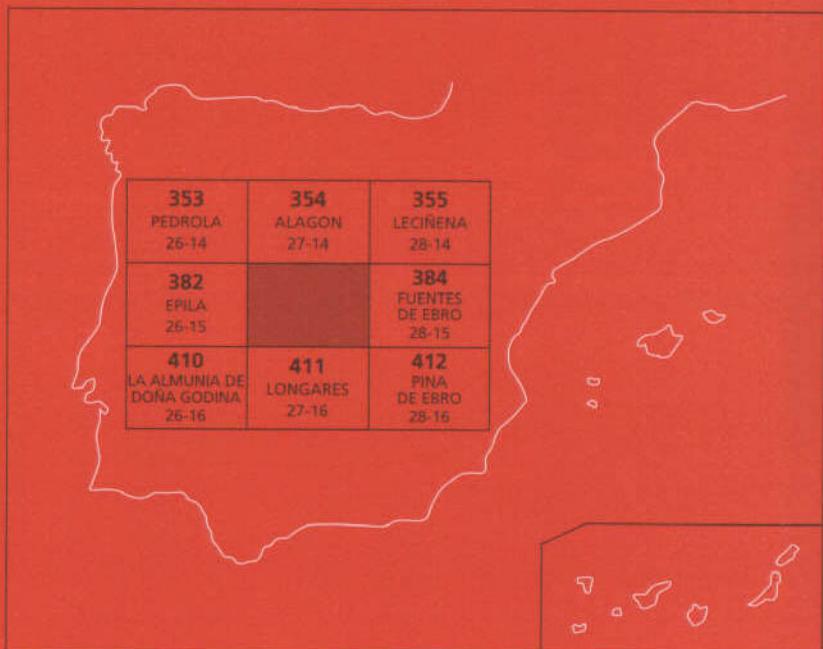




MAPA GEOLOGICO DE ESPAÑA

Escala 1 : 50.000

Segunda serie - Primera edición



ZARAGOZA

MAPA GEOLOGICO DE ESPAÑA

Escala 1:50.000

SE INCLUYE MAPA GEOMORFOLOGICO A LA MISMA ESCALA

ZARAGOZA

© INSTITUTO TECNOLOGICO GEOMINERO DE ESPAÑA

Ríos Rosas, 23. 28003 MADRID

Depósito legal: M-2.667-1998

ISBN: 84-7840-324-8

NIPO: 241-96-007-6

Fotocomposición: Rugoma, S.A.

Impresión: Máster Gráfico

El Mapa Geológico y Memoria explicativa de Zaragoza (383) han sido realizados durante 1990 y 1991 por la Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras S.A., habiendo intervenido los siguientes autores:

Mapas Geológico y Geomorfológico: J.M. Esnaola y C. Gil (ENADIMSA)

Memoria*:

Estratigrafía, geomorfología y tectónica: J.M. Esnaola y C. Gil (ENADIMSA)

Neotectónica: L. Marqués (ENADIMSA)

Hidrogeología: J.M. Herranz (ENADIMSA)

Han colaborado en aspectos parciales:

Paleontología: J. Ramírez del Pozo

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)

ÍNDICE

	<i>Páginas</i>
0. INTRODUCCION	7
1. ESTRATIGRAFIA	8
1.1.. Terciario	10
1.1.1. Unidad de Remolinos-Lanaja. Areniscas y arcillas rojas con niveles de conglomerados (2)	10
1.1.2. Unidad Sierra de Pallaruelo-Montes de la Sora	12
1.1.2.1. Conglomerados, microconglomerados y areniscas (3)	14
1.1.2.2. Arcillas rojas y areniscas (4)	15
1.1.2.3. Arcillas rojas y yesos nodulares (5)	15
1.1.2.4. Yesos nodulares, margas, carbonatos y arcillas (6)	16
1.1.3. Tramo comprensivo evaporítico (1)	16
1.1.4. Unidad Montes de Castejón (7)	18
1.1.5. Unidad de San Caprasio (8)	19
1.2. Cuaternario	21
1.2.1. Pleistoceno	21
1.2.1.1. Terrazas (9, 10, 12, 14, 15 y 17)	21
1.2.1.2. Glacis (11, 13 y 16)	21
1.2.2. Holoceno (18 a 25)	21
2. Tectónica y neotectónica	22
2.1. Marco tectónico regional	22
2.2. DESCRIPCION DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS	23
3. GEOMORFOLOGIA	24
3.1. Descripción fisiográfica	24
3.2. Análisis geomorfológico	25
3.2.1. Estudio morfoestructural	25

	<i>Páginas</i>
3.2.1.1. Enmarque dentro de los grandes conjuntos regionales	25
3.2.2. Estudio del modelado	26
3.2.2.1. Génesis endógena.....	26
3.2.2.2. Génesis exógena	26
3.3. Formaciones superficiales	28
3.3.1. Terrazas (a,b,c,d,e,f,g,h,i)	28
3.3.2. Glacis (j,k,l,m,n)	28
3.3.3. Vales (n)	29
3.3.4. Endorreicos (o)	29
3.4. Evolución dinámica	29
3.5. Procesos actuales-subactuales y tendencias futuras	30
4. HISTORIA GEOLOGICA.....	31
5. GEOLOGIA ECONOMICA	32
5.1. Recursos minerales	32
5.2. Hidrogeología	33
5.2.1. Climatología	33
5.2.2. Hidrología.....	33
5.2.3. Características hidrogeológicas.....	35
5.2.4. Otros posibles acuíferos	36
5.3. Geotecnia	37
6.. PATRIMONIO NATURAL GEOLOGICO. PUNTOS DE INTERES GEOLOGICO (P.I.G.)..	40
6.1. Descripción y tipos de interés de los P.I.G.	42
7. BIBLIOGRAFIA	44

0. INTRODUCCION

La Hoja de Zaragoza está situada en el sector centro-occidental de la Depresión del Ebro, entre los paralelos 41° 30' 04" N y 41° 40' 04" N y los meridianos 0° 51' 10" O y 1° 11' 10" O referidos al meridiano de Greenwich, ocupando el término municipal de la capital aproximadamente el 50% de la extensión total de la hoja.

Las áreas más elevadas se encuentran en la mitad suroccidental, en las mesetas de la Muela y La Plana con alturas comprendidas entre 560 y 638 m, cuyas vertientes descenden hasta los 185-190 m del Río Ebro presente en el vértice NE en su travesía por la ciudad de Zaragoza.

El clima es de tipo continental, con temperatura y precipitación medias anuales de 15° y 400 mm respectivamente con temperaturas extremas cercanas a los 45° C en verano y -10°C en invierno. El viento dominante es el Cierzo, procedente del NO, que adquiere especial intensidad en los períodos fríos.

En la esquina NE se encuentra la mayor parte del núcleo urbano de Zaragoza, con una población de unos 600.000 habitantes y un amplio cinturón periférico de influencia en que la actividad industrial es muy importante.

Entre los núcleos urbanos restantes, de mucha menor entidad, destacan La Muela, en la meseta del mismo nombre, y Cuarte de Huerva, Cadrete, María de Huerva y Botorrita, aliñeados a lo largo del valle del río Huerva, en los que la actividad agraria se funde con la industrial presente en varios polígonos.

La agricultura se desarrolla con cultivos de regadío en los valles del Ebro y Huerva y de secano, fundamentalmente cereal, en las partes altas de las "muelas". El resto, laderas modeladas en los yesos cubiertos por monte bajo, se destina a pastizal.

Desde el punto de vista geológico, los materiales presentes pertenecen al Mioceno superior que se disponen en unidades subhorizontales y al Cuaternario, constituyendo diferentes generaciones de glacis y terrazas, motivo de numerosos estudios.

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 subcuenca 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. (1977a,b) para la mitad septentrional de los sectores central y oriental de la Cuenca, los del IGME (1975, 1985) en las cuencas lignítferas de Calaf y Mequinenza, el de la J.E.N. (1979-81) para el sector sur-oriental. Trabajos posteriores IGME (1981a,b) 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, Puigreig, 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).

El método de trabajo ha consistido en el levantamiento de columnas estratigráficas de detalle para caracterizar las diferentes facies del Terciario, con recogida de muestras para su estudio sedimentológico y micropaleontológico (carofitas y ostrácodos). Simultáneamente se ha realizado la cartografía de las unidades litoestratigráficas del Terciario y de las formaciones superficiales cuaternarias definidas en escarpes naturales o proporcionados por el Canal Imperial o canteras.

1. ESTRATIGRAFIA

La Cuenca del Ebro se configura como una cuenca de antepaís relacionada con la evolución del Orógeno Pirenaico (PUIGDEFABREGAS *et al.* 1986), el cual actuó 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 llenan 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 Aragónés". Sin embargo, en la parte sur de la cuenca el espesor 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 detriticos del 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 fundamentalmente carbonáticos de la sierra que da nombre a la formación y representan la culminación del relleno endorreico de la Cuenca del Ebro.

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

La interdigitación de depósitos correspondientes a distintos ambientes deposicionales permite observar una ordenación vertical rítmica en los sedimentos de este sector. Cada uno de estos ritmos, en líneas generales, está constituido en su base por sedimentos aluviales distales y en su parte superior por sedimentos de ambientes lacustre palustres, tanto carbonáticos como evaporíticos. El límite inferior de cada ritmo es un cambio rápido de facies, mientras que el tránsito de los sedimentos aluviales basales a los superiores lacustres dentro del propio ritmo, se produce de forma gradual.

El estudio de esta ritmidad ha permitido distinguir cuatro ritmos con estas características en las áreas adyacentes a la hoja de Zaragoza que se han denominado como "unidades genético-sedimentarias". Estas unidades se extienden a lo largo de decenas de kilómetros en áreas próximas y presentan espesores que oscilan entre las varias decenas a más de un centenar de metros. La correlación de los límites de estas unidades ha permitido diferenciarlas tanto en los sectores más cercanos a los bordes de la cuenca, donde existe un predominio de facies detriticas, como en las áreas de centro de cuenca, dominadas por depósitos lacustres carbonáticos y salinos. Estas unidades "genético-sedimentarias" tienen un mismo carácter y pueden correlacionarse parcialmente con las U.T.S. de PEREZ *et al.* (1988) y VILLENA *et al.* (1991) como se observa en la figura I.

La hoja de Zaragoza está situada en el sector central de la cuenca del Ebro, en donde afloran materiales de origen continental pertenecientes al Terciario (Mioceno) y Cuaternario.

Los afloramientos terciarios próximos al río Ebro se presentan generalmente recubiertos por depósitos cuaternarios (glacis, terrazas, etc.), mientras que las vertientes hacia el río Huerva y las proximidades al escarpe de las "muelas" proporcionan los mejores afloramientos en serie continua.

En los depósitos cuaternarios, se han diferenciado varios niveles de terrazas, distintas generaciones de glacis, aluviones, etc.

1.1. TERCIARIO

Los materiales terciarios presentes en la hoja incluyen depósitos atribuidos al Mioceno, comprendiendo probablemente desde el Aragoniense hasta el Vallesiense.

Se han distinguido ocho unidades litoestratigráficas que deben corresponderse, al menos, con las cuatro "unidades genético-sedimentarias" más modernas definidas para la cuenca, a saber: Unidad de Remolinos-Lanaja, U. Sierra de Pallaruelo-Monte de la Sora, U. Montes de Castejón y U. San Caprasio.

