

ANÁLISIS LITOESTRATIGRÁFICO DEL KEUPER SURPIRENAICO CENTRAL

J. M. Salvany ¹ y J. Bastida ²

¹ *Dept. Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica, Universitat Politècnica de Catalunya, 08034 Barcelona. (josepm.salvany@upc.es).*

² *Dept. de Geologia, Universitat de València, 46100 Burjassot.*

Resumen: Se ha estudiado la litoestratigrafía del Keuper surpirenaico central en los afloramientos de dos sectores: las Sierras Marginales (sector sur) y Les Nogueres (sector norte). En el Keuper de las Sierras Marginales se han distinguido tres unidades litológicas: Formación Yesos de Canelles, Formación Yesos de Boix y Formación Arcillas y Carbonatos de Les Avellanes, con una potencia conjunta de 200 a 400 m. En el Keuper de Les Nogueres se han distinguido cuatro unidades litológicas: Formación Arcillas y Carbonatos de Adons, Formación Yesos de Boix, Formación Yesos de Senterada y Formación Arcillas y Carbonatos de Les Avellanes, con una potencia conjunta de más de 200 m.

Las litologías principales del Keuper estudiado son yesos, carbonatos y arcillas. A diferencia de lo que ocurre en otras regiones, hay una ausencia total de areniscas. Los yesos presentan litofacies laminada y nodular similares a las de otras regiones, aunque es de destacar el desarrollo de yesos laminados con estructuras de corriente en la Formación Canelles, poco frecuentes o desconocidos en otras regiones. Los carbonatos son de composición dolomítica dominante y están principalmente desarrollados en los niveles basales o superiores de las series. Presentan litofacies de dolomicrita masiva-laminada y foliada, *grainstone-wackestone* de oolitos o peloides y brechas. Las arcillas son de composición mineral esencialmente illítica, con cantidades variables de clorita e interestratificados clorita-esmectita. Es de destacar la ausencia de minerales de neoformación, que son característicos del Keuper de otras regiones, lo que sugiere un origen esencialmente detrítico para estos depósitos.

La correlación entre el Keuper de las Sierras Marginales y Les Nogueres permite identificar tres ciclos evaporíticos: un ciclo inferior, formado por las formaciones Canelles y Adons; un ciclo intermedio, formado por la Formación Boix; y un ciclo superior, formado por las formaciones Les Avellanes y Senterada. El primer ciclo representa una cuenca evaporítica desarrollada sobre las Sierras Marginales, que grada lateralmente hacia el norte a depósitos arcilloso-carbonatados. El segundo ciclo representa una cuenca evaporítica extensa, que cubrió los dos sectores, con mayor subsidencia en las Sierras Marginales que en Les Nogueres. Esta sería la etapa de principal desarrollo de los depósitos evaporíticos (sulfatos y sal) del Keuper estudiado. Durante el tercer ciclo la cuenca evaporítica se desarrolla en Les Nogueres, con sedimentación arcillosa-carbonatada en las Sierras Marginales. Este esquema paleoestratigráfico pone de manifiesto que durante la sedimentación del Keuper surpirenaico ha tenido lugar una progresiva migración de las evaporitas hacia el norte. Posteriormente la cuenca ha sido acortada por el levantamiento del Pirineo.

Palabras clave: Keuper, Triásico Superior, evaporitas, litoestratigrafía, carbonatos, yesos, mineralogía de arcillas, Zona Surpirenaica central.

Abstract: The lithostratigraphy of the south-central Pyrenean Keuper was studied from exposures in two areas: Sierras Marginales (southern area) and Les Nogueres (northern area). Keuper deposits in Sierras Marginales can be grouped in three lithostratigraphic units: Canelles Gypsum Formation, Boix Gypsum Formation and Les Avellanes Claystone and Carbonate Formation, which form together a 200 to 400 m thick sequence. The Keuper deposits of Les Nogueres area can be grouped in four lithostratigraphic units: Adons Claystone and Carbonate Formation, Boix Gypsum Formation, Senterada Gypsum Formation and Les Avellanes Claystone and Carbonate Formation, forming a more than 200 m thick sequence.

The studied Keuper is made up of gypsum, carbonates and claystone. Sandstone facies that are common in other regions are lacking. Gypsum displays similar laminated and nodular lithofacies than in other regions of Spain. However, it is significantly a good development of laminated gypsum with tractive structures in the Canelles Fm., which is rare or unknown in other regions. Carbonates, mainly of dolomitic composition, are laminated-massive and foliated mudstones, oolitic or peletoidal grainstone-wackestones, and breccias, all of them well developed mainly in the upper and lower Keuper units. Clay minerals in lutites and marls are of dominant illitic composition, with variable amounts of chlorite and interlaid chlorite-smectites. Opposite to other regions the lack of autigenic clay minerals is characteristic of Keuper in this region, which suggest a dominant detrital origin for these deposits.

The Keuper correlation between two south-Pyrenean areas allows to recognizing three evaporitic cycles: a lower cycle that comprises the Canelles Gypsum Formation and the Adons Claystone and Carbonate

Formation; an intermediate cycle that comprises the Boix Gypsum Formation; and an upper cycle that comprises the Les Avellanes Claystone and Carbonate Formation and the Senterada Gypsum Formation. The first cycle represents an evaporitic basin that developed on the southern area while marginal carbonates deposited towards the north. The second cycle represents a large evaporitic basin that covered both areas. This was the main evaporitic sedimentation in the Keuper, with a large accumulation of sulphates and salt along a basin which subsided more in the southern area than in the northern. During the third cycle evaporites developed mainly on the northern area, while to the south carbonates deposited. This paleogeographic framework evidences that an evaporitic basin surrounded by carbonate deposits shifted towards the north during the Keuper sedimentation. A basin that later was shortened by the Pyrenees uplift.

Key words: Keuper, Upper Triassic, evaporites, lithostratigraphy, carbonates, gypsum, clay minerals, south-central Pyrenees, Spain.

Salvany, J.M. y Bastida, J. (2004): Análisis litoestratigráfico del Keuper surpirenaico central. *Rev. Soc. Geol. España*, 17 (1-2): 3-26.

Las características litoestratigráficas de los materiales evaporíticos del Keuper surpirenaico han sido descritas en diversas ocasiones. Son de destacar los trabajos de Mey *et al.* (1968), Fréchengues y Peybernés (1991a y b) y Fréchengues *et al.* (1992) en el área de Les Nogueres; de Riba y Llamas (1962), Garrido y Ríos (1972) y Pocoví (1978) en las Sierras Marginales; de Baudelot y Taugourdeau-Lantz (1986) en la zona del Pedraforca; y de Calvet y Anglada (1987), Calvet *et al.* (1993, 1996), Solé de Porta *et al.* (1994) y Arnal *et al.* (2002) sobre el Triásico surpirenaico. Estos materiales también han sido descritos por Lanaja *et al.* (1987) y Klimowitz y Torrecusa (1990) a partir de sondeos petroleros profundos. Por lo general se trata de estudios estratigráficos o estructurales en los que el Keuper constituye sólo una parte de los materiales tratados, y

donde las referencias a esta unidad son de carácter local o están limitadas a determinados sectores.

El propósito de este artículo es ofrecer una visión global del Keuper de la Zona Surpirenaica central, desde el punto de vista de su composición litológica y estratigráfica. Se basa en el estudio de los principales afloramientos que se extienden desde el valle del río Noguera Pallaresa en Cataluña hasta el valle del río Cinca en Aragón. Se describen las litofacies de sulfatos y carbonatos del Keuper, así como la mineralogía de las arcillas, y se definen diversas unidades litoestratigráficas, para las que se propone una denominación formal con rango de formación. Con ello se quiere completar un estudio esencialmente descriptivo del Keuper, iniciado en 1989, cuyos resultados parciales fueron ya presentados por Salvany (1990), Salvany y Bastida (1994), Bastida *et al.* (1994) y Salvany (1999).

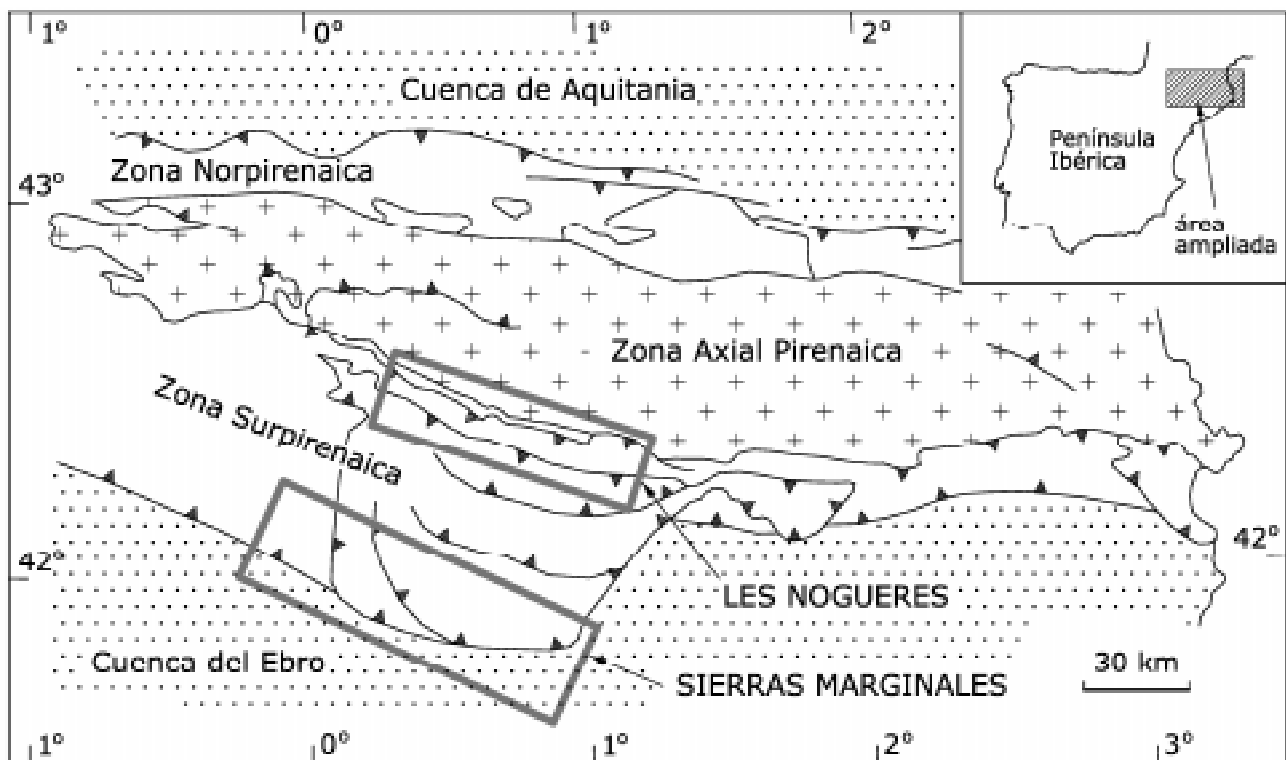


Figura 1.- Mapa geológico del Pirineo centro-oriental con localización de los sectores estudiados de Les Nogueres y Sierras Marginales.

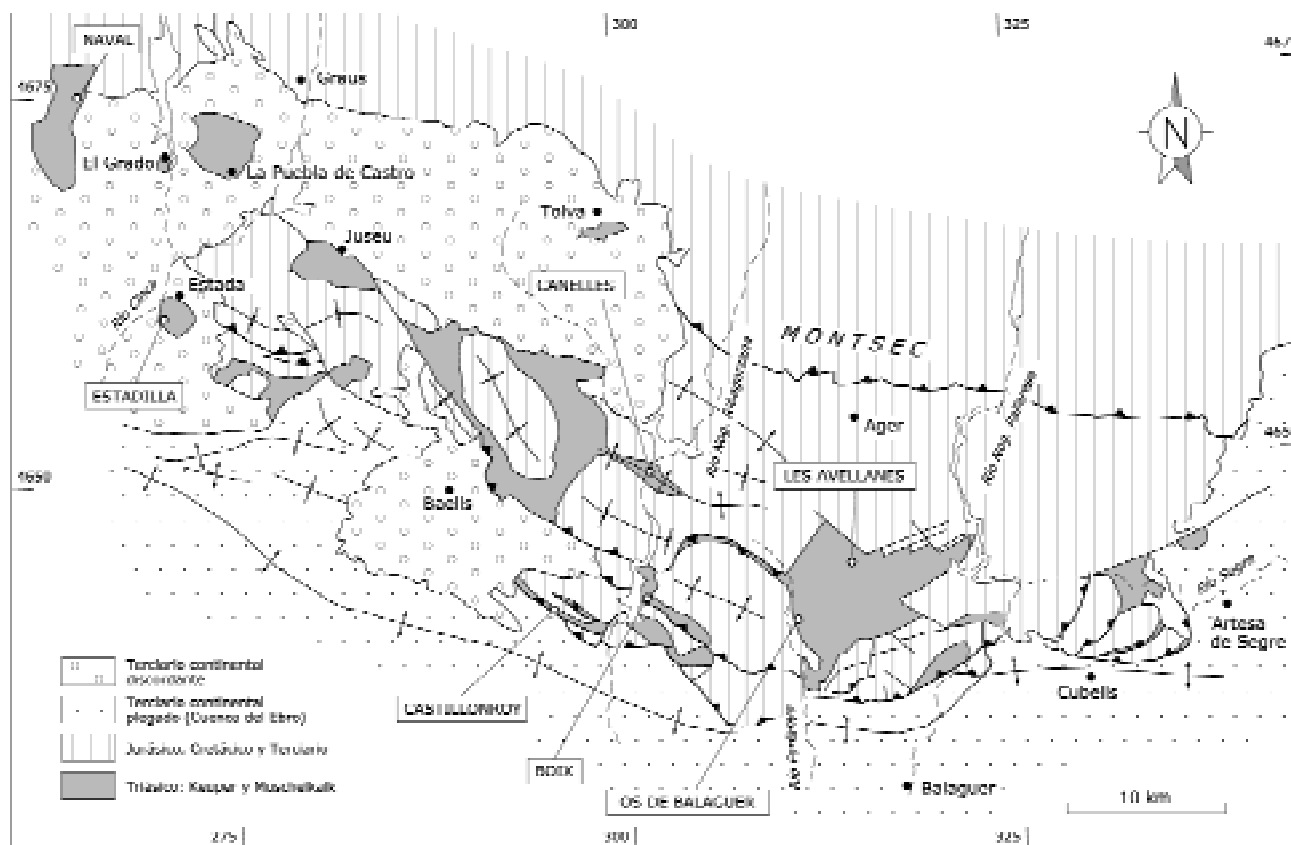


Figura 2.- Mapa geológico de las Sierras Marginales (adaptado de Pocoví, 1978) con distribución de los afloramientos del Keuper y de las localidades donde se han levantado las series de las figuras 10 y 11.