En la figura 1 pueden observarse las relaciones entre las unidades cartográficas y las "U. genético-sedimentarias" así como su distribución bioestratigráfica y su correlación con las U.T.S. definidas por PEREZ *et al.* (1988).

1.1.1. **Unidad de Remolinos-Lanaja. Areniscas y arcillas rojas con niveles de conglomerados (2)**

En el sector centro-meridional de la hoja, especialmente en ambas márgenes del Río Huerva afloran los materiales más antiguos de la hoja.

En general consisten en una alternancia de arenas y/o areniscas con lutitas de colores rojizos a asalmonados, estructuradas en secuencias granodecrescentes de orden métrico, en las que se observa un término inferior de arenas o areniscas con base erosiva, a veces con grava dispersa, que en ocasiones muestra estratificación cruzada de media escala y pequeñas superficies de reactivación; y un término superior compuesto por lutitas, en ocasiones limo-arenosas, de color predominantemente rojo.

En algún caso, en el límite meridional de la hoja, se han observado capas de paraconglomerados con matriz arenoso-lutítica y base erosiva que pasan lateralmente a los niveles de arenas descritos.

Los cuerpos canalizados mayores son de espesor métrico y continuidad lateral decamétrica.

En sentido sur-norte se observa una evolución a secuencias de menor espesor, centimétricas a decamétricas, a la vez que las capas de arena se amalgaman, formando cuerpos de espesor métrico con finos interestratos de arcilla alternando con secuencias en las que las areniscas muestran laminación paralela y de *ripples*.

En conjunto la serie evoluciona en vertical con un aumento progresivo de lutita pasando de una relación arena/lutita de tipo 2/1 en la base de la serie a otra de tipo 1/4 a techo. En estos tramos de techo la presencia de yeso en nódulos centimétricos y cristales secundarios es constante, y más ocasional la carbonatación y bioturbación en las lutitas.

EDAD		UNIDADES GENETICO-SEDIMENTARIAS MAGNA	DESCRIPCION DE LAS FACIES CARTOGRIFIADAS EN LA HOJA DE ZARAGOZA	UTS. PEREZ et al. (1988)	YACIMIENTOS MICROMAMIFEROS ESTUDIADOS EN EL MAGNA EBRO	BIOZONAS MEIN
MIOCENO	ARAGONIENSE	VALLESIENSE	U. SAN CAPRASIO	8. Calizas y margas	N3	MN-10 MN-9 MN-8 MN-7 MN-6
			U. MONTES DE CASTEJON	7. Margas grises y calizas	N2	Puig Ladrón
		M E D I O	U. SIERRA DE PALLARUELO-MONTE DE LA SORA	6. Yesos nodulares, margas y arcillas ocres 5. Arcillas rojas y yesos nodulares 4. Arcillas rojas y areniscas 3. Conglomerados, microconglomerados y areniscas	N1	Caserío 1
			U. REMOLINOS-LANAJA	2. Areniscas y arcillas rojas con canales de conglomerado		MN5 MN4b
				1. Yesos nodulares y tabulares con lutitas		MN-4a
			U. BUJARALOZ-SARIÑENA			MN-3b

Fig. 1. Ensayo de correlación de las unidades genético-sedimentarias diferenciadas en la hoja y las unidades tectosedimentarias de PEREZ et al. (1988).

Petrológicamente las areniscas pueden clasificarse como litarenitas de grano medio a fino, subangulosas a subredondeadas con cemento de yeso mayoritario y carbonatado muy escaso y esporádico. Los fragmentos de roca más abundantes corresponden a materiales metamórficos, con escasísimos granos de rocas carbonatadas.

El espectro litológico de los bancos de orto- y paraconglomerados es similar con una primera moda compuesta por cantos subredondeados de cuarzo y cuarcita y porcentajes minoritarios de otras rocas metamórficas (pizarras, esquistos, etc.).

Las facies y asociaciones de facies definidas en las columnas realizadas permiten definir para esta unidad un modelo de sedimentación de abanicos aluviales como el que se representa en la Fig. 2, en el que se significa un cinturón con asociaciones de facies de canales propia de lóbulo medio-distal, que cubriría el borde sur de la hoja y un cinturón con asociaciones de facies de depósitos de flujos laminares (*sheet-flood*), al norte del anterior. Ambos cinturones configuran las áreas medio a distales de un sistema de abanicos aluviales.

Las muestras para levigados recogidas en las series realizadas han resultado estériles.

En los materiales que forman esta unidad genético sedimentaria, no se han encontrado yacimientos de microvertebrados que hayan permitido datarla. Su edad debe acotarse por la de las unidades infra- y suprayacentes. En la hoja de Peñalba (386) la edad de la parte superior de la infrayacente unidad Bujaraloz-Sariñena corresponde al Aragoniense más bajo, de acuerdo con los datos de aportados por AZANZA *et al.* (1988) y por CUENCA *et al.* (1989). Por otra parte, en la hoja de Lanaja (356) se ha podido datar la suprayacente unidad Montes de Castejón-Sierra de Lanaja como Aragoniense medio-superior. Por tanto se puede atribuir una edad Aragoniense medio a la unidad en cuestión.

1.1.2. Unidad Sierra de Pallaruelo-Montes de la Sora

Las facies características de esta “unidad genético-sedimentaria” se han definido en la vertiente septentrional de la Sierra de Alcubierre, hoja de Lanaja (356). En este área, la unidad muestra una gran diversidad de litofacies, desde las facies terrígenas a las evaporíticas, pasando por todas las facies intermedias terrígeno-carbonatadas. La procedencia de los aportes terrígenos es pirenaica.

En la hoja de Zaragoza, esta unidad muestra una gran variedad litológica, desde sedimentos terrígenos gruesos hasta facies evaporíticas, con cambios laterales y verticales de facies muy rápidos. La diferencia sustancial con respecto al área de definición de la unidad es la procedencia de los sedimentos terrígenos, ya que en la hoja de Zaragoza es claramente ibérica. Por tanto, se trataría de un litosoma generado por dos sistemas sedimentarios similares y aproximadamente sincrónicos de procedencia opuesta.

En el contexto general de la unidad se han distinguido cartográficamente cuatro asociaciones de facies que muestran mutuas relaciones de cambio lateral y vertical de facies. Globalmente el contacto entre esta unidad y la infrayacente es neto y concordante.

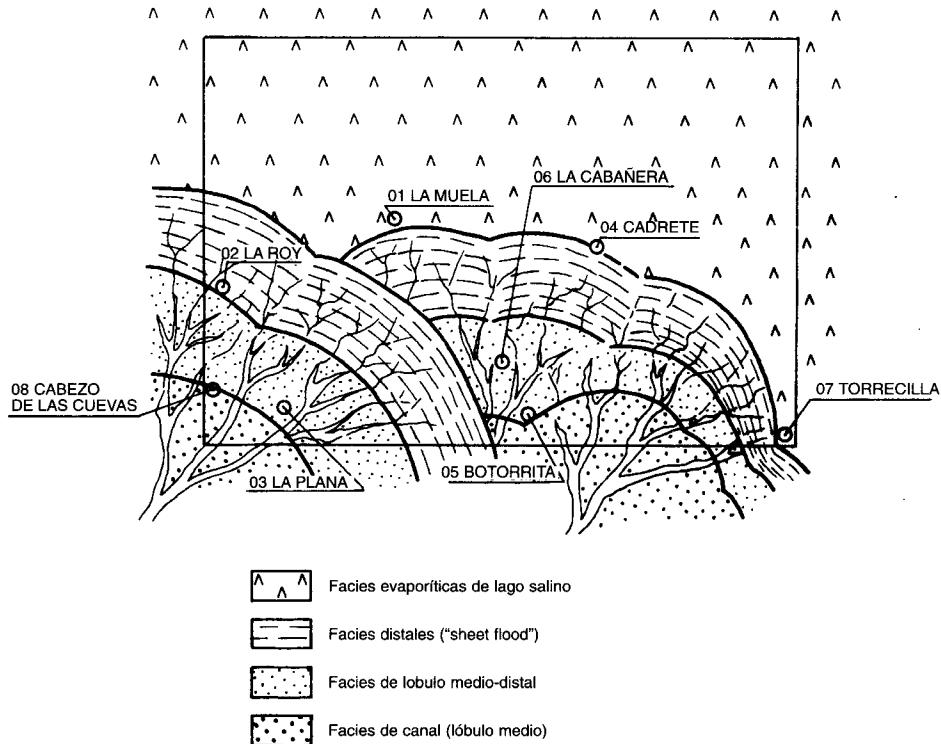


Fig. 2 Situación de la Hoja de Zaragoza y columnas estratigráficas más representativas dentro del contexto paleogeográfico deposicional para las unidades genético-sedimentarias de Remolinos-Lanaja (abanico centro meridional) y Sierra de Pallaruelo-Montes de la Sora (abanico suroccidental)

A nivel regional esta unidad puede correlacionarse con el ciclo superior de la U.T.S. N-1 de PEREZ *et al.* (1988) y VILLENA *et al.* (1991).

1.1.2.1. Conglomerados, microconglomerados y areniscas (3)

En el ángulo suroeste de la hoja aflora un conjunto de sedimentos terrígenos gruesos en el que alternan conglomerados (grano y/o matriz soportados) con areniscas. Las intercalaciones de lutitas son escasas y la coloración predominante del conjunto es pardo rojiza.

Los conglomerados se presentan en bancos o capas decimétricas; en general, son grano-soportados y su espectro litológico es cuarzo-cuarcítico con porcentajes minoritarios de cantes de pizarras o esquistos. Son heterométricos y los cantes de subangulosos a subredondeados. Se han observado bancos con tendencia a ser matriz soportados y fuerte heterometría en los que el centímetro es superior a 25 cm. Normalmente tienen base plana a levemente erosiva, hay amalgamación de capas, cicatrices erosivas en los bancos más potentes, interestratos irregulares de lutitas rojas, y a veces, grosera granoclasicación. En el sector SO de la hoja los conglomerados muestran un espectro litológico de tipo calclítico o intermedio cuarzo-calclítico.

En las areniscas pueden diferenciarse dos facies predominantes; una como capas o bancos de areniscas pardas a blanquecinas, masivas con grava dispersa, a veces abundante y cemento carbonatado creciente, en la que raramente se observan cicatrices erosivas, y cuya base es plana o débilmente erosiva y otra como capas decimétricas a centimétricas de areniscas de grano medio a fino con base erosiva, estratificación cruzada en surco de media escala y laminación de *ripples*. En ambos casos su petrología es muy similar. Pueden clasificarse como litarenitas con cemento carbonatado. En los bancos masivos hay un mayor porcentaje de fragmentos de rocas metamórficas (pizarras y esquistos) y de matriz.

La facies minoritaria en este conjunto son las lutitas rojas y pardas que se encuentran como matriz en las facies anteriores, como interestratos discontinuos en los bancos de conglomerados y como láminas o capas de desigual desarrollo lateral. En general son débilmente carbonatadas, aunque como todo el conjunto la proporción de carbonatos aumenta hacia arriba y desde el sur hacia el norte.