Marco estructural

En la zona Surpirenaica central el Keuper aflora en dos sectores diferentes (Fig. 1): un sector meridional, correspondiente a las Sierras Marginales (Garrido y Ríos, 1972; Pocoví, 1978), y un sector septentrional correspondiente a Les Nogueres (Mey, 1968). Ambos sectores quedan separados por la sierra del Montsec y la cuenca de Tremp, donde los afloramientos del Keuper son muy escasos.

En las Sierras Marginales (Fig. 2), el Keuper se presenta en dos contextos estructurales diferentes. Por un lado están los afloramientos ligados a los frentes de cabalgamiento, que forman extensas fajas, de dirección aproximadamente E-O, en las que únicamente se reconoce la parte superior de la serie del Keuper, en continuidad estratigráfica normal con las formaciones mesozoicas suprayacentes. Por otro lado están los afloramientos de carácter diapírico, principalmente localizados en la parte aragonesa de las Sierras Marginales, que forman afloramientos mayores, de morfología subcircular, que atraviesan la estructura de pliegues y mantos, y en los que llega a aflorar la totalidad de la serie del Keuper y el Muschelkalk.

En Les Nogueres (Fig. 3), el Keuper forma afloramientos de estructura compleja, situados en la parte posterior de los principales cabalgamientos surpirenaicos. En ellos generalmente aflora la serie del Keuper conjuntamente con el Muschelkalk y grandes bloques

de ofitas, entre la serie permotriásica y las láminas cabalgantes de carbonatos mesozoicos. A este conjunto del Triásico Medio-Superior Mey *et al.* (1968) lo denominaron Fm. Pont de Suert, situándose en esta localidad uno de sus mejores afloramientos.

Litofacies

Los materiales estudiados son sulfatos, carbonatos y arcillas. En el subsuelo, el Keuper también presenta importantes niveles de sal (Lanaja *et al.*, 1987; Klimowitz y Torrecusa, 1990) que nunca llegan a aflorar, aunque sí se manifiestan en forma de manantiales de aguas salinas, como los de Gerri de la Sal, Canelles, etc. Se interpreta que estos niveles salinos deben estar relacionados con las principales unidades yesíferas aflorantes pero, con los datos existentes, por ahora es difícil precisar esta relación. No se han reconocido niveles de arenisca, frecuentes en el Keuper de otras regiones peninsulares (Ortí, 1974; Aracil y Hernando, 1988; Pérez-López, 1991). En este sentido, el Keuper estudiado es afín al de la Cuenca del Ebro (Jurado, 1988) y los Catalánides (Salvany y Ortí, 1989), donde tampoco se presentan facies areníticas.

Sulfatos

Los sulfatos, en forma de yeso secundario en superficie-subsuperficie y anhídrita en profundidad, se pre-

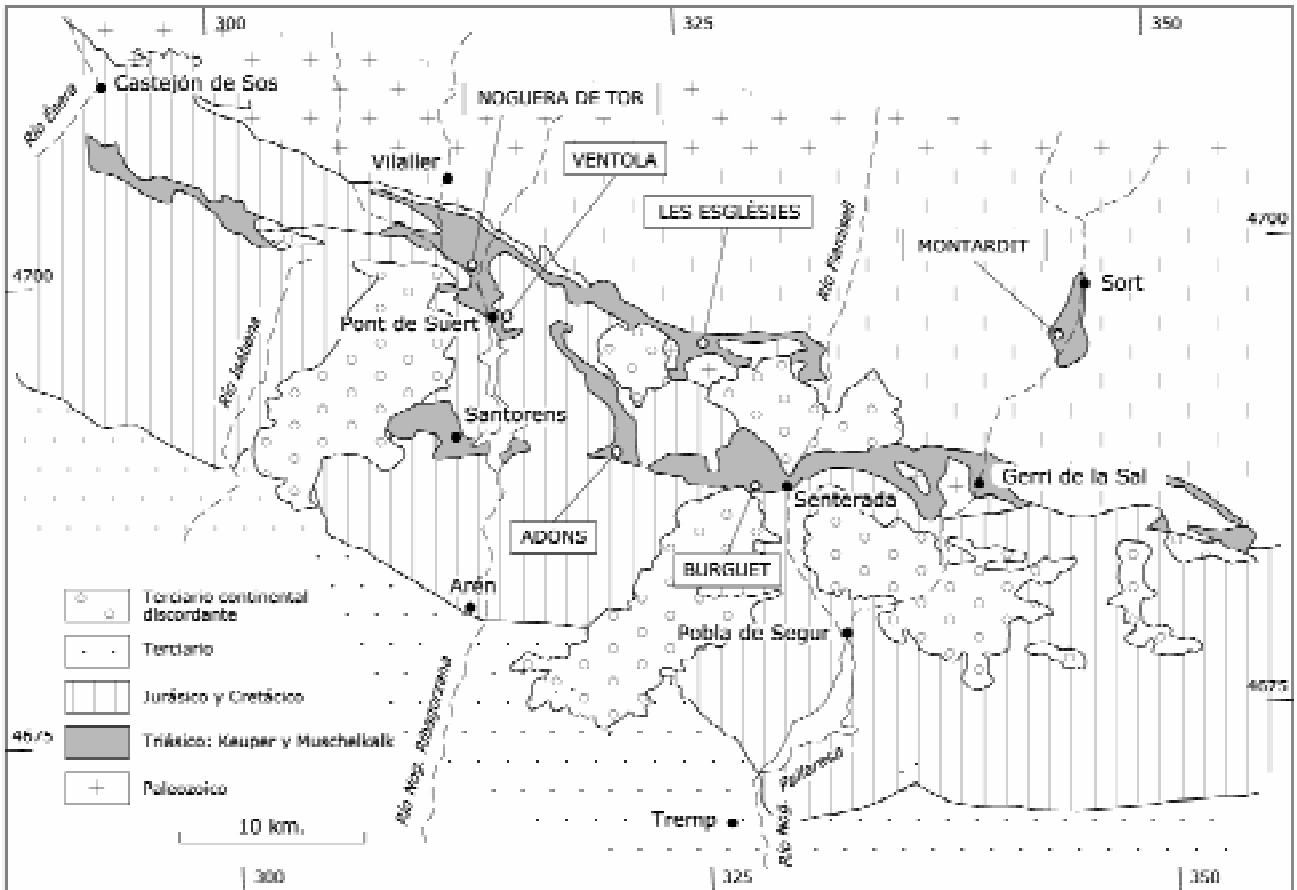


Figura 3.- Mapa geológico de Les Nogueres (adaptado de Losantos *et al.*, 1989) con distribución de los afloramientos del Keuper y de las localidades donde se han levantado las series de las figuras 11 y 16.

sentan con litofacies laminadas y nodulares, similares a las descritas en el Keuper de otras regiones (Ortí, 1974; Salvany, 1986; Pérez-López, 1991), aunque también con algunas variedades singulares. Pueden diferenciarse las siguientes litofacies:

Yeso laminado con carbonato. Forma capas de hasta varios metros de potencia, con laminación planar o con suaves ondulaciones. El carbonato puede presentarse como láminas milimétricas o centimétricas individualizadas entre el yeso (Fig. 4A), o bien como granos finos dispersos entre el yeso (matriz) en concentraciones muy variables. En ambos casos el carbonato es dolomicrocítico.

Interpretamos esta litofacies como depositada en lagunas evaporíticas someras, con aguas de salinidad fluctuante, que causan la sedimentación alternante de yeso (salinidad alta) y carbonato (salinidad baja).

Yeso-carbonato con estructuras de corriente. Se trata de una mezcla de yeso y carbonato en proporciones muy variables, con estructura laminada-ondulada centimétrica, que se caracteriza por la presencia de estructuras de laminación cruzada de pequeña escala. Estas estructuras se observan especialmente bien en los niveles más ricos en carbonato (Fig. 4B). En los niveles más puros de yeso son más difíciles de ver debido al carácter secundario del yeso que ha borrado la textura clástica original. En este segundo caso, los *ripples* se llegan

a ver sólo por cambios de tonalidad en la laminación (Fig. 4C). El carbonato es siempre microcítico. Al microscopio, esta laminación de yeso-carbonato muestra una densa textura pseudomórfica de cristales tabulares, de 100 a 300 μm de longitud, más o menos orientados subhorizontales (Fig. 4D). Las características de esta textura sugiere que el sedimento original fue una mezcla de fango carbonatado (ahora dolomicrocítica) y pequeños cristales tabulares de anhidrita (ahora como yeso secundario), transportados y depositados en un medio lagunar. Estas facies sólo están representadas en el Keuper basal de las Sierras Marginales y es prácticamente desconocida en el Keuper de otras regiones. Excepcionalmente, esta litofacies también se ha reconocido en el afloramiento de Espinagosa, del Keuper inferior (Fm. Miravet) de los Catalánides (Salvany, 1986).

Yeso bandeado. Este yeso se caracteriza por formar capas con bandas centimétricas, planares o onduladas, de diferentes tonalidades (Fig. 4E): rojizas, verdosas, grises, etc. El color es un reflejo de las impurezas del yeso (arcillas, hematites, materia orgánica, etc.), que en este caso suele ser pobre en carbonatos. Cuando el yeso es muy puro el bandeado puede desaparecer y dar lugar a capas masivas de yeso blanco.

Esta litofacies corresponden a depósitos de yeso en un medio lagunar de salinidad relativamente estable (sin carbonatos). Pueden darse transiciones entre este