La asociación de facies predominante está compuesta por una secuencia granodecreciente, normalmente de espesor métrico a decamétrico, en la que se ordenan las facies en el orden que se han descrito: ortoconglomerados, areniscas masivas, areniscas y lutitas. Las capas o bancos de conglomerados disminuyen en espesor tanto hacia techo del conjunto como en sentido SO-NE.

Tanto las facies como las asociaciones observadas pueden interpretarse como depósitos de áreas proximales y de lóbulo medio (facies de canal) en un sistema de abanicos aluviales (Fig. 2).

1.1.2.2. Arcillas rojas y areniscas (4)

En cambio lateral y vertical de facies, a veces muy rápido, con los materiales anteriormente descritos, se encuentra un conjunto de sedimentos en los que alternan capas de arcillas, areniscas, margas, dolomitas y yesos.

La facies mayoritaria está compuesta por arcillas rojas o asalmonadas a veces carbonatadas, que intercalan capas centimétricas de areniscas de grano medio a fino de tipo litarenítico a sublitarenítico. Estas areniscas muestran laminación de *ripple* y ocasionalmente incluyen granos de tamaño grava dispersos.

Hacia techo, la serie evoluciona a una alternancia centimétrica de lutitas asalmonadas y/o verdosas con yeso alabastrino que intercalan capas o láminas de dolomícritas de colores blancos o rosados con laminación paralela. La secuencia tipo está compuesta por lutitas gris verdosas, dolomícritas, yeso laminar y/o yeso alabastrino. Las secuencias que marcan el límite cartográfico intercalan capas de arenisca de grano fino con laminación paralela y de *ripple* sobre las que se superponen lutitas con laminación paralela de colores alternantes gris y verde amarillento, con fuerte bioturbación (suelo de vegetación). Estas lutitas muestran abundantes restos vegetales carbonizados y capas milimétricas de lignito discontinuas.

Sobre estas secuencias se apoya un banco métrico de yeso masivo que se toma como base del tramo cartográfico suprayacente.

Las facies y asociaciones de facies de este conjunto son propias de depósitos de la facies distales de un sistema de abanicos aluviales (caracterizadas por depósitos de flujos laminares) evolucionando a una llanura fangosa (*dry mud-flat*) en transición a un sistema de lago salino (*playa lake*).

1.1.2.3. Arcillas rojas y yesos nodulares (5)

En el vértice suroccidental de la Muela de Zaragoza y en concordancia con el conjunto descrito en el epígrafe anterior, aflora un conjunto de sedimentos de carácter mixto terrígeno-evaporítico constituido por lutitas versicolores, a veces carbonatadas, que intercalan yesos nodulares y ocasionalmente niveles de yeso alabastrino.

Las lutitas, ocasionalmente carbonatadas, muestran un color pardo rojizo a gris violáceo, en superficies frescas. Su aspecto es masivo y la fractura de astillosa a concoide.

Los filosilicatos constituyen del 70 a 80% de estas lutitas, que además muestran porcentajes variables del 5 al 15% de carbonatos, mayoritariamente dolomícrita.

La presencia de valores constantes de caolinita, micas y clorita en un medio rico en sales solubles parece indicar un origen heredado, en tanto que la existencia de porcentajes muy variables de montmorillonita parece sugerir su origen en los procesos de neoformación y/o transformación. La bioturbación y presencia de restos vegetales es constante.

Los yesos que se encuentran en esta unidad son de dos tipos: los más característicos son los de estructura nodular a micronodular discontinua y textura *chicken wire*. Son más escasos

los yesos estratificados en capas de espesor variable con textura en empalizada o aturronada, conteniendo nódulos alabastrinos, aunque su presencia aumenta progresivamente desde el sur hacia el norte.

El espesor medio de este conjunto puede estimarse en un máximo de 65 m. Por las características litológicas, estos depósitos son propios de llanuras fangosas (*dry mud flat*).

1.1.2.4. Yesos nodulares, margas y arcillas ocres (6)

En concordancia con la unidad cartográfica 4 y en cambio lateral de facies con la unidad anteriormente descrita, se encuentra una asociación de facies que tiene espesores de 60 a 65 m, constituida fundamentalmente por una alternancia de bancos de yesos, con lutitas y/o margas de colores variables de ocres a rojizos y verde-amarillentos.

Este conjunto aflora en las vertientes occidentales de la Muela, y aunque por su litología es difícil de establecer una serie continua, puede estimarse una relación yeso-lutita de tipo 1/2.

Las lutitas están estratificadas en capas o bancos (de 0,20 a 2 m de potencia) con laminación paralela o masivas. Incluyen delgadas intercalaciones de dolomicritas que aparecen como láminas o capas centímetricas con laminación paralela y color blanco. Los niveles de yesos son de colores blanco verdosos a pardo violáceos, están estratificados en bancos de 1 a 2 m de espesor constituidos por capas de 10 a 30 cm con estratificación nodulosa irregular.

La ordenación secuencial más completa está compuesta por lutitas y/o lutitas carbonatadas en la base, y dolomias blancas y yesos en la parte superior.

Las facies y asociaciones de facies descritas pueden interpretarse como depósitos de zonas marginales de un sistema de lago salino (*playa lake*).

Como resumen, los distintos conjuntos descritos en la Unidad de Pallaruelo-Montes de la Sora, en el ámbito de la hoja de Zaragoza, configuran un modelo de facies complejo en el que se han diferenciado en sentido SO-NE depósitos de abanico aluvial desde facies proximales (3) a distales (4), depósitos de llanuras fangosas (5) y de lago salino (*playa-lake*) marginal (6). Este modelo se desarrolla con cinturones de facies poco extensos y cambios laterales de facies muy rápidos, tanto en la horizontal como en la vertical, lo que le diferencia del modelo de facies similar propuesto para la unidad de Remolinos-Lanaja, donde los cinturones de facies eran más extensos.

1.1.3. Tramo comprensivo evaporítico (1)

En los sectores centrales y septentrionales de la hoja de Zaragoza las “unidades genético-sedimentarias” de Remolinos-Lanaja y Pallaruelo-Monte de la Sora, en sus distintos conjuntos descritos, pasan lateralmente a una potente sucesión de sedimentos de carácter evaporítico en la cual la diferenciación cartográfica de los paquetes evaporíticos, correspondientes a cada unidad no ha podido realizarse, por lo que se considera un conjunto único.

A título descriptivo, en las series realizadas se identifican dos tramos. El inferior está constituido por una alternancia de yesos y lutitas de colores rojos o grises. Los yesos forman capas decimétricas y bancos con texturas de nódulos alabastrinos a masivo aturronado y las lutitas, de colores rojos, pardos, violáceos o grises, son de aspecto masivo, bioturbadas y débilmente carbonatadas. Hay capas de yeso lenticular y capas de yeso en megacristales, sobre todo hacia la base de la serie, en tanto que abunda el yeso nodular en capas, o bien como nódulos con textura *chicken wire*, en los tramos arcillosos hacia techo.

En este tramo, se reconocen secuencias lutita-yeso de orden métrico a decamétrico. Cartográficamente, este paquete se correspondería lateralmente con los sedimentos descritos en el epígrafe 1.1.1 de la unidad de Remolinos-Lanaja. En el modelo de facies propuesto en dicho epígrafe corresponderían a los depósitos correspondientes a llanuras fangosas (*dry mud flat*) evolucionando a zonas marginales de lago salino (*playa-lake*).

Las muestras para levigados recogidas en este tramo han resultado estériles.

El conjunto superior corresponde a los depósitos evaporíticos que ocupan las áreas centrales y septentrionales de la hoja de Zaragoza. Se trata de facies yesíferas bastante monótonas que intercalan capas y láminas de margas y arcillas verdes más abundantes en los sectores centro occidentales.

El espesor de este conjunto es muy constante, con promedios de 100 a 115 m.

La observación es buena en la margen derecha del río Huerva a la altura de Cadrete, así como en el sector suroriental (Torrecilla).

En ambos casos las series realizadas muestran una gran monotonía. Los yesos se encuentran constituidos casi en su totalidad por yeso blanco alabastrino con estructura nodular. Son muy escasos los paquetes con estructura laminar y siempre hacia techo del conjunto.

A grandes rasgos pueden distinguirse tres subtramos. El inferior con predominio de secuencias decimétricas, compuestas de abajo a arriba, por: lutitas o margas verdes, yeso nodular y yeso masivo; el intermedio compuesto por yesos masivos nodulares-alabastrinos, con escasos interestratos de margas verdes y el superior con secuencias similares al inferior, que progresivamente hacia techo intercalan mayor cantidad de capas o láminas de dolomícritas blancas entre las margas y los yesos.

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 texturas porfidoblásticas, megacristalinas y fibrosas.

Este conjunto evaporítico se corresponde lateralmente con los sedimentos descritos en los epígrafes 1.1.2.3. y 1.1.2.4. (términos 5 y 6 de la cartografía), y en el modelo de facies establecido para estos términos, constituirían los depósitos de la zona intermedia e interna del lago salino (*playa-lake*).

En la serie realizada en la vertiente septentrional de la Muela de Zaragoza, una muestra recogida en el techo del conjunto evaporítico, ha proporcionado microfauna de: *Cavernocandona roaixensis*, CARBONNEL., *Pseudocandona* sp., *Candona* cf. *curvata*, CARBONNEL., *Chara* sp., y fragmentos de ostrácodos y gasterópodos que parecen estar de acuerdo con la edad Aragoniense inferior que se considera para la unidad por criterios de correlación regional.

1.1.4. Unidad Montes de Castejón (7)

Esta "unidad genético sedimentaria" se definió en los montes de dicho nombre (hojas de Alagón, 354 y Remolinos, 322) donde su constitución es esencialmente carbonatada. En la hoja de Zaragoza, los sedimentos atribuidos a esta unidad son de constitución similar al área de definición.

Esta unidad es correlacionable con la U.T.S. N-2 de VILLENA *et al.* (1991) y PEREZ *et al.* (1988) y con la Unidad Carbonatada de GIL *et al.* (1995) de la hoja de Alagón (354).

En el ámbito de la hoja esta unidad se muestra como un litosoma de espesor uniforme de 20-25 m y constitución variada.

En los afloramientos observados en la vertiente meridional de la Muela y La Plana, el tránsito entre el ciclo evaporítico de la unidad infrayacente y la unidad que se describe está marcado de forma casi constante por un paquete de lutitas carbonatadas y/o margas de color rojizo asalmonado a pardo que intercalan láminas o capas centimétricas de calizas micríticas laminadas de color blanco grisáceo. En la vertiente septentrional de las Muelas estas margas no afloran y el tránsito entre ambas unidades está definido por la desaparición de los depósitos evaporíticos (yesos y dolomitas) y el aumento del contenido en carbonato cálcico (calizas micríticas y margas grises). Por tanto, en ambos casos el límite queda determinado por la presencia de carbonato cálcico y en sectores localizados, por la litología reseñada.

En general, dentro de la hoja de Zaragoza, además de las margas asalmonadas, en esta unidad pueden definirse dos tramos. El inferior está constituido por una fina alternancia de carbonatos y margas estructuradas en secuencias centi- a decimétricas, y el superior está compuesto por secuencias caliza-marga de espesores métricos. La presencia de sílex en nódulos centimétricos de color gris azulado es constante, sobre todo a techo de la unidad.

En el tramo inferior se encuentran capas calcáreas con estratificación cruzada de tipo *hummocky* (WALKER *et al.*, 1983), de tipo BPHFXM y PHFXM en donde el término P puede ser bioclástico, arenoso de tipo cuarcítico o mixto terrígeno bioclástico, con base débilmente erosiva. En general son tempestitas con *grainstone* y/o *packstone* bioclásticas a intrabioclásticas gradadas con *hummocky-cross bedding* o *swaley*, con un término superior M compuesto por margas con bioturbación de moderada a fuerte.

El tramo superior está compuesto por secuencias métricas con calizas de textura *mudstone* y/o *wackestone* estratificadas en capas decimétricas, que a veces intercalan láminas de are-

niscas gradadas con bases débilmente erosivas, y margas verde-grisáceas bioturbadas. En su conjunto esta unidad se constituye como una megasecuencia estratocreciente, en la que aumenta progresivamente hacia arriba el contenido en carbonato.

Las muestras recogidas en esta unidad han proporcionado los siguientes microfósiles: *Candona bitruncata*, CARBONNEL, *Candona cf. curvata*, CARBONNEL, *Cypridopsis cf. kinke-lini*, LIENENKL, *Sphaerochara cf. inconspicua* (Al. BRAUN. EX UNGER), FEIST-CASTEL, *Stephanochara berdotensis* FEIST-CASTEL, *Limnocythere acquensis*, CARBONNEL.

Por lo que se refiere a la posición cronoestratigráfica de esta unidad, el estudio paleontológico del yacimiento de Puigladrón, situado en la parte media de la misma en la hoja de Lanaja (356), ha permitido acotar su edad entre el Mioceno medio y el Mioceno superior. Por otro lado, en el yacimiento del Barranco de San Benito (hoja de Lanaja), también situado en la parte media superior de la unidad, se han estudiado restos de mamíferos, que permiten atribuirle una edad comprendida entre el Aragoniense medio y el superior (B. AZANZA, com. pers.).

Dada su constitución litológica y las asociaciones de facies descritas, puede considerarse para esta unidad un modelo lacustre carbonatado que en su tramo basal aún muestra facies con influencia de corrientes tractivas posiblemente relacionadas de una parte con aporte fluviales direccionales (terrígenos) y por otra con actividad intensa de tormentas en el lago, evolucionando en su tramo superior a facies carbonatadas con una mayor influencia biogénica y caracteres palustres (bioturbación y restos vegetales).

1.1.5. Unidad de San Caprasio (8)

Esta unidad genético sedimentaria está definida en la Sierra de Alcubierre dentro de la hoja de Lanaja (354) donde su constitución es, al igual que en la de Zaragoza, predominantemente carbonatada.

Regionalmente se dispone en contacto neto sobre la Unidad Montes de Castejón y puede correlacionarse con la U.T.S. N-3 de VILLENA *et al.* (1991) y PEREZ *et al.* (1988).

En la hoja de Zaragoza esta unidad se muestra como un litosoma uniforme constituido por calizas estratificadas en capas decimétricas, masivas, con intercalaciones de margas hacia la base.

Las facies terrígenas de la base de esta unidad afloran únicamente en el sector centro-septentrional de la Muela; en el resto del área el límite entre esta unidad y la infrayacente es más difuso. Se ha tomado como referencia para su delimitación cartográfica un nivel de paleosuelos con depósitos discontinuos de calizas nodulizadas y ferrificadas, a veces asociado a capas ferralíticas y/o de carbonato de hierro (ankerita) fuertemente bioturbadas.

Tal como se ha indicado en el sector centro-septentrional donde se ha realizado la serie 01 (La Muela), la base de esta unidad está constituida por areniscas de grano medio a fino, en bancos con base erosiva de aspecto masivo, que pasan a alternancias de decimétricas a centimétricas de areniscas de grano fino con laminación de *ripples* y margas. El tramo tiene un color pardo amarillento y no supera los 5 m de espesor.

Petrológicamente las areniscas son litarenitas de tipo calclítico en las que abunda una microfauna resedimentada, de origen marino, en gran parte bien conservada, de edad Cretácico superior-Paleógeno y de procedencia posiblemente pirenaica. Esta microfauna resedimentada junto a granos de carbonato constituye un porcentaje superior al 50% de estas areniscas. El cemento es carbonatado y la matriz escasa, aunque aumenta hacia el techo.

En el conjunto general de la hoja, es reseñable que en las vertientes meridionales de las "muelas", dentro de los tramos basales de esta unidad, son más abundantes las margas, así como la presencia de restos vegetales y capas centimétricas de lignitos.

La facies carbonatada más característica está compuesta por capas decimétricas de calizas de textura *wackestone* a *packstone* con abundante fauna de gasterópodos e intensa bioturbación. Es normal encontrar bioturbaciones verticalizadas de tamaño decimétrico. Esta facies tiene interestratos de margas verdes y nódulos de sílex botroidal, muy abundantes y de tamaño variable, de decimétrico a incluso de metro cúbico. En las margas abundan los núcleos de pirita framboidal.

Otras facies carbonatadas, con cierto desarrollo sectorial en la serie, son los montículos de barro (*mud-mounds*) de espesor métrico y extensión lateral decamétrica observables en el sector suroriental de la Plana de Zaragoza (Torrecilla). Se trata de acumulaciones en forma de domo de caliza micrítica (*mudstone*) con una intensa bioturbación a techo y escasa fauna de gasterópodos. Los abanicos de capas sobre los montículos de barro están constituidos por calizas de texturas *wackestone* y *packstone* intrabioclásticas, a veces con deslizamientos gravitacionales y laminación de *ripples*.

Menos abundantes son las facies de calizas estromatolíticas (*bindstone*), que pueden observarse en las series septentrionales de la Muela, con espesor no superior al metro.

Por último, cabe reseñar las facies de calizas de textura *wackestone* y *packstone* (intrabioclásticas), que se dan en los tramos superiores de esta Unidad de forma casi generalizada, en las que se observan estratificación cruzada en surco de media a gran escala y acreción lateral marcada por niveles de cantes blandos con envueltas ferrificadas y acúmulos de restos vegetales carbonatados.

En conjunto las litofacies y asociaciones de facies descritas para esta unidad muestran que su base constituye un salto brusco en las condiciones de sedimentación, pasando del régimen lacustre tranquilo establecido durante el depósito de los últimos niveles de la unidad de Montes de Castejón a condiciones de alta energía marcada por las facies de areniscas canalizadas. Posteriormente se generaliza un sistema lacustre y/o palustre con materia orgánica abundante y alta actividad y productividad biológica. En este contexto se diversifican las facies palustres someras, margas bioturbadas, lignitos, estromatolitos, montículos de barro, etc. y los lacustres más profundos con acúmulos continuados de las calizas intrabioclásticas de textura *wackestone* y *packstone*.

Hacia el final de la serie los carbonatos biodetríticos con estratificación cruzada parecen indicar una reactivación en las condiciones hidrodinámicas del lago. Este hecho en el contexto

regional es inductivo del final del ciclo sedimentario de la U.T.S. N-3 e inicio del ciclo de la N-4, no reconocido en el área.

En las muestras recogidas en esta unidad se ha podido clasificar: *Ilyocypris gibba* (RAM-DOHR), *Candona cf. praecox*, STRAUB, *Nitellopsis (Tectochara) meriani* (L y N. GRAMB), *Chara cf. rochettiana*, HEER, *Chara notata* GRAMB y PAUL, *Candona neglecta* SARS, *Cyprinotus seminflatus* CARBONNEL, y abundantes gasterópodos lacustres (*Planorbis*, *Helix*, *Valvata*, *Bithynia*, *Hydrobia*, etc.). La edad de esta unidad puede establecerse por comparación con los depósitos superiores de la Muela de Borja, que deben ser equivalentes. La edad de éstos últimos ha sido determinada en los yacimientos de La Ciesma y El Buste como límite Aragoniense-Vallesiense (AZANZA, 1986; AZANZA et al., 1988). Estos datos permiten atribuir una edad Aragoniense superior a Vallesiense para el conjunto de esta unidad.

1.2. CUATERNARIO

Los depósitos cuaternarios afloran ampliamente dentro de la hoja, especialmente en el valle y margen meridional del río Ebro y, en menor medida, en el del río Huerva y su vertiente occidental.

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

1.2.1. Pleistoceno

1.2.1.1. Terrazas (9, 10, 12, 14, 15 y 17)

Se han definido mediante tres perfiles realizados en el río Huerva, que han sido correlacionadas con las del Ebro. La secuencia de la superior a la inferior es de 120, 90, 65, 45, 30 y 20 m sobre el nivel del cauce actual, y están constituidas por conglomerados, arenas y limos con estructuras sedimentarias de origen fluvial.

1.2.1.2. Glacis (11, 13 y 16)

Los depósitos de glacis se encuentran localizados en la vertiente norte de la "muela" y en el margen meridional del cauce del río Ebro. Se atribuyen al Pleistoceno, por correlación con los niveles de terrazas, los tres sistemas más antiguos, que se corresponden con las de 90, 65 y agrupación de 20 a 45 m.

1.2.2. Holoceno (18 a 25)

Se consideran de edad Holoceno los depósitos de las terrazas inferiores, situadas a 10 y 5 m (18 y 20) sobre el cauce actual, los depósitos aluviales actuales (23), los glacis recientes (19

y 22) y los depósitos de “vales” y fondos de valle (21), conos de deyección (24) y humedales (25).

2. TECTONICA Y NEOTECTONICA

2.1. MARCO TECTONICO REGIONAL

La hoja de Zaragoza se encuentra en la parte central de la Cuenca del Ebro, en las proximidades de la Cordillera Ibérica.

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 cobertura 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. 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.

La hoja de Zaragoza se sitúa en una posición próxima al margen ibérico de la cuenca, y presenta una estructura geológica muy sencilla, ya que las deformaciones que dieron lugar esta cadena son, en su mayor parte anteriores, y las estructuras que desarrollaron están fosilizadas por los depósitos terciarios que afloran en la hoja.

2.2. DESCRIPCION DE LA ESTRUCTURA

No se aprecian estructuras tectónicas de importancia en la hoja aunque la zona se encuentre bastante próxima a la Cordillera Ibérica, de hecho la serie carbonatada que corona las "muelas" fosiliza paleorrelieves mesozoicos algo más al sur (Muel, Jaulín). No obstante debe reseñarse la existencia de un suave descenso de cota de los materiales neógenos hacia el cauce del río Ebro, con buzamientos que rara vez superan en general 2º ó 3º. También puede observarse un basculamiento de la Muela en su sector más occidental hacia el valle del río Jalón.

El final del labrado de la superficie de erosión fundamental de la Cordillera Ibérica coincide con el final del depósito de los últimos términos carbonatados de las "muelas" y se producen entonces las primeras deformaciones, que se manifiestan en un levantamiento del margen de la cordillera, proporcionando depósitos groseros a techo de la serie carbonatada (GUTIERREZ *et al.*, 1982), y ondulaciones visibles en ésta. Posteriormente se desarrolla una nueva superficie de arrasamiento (S3 de SORIANO, 1988) de probable edad pliocena, que fosiliza las anteriores deformaciones, aunque continúa la actividad tectónica que se materializa en una caída suave y prolongada hacia el centro de la Cuenca del Ebro de esta superficie que corona estas plataformas carbonatadas, y se generan algunas fallas normales que son visibles más al sur de esta hoja, en el contacto con la Cordillera Ibérica.