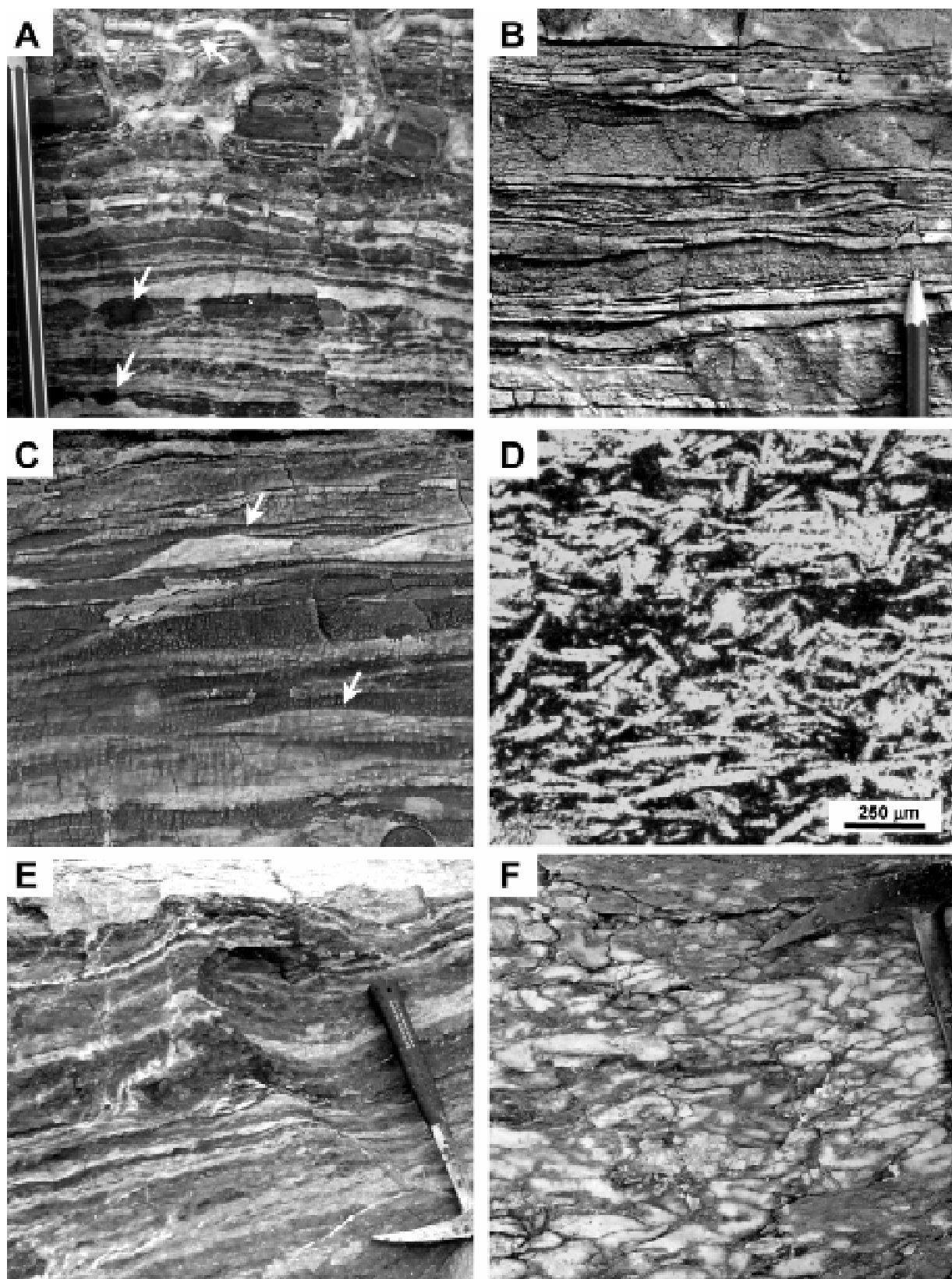


Figura 4.- Litofacias de yeso: A) yeso laminado con carbonato de la Fm. Senterada, en el afloramiento de Pont de Suert. Se observa una alternancia centimétrica de láminas de yeso (gris claro) y carbonato (gris oscuro). Las flechas indican algunas láminas de carbonato que están *boudinadas* por efecto tectónico. B y C) Yeso-carbonato laminado con estructuras de corriente. En el primer caso los *sets* de laminación cruzada se distinguen bien gracias a una mayor abundancia de carbonato entre el yeso (Fm. Canelles, en el corte de Naval). El segundo caso es una capa más pura de yeso, donde los *sets* de laminación cruzada, indicados por las flechas, se distinguen gracias a los cambios de tonalidad y forma de la laminación (Fm. Canelles, en el corte de Os de Balaguer). D) Textura pseudomórfica de cristales tabulares de anhidrita con matriz carbonatada de la facies de yeso-carbonato con estructuras de corriente (Fm. Canelles, en el corte de Os de Balaguer). E) Yeso bandeado de la Fm. Boix, en el afloramiento de esta misma localidad. El tono más oscuro o más claro de las bandas son un reflejo de las impurezas del yeso, esencialmente arcillosas. F) Yeso nodular de la Fm. Boix, en el afloramiento de esta misma localidad. Los nódulos, de color blanco, están ligeramente aplastados por efectos tectónicos.

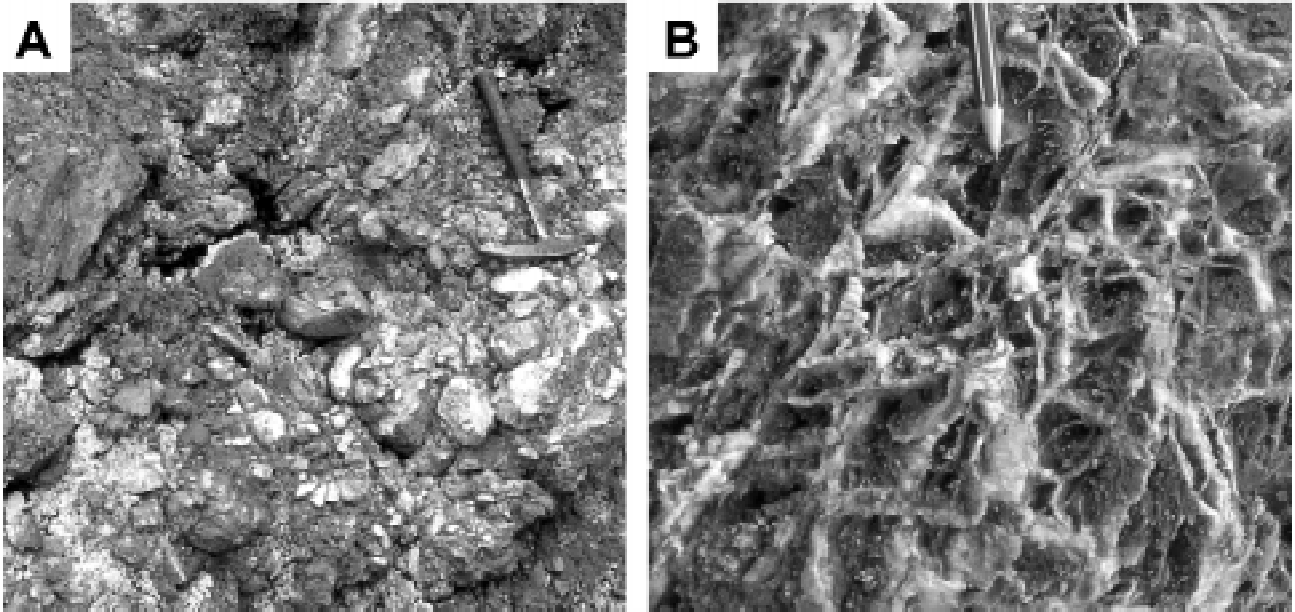


Figura 5.- A) Brecha tectónica de yeso en la Fm. Boix, en el afloramiento de Estada. B) Malla travecular de yeso fibroso en la Fm. Boix, en el corte de la carretera de Pont de Suert a Gotarta.

yeso bandeado y el yeso laminado con carbonato.

Yeso nodular. Forma agregados de nódulos o micronódulos de estructura generalmente compacta (Fig. 4F), formando capas entre arcillas o yeso laminado. Los nódulos se interpretan como crecimientos intersticiales de anhidrita en zonas marginales de laguna salina.

Estas litofacies sedimentarias están con frecuencia deformadas por efecto de la tectónica y/o procesos de disolución de las sales presentes en el subsuelo durante su exhumación. Las deformaciones pueden ser leves como, por ejemplo, el aplastamiento de nódulos (Fig. 4F) y láminas de yeso, o el *boudinage* de las láminas de carbonato entre el yeso (Fig. 4A). Pero en algunas unidades, las deformaciones pueden llegar a ser muy intensas y romper completamente la estructura sedimentaria original. En este segundo caso, son relevantes los potentes niveles de brechas yesíferas (Fig. 5A), de hasta varias decenas de metros de potencia, asociadas a los principales tramos evaporíticos del Keuper, que han actuado como niveles más plásticos de despegue de los cabalgamientos surpirenaicos. Estas brechas forman agregados muy heterométricos de bloques de yeso y dolomías (a veces también ofitas), mezclados con arcillas y generalmente desorientados, todo ello enmascarado por densas mallas traveculares de yeso fibroso (Fig. 5B).

Carbonatos

En el Keuper surpirenaico se da un notable desarrollo de carbonatos, tanto en variedad de litofacies como en potencia de sus tramos. Se pueden distinguir las siguientes litofacies:

Dolomicrita masiva o laminada. Forma capas tabulares, compactas, de espesor raramente superior a 50 cm, de tonalidad gris claro u ocre, masivas o con diferentes grados de laminación, que pueden estar

emplazadas entre arcillas o yesos (Fig. 6A, B y C). La laminación generalmente es planar, pero también pueden presentar ondulaciones de origen algal o tractivo. También pueden reconocerse estructuras de desecación, y seudomorfs de cristales evaporíticos. Al microscopio, el carbonato se observa siempre con textura micrítica, y con frecuencia contiene niveles siliciclásticos (Fig. 7A), de tamaño limo o arena fina, mezclados con el carbonato. Mediante difracción de rayos X se identifica generalmente dolomita que, ocasionalmente, coexiste con calcita. Se interpretan como depósitos de margen de laguna evaporítica, desarrollados durante estadios de inundación-dilución del medio lagunar.

Dolomicrita foliada. Forma capas de 10 a 50 cm de espesor, de aspecto hojaldrado (Fig. 6D), que se descomponen fácilmente en láminas al golpearlas. La foliación suele presentar morfologías muy variadas: crenulaciones, pequeños domos estromatolíticos, *tee-pees*, etc., que reflejan un claro control algal. En este caso, la roca encajante es siempre arcilla. Son de textura micrítica y composición dolomítica. Se interpreta como depósitos de tapiz algal de margen de laguna evaporítica.

Grainstone-packstone de oolitos y/o peloides. Forman capas de 10 a 30 cm de espesor, desarrolladas en los principales tramos arcilloso-carbonatados de la base y/o techo del Keuper. Estas capas pueden ser de textura oolítica uniforme o bien tratarse de capas dolomicríticas donde los oolitos o peloides se intercalan formando láminas lenticulares (Fig. 7B). En ambos casos muestran estructuras de corriente y suelen contener intraclastos de carbonato micrítico de hasta varios centímetros de tamaño. También pueden presentar granoclasificación y en algunos casos bases erosivas. Al microscopio, los oolitos se observan con diferentes gra-

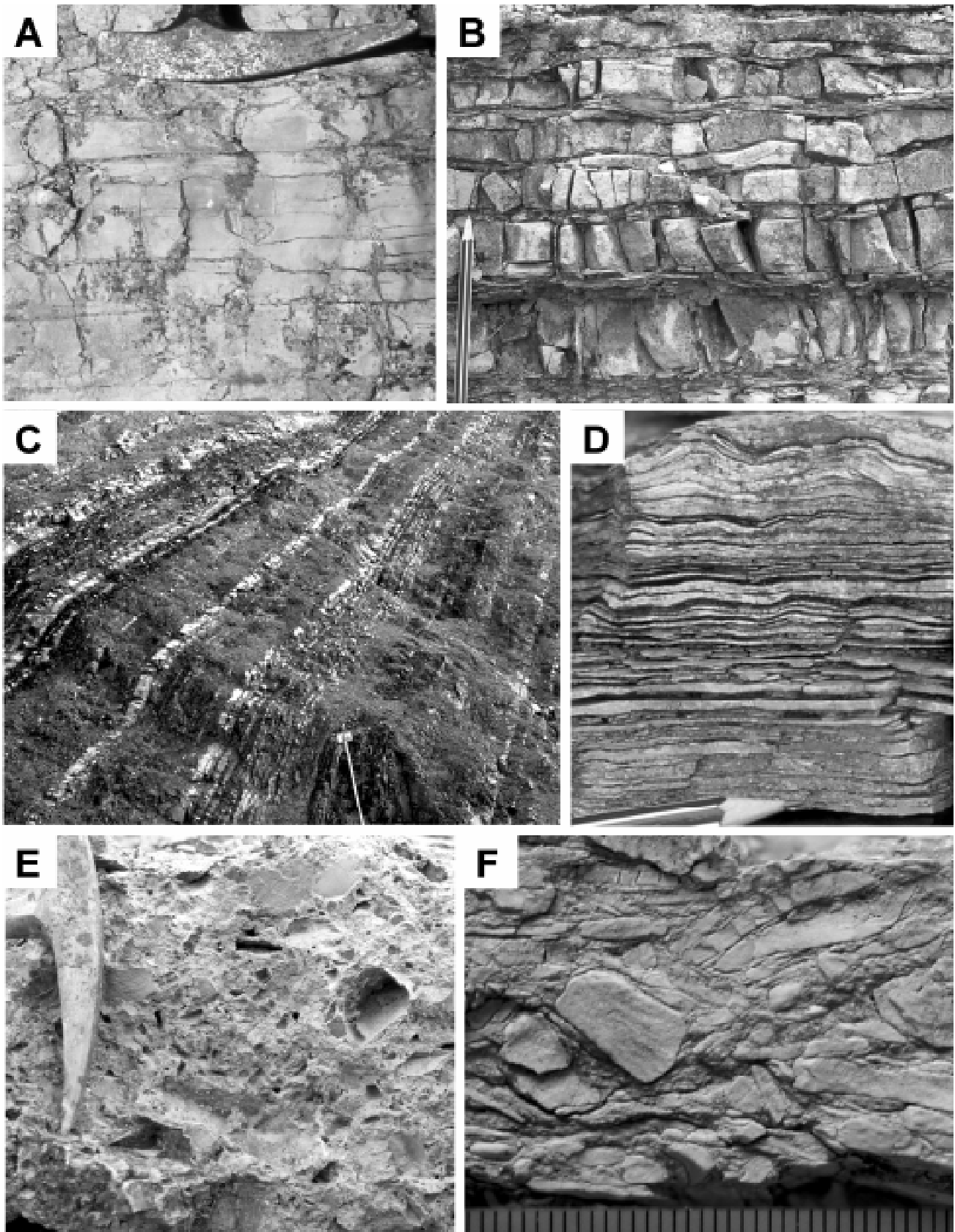


Figura 6.- Litofacies de carbonatos: A) Dolomicrita masiva-laminada de la Fm. Les Avellanes, en el corte de esta misma localidad. B) Dolomicrita laminada, con estructuras algales, de la Fm. Les Avellanes en el corte de Burguet. C) Alternancia de arcillas (gris oscuro) y capas dolomicríticas (gris claro) en la Fm. Adons, en el corte de esta misma localidad (escala = 1 m). D) Dolomicrita foliada de la Fm. Les Avellanes en el corte de esta misma localidad. E) Brecha carbonatada con intraclastos arcillosos, de la Fm. Les Avellanes, en el corte de Burguet. F) Brecha carbonatada con intraclastos dolomicríticos, de la Fm. Les Avellanes, en el corte de esta misma localidad (escala en mm).