Dentro de la escasa deformación general de la hoja, se han reconocido diversas estructuras que afectan a los depósitos neógenos y cuaternarios que son resultado de procesos con una o varias génesis.

Así se observan pliegues, basculamientos, fracturación y fallas normales e inversas que van desde la escala kilométrica a la centimétrica, imputables esencialmente a la génesis tectónica o a la salina, cuyo estudio específico se desarrolla a continuación.

Los basculamientos más notorios por su magnitud son los de génesis tectónica de la Meseta de la Muela y la Plana de Zaragoza con hundimientos generalizados del Neógeno hacia el NO. Por afectar a los materiales carbonatados de Las Muelas, esta deformación se debe datar como post-Vallesiense y probablemente este basculamiento esté ligado a la conformación de un amplio anticlinal cuya orientación, próxima a la directriz Ibérica, es difícil de precisar, debido a su carácter extremadamente laxo y también a otros pliegues de dirección semejante y escala decamétrica.

Por lo que respecta a los materiales cuaternarios, los basculamientos son de menor entidad y la mayoría de ellos deben estar ligados mas bien a procesos halocinéticos o de colapso, que neotectónicos. Un caso de este tipo se da en un pequeño depósito de la terraza de los 95-100 m, situado al NO del Km 8 de la Ctra. 330, con basculamiento hacia el río Huerva.

Referente a fracturas y fallas en los depósitos de edad Aragoniense-Vallesiense, se observan especialmente en los escarpes de La Muela fracturas y fallas normales de orden métrico asociadas a los pliegues de dirección ibérica y también, en su parte norte, series de microfallas reveladoras de un régimen de distensión radial que ha prevalecido durante el Neógeno terminal y Cuaternario, alcanzando posiblemente el Holoceno (GUTIERREZ *et al.*, 1986).

En lo concerniente a los materiales del Cuaternario, se han observado en una antigua canteira en el barrio de Valdefierro fallas normales de dirección E-O con desplazamientos decimétricos; el diaclasado en general es escaso (exceptuando el de clara génesis halocinética) y su orientación muy variable, aunque existe predominio de las direcciones próximas a E-O y N-S.

A las deformaciones de génesis diapírica, se atribuye una estructura completa de tipo domático, con fallas normales y desplazamientos de centí- a decimétricos, visible en la ladera occidental del valle del Huerva, a la altura del Km 112 de la carretera nacional 330. También existen otras de carácter más puntual que se manifiestan por fallas inversas y pliegues apretados (cantera de Torrero y ladera de la Muela).

A estructuras de colapso se atribuyen las producidas por disolución de los yesos y progresiva ingestión y acomodación de los niveles suprayacentes. Ejemplos amplios se dan en los campos de dolinas en los depósitos de terraza próximos a Zaragoza y puntuales en la Torrero, Km 113 de la C.N. 330 y Exconvento de Santa Fe, donde la deformación de sus muros indica que el proceso sigue vigente.

Por último hay que hacer referencia a la geomorfología que evidencia tendencias y anomalías a través del estudio de los depósitos y procesos recientes; así un barranco rectilíneo muy incidido que separa depósitos del mismo glacis, con una menor cota en la margen oeste, pondría de manifiesto una falla coincidente en dirección y localización con un lineamiento visible en las imágenes LANDSAT. Igualmente ocurriría con barrancos oblicuos y transversales a la pendiente general del terreno (glacis, unos 800 m al norte del Km 311 de la C.N. II) que marcan las direcciones dominantes de fracturación.

Es de destacar también la presencia de una red de "vales" paralelos entre sí y perpendiculares al río Huerva por su margen izquierda, que evidencian una fracturación acorde con las directrices ibéricas, mientras que en su margen derecha tiene lugar un franco proceso denudativo; ello revela una asimetría en comportamiento de movimientos relativos de las dos vertientes, imputable a un probable accidente a lo largo del actual valle.

3. GEOMORFOLOGIA

3.1. DESCRIPCION FISIOGRAFICA

La hoja de Zaragoza está situada en la zona central de la Depresión Terciaria del Ebro, en su sector aragonés, donde los materiales detriticos, evaporíticos y carbonatados de edad Mioceno, se disponen de forma tabular con ligera pendiente hacia los valles de los ríos Ebro y Jalón.

El vértice nororiental de la hoja está recorrido por el cauce del río Ebro que atraviesa la ciudad de Zaragoza con dirección NO-SE y cota de 185-190 m, a cuyo valle actual descienden las vertientes que arrancan de las altiplanicies de La Muela y de La Plana con alturas medias de 600 m separadas por el río Huerva.

Como ya se indicó en la introducción, el clima es mediterráneo, de templado a seco, semiárido, con una temperatura media anual de unos 14 a 15°C y una pluviometría media de 400 mm/año.

3.2. ANALISIS GEOMORFOLOGICO

3.2.1. Estudio morfoestructural

3.2.1.1. *Enmarque dentro de los grandes conjuntos regionales*

La hoja de Zaragoza se sitúa en la antedicha parte central de la Depresión del Ebro, donde los sedimentos terciarios subhorizontales que la ocupan en su totalidad han sido modelados por la actividad erosiva de la red fluvial cuaternaria, hoy representada por el río Ebro y su afluente el Huerva, presente en su tramo final y desembocadura.

Geomorfológicamente se diferencian tres zonas definidas por sus peculiares características:

- Altiplanicies de La Muela y La Plana.
 - Corredor del Ebro y valle del Huerva.
 - Vertientes entre las altiplanicies y los valles fluviales.
- a) Altiplanicies de La Muela y La Plana. Se trata de dos mesetas dominadas por depósitos carbonatados y separadas por el valle del río Huerva. Presentan cotas máximas de 637 y 647 m (Vértice Torrecillas) respectivamente, y una altura media de unos 600 m. En la primera se detecta una ligera pendiente hacia el NNO que ha favorecido un drenaje superficial en esa dirección hacia el Jalón, e igualmente parece que ocurre en la segunda hacia el Huerva, aunque sus menores dimensiones no permiten apreciarlo tan evidentemente.
- b) Corredor del Ebro y Valle del Huerva. Constituyen las zonas más deprimidas de la hoja, marcando los cauces actuales de sus ríos los niveles de base locales o regionales. Están bien definidos por los depósitos fluviales de las terrazas bajas y medias (hasta los 30 m) y peor por las altas, que generalmente han sido desmontadas por procesos erosivos posteriores.

La pendiente media del curso actual del Ebro se estima regionalmente en el 2,8 por mil, mientras que la calculada para el Huerva en el tramo que discurre por la hoja es del 7,5 por mil.

- c) Vertientes. Están dominadas por la densa red de "vales" que tienen su cabecera en las zonas acarcavadas del borde escarpado de las muelas y descienden hasta los valles limítrofes. Hay que hacer dos excepciones, por un lado al norte de La Muela donde el enlace con las terrazas del Ebro se realiza por medio de formaciones de glacis y, por otro, la vertiente noroccidental

dental de La Plana que se presenta en franco proceso erosivo con muestras de acarcavamiento.

3.3.2. Estudio del modelado

3.2.2.1. Génesis endógena

Las formas estructurales son consecuencia de la disposición subhorizontal de los sedimentos terciarios y las diferencias litológicas de los diferentes tramos.

Así se tienen los bancos carbonatados del Mioceno más alto que se disponen sobre térmicos esencialmente margosos más erosionables, generando amplias superficies estructurales con bordes escarpados.

3.2.2.2. Génesis exógena

Respecto a las formas de génesis exógena se han distinguido:

- a) Formas fluviales
 - b) Formas poligénicas
 - c) Formas endorreicas
 - d) Formas kársticas
 - e) Formas antrópicas
- a) Formas fluviales

Se han considerado las formas generadas durante la evolución de los ríos Ebro y Huerva, destacando una secuencia de hasta cinco terrazas relativamente mal definidas en el Ebro situadas a cotas de 5-7, 10-13, 20-25, 35-40 y 65 m de altura sobre el cauce, y de ocho, dispuestas a 5, 10, 20, 30, 45, 65, 90 y 120 m para el Huerva.

Igualmente se han significado los rellenos actuales de fondo de valle, los pequeños conos aluviales construidos a la salida de torreneras y "vales" a los valles principales y las barras y meandros abandonados del Ebro.

La red secundaria es escasamente activa y apenas presenta incisión; con frecuencia tiene pérdida superficial de drenaje al alcanzar los rellenos de valle. Sólo se han observado formas de acarcavamiento generalizado en la margen derecha del Huerva y en la cabecera de las "vales" bajo el escarpe de las muelas.

b) Formas poligénicas

Se han incluido dentro de la génesis poligénica todos aquellos depósitos y formas cuyo origen se debe, en mayor o menor grado, a más de un proceso, simultáneos o consecutivos;

así se han considerado los glacis como formas de conexión entre los alto-relieves y los niveles de base establecidos en cada momento por los valles circundantes y las "vales" o valles de fondo plano.

Dentro de los glacis se han distinguido cinco sistemas, después de un estudio secuencial relativo de sus incisiones, escarpes y correlación final con las terrazas del río Ebro.

Los más antiguos suelen presentar bordes escarpados, mientras que el sistema V, por tener su génesis en una época relativamente reciente, muy próxima a la del encajamiento de la red actual, conecta con ésta casi sin límite de continuidad.

Se han considerado como "vales" las formas con génesis poligénica que prácticamente constituyen la totalidad de la red de drenaje secundaria. Su relleno normalmente colmata y proporciona morfología plana a un previo valle fluvial en V (PELLICER Y ECHEVARRIA, 1989). El enlace de la parte inferior, donde dominan los arrastres fluviales, con los depósitos de dominio gravitatorio de las laderas se suele efectuar mediante una superficie ligeramente cóncava, sin que sea posible de una manera clara su delimitación.

Su disposición general es centrífuga desde las "muelas" hacia los valles de los ríos próximos: Jalón, Huerva y Ebro y es difícil destacar por su importancia alguna de ellas; la de Almanzarro y Barranco Salado (Meseta de La Muela) y Bco. del Montañés y Bco. de Las Lenas (Plana de Zaragoza) con longitudes que pueden llegar a sobrepasar los 10 Km, son las más reseñables.

c) Formas endorreicas

Este carácter se da en el Acampo de Casellas, al SO de Zaragoza, donde existe una zona deprimida, con precario drenaje, que favorece en los puntos más bajos los encharcamientos y depósitos lacustres.

d) Formas kársticas

Al oeste de Zaragoza se detecta un amplio campo de dolinas desarrollado especialmente bajo las terrazas de 20, 35 y 60 m, formado por disolución con marcado carácter antrópico (riego agrícola) de los tramos yesíferos del Terciario subyacente.

Igualmente se han significado los bordes de las dolinas y uvalas mejor definidas, dentro de un extenso lenar formado por disolución de las calizas tabulares que coronan los relieves estructurales de La Muela y La Plana. Estos campos de dolinas en cubeta, en elevado estado de degradación, fueron descritos por SORIANO (1985; 1986a,b) y su edad parece corresponderse con la etapa álgida de la karstificación de la Cordillera Ibérica, que corresponde al Plioceno superior.

e) Antrópicas

La actividad antrópica es alta en el fondo de los valles donde se asientan los principales núcleos urbanos y, especialmente, en las terrazas inferiores de los ríos Ebro y Huerva, donde

la mayoría del cultivo es de regadío gracias a los canales marginales. La ciudad de Zaragoza en la confluencia de dichos ríos hace prácticamente irreconocibles tanto los depósitos como las formas originales.

Son obras reseñables las principales canteras y el Canal Imperial de Aragón.

3.3. FORMACIONES SUPERFICIALES

En este epígrafe se definen las características estratigráficas de los principales depósitos cuya génesis queda expuesta anteriormente.

Dentro de éstos adquieren especial relevancia los depósitos fluviales, que a partir de los ocho niveles de terraza definidos y correlacionados entre el Ebro y Huerva han servido a su vez para ordenar y correlacionar los restantes depósitos cuaternarios.

3.3.1. **Terrazas (a, b, c, d, e, f, g, h, i)**

Se han estudiado los depósitos fluviales de la secuencia definida anteriormente en los ríos Huerva y Ebro con alturas de 5, 10-13, 20-25, 35-40, 45, 65, 90 y 120 m.

Como rasgos comunes, las terrazas del río Ebro presentan cantos de sub- a redondeados, con una primera moda que oscila entre 1 y 5 cm y otra segunda entre 7 y 12 cm, trabados por una matriz arenosa a veces cementada por carbonato. La proporción de los cantos, según su origen, se encuentra entre 45-70% para los paleozoicos, 3-25% para los del Triásico terrígeno, 8-30% para los carbonatos del Mesozoico y 0 a 10% para los del Terciario; el tamaño de los centiles oscila entre 30 y 40 cm. Las potencias observadas alcanzan a veces los 10 m, pudiendo estimarse que originalmente sobrepasarían los 15 m. El contenido en arena oscila entre el 15 y 25% con lentejones en que puede llegar excepcionalmente a ser predominante sobre los terrígenos gruesos.

Son de destacar también las terrazas definidas en el río Huerva que con potencias menores, sobre 3-5 m, presentan máximos en contenidos de cantos de caliza y sílex del Terciario.

3.3.2. **Glacis (j, k, l, m, n)**

Son relativamente importantes en la vertiente nororiental de las "muelas" y aunque se han podido definir bien bajo el punto de vista morfológico, distinguiéndose cinco generaciones, es más difícil hacerlo desde el punto de vista estratigráfico; las condiciones de exposición en corte (escasas y parciales) sólo permiten generalizar que se trata de depósitos muy variables, tanto en potencia como en litología, dependiendo de la proximidad a los relieves de arranque por un lado, o a los niveles de base en donde suelen conectar con las terrazas, por otro. Así se han podido definir, en el primer caso, gravas y gravillas poligénicas de subangulosas a

redondeadas con bloques dispersos, alternando con limos y arenas en las que se marca a veces una incipiente estratificación cruzada. En el segundo caso, las características se asemejan a las de las terrazas, siendo en la mayoría de los casos muy difícil establecer su límite con éstas.

3.3.3. **Vales (n)**

Se trata de depósitos poligénicos y morfología dendrítica en planta, característicos de la red de drenaje desarrollada en las formaciones yesíferas del Terciario.

Están constituidos por lutitas y limos yesíferos que incluyen cantos, en proporción muy variable de procedencia terciaria (yeso y caliza) y paleozoicos o mesozoicos, de subangulosos a redondeados, denotando una selección y madurez en general deficientes.

La potencia máxima en el centro de las “vales” más desarrolladas puede sobrepasar los 5 m.

3.3.4. **Depósitos endorreicos (o)**

Están constituidos esencialmente por materiales terrígenos de grano fino (limos-lutitas) de color pardo con algún canto disperso de procedencia terciaria, difícilmente delimitables de los materiales poligénicos (“vales” y glacis actual) que los enmarcan.

La potencia estimada en su parte central es de 5-8 m.

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, situado 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 vestigio de esta etapa de sedimentación exorreica de la Cuenca del Ebro, dentro de la hoja, lo constituyen las costras brechoides con cantos de calizas jurásicas (ZUIDAM, 1976; GÜTIERREZ *et al.*, 1982, 1986; SORIANO 1986a) situadas sobre las calizas miocenas de La Muela. Estas brechas se encuentran sobre una superficie de arrasamiento que muestra una ligera pendiente hacia el valle del Ebro.

El desarrollo de los procesos erosivos diferenciales paulatinamente va elaborando las distintas morfologías estructurales en plataformas y cuestas. Hay que considerar los fenómenos

de arroyada como agentes principales de este modelado. Los relieves de La Muela y La Plana se configuran debido a su gran resistencia a la erosión como relieves estructurales.

El primer testigo del proceso subsiguiente de encajamiento fluvial, corresponde a los depósitos de la terraza más alta del Ebro (190 m) de probable edad Plioceno o Pleistoceno inferior, no presente en la hoja, desarrollándose a continuación la de 120 m y los glacis del primer sistema, que coincidirían con la génesis de la terraza de 90 m.

Un nuevo descenso del nivel de base general durante el Pleistoceno medio, generaría el encajamiento de la terraza de 65 m, correlacionada con el segundo sistema de glacis. Posteriormente, las de 45 a 20 m correlacionadas con el tercer sistema, se formarían durante el Pleistoceno superior y, finalmente, las de 10-12 y 5-7 m con dataciones de 800 años a.d.c. para la primera, y 50 años a.d.c. para la base de la segunda (RODRIGUEZ y VILCHEZ, 1984), se corresponderían con el cuarto y quinto sistema de glacis respectivamente.

Del perfil disimétrico del Valle del Ebro definido por las distintas superficies de terrazas escalonadas en las áreas próximas, cabe deducir que, simultáneamente al encajamiento del río Ebro, se ha producido un desplazamiento de su eje hacia el NE, adosándose a los bloques limitados por el escarpe de su margen izquierda. Así se explica, que las terrazas sólo se preserven en la margen derecha, mientras que en la izquierda son desmanteladas por las más modernas. Esta migración hacia el norte durante el Cuaternario, hay que relacionarla con reajustes tectónicos recientes (PELLICER y ECHEVARRIA, 1989), que además de lo indicado anteriormente, rejuvenecen selectivamente el relieve del bloque septentrional, no presente en la hoja, con mayor encajamiento de la red fluvial.

3.5. PROCESOS ACTUALES-SUBACTUALES Y TENDENCIAS FUTURAS

Del análisis de todo lo anterior no es muy comprometido afirmar la relativa inestabilidad de los dos grandes bloques terciarios limitados por el cauce del Ebro, y aunque este fenómeno sea difícil de cuantificar, si se puede de manera general establecer, independientemente de las variaciones del nivel general de base, que en el ligero basculamiento de ambos bloques hacia el Ebro, el bloque septentrional permanece más estático, mientras que el meridional presenta mayor gradiente de hundimiento, y por tanto se aproxima más a los niveles de base sucesivos, generando escarpes menores y pendiente general más cercana a la de equilibrio denudativo-acumulativo. Sin embargo, a pesar de los indicios tectónicos deducidos de las evidencias geomorfológicas, actualmente no se encuentran pruebas directas de la existencia de fracturación o flexura a la escala propuesta.

Teniendo en cuenta el diferencial de las cotas más altas y sus perfiles de enlace con el nivel de base regional, establecido por el Ebro, las litologías de las unidades terciarias y la actual red de drenaje se puede concluir que los procesos denudativos son lentos, a excepción de las zonas de mayor pendiente que orlan los escarpes de las "muelas" y la margen derecha del río Huerva donde el proceso erosivo es francamente dominante.

Para un futuro lejano, siempre que no varíe sensiblemente el nivel de base general, se puede predecir un desmantelamiento de las "muelas" con un descenso de los 600-650 m que

actualmente ostentan a unos relieves suavemente alomados, próximos a los perfiles de equilibrio, con alturas máximas cercanas a los 350-400 m.

4. HISTORIA GEOLOGICA

La hoja de Zaragoza se sitúa en el sector central de la Cuenca del Ebro. Esta cuenca corresponde a los últimos estudios 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 LLeña 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.

Los sedimentos terciarios más antiguos que afloran en la hoja son de edad Aragoniense inferior, correspondientes a las facies terrígeno-evaporíticas de la Unidad Remolinos-Lanaja.

El conjunto de la serie aflorante, se ha subdividido en unidades genético sedimentarias encuadradas o correspondientes a U.T.S. De este modo la U.T.S. denominada N-1, engloba las unidades genético-sedimentarias de Remolinos-Lanaja y Sierra de Pallaruelo-Montes de la Sora. Esta U.T.S., es un ciclo mayor de carácter evaporítico cuyos subciclos son las unidades genético sedimentarias. El modelo de facies general es de lago salino (*playa-lake*) y llanura fangosa asociada, que aparecen en la zona central, como enlace entre las facies de abanicos de procedencia ibérica. El desarrollo y migración lateral de estos subambientes, es el causante de los subciclos aludidos, siendo la tendencia general la salinización del lago. Los datos del subsuelo (TORRESCUSA y KLIMOWITZ, 1990) sitúan el depocentro salino de este ciclo en la zona de Zaragoza y Zuera, por lo que el área de estudio quedaría ubicada en el contexto paleogeográfico general, como transicional de las facies de canales, propias de áreas de lóbulo medio del sistema aluvial, a las de margen interno del lago salino.

El análisis sedimentológico y químico, muestra un salto en la evolución secuencial y de composición en el límite entre la U.T.S. N-1 y la N-2 suprayacente. En tanto que los carbonatos de la N-1 son cálcico-magnésicos, los de la N-2 son exclusivamente cárnicos.

La U.T.S. N-2 se corresponde con la "unidad genético sedimentaria" Montes de Castejón. Los depósitos de esta unidad en el área de la hoja son exclusivamente carbonatados, aunque en áreas próximas muestran gran diversidad de facies, desde los terrígenos gruesos de abanico aluvial hasta de depocentro salino. Esta distribución delinea un modelo de facies completo con abanicos semiáridos, llanuras lúticas, orlas carbonatadas de lago somero, con facies de moderada y alta energía en la base de la unidad y depósitos de lago salino en los sectores próximos a la hoja.

Finalmente, sobre la unidad anterior se depositó un nuevo conjunto predominantemente carbonatado de edad Aragoniense superior-Vallesiense que constituye la unidad de San Caprasio, correspondiente con la U.T.S. N-3; se trata de sedimentos ligados a un lago carbonatado en zona marginal con alta productividad orgánica, cuyo mayor desarrollo, se alcanza en esta hoja y en la vecina de Alagón.

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.

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

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 glacis 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 dentro de la hoja es escasa, siendo la extracción de áridos y la de yeso, mediante canteras, las más relevantes, según queda expresado en el Cuadro 1.

Actualmente se encuentra con actividad importante una explotación de áridos que se sitúa en el Km.2 de la carretera que une la Carretera nacional II con Garrapinillos, sobre los depó-

sitos de la terraza de los 65 m solapada y disectada por los glaciares de la segunda y tercera generación y también otra en Acampo de Sedero que explota los niveles yesíferos horizontales del Neógeno.