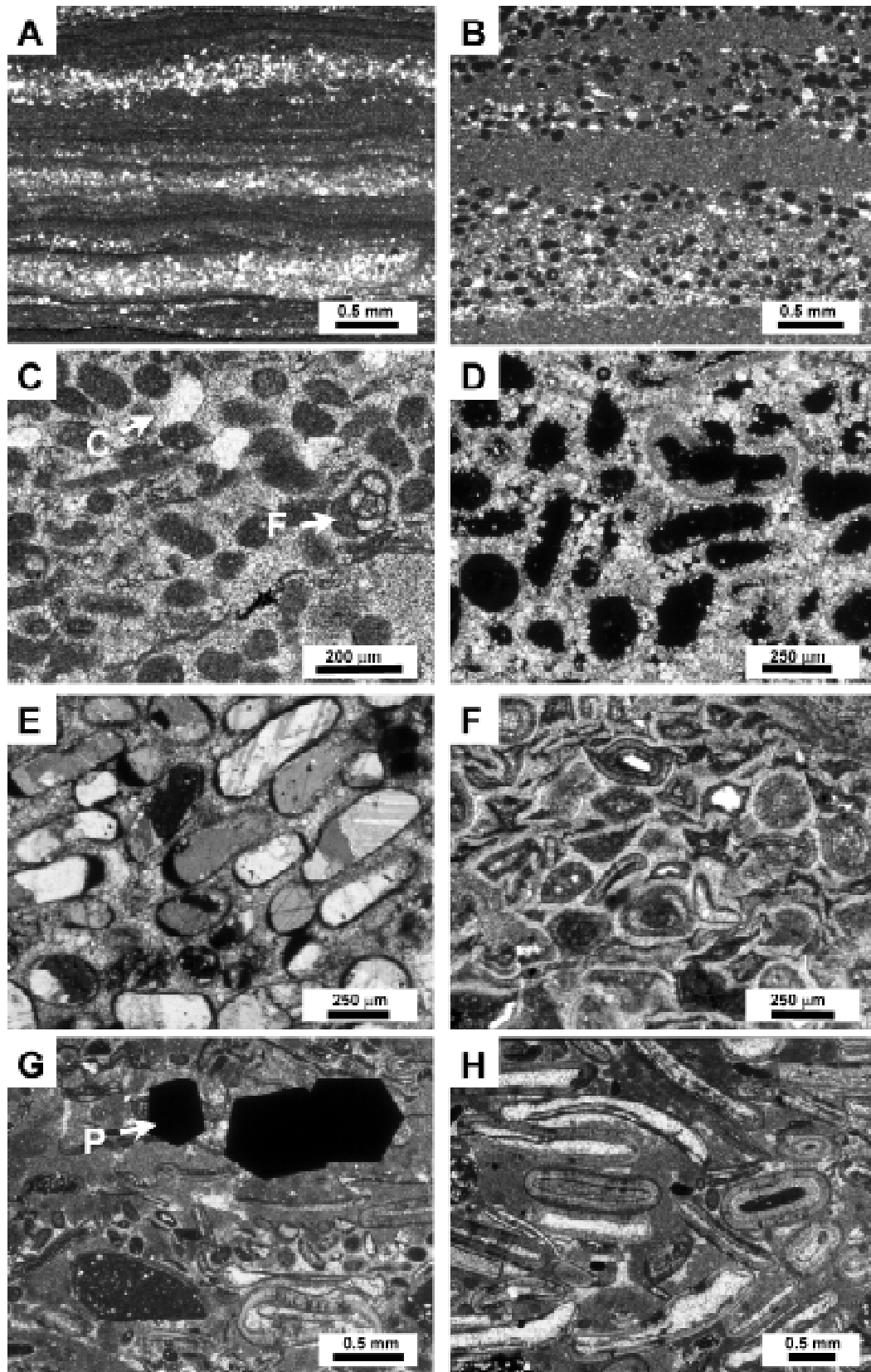


Figura 7.- Microfacies de carbonatos: A) Dolomicrita laminada de la Fm. Adons (corte de Adons). Se observa la alternancia de láminas de carbonato micrítico (gris oscuro) y de carbonato micrítico con abundantes granos siliciclásticos (esencialmente cuarzo) de tamaño limo (color blanco). B) *Packstone-wackestone* de peloides, con granos detríticos de cuarzo (blanco), de la Fm. Adons (corte de Adons). C) *Packstone* de peloides con granos detríticos de cuarzo (C) y algún microforaminífero (F), de la Fm. Adons (corte de Adons). D) *Grainstone* de oolitos disueltos (en negro la porosidad móldica), de la Fm. Canelles (corte de Os de Balaguer). E) *Grainstone* de oolitos disueltos y cementados posteriormente por calcita, de la Fm. Canelles (corte de Canelles). F) *Grainstone* de oolitos deformados por compactación, de la Fm. Les Avellanes (corte de Castillonroy). G) *Packstone* de oolitos, deformados por compactación y con desarrollo de cristales euhédricos de pirita (P), de la Fm. Adons (corte de Adons). H) *Packstone* de oolitos con morfologías elongadas, parcialmente disueltos y rellenos de cemento esparítico de calcita, de la Fm. Adons (corte de Adons).

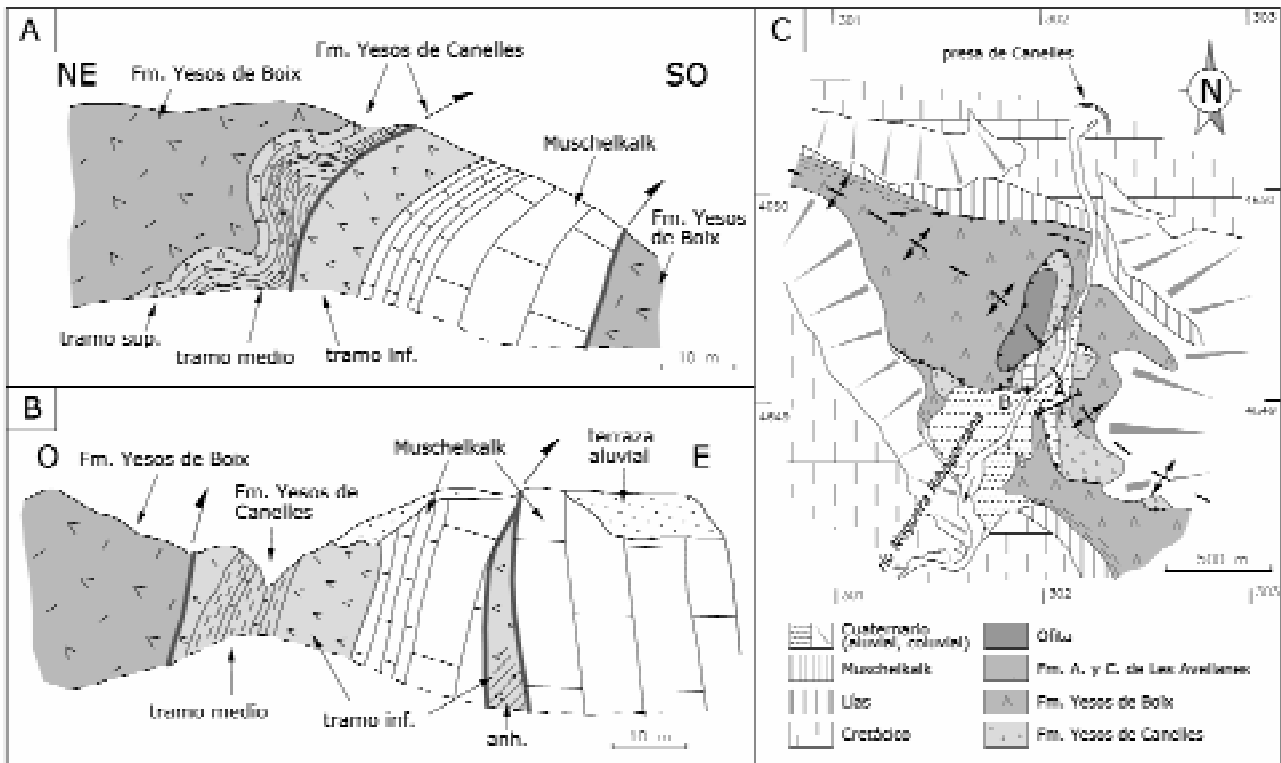


Figura 8.- Cortes del Muschelkalk y Keuper (Fms. Canelles y Boix) de Canelles: A) Corte de la margen izquierda del río Noguera Ribagorzana; B) Corte de la margen derecha; C) Mapa geológico del núcleo del anticlinal de Canelles (adaptado de Salvany, 1999) con situación de los cortes A y B.

dos de micritización. Por la forma y tamaño de los peloides (Fig. 7C), interpretamos que éstos pueden corresponder a oolitos totalmente micritizados. Con frecuencia los oolitos y peloides están parcial o totalmente disueltos (Fig. 7D). La porosidad móldica a que dan lugar puede estar rellena de cemento de yeso o calcita (Fig. 7E). También son frecuentes las texturas de oolitos deformados por compactación (Fig. 7F, G y H). Otros componentes asociados son: valvas de ostrácodos, microforaminíferos (Fig. 7C), granos detríticos de cuarzo de tamaño arena fina o limo, y cristales sub-euhedrales de pirita (Fig. 7G), de hasta 1 mm de tamaño. La difracción de rayos-X revela que la mineralogía es dolomita y calcita, dominando uno u otro mineral según los casos.

Por las características que hemos descrito, interpretamos estas capas como niveles de tempestita, procedentes de la costa, que se han expandido sobre depósitos de llanura fangosa supramareal, próximos a la cuenca evaporítica.

Brecha carbonatada. Pueden distinguirse dos variedades: las típicas brechas de intraclastos arcillosos, que forman capas muy irregulares, de hasta 2 m de potencia, generalmente porosas y parcialmente silicificadas (Fig. 6E); o bien niveles de brechas de clastos dolomíticos (Fig. 6F), menos potentes (máximo 20 cm), formando capas tabulares más compactas. Esta segunda variedad es menos frecuente. Ambas se interpretan como resedimentación de intraclastos arcillosos o carbonatados en ambiente lagunar carbonatado. En ambos casos, la mineralogía es esencialmente dolomítica.

Costra silícea. Son agregados de cristales milimétricos de cuarzo, englobados por matriz carbonatada o cemento esparítico, que se han desarrollado preferentemente por silicificación de niveles carbonatados poco potentes, sobretudo en brecha carbonatada. Algunas morfologías nodulosas de estas capas sugiere que también pueden tener como precursor capas de anhidrita nodular previamente carbonatadas. Al microscopio, los cristales de cuarzo son euhedrales o subhedrales, de extinción uniforme y con gran cantidad de inclusiones de carbonatos.

Arcillas

Se presentan formando tramos individuales de hasta varios metros de potencia, o bien como material encajante (matriz) de sulfatos y carbonatos. Son de coloración roja, gris o verde dependiendo de la unidad que las contiene. Utilizamos la denominación de arcillas, refiriéndonos a lutitas con elevada plasticidad, eventualmente pueden presentarse lutitas en las cuales la fracción arcillosa no sea la predominante o con plasticidad disminuida por cementación. Se interpretan como material detrítico fino, de origen aluvial distal. El color es un reflejo de las condiciones oxidantes (rojo) o reductoras (gris, verde) del ambiente sedimentario donde se depositaron. Su mayor o menor contenido en carbonatos y sulfatos, que preferentemente es mayor en las arcillas grises y verdes, sería un reflejo de la influencia marina. Más adelante se describe la mineralogía de estas arcillas y su variación por unidades.

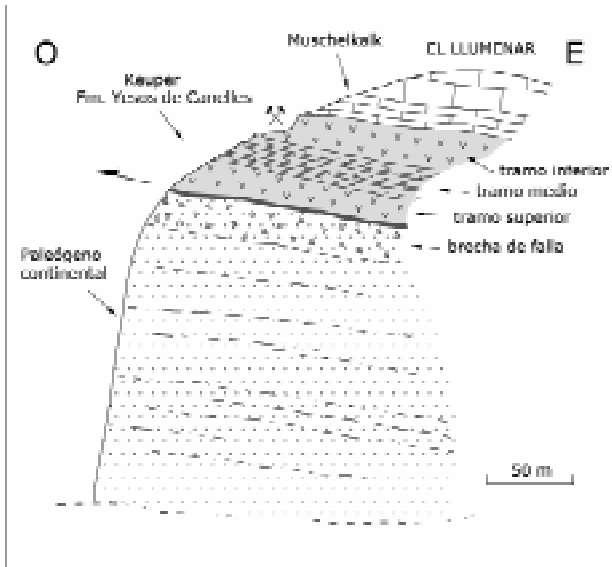


Figura 9.- Corte del Keuper de El Lluenar, en Os de Balaguer (Sierras Marginales). Ver figura 2 para su situación

Litoestratigrafía del Keuper de las Sierras Marginales

Existen importantes diferencias entre el Keuper de las Sierras Marginales y el de Les Nogueres, tanto de potencia como de distribución de litofacies. En el primer caso, el Keuper forma una serie esencialmente evaporítica, con un espesor estimado del orden de 200 a 400 m. En Les Nogueres la serie también es en parte evaporítica, pero los depósitos arcillosos y carbonatados tienen gran desarrollo, con un espesor total estimado superior a los 200 m.

En las Sierras Marginales el Keuper está compuesto por tres unidades litoestratigráficas que, de base a techo, son: Fm. Yesos de Canelles, Fm. Yesos de Boix y Fm. Arcillas y Carbonatos de Les Avellanes.

Formación Yesos de Canelles

Afloramientos y corte tipo: Esta formación aflora en cuatro localidades: Canelles, Os de Balaguer, Estadilla y Naval (Fig. 2). El afloramiento de Canelles (Fig. 8) es el corte tipo. Constituye el núcleo triásico de un anticlinal erosionado por el río Noguera Ribagorzana (Salvany, 1999). A ambos márgenes de este río se reconoce el Muschelkalk y las Fms. Canelles y Boix, las tres en continuidad estratigráfica normal, con algunos contactos por falla que truncan parcialmente la serie. En el corte de la margen izquierda (Fig. 8A), una de estas fallas ha laminado algunos niveles de la parte media de la serie, que se reconocen bien en el corte de la margen derecha. Por otro lado, en este segundo corte (Fig. 8B), el contacto entre los yesos de la Fm. Canelles y los de la Fm. Boix es por falla, que ha laminado el techo de la serie. No obstante, ambos cortes se complementan y permiten reconstruir la totalidad de la serie.

El afloramiento de Os de Balaguer (cantera del Lluenar, Fig. 9) muestra la parte superior del Musche-

lkalk y la Fm. Canelles. Ambas unidades están en contacto normal y forman una serie invertida que cabalga sobre los depósitos detríticos continentales del Oligoceno. El techo de la Fm. Canelles no llega a florar, pero se reconocen todos sus tramos, lo que hace pensar que la mayor parte de la serie está representada.

En Estadilla la serie aflora completa en una antigua cantera al suroeste de esta localidad, próxima al canal de Aragón. En la cantera (abandonada) aflora el Muschelkalk y los yesos basales de la formación, mientras que en el canal se corta la parte media y superior de la serie hasta los yesos de la Fm. Boix, que se extienden de forma continua hasta la población de Estada, varios kilómetros al norte.

El afloramiento de Naval lo constituye una pequeña cantera abandonada situada a unos 2 km de esta localidad, sobre la carretera HU-353 hacia Hoz de Barbastro. La cantera explotaba los niveles yesíferos basales de la formación, que afloran en su casi totalidad, aunque no llega a verse su base. Por encima, se reconocen también los niveles intermedios de la serie, pero no su parte superior. La serie es incompleta, pero en ella se pueden ver bien todas las singularidades de esta unidad.

Litofacies: En la Fm. Canelles hay yesos, carbonatos y arcillas: (1) El yeso es la litología principal. Se trata de yesos laminados blancos con abundante carbonato. La litofacies dominante es el yeso-carbonato con estructuras de corriente que, por otro lado, es exclusivo de esta formación. Con menor desarrollo también hay yeso laminado con carbonato y algún nivel nodular. (2) El carbonato se presenta con litofacies dolomicrita masiva-laminada, dolomicrita foliada y *grainstone-packstone* de peloides u oolitos. Esta última litofacies forma varios niveles, de color violáceo o gris oscuro, con abundantes intraclastos y microporosidad (disolución de los oolitos), en la parte intermedia de la serie, a veces a techo de capas de yeso o entre niveles dolomicríticos. (3) Las arcillas son grises, laminadas y muy ricas en carbonatos (margas).

Características estratigráficas: La potencia de esta formación varía entre 30 m (Canelles) y 43 m (Estadilla). Se distinguen bien tres tramos litológicos (Fig. 10): un tramo yesífero basal (yeso-carbonato con estructuras de corriente) de 10 m de espesor que se dispone siempre en contacto neto sobre los carbonatos del Muschelkalk; un tramo intermedio compuesto por yeso laminado, arcillas y carbonatos, alternando de forma cíclica; y un tramo superior yesífero de 6 a 8 m de espesor con litofacies laminada y en algunos niveles también nodular. El contacto con los yesos rojos de la Fm. Boix, que se manifiesta por un rápido cambio de color en los yesos y arcillas, es también neto.

Por su posición estratigráfica en la base de la serie, su asociación de facies y su carácter cíclico, esta unidad puede considerarse equivalente a la Unidad K1 del Keuper del Levante (Ortí, 1974) y también de la Fm. Miravet del Keuper de los Catalánides (Salvany, 1986).

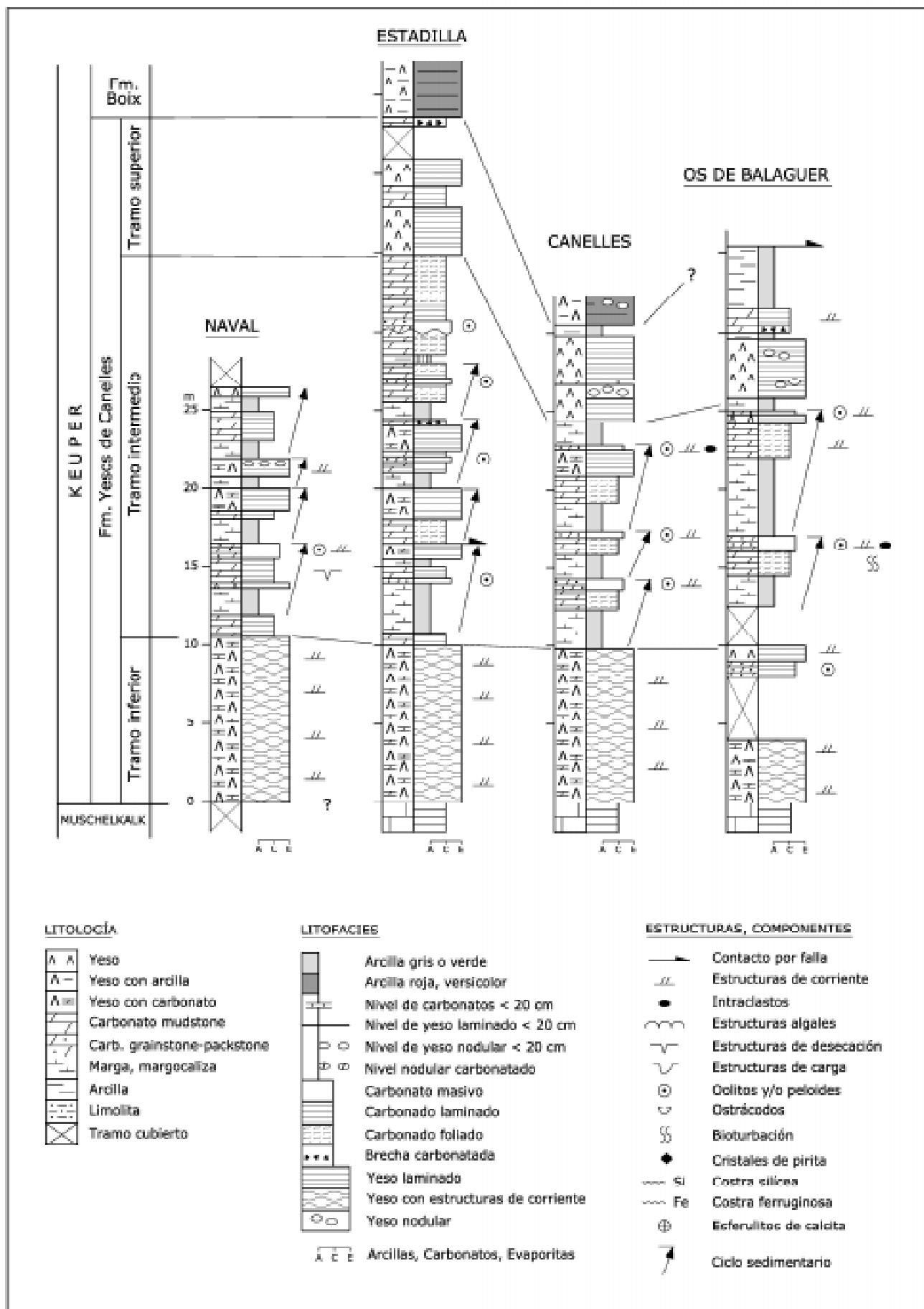


Figura 10.- Series estratigráficas de la Fm. Yesos de Canelles en diferentes localidades de las Sierras Marginales. Ver figura 2 para su situación.

Ambiente sedimentario: Los yesos basales de esta formación suponen el desarrollo de una laguna evaporítica estable y de gran extensión, como demuestra la similar potencia y desarrollo de facies en todos los cortes estudiados, que se instala de forma brusca sobre la plataforma carbonatada del Muschelkalk. A estas primeras evaporitas le sucede una segunda etapa con mayor influencia de carbonatos marinos: margas, dolomicritas y *grainstones* de oolitos. Se reconocen hasta cuatro ciclos carbonatado-evaporíticos que indican diferentes episodios de expansión de depósitos de llanura mareal carbonatada sobre la cuenca evaporítica. La parte superior de la serie supone una nueva estabilización del medio evaporítico.

Formación Yesos de Boix

Afloramientos y corte tipo: Esta formación es la más desarrollada del Keuper de las Sierras Marginales. Se distingue por el color rojo dominante de los yesos y arcillas que la componen. Algunos de los afloramientos más representativos son los de Canelles, Boix, Les Avellanés, Estada o Sant Llorenç de Montgay (Fig. 2). La formación aflora siempre de forma parcial y muy deformada por la tectónica, y también generalmente muy meteorizada, lo que dificulta su estudio con detalle.

El mejor afloramiento (corte tipo) se sitúa en las proximidades del pueblo abandonado de Boix, en la orilla izquierda del embalse de Santa Ana (río Noguera Ribagorçana, Fig. 2). Este afloramiento presenta un moderado grado de deformación tectónica y permite reconocer las diferentes litofacies yesíferas en tramos continuos y bien estratificados de hasta varias decenas de metros de espesor. La calidad de los otros afloramientos es notablemente inferior.

Litofacies: La litología dominante es el yeso, de color rojo o versicolor. (1) El yeso es principalmente de litofacies bandeada o masiva, con texturas alabastrina, porfiroblástica y megacristalina. También es común la litofacies nodular. Con frecuencia los yesos están deformados y forman brechas tectónicas. El yeso fibroso, en forma de vetas o redes traveculares, es un componente muy habitual, especialmente en los tramos más deformados. (2) Las arcillas son rojas y forman capas individuales o bien están como matriz entre las láminas y nódulos de yeso. Algunos niveles son limolíticos. (3) Los carbonatos son muy poco representativos de esta formación. En su caso, son brechas carbonatadas o bien forman finos niveles dolomicrocíticos.

Características estratigráficas: Esta formación constituye una monótona sucesión de capas de yeso y arcillas yesíferas aparentemente sin ningún tipo de ordenación secuencial. En la parte superior de la serie se individualiza un tramo predominantemente arcilloso versicolor, de hasta 40 m de potencia, que gradualmente da paso a la unidad superior de Les Avellanés (Fig. 11).

La posición de los manantiales de aguas salinas y los datos de subsuelo sugieren que los principales nive-

les de sal pueden estar contenidos en esta formación. Es muy difícil precisar su potencia al no aflorar completa en ningún lugar y estar normalmente muy deformada por la tectónica. Sin embargo, por criterio cartográfico, puede estimarse una potencia superior a los 200 m en las Sierras Marginales. Los datos aportados por el sondeo Surpirenaica-1 (Klimowitz y Torrecusa, 1990), permiten considerar una potencia de hasta 400 m (ver más adelante).

Estas evaporitas son similares a las que en los Catalánides representan a la Fm. del Molar (Salvany, 1986), y en el Levante a la unidad K4 (Ortí, 1974).

Ambiente sedimentario: La Fm. Boix representa la etapa principal de sedimentación evaporítica. La gran potencia de esta unidad y el carácter arcilloso de sus evaporitas, sugiere una etapa de mayor subsidencia con una mayor influencia de los depósitos aluviales distales (arcillas) sobre la cuenca evaporítica, donde precipitan sulfatos y sal.