Es de destacar la explotación ocasional de terrazas y glaciares para áridos en las cercanías del núcleo urbano de Zaragoza, cuya explotación es utilizada para posteriores urbanizaciones.

En el Cuadro 1 adjunto se hace una relación de las explotaciones más relevantes con su situación y características.

5.2. HIDROGEOLOGÍA

5.2.1. **Climatología**

El área encuadrada dentro de los límites de la hoja topográfica nº 383, Zaragoza, pertenece, desde el punto de vista climatológico, a la denominada Depresión Central, que representa el 80% del total de la Cuenca del Ebro. En esta zona, el clima es de tipo continental o subdesértico tropical y se caracteriza por la escasez de precipitaciones, con largas sequías estivales y temperaturas extremas.

Las precipitaciones medias anuales en la hoja, oscilan entre 200 y 400 mm y las temperaturas medias entre 14 y 16º C.

La evapotranspiración potencial varía entre 750 y 850 mm y la evapotranspiración real entre 350 y 400 mm.

5.2.2. **Hidrología**

La hoja de Zaragoza, está atravesada por el río Ebro en su esquina nororiental, discurriendo en dirección noroeste-sureste, sobre terrenos poco consolidados del Terciario continental. En la mitad oriental, se localiza el río Huerva, afluente del río Ebro por su margen derecha, produciéndose su confluencia en la ciudad de Zaragoza, que se sitúa en el borde noreste de la hoja.

El régimen del río Ebro en esta zona, se caracteriza por el predominio de aguas altas de noviembre a mayo y pronunciados estiajes en los meses de julio y agosto.

Sobre el río Huerva, se localiza la presa de Las Torcas -situada en la hoja contigua por el sur, única obra que regula este afluente del río Ebro representado en la presente hoja, con una capacidad de embalse de 7 Hm³ y una aportación media de 32 Hm³/año, medidos en la estación de aforos del MOPU nº 124 situada en la misma presa.

El río Ebro está controlado por la estación aforos nº 11, situada en Zaragoza y localizada en el borde nororiental de la hoja, con una aportación media de 7.842 Hm³/año.

La principal obra hidráulica de conducción de aguas es el Canal Imperial de Aragón, que tiene su origen en el azud de Pignatelli, de donde deriva 40,9 m³/s, con una longitud total

CODIGO	NOMBRE	COORDENADAS UTM	TERMINO MUNICIPAL	SUSTANCIA	MORFOLOGIA	LABORES	OBSERVACIONES
1	Margalejo	667,15 4613,35	Zaragoza	Grava	Terraza Ebro 65 m	Cantera	Activa
2	Díez S.L.	673,00 4607,15	Cuarte de Huerva	Yeso	Terciario horizontal	Cantera	Intermitente
3	La Pala	672,65 4605,15	Cuarte de Huerva	Yeso	Terciario horizontal	Cantera	Intermitente
4	Monte de Torrero	676,50 4608,00	Zaragoza	Grava-arena	Glacis	Cantera	Agrupación de canteras cuya explanación frecuentemente es urbanizable
5	Las Canteras	675,00 4607,35	Zaragoza	Yeso	Terciario horizontal	Cantera	Inactiva
6	Acampo de Sederro	675,85 4604,75	Zaragoza	Yeso	Terciario horizontal	Cantera	Activa
7	La Muela	654,35 4604,20	La Muela	Caliza	Terciario horizontal	Cantera	Inactiva

Cuadro 1.

de 98 km. Asimismo, existen gran cantidad de acequias que abastecen los regadíos y algunos núcleos de población.

El Índice de Calidad General (I.C.G.) adoptado por la Comisaría Central de Aguas, clasifica la calidad de un agua por medio de un índice adimensional que oscila de 0 a 100 (pésima y óptima calidad, respectivamente). Las muestras tomadas en la estación nº 105 en el río Huerva en Mezalocha (en la hoja contigua meridional), dan los siguientes valores:

- Índice de Calidad General (I.C.G.): 79,82
- Sólidos en Suspensión (S.S.): 33,08 mg/l
- Demanda Biológica de Oxígeno (D.B.O₅): 2,48 mg/l

Las muestras correspondientes al río Ebro en Zaragoza, en la estación nº 11, arrojan los siguientes valores medios:

- Índice de Calidad General (I.C.G.): 66,32
- Sólidos en Suspensión (S.S.): 54,05 mg/l
- Demanda Biológica de Oxígeno (D.B.O₅): 4,93 mg/l

5.2.3. Características hidrogeológicas

El único acuífero importante existente en la hoja de Zaragoza es el denominado por el Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE) "Acuífero nº 62 Aluvial del Ebro". Este acuífero pertenece al curso medio del río Ebro y lo conforman varios niveles de terrazas, la explotación principal se realiza en la terraza actual o llanura de inundación y en la primera y segunda terraza. En la litología de la formación se distinguen dos tramos, uno inferior de gravas rodadas y bastante sueltas y otro superior formado por limos y arcillas con arenas que componen la base de la tierra vegetal cultivable. El substrato impermeable o muro del acuífero lo constituyen las facies evaporíticas del Mioceno.

La potencia de los terrenos acuíferos oscila entre 10 y 30 metros, con un espesor saturado medio de 10 a 20 metros.

La anchura media del acuífero está comprendida entre 8 y 10 km.

Durante el desarrollo de los distintos estudios hidrogeológicos llevados a cabo por el Instituto Tecnológico Geominero de España, se realizaron una serie de bombeos de ensayo en sondos mecánicos en el sector Cabañas-Figueruelas, en los que se obtuvieron caudales del orden de los 30 a 50 l/s con descensos de nivel comprendidos entre 0,65 a 2,96 metros. Las transmisividades calculadas según distintos métodos (Jacob, Papadópulos, Theis, etc.) muestran valores comprendidos entre 1.115 m²/día y 3.400 m²/día.

Las características hidrogeológicas generales del acuífero del río Ebro en el tramo comprendido entre Cortes y Zaragoza son las siguientes:

- Extensión: 350 km²
- Espesor saturado: 10 - 20 m
- Volumen: 2.800 Hm³
- Porosidad: 0,1
- Capacidad: 280 Hm³
- Transmisividad: 1.000 - 5.000 m²/día

Corresponde a un acuífero monocapa de carácter libre. La recarga se realiza por medio de:

- Infiltración debida a regadíos (retorno de las aguas de riego).
- Infiltración directa del agua de lluvia
- Infiltración de los afluentes del Ebro en su toma de contacto con los materiales permeables de las terrazas.

El balance hídrico subterráneo para el conjunto del acuífero “Aluvial del Ebro” en el tramo comprendido entre Cortes y Zaragoza presenta una recarga de 14 Hm³/año debida a la precipitación caída sobre el acuífero, y de 140,4 Hm³/año de los retornos del agua de regadío. La infiltración producida por los afluentes del Ebro se puede considerar despreciable.

La descarga del acuífero se realiza a través de bombeos en pozos y sondeos (14,2 Hm³/año), manantiales de borde de terrazas (8 Hm³/año) y drenaje del río Ebro (132,2 Hm³/año).

Las curvas isopiezométricas muestran que el río Ebro drena al acuífero a lo largo de todo su curso comprendido dentro de la hoja. La cota topográfica del nivel piezométrico medio es de 230 m.s.n.m. en el noroeste del acuífero y de 180 m.s.n.m. en la parte sureste del mismo, con una pendiente del 0,2 por ciento.

La calidad química de las aguas subterráneas es mediocre a mala, debido al carácter evapórfítico del zócalo y límites impermeables del acuífero, lo que provoca la disolución de sulfatos y carbonatos, y da como resultado aguas con un alto grado de mineralización, cuya conductividad sobrepasa los 2.000 ($\mu\text{s}/\text{cm}$) y la dureza los 65 °F.

5.2.4. Otros posibles acuíferos

Se pueden considerar acuíferos de media-baja permeabilidad los afloramientos de calizas terciarias que están representados ampliamente en la hoja, las terrazas altas y los glacis.

Las calizas terciarias componen un acuífero libre permeable por fisuración. La alimentación se realiza por infiltración directa del agua de lluvia, el drenaje se realiza por pequeños manantiales.

Las terrazas y glacis son acuíferos libres de permeabilidad intergranular constituidas por limos, arenas y gravas. Al igual que en las calizas terciarias la infiltración se realiza directamente del agua de lluvia y el drenaje por pequeños manantiales.

Estos acuíferos de media-baja permeabilidad, no tienen capacidad suficiente para producir caudales importantes, pero la instalación de vertederos urbanos o industriales, puede causar la contaminación de sus aguas, ya que presentan una elevada vulnerabilidad a la contaminación.

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.

En el cuadro resumen 2 se esquematizan las características geotécnicas más importantes de los materiales de la hoja.

AREA I

Se incluyen en este área el conjunto de los depósitos terciarios aflorantes. Su composición predominante es yesífera, apareciendo en paso lateral hacia el SO terrígenos cada vez más groseros. Su techo es carbonatado.

Zona I,

El término litológico predominante es el yeso, que intercala niveles de arcillas y margas. Comprende el tramo cartográfico 1.

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 sus afloramientos se encuentran alejados del nivel freático y la red de drenaje facilita la rápida evacuación de las aguas superficiales.

Zona I₂

Su composición litológica es básicamente arcillosa, pudiendo intercalar esporádicamente niveles de yeso nodular. Se incluyen aquí las unidades cartográficas 2, 3, 5 y 6.

La disposición estructural de estos materiales es sensiblemente 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 relativos a erosionabilidad, aterramiento y agresividad al cemento.

Zona I₃

Está integrada por conglomerados, microconglomerados y areniscas en disposición subhorizontal. Se corresponde con el nivel cartográfico 4.

Presenta buenas condiciones para cimentación y desfavorables en cuanto a ripabilidad y no comporta riesgos geológicos a excepción de algún eventual desprendimiento de borde de escarpe por erosión de niveles arcilloso-arenosos de su base.

Zona I₄

Está compuesta por calizas, margas y algunos niveles de silex en una disposición subhorizontal con distorsiones locales producidas por halocinesis. La constituyen los niveles cartográficos 7 y 8.

Morfológicamente constituyen las "muelas" que presentan en sus bordes grandes escarpes naturales.

El comportamiento global de estos materiales es semipermeable, existiendo escorrentía donde predominan los materiales margosos de la base, e infiltración en los lenares de las calizas superiores de las "muelas".

El conjunto, en general, no es ripable, si bien en alguna zona marginal 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 y hundimiento, y asientos diferenciales; éstos dos últimos condicionados por la karstificación propia y/o del sustrato salino.

AREA II

Se incluyen en este área los distintos niveles de glacis generados durante el Cuaternario, así como las vales y áreas endorreicas.

Zona II_1

Se compone de gravas, arenas, limos y arcillas. Se corresponde con los depósitos de los glacis más antiguos (unidades cartográficas 11, 13, 16 y 19), que constituyen replanos elevados con pendiente suave, frecuentemente bordeados 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.

Puede existir algún problema de erosión, sobre todo en las proximidades de los escarpes, y de asentamiento diferencial condicionados no tanto por la heterogeneidad litológica, como por la naturaleza yesífera del sustrato sobre el que se apoyan con frecuencia.