Formación Arcillas y Carbonatos de Les Avellanés

Afloramientos y corte tipo: La Formación de Les Avellanés puede reconocerse en la mayor parte de los afloramientos triásicos de las Sierras Marginales: Canelles, Castillonroy, Les Avellanés, Os de Balaguer, Cubells, etc. Los dos mejores cortes son los de Les Avellanés (corte tipo) y Castillonroy (Fig. 2). El primero se encuentra en la vertiente occidental de una loma (*Els Terrers*), unos 2 km al norte de esta localidad, en cuya cima se presentan las calizas de la Fm. Isábena y al pie los yesos y arcillas rojo-versicolores del techo de la Fm. Boix. El corte de Castillonroy se localiza a 1,5 km al noreste de esta localidad, en el paraje conocido como *Reguera del Perdigot*. Forma el pie de un frente de cabalgamiento de calizas mesozoicas sobre los depósitos oligocenos del anticlinal de Barbastro. Esta serie es de características similares a la anterior pero su parte baja está muy tectonizada.

Litofacies: La litología dominante son las arcillas, entre las que se intercalan capas de carbonatos y yesos. (1) Las arcillas son de color gris verdoso, con algún nivel rojizo. (2) Los carbonatos son principalmente de litofacies dolomicrocítica masiva o laminada, dolomicrocítica foliada y brecha carbonatada, así como algunos niveles oolíticos subordinados. También se presentan algunos niveles de costras silíceas preferentemente en la parte basal de la unidad. (3) Los yesos tienen poco desarrollo. Se limitan a algunas capas laminadas o nodulares de yeso blanco en la base de la serie.

Características estratigráficas: La potencia de esta formación es del orden de 60 m. Pueden distinguirse dos tramos litológicos diferentes (Fig. 11): un tramo inferior, compuesto por arcillas gris-verdes con capas de dolomías laminadas, foliadas y oolíticas, con algún horizonte rojo. Un tramo superior, formado por arcillas

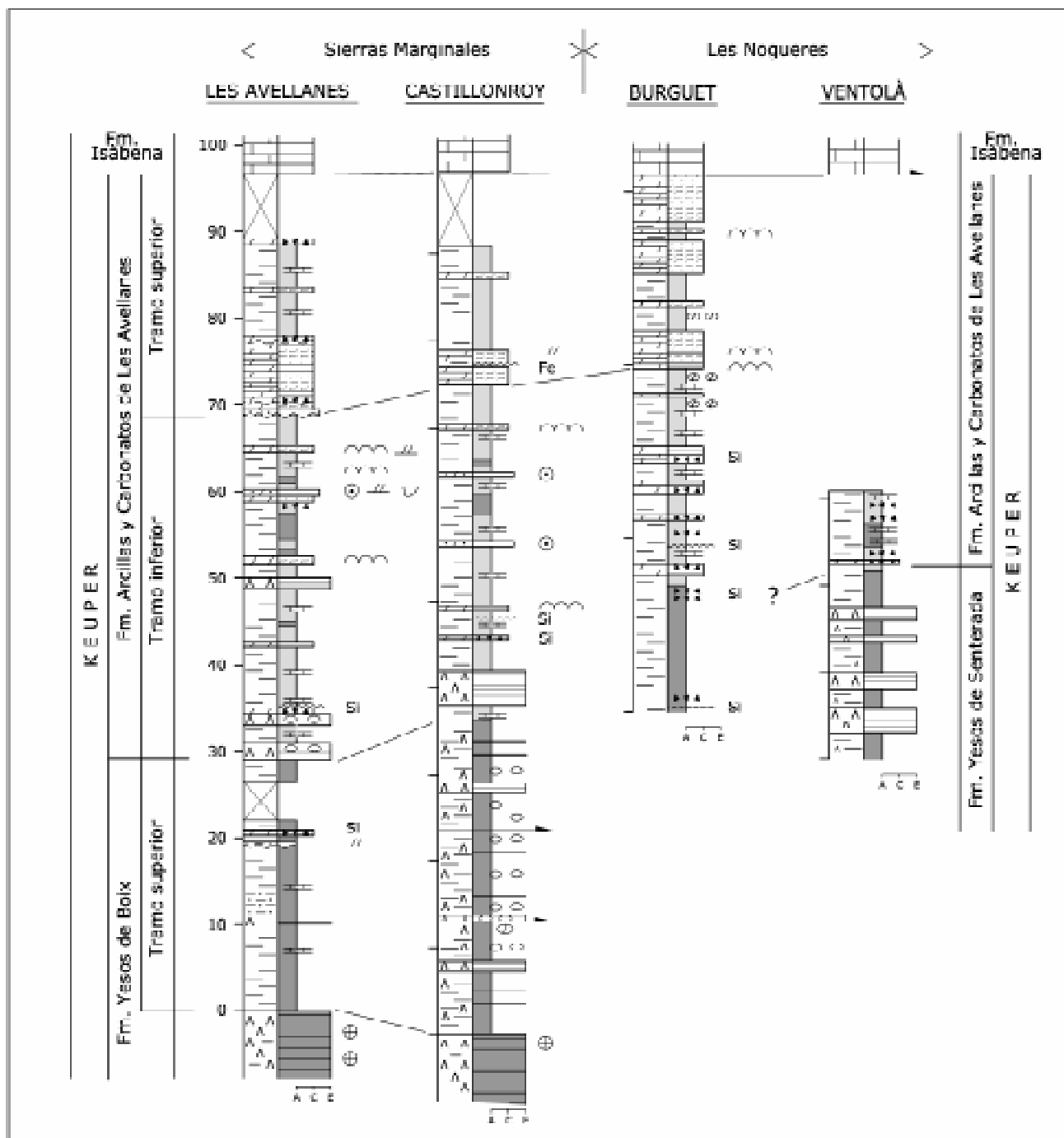


Figura 11.- Series estratigráficas de la Fm. Arcillas y Carbonatos de Les Avellanes en las Sierras Marginales y Les Nogueres. Leyenda en figura 10. Ver figuras 2 y 3 para su localización.

verdosas, con mayor desarrollo de los carbonatos lamina-dos y foliados de tonalidad ocre. El tránsito con la Fm. Isábena es gradual. También los es con la Fm. Boix subya-cente.

Esta unidad es equivalente a la Fm. Gallicant del Keuper de los Catalánides (Salvany, 1986). Ha sido da-tada por Calvet *et al.* (1993) como Rhetiense a partir de dos conjuntos palinológicos en las localidades de No-ves de Segre y La Nou, en el área del Cadí, al este del área de estudio. Esta misma edad ha sido reconocida también por Baudelot y Taugourdeau-Lantz (1986) en La Pobla de Lillet, cerca del Pedraforca. En el área de Les Avellanes (Sierras Marginales), a partir del estudio

de foraminíferos, Calvet (1996) le atribuye una edad Noriense medio-superior a Rhetiense.

Ambiente sedimentario: Los depósitos de la Fm. Les Ave-llanes representan la progresiva implantación de una llanu-ra fangosa inter-supramareal carbonatada sobre los depósitos evaporíticos de la Fm. Boix. Así, en la parte baja de la serie todavía hay una cierta influencia evaporítica, con sedimen-tación de niveles de yeso, pero progresivamente se imponen los depósitos lagunares carbonatados (fangos carbo-natados, tapices algales) con ocasionales niveles oolíticos marinos tempestíficos. El tránsito a los depósitos carbo-natados de la Fm. Isábena es gradual (Arnal *et al.*, 2002).

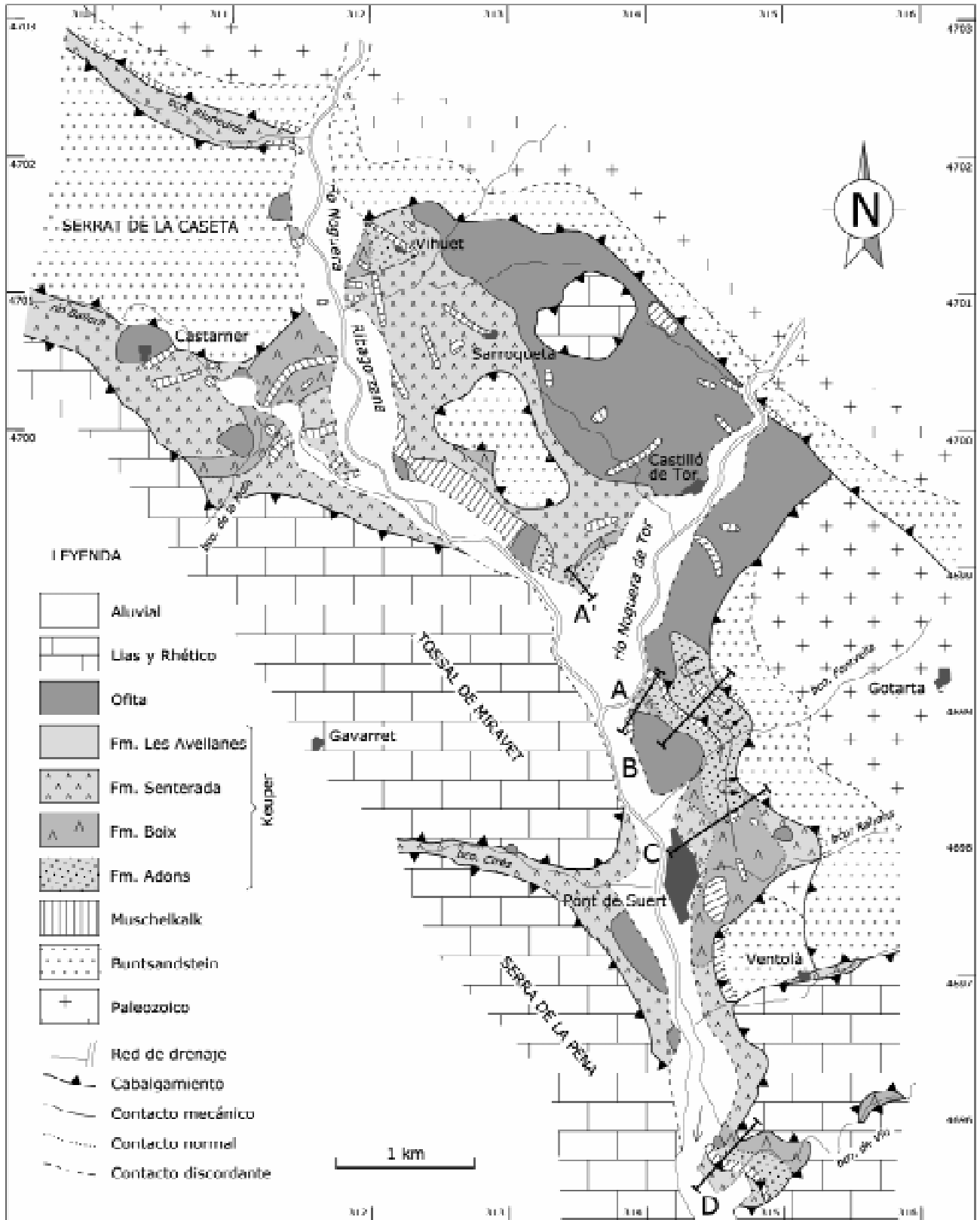


Figura 12.- Mapa geológico del Triásico de Pont de Suert, con localización de los cortes de la figura 13 (A, B, C y D) y la serie estratigráfica de Noguera de Tor de la figura 16 (A'). El afloramiento constituye una ventana tectónica a través de los mantos mesozoicos de Les Nogueres, abierta por la erosión del río Noguera Rigaborzana y sus afluentes Noguera de Tor y Baliera. En su mitad meridional afloran principalmente las unidades inferiores del Keuper (Fms. Adons y Boix) en contacto normal con el Muschelkalk. Estas unidades forman una estructura anticlinal, de dirección NNO-SSE, con el flanco oriental cabalgado por la serie permotriásica (cortes A, B y C) y el flanco occidental por el Lías. La mitad septentrional del afloramiento (al norte del valle del río Noguera de Tor) está compuesta principalmente por los yesos blancos de la Fm. Senterada y numerosos bloques verticalizados de Muschelkalk. La estructura es de dirección NNO-SSE al este del río Noguera Ribaborzana y OSO-ENE al oeste del mismo. Es de destacar el gran desarrollo de ofitas localizado a lo largo del margen NE del afloramiento, donde el Muschelkalk en parte está adherido al techo del Buntsandstein y en parte ha sido despegado y englobado por la ofita a modo de grandes xenolitos.

Litoestratigrafía del Keuper de Les Nogueres

En Les Nogueres la serie del Keuper, con un espesor total estimado superior a los 200 m, está compuesta por cuatro unidades litoestratigráficas que, de base a techo, son: Fm. Arcillas y Carbonatos de Adons, Fm. Yesos de Boix, Fm. Yesos de Senterada y Fm. Arcillas y Carbonatos de Les Avellanes.

Formación Arcillas y Carbonatos de Adons

Afloramientos y corte tipo: Los mejores afloramientos son los de Adons, pueblo cercano al puerto de Perbes, Pont de Suert, Les Esglèsies, Montardit y Cadolla (Fig. 3). El corte de Adons (corte tipo) discurre por el fondo de un pequeño barranco (Barranco del Mas) unos 300 m al norte de este pueblo. En él se puede ver, con excelentes condiciones de afloramiento y accesibilidad, el Muschelkalk y la Fm. Adons formando una serie continua, verticalizada. En Pont de Suert (Figs. 12 y 13), la serie aflora completa en diferentes lugares: en ambos márgenes del río Noguera de Tor (Fig. 13A), justo en su desembocadura en el río Noguera Ribagorzana; en el barranco de la Fontvella (Fig. 13B), aunque en este caso el acceso es más complicado; y en el corte del túnel de Lavaix, de la carretera N-260 al puerto de Perbes (Fig. 13D). En el afloramiento de Les Esglèsies (Fig. 14) la formación Adons se reconoce bien en varios puntos: en la margen izquierda del río Sarroca, aunque en este caso la base de la serie está truncada por una falla; y en los dos flancos del sinclinal que forma el afloramiento al este de Buirra, donde sí aflora el tránsito con el Muschelkalk subyacente. El afloramiento de Montardit (Fig. 15) se extiende por la margen izquierda de un barranco afluente del río Noguera Pallaresa. En él aflora la serie completa de la Fm. Adons, y sus unidades limítrofes. El afloramiento de Cadolla, próximo a

Senterada, es un barranco situado aproximadamente un kilómetro a suroeste de esta localidad.

Litofacies: Es una unidad compuesta esencialmente por arcillas y capas de carbonato. (1) En la parte inferior de la serie, las arcillas son de color gris oscuro, incluso negras, y progresivamente se hacen rojizas-versicolores hacia la parte superior. Algunas de estas arcillas más oscuras se han estudiado por pirólisis *Rock Eval* para evaluar su posible contenido en materia orgánica, que en todos los casos ha dado resultados negativos (Permanyer *et al.* 1991). Se interpreta que el color oscuro puede estar relacionado con la oxidación de piritita. (2) Los carbonatos son de litofacies dolomicrita masiva-laminada predominantemente, en forma de capas decimétricas entre las arcillas. También se ha identificado algunas capas de *grainstones* de oolitos y peloides, parcialmente dolomitizadas. Hacia el techo de la serie se imponen progresivamente niveles de brechas carbonatadas y costras silíceas.

Características estratigráficas: En Adons y Montardit la serie aflora completa, con una potencia respectivamente de 100 m y 65 m (Fig. 16). Los cortes de Noguera de Tor y Les Esglèsies son incompletos, con espesores respectivamente de 84 y 43 m. Tanto la base como el techo forman tránsitos graduales respectivamente con el Muschelkalk y los yesos de la Fm. Boix. Se ha considerado como base de la formación el nivel a partir del cual las arcillas empiezan a ser mayoritarias respecto los carbonatos. El tránsito a la Fm. Boix se sitúa en los primeros niveles con yeso sobre las arcillas rojas.

En esta formación se pueden diferenciar claramente dos tramos: un tramo inferior, compuesto por arcillas grises con amplio desarrollo de las diferentes litofacies carbonatadas que hemos descrito; y un tramo superior, de arcillas rojizas-versicolores, menos potente (20 m en

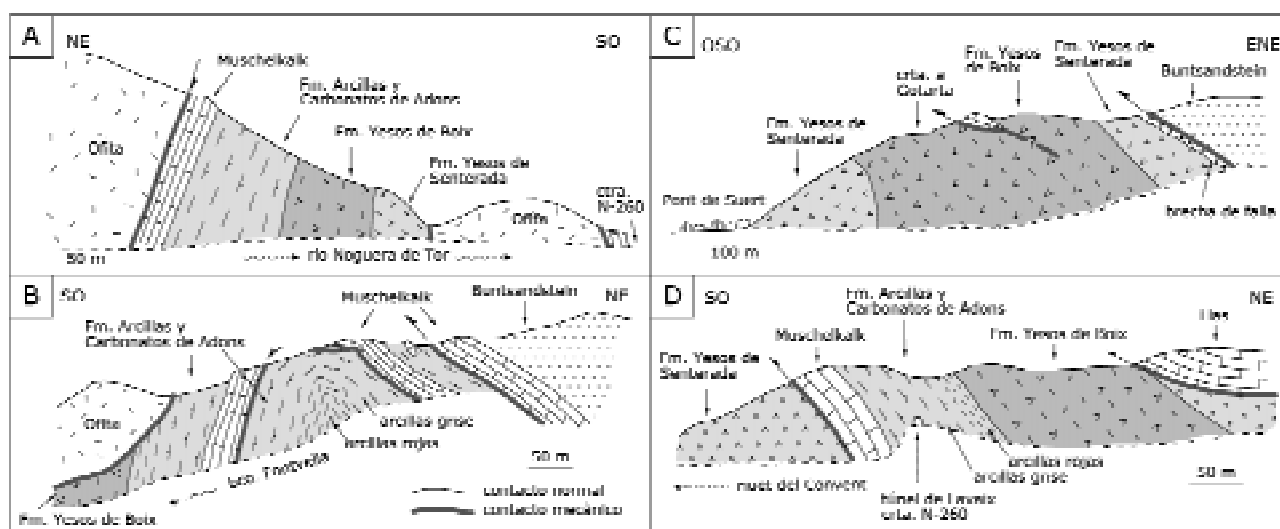


Figura 13.- Algunos cortes singulares del afloramiento triásico de Pont de Suert: A) Corte de la margen izquierda del río Noguera de Tor; B) Corte del barranco de la Fontvella; C) Corte de la carretera de Pont de Suert a Gotarta; D) Corte del túnel de Lavaix. Ver figura 12 para su localización.

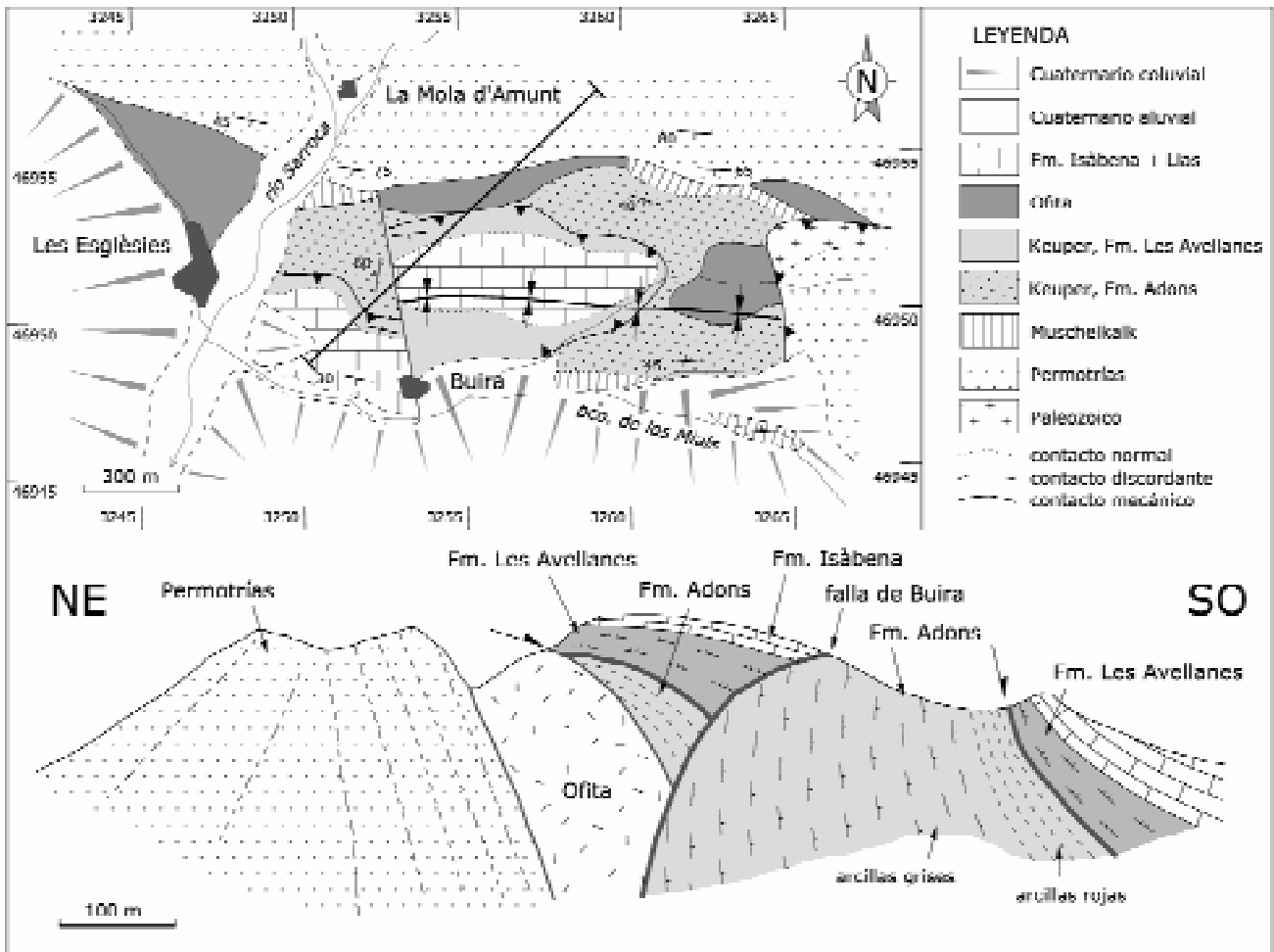


Figura 14.- Arriba: Mapa geológico del Triásico de Les Esglèsies, en Les Nogueres. Los materiales triásicos forman un sinclinal de dirección E-O. En el flanco norte afloran el Buntsandstein, el Muschelkalk y las formaciones Adons y Les Avellanes del Keuper. Faltan las unidades yesíferas del Keuper (Fms. Boix y Senterada), que se interpreta que han sido laminadas por la tectónica. También aflora un nivel de ofitas entre el techo del Buntsandstein y la base del Keuper, cuyo emplazamiento ha fragmentado el Muschelkalk. En el núcleo del sinclinal afloran los carbonatos de la Fm. Isàbena y del Lías basal (carniolas). El flanco sur está en su mayor parte cubierto por coluviones pero, al este de Buirà, afloran el techo del Muschelkalk y la Fm. Adons. Al oeste de Buirà la estructura pasa a ser un monoclinado inclinado hacia el sur, con la misma sucesión estratigráfica que la descrita para el flanco norte del sinclinal. Abajo: Corte geológico según panorámica fotográfica desde Les Esglèsies.

Adons y 15 m en Les Esglèsies y Montardit), caracterizado por un mayor desarrollo de los niveles de brechas carbonatadas y costras silíceas. El tránsito entre los dos tramos es gradual. En los trabajos previos de Salvany (1990), Salvany y Bastida (1994), Calvet *et al.* (1993) estos dos tramos se habían descrito como unidades independientes, pero ahora preferimos agruparlos en una misma formación dada su afinidad litológica y la dificultad de cartografiarlos independientemente.

La edad de esta unidad es controvertida. A partir de un conjunto palinológico, Calvet *et al.* (1993) han datado el techo del tramo gris inferior como Noriense, posiblemente inferior-medio, en los cortes de Adons y Noguera de Tor (afloramiento de Pont de Suert). Sin embargo, en el mismo corte de Noguera de Tor, también a partir de datos palinológicos, Fréchengues *et al.* (1992) le atribuyen una edad Ladiniense superior-Carniense.

Esta formación no tiene propiamente un equivalente litoestratigráfico en otras regiones peninsulares. El tramo superior de arcillas rojas podría ser un nivel equivalente a la serie detrítica intermedia (K2-K3) del Keuper

del Levante (Ortí, 1974).

Ambiente sedimentario: La asociación de facies que muestra esta formación representa un tránsito gradual de los depósitos carbonatados del Muschelkalk a los evaporíticos del Keuper. La transición tiene lugar a través de un sistema de llanura mareal, primero con desarrollo de pequeñas lagunas con sedimentación de fangos carbonatados, en un ambiente reductor (arcillas oscuras, piritas), y posteriormente con progresiva influencia evaporítica (brechas carbonatadas, costras silíceas). El notable espesor que tiene sugiere, con respecto al Muschelkalk, una aceleración en la subsidencia de la cuenca, que alcanzará su máxima tasa durante la sedimentación de la Fm. Boix suprayacente.

Formación Yesos de Boix

Entre las arcillas de la Fm. Adons y los Yesos de Senterada está desarrollado un tramo yesífero rojo-verdoso, de hasta varias decenas de metros de espesor, generalmente muy tectonizado. Su composición litológica

gica y posición estratigráfica sugieren que se trata del mismo nivel que la Fm. Yesos de Boix definida en las Sierras Marginales, aunque en esta región tiene menor potencia. Los mejores afloramientos para su reconocimiento se localizan en los alrededores de Pont de Suert (carretera que sube hacia Gotarta, Fig. 13C) y Montardit (Fig. 15). En esta segunda localidad tiene una potencia de 60 m. En otras localidades, como en Les Esglèsies, no aflora (Fig. 14) o está muy reducido por efecto de laminación tectónica.