Zona II_2

Está constituida por gravas, limos y arcillas, con proporciones variables de componentes yesíferos.

Se incluyen en ella las unidades cartográficas 21, 22 y 25 que corresponden a formas de vales, glacis modernos y depósitos endorreicos. Por lo tanto, la pendiente es variable y está condicionada por el tipo de depósito. Localmente, pueden aparecer escarpes naturales debido al encajamiento de la red de drenaje actual.

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 previsibles problemas de aterramiento, de disolución y hundimiento, y de agresividad al cemento.

AREA III

Se incluyen en este área los depósitos de terraza que ha ido generando el Ebro a lo largo de su evolución cuaternaria, así como los depósitos de conos y aluviales actuales.

Zona III_1

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 casos por escarpes. Incluye las unidades cartográficas 9, 10, 12, 14, 15, 17 y 18.

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

Salvo costras travertínicas, que no suelen alcanzar gran espesor, se trata de materiales ripables.

La capacidad de carga es previsiblemente media.

La erosionabilidad será baja en general, pero en los bordes escarpados puede ser importante.

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

Zona III_2

La litología de este grupo incluye gravas, arenas, limos y arcillas pertenecientes a los depósitos fluviales actuales de los valles del Ebro y Huerva. Comprende las unidades cartográficas 20, 23 y 24.

Son superficies muy planas que se aprovechan para cultivo.

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 intensos procesos erosivos, especialmente en los aledaños del curso fluvial, aterramientos e inundaciones en épocas de crecida. Nivel freático muy alto.

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

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.

AREA	ZONA	UNIDAD CARTOG.	LITOLOGIA	ESTRUCTURA MORFOLOGIA	PERMEAB.	DRENAGE	CAPACID. DE CARGA	RIPABIL	RIESGO GEOLOGICO					
									Erosión	Desprend. laderas escarpes	Aterram.	Disoluc. Hundim.	Inundac. nivel freático	Agresivi. cemento
I	I-1	1	Yesos blancos nodulares alabastinos	Subhorizontal. Abarrancamientos y escarpes	P	E	M	NR	A	A	A	B	A	A
	I-2	2, 3, 5, 6	Lutitas y arcillas rojas y/o grises con o sin yeso	Subhorizontal. Abarrancamientos	P	E	M-B	R	A	B	M	B	M	B
	I-3	4	Conglomerados, microconglomerados y areniscas	Subhorizontal. Superficies estructurales. Escarpes	SP	I+E	B	NR	M	B	B	B	B	B
	I-4	7,8	Calizas, margosas, margas y silex	Subhorizontal. Escarpes	SP	I+E	M	NR-R	A	A	M	A-M	B	A-M
II	II-1	11, 13, 16, 19	Cantos, gravas, arenas y limos	Planicies elevadas con suave pendiente. Escarpes	P	I	M	R	B-M	B	B	B-M	B	M
	II-2	21, 22, 25	Gravas, arenas, limos y arcillas	Pendiente variable	P	I (E)	M-B	R	B (A)	B	A	M	B	M
III	III-1	9, 10, 12, 14, 15, 17, 18	Gravas, arenas y limos	Superficies subhorizontales colgadas. Escarpes	P	I	M	R	B (A)	B	B	B (A)	B	M
	III-2	20, 23, 24	Gravas, arenas, limos y arcillas	Superficies subhorizontales. Niveles inferiores	P-SP	I	M-B	R	B (A)	B	M-A	B (A)	A	B

Cuadro 2.

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. DESCRIPCION Y TIPO DE INTERES DE LOS P.I.G.

Se han seleccionado en el área un total de 5 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, hidrogeología, minería y medio ambiente, siendo su utilización fundamentalmente de carácter científico y didáctico.

La selección de los P.I.G. se ha realizado de acuerdo con las directrices indicadas por el I.T.G.E. y utilizando un método directo de subjetividad compartida (CLAVER, 1984).

P.I.G. nº 1: BASE DE LA UNIDAD DE SAN CAPRASIO. U.T.S. N-3

Areniscas (litarenitas de tipo calclítico) masivas con base erosiva. En los afloramientos de esta unidad en la vertiente centro septentrional de la Muela de Zaragoza, la secuencia basal está constituida por bancos de areniscas de grano medio, aspecto masivo, base erosiva y color amarillento.

La petrología de estas areniscas es muy característica. Se trata de litarenitas en las que el porcentaje mayoritario de granos es microfauna resedimentada de edad Cretácico superior-Paleógeno y procedencia pirenaica en buen estado de conservación, junto a fragmentos de calizas.

Por tanto serían litarenitas de tipo calclítico cuyos granos muestran claramente su origen y, por ello, se consideran de importancia en cuanto a las consideraciones paleogeográficas cuencales de las distintas U.T.S.

P.I.G. nº 2: MESETA DE LA MUELA

Desde el Km. 294 del ramal abandonado de la Ctra. Nac. II se puede observar el perfil horizontal superior de la altiplanicie de la Muela y su escarpe occidental. La parte alta constituye una superficie erosivo-estructural en las calizas de la U. de San Caprasio (N-3), que coronan la serie neógena. Sus bordes están fuertemente escarpados sobre las unidades infrayacentes, dando su morfología un aspecto peculiar que ha hecho extensiva regionalmente la denominación de "muela" a todas las elevaciones de estas características.

P.I.G. nº 3: SUELOS DE VEGETACION Y BIOTURBACION

Aparecen en el tramo abandonado de la Ctra. Nac. II a la altura del Km. 292. Se presentan en areniscas amarillas con laminaciones, intercaladas en la serie lutítico-yesífera de la U. de Pallaruelo-Monte de La Sora (U.T.S. N-1).

Es de reseñar que la actividad biogénica, particularmente el desarrollo de plantas, propia del medio de depósito, facies medio-distales de abanico, producen por bioturbación de raíces deformaciones visibles en las laminaciones, así como suelos de vegetación y alguna hilada carbonosa por acumulación de restos.

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 potential mammal stage stratotype. *Newsl. Stratigr.* 18(2), pp. 81-97.
- ALVAREZ-SIERRA, M. A.; DAAMS, R.; LACOMBA, J. I.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, N.; VAN DER MEULEN, A. J.; SESÉ, C. y DE VISSER, J. (1990). Paleontology and biostratigraphy (micromammals) of the continental Oligocene-Miocene deposits of the North-Central Ebro Basin (Huesca, Spain). *Scripta. Geologica.* 94: 75 pp.
- ANADÓN, P., VIANEY-LIAUD, M., CABRERA, L. 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. *Paleontología i evolució*, 21, pp. 117-131.
- AZANZA, B. (1986). Estudio geológico y paleontológico del Mioceno del sector Oeste de la Comarca de Borja. *Cuadernos de Estudios Borjanos*, 17-18:63-126.
- 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, pp. 261-264.
- C.G.S. (1975). Síntesis previa para la exploración de uranio en el Valle del Ebro. Min. Industria, J.E.N., 94 págs. (Inédito).
- CLAVER, I.; AGUILÓ, M.; ARAMBURU, M. P.; AYUSO, E.; BLANCO, A.; CALATAYUD, T.; CEÑAL, K. A.; CIFUENTES, P.; ESCRIBANO, R.; FRANCÉS, E.; GLARIS, G.; GONZÁLEZ, S.; LACOMA, E.; MUÑOZ, C.; ORTEGA, C.; OTEROS, J.; RAMOS, A. y SÁIZ DE OMEÑACA, M. G. (1984). "Guía para la elaboración de estudios del medio físico". Contenido y metodología. *Manuales CEOTMA*, nº 3. MOPU. Madrid, 572 pp.
- 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. I., 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 1^a)". ENRESA (inédito).
- ENRESA (1989). Estudio de las formaciones favorables de la región del Ebro y Pirineo alóctono (E.R.A.) (inédito).
- GIL, C.; SANTOS, J. A.; MARQUES, L. A. y ESNOLA, J. M. (1995). Mapa Geológico de España E. 1:50.000, 2^a ser., Hoja nº 354, ALAGON. I.T.G.E.
- GUTIÉRREZ, M.; MELÉNDEZ, A. y SORIANO, A. (1982). Las series terminales neógenas en el sector centromeridional de la Depresión del Ebro y su relación con la morfogénesis. *Bol. Geol. y Minero.*, Tomo XCIII (6), pp. 465-469.
- GUTIÉRREZ, M.; SIMÓN, J. L. y SORIANO, A. (1986). Algunos aspectos de la tectónica neógena y cuaternaria en el sector central de la Depresión del Ebro. *Bol. Geol. y Minero.*, Tomo XCIVIII (1), pp. 9-21.
- IGME (1975). Estudio geológico y minero del área lignítifera de Calaf (inédito).
- IGME (1975). Proyecto de investigación de radioactivos del área lignítifera y uraninífera de Santa Coloma de Queralt (Barcelona-Tarragona) (inédito).
- IGME (1976). Área lignítifera 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).
- PELICER, F. y ECHERVARRÍA, M. T. (1989). *Formas de relieve del centro de la depresión del Ebro*. Inst. Fernando el Católico, 216 p. Zaragoza.
- 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.
- PUIGDEFABREGAS, 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.* (2^a 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. Tomo 1, pp. 553-559.
- SIMÓN, J. L. (1989). Late Cenozoic stress field and fracturing in the Iberian Chain and Ebro Basin (Spain). *Journal of Structural Geology*, vol. 11, nº 3, pp. 285-294.
- SORIANO, M. A. (1985). Tipos de lapiaz generados en las cercanías de Zaragoza. *Acta Geol. Hisp.*, 20, 131-139. Barcelona.
- SORIANO, M. A. (1986a). *Geomorfología del piedemonte ibérico en el sector central de la Depresión del Ebro*. Tesis Doctoral. Univ. de Zaragoza. 359 p. Inéd.
- SORIANO, M. A. (1986b). Superficies de erosión finitertiaryas desarrolladas al S y SW de Zaragoza. *Acta Geol. Hisp.* Vol. 23(1), pp. 39-46.

- SORIANO, M. A. (1986b). Dolinas de disolución normal y dolinas aluviales en el sector centro-meridional de la Depresión del Ebro. *Bol. Geol. y Minero*, 97, pp. 328-337.
- SORIANO, M. A. (1988). Superficies de erosión finitertiaryas desarrolladas al S y SW de Zaragoza. *Acta Geol. Hisp.*, v. 23, pp. 39-46.
- TORRESCUSA, S. y KLIMOWITZ, J. (1990). Contribución al conocimiento de las evaporitas mioceñas (Fm. Zaragoza) de la Cuenca del Ebro. En: F. ORTI, F. y J. M. SALVANY (eds.) *Formaciones evaporíticas de la Cuenca del Ebro y cadenas periféricas y de la zona de Levante*. ENRESA, pp. 120-122.
- VILLENA, 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.
- WALKER, R. G.; DUKE, W. L. y LECKIE, D. A. (1983). Hummocky stratification: significance of its variable bedding sequences: discussion.- *Bull. Geol. Soc. America*, 94, pp.1245-1249.
- ZUIDAM, R. A. VAN (1976). Geomorphological development of the Zaragoza region, Spain". *Inst. Inv. Aer. Surv. Earth. Sc. (ITC)*. Enschede, 211 p.