Formación Yesos de Senterada

Afloramientos y corte tipo: Esta formación aflora extensamente, aunque siempre de forma parcial, en las localidades de Senterada, Pont de Suert (Fig. 12), Santorens y Sort-Montardit (Fig. 15). El afloramiento de Senterada puede considerarse uno de los más idóneos para su reconocimiento, en especial el corte que ofrece la carretera que desde esta localidad asciende hacia el pueblo de Nahens (corte tipo). En Pont de Suert (Fig. 12) los yesos se reconocen en el mismo pueblo, donde fueron objeto de explotación en una antigua cantera, así como en diferentes puntos del valle del río Noguera Ribagorzana. El afloramiento de Santorens sigue el margen izquierdo del barranco de Aulet, que atraviesa el afloramiento triásico. Entre Montardit y Sort, los yesos afloran extensamente en toda la margen derecha del valle del Noguera Pallaresa.

Litofacies: Se trata de una unidad yesífera muy uniforme. La litofacies casi exclusiva es el yeso laminado con carbonato, de color blanco-gris, a veces negruzco. El desarrollo de las láminas de carbonato es muy variable. Normalmente se trata de finas capas de espesor centimétrico, pero puede llegar a formar capas de hasta un

metro de espesor. Por efecto de la tectónica, estas capas de carbonato se observan frecuentemente fracturadas dando estructuras de *boudinage*, o de brecha. Entre los yesos pueden estar desarrollados algunos niveles arcillosos, siempre de color gris. En el corte del barranco de Montardit (Fig. 15) es de destacar la presencia, poco usual, de niveles aflorantes de anhidrita entre las capas de yeso.

Características estratigráficas: En Pont de Suert, donde la deformación tectónica es moderada, estos yesos tienen una potencia no superior a 50 m (corte de la carretera N-260 al puerto de Perbes). Sin embargo, en Senterada y Sort los yesos muestran mucho mayor desarrollo, que podría ser en parte atribuible a un efecto de repeticiones de la serie por causas tectónicas. En cualquiera de los afloramientos citados, la formación constituye una monótona sucesión de yesos que se superpone a los yesos de la Fm. Boix mediante un contacto neto y que pasa gradualmente a las facies arcillosas de la Fm. Les Avellanes que los limitan por encima. Son facies comparables a la unidad K5 del Keuper del Levante (Ortí, 1974).

Ambiente sedimentario: Los yesos de Senterada suponen la implantación de un medio lagunar evaporítico estable, de salinidad fluctuante, con sedimentación alternante de yeso y carbonato.

Formación Arcillas y Carbonatos de Les Avellanes

Los mejores afloramientos de esta formación son los de Les Esglèsies y Burguet (Fig. 3). En este último se reconoce la serie completa (Fig. 11), con los dos tramos que se han descrito en Les Avellanes y Castillonroy, aunque con una potencia de conjunto algo menor,

| | Nº de muestras | FILOSILICATOS | | | | | TECTOS. | | CARBON. | | FWHM (1 001) |
|-------------------|----------------|---------------|---------|-----|------|-----------|---------|-------------|----------|---------|------------------------|
| | | Illita | Clorita | C/S | SICI | Esmectita | Cuarzo | Feldespatos | Dolomita | Calcita | |
| Fm. Senterada | 8 | | | | X | X | | | | | 0.225-0.502 < promedio |
| Fm. Les Avellanes | 12 | | | X | X | X | | | | | 0.864-1.025 |
| Fm. Boix | 15 | | | | | | | | | | 0.199-0.893 < promedio |
| Fm. Canelles | 8 | | | | | X | | | | | 0.549-1.067 > promedio |
| Fm. Adons | 4 | | | | X | X | | | | | 0.415-0.530 < promedio |
| Muschelkalk | 6 | | | | | X | | | | | 0.393-0.495 < promedio |

En todas las muestras
 En la mayoría de muestras
 En alguna muestra
 X En ninguna muestra

Tabla II.- Características mineralógicas más relevantes de las arcillas, según las formaciones.

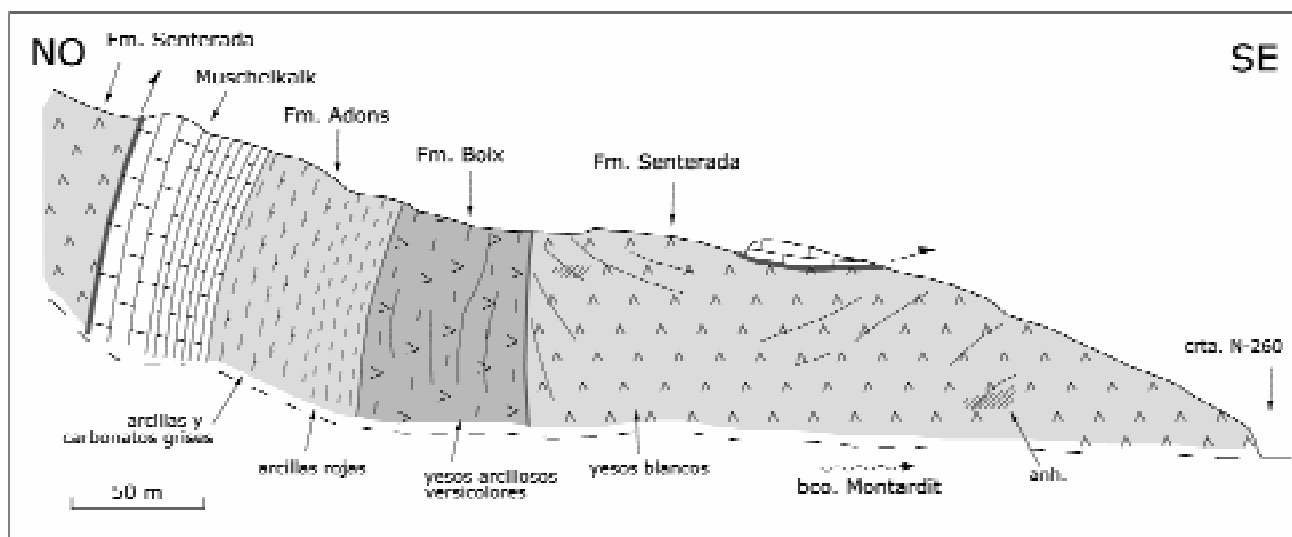


Figura 15.- Corte geológico del Keuper del barranco de Montardit, afluente del río Noguera Pallaresa, en el extremo oriental de Les Nogueres. Ver figura 3 para su localización.

de 45 m. El tramo superior tiene en este caso un mayor desarrollo de carbonatos, y ha sido considerado por Arnal *et al.* (2002) como la base de la Fm. Isàbena.

Mineralogía de arcillas

Se han analizado por difracción de rayos-X un total de 55 muestras de arcilla correspondientes a las diferentes unidades del Keuper (y algunas del techo del Muschelkalk). La Tabla I recoge las composiciones obtenidas, y la Tabla II presenta un resumen de resultados, según las formaciones geológicas. En conjunto, los resultados ponen de manifiesto que: (1) Hay una relativa uniformidad en la composición de las asociaciones minerales, tanto de los filosilicatos como de los otros minerales acompañantes. (2) La illita (+micas) es el filosilicato dominante, omnipresente en todas las muestras analizadas y en proporciones con frecuencia superiores al 50% del total de la roca, hasta valores superiores al 80% en algún caso. (3) La illita puede ser el único filosilicato identificado o bien ir acompañada, siempre en proporciones menores, de clorita, o interstratificados clorita/esmectita (pudiendo predominar las láminas de clorita o de esmectita). (4) Los silicatos acompañantes son cuarzo y feldespatos, presentes en casi todas las muestras en proporciones muy variables, raramente superiores conjuntamente al 15%. (5) Los carbonatos asociados son dolomita y calcita, presentes también en casi todas las muestras, en proporciones muy variables, y sin predominio claro de uno u otro carbonato. (6) otros minerales identificados son: yeso, hematites (hasta un 6,8%) y pirita (hasta un 2,3%).

Las anchuras a media altura (FWHM) de la reflexión 001 de la illita, corregidas según Bastida *et al.* (1987) para una estimación de cristalinidad de la illita (índice de Kubler) tienen un valor promedio de 0,600. La Tabla II pone de manifiesto que los valores son siempre inferiores en la Fm. Senterada, que es además

la que presenta menor dispersión de valores, mientras que son siempre mayores en la Fm. Canelles. La Fm. Les Avellanes presenta valores inferiores al promedio en la serie Ventolá (Zona de les Nogueres) y mayores en las series de Sierras Marginales, y el resto de las formaciones presentan siempre valores inferiores al promedio. La variabilidad observada en la Fm. Les Avellanes, parece reflejar mayor influencia del enterramiento en la Zona de Les Nogueres, originando una mayor agradación de la illita en relación con la sobreposición tectónica de mayores espesores.

Los minerales arcillosos son en gran medida heredados, en sedimentos de origen aluvial distal, con una variable influencia de procesos post-sedimentarios. Este carácter detrítico es consistente con la falta de relación entre las asociaciones de filosilicatos y el origen más o menos evaporítico de las unidades de las que proceden. Las asociaciones minerales son similares a las descritas en el Keuper de otras regiones peninsulares (Bastida *et al.*, 1987; Ratbi, 1995), aunque se pone de manifiesto un notable menor desarrollo de esmectitas y otros minerales (por ejemplo filosilicatos fibrosos) asociables a procesos de neoformación en sedimentos.

Las ofitas del Keuper

La presencia de grandes masas de diabasas ("ofitas") entre los materiales triásicos es conocida desde antiguo (San Miguel, 1936; Virgili, 1960-62). Sus características petrológicas y edad han sido estudiadas respectivamente por Lago (1980) y Castellarin *et al.* (1978). Por otro lado, su influencia térmica sobre los sedimentos de contacto ha sido objeto de estudio en Amigó *et al.* (1988), reconociéndose la presencia de mineralizaciones de talco-calcita en lutitas inmediatas a los contactos, y cuya aplicación como cargas blancas fue considerada por Bastida *et al.* (1993). Sin embargo, poco se ha dicho sobre la relación geométrica de estas rocas con su material encajante.

Los trabajos de campo (cartografía geológica) desarrollados durante el transcurso de este estudio, han permitido apreciar que: (1) las ofitas forman grandes masas que pueden llegar a tener varios kilómetros de extensión de afloramiento, y que pueden observarse emplazadas en cualquiera de las formaciones del Keuper, incluso entre los materiales del Buntsandstein y Muschelkalk. (2) Los afloramientos triásicos de Pont de Suert y Les Esglèsies (Figs. 12 y 14) muestran claramente que el principal volumen de ofitas están emplazados entre el Buntsandstein y el Keuper. En estos afloramientos el Muschelkalk permanece en parte adherido al techo de la serie permotriásica, pero en otros casos ha sido desplazado por la intrusión y en parte se observa englobado entre las ofitas como grandes xenolitos de hasta varios centenares de metros de longitud. Las masas de ofita emplazadas en niveles más altos del Keuper son mucho menores. (3) Se observa una mayor concentración de masas de ofita y de mayor tamaño en la zona de Les Nogueres (Pont de Suert, Senterada, Gerri de la Sal) respecto de las Sierras Marginales. (4) La complejidad de la estructura tectónica impide frecuentemente establecer con precisión la geometría original de las ofitas con respecto a la roca encajante. No obstante, parece que en los niveles basales del Keuper predominan los *sills*, mientras que en los niveles más altos predominan los diques.

Correlación entre el Keuper de Les Nogueres y el de las Sierras Marginales

A pesar de la diferente estratigrafía del Keuper de los dos sectores estudiados (Les Nogueres y Sierras Marginales), en ambos casos pueden reconocerse una serie gris basal, una serie roja intermedia y una serie gris-verde superior. El color lo determinan principalmente las arcillas encajantes de los sulfatos y carbonatos, y puede ser utilizado como criterio de correlación (Fig. 17). Así, la serie gris inferior estaría integrada por las formaciones Yesos de Canelles y Arcillas y Carbonatos de Adons; la serie roja intermedia la constituirían los Yesos de Boix; y la serie gris-verde superior estaría representada por los Yesos de Senterada y las Arcillas y Carbonatos de Les Avellanes.

Si bien los Yesos de Boix y las Arcillas y Carbonatos de Les Avellanes se extienden sin interrupción desde las Sierras Marginales hasta Les Nogueres, no queda clara, por falta de continuidad de afloramiento, la relación estratigráfica entre los Yesos de Canelles y las Arcillas y Carbonatos de Adons. Ambas unidades se pueden interpretar como un tránsito lateral de facies. Así, los Yesos de Canelles representarían los sedimentos de un depocentro evaporítico que hacia el norte daría paso de forma gradual a las facies carbonatadas de Adons, los cuales interpretamos como sedimentos de margen de cuenca evaporítica, abierta al mar por el norte.

Una situación parecida, pero en sentido opuesto, se reproduce en la serie superior gris-verdosa. Los Yesos de Senterada no tienen equivalente en las Sierras Mar-

ginales. Puede interpretarse que, en este caso, el depocentro evaporítico estaría situado sobre Les Nogueres y sus facies carbonatadas marginales se desarrollarían hacia el sur.

Las tres series del Keuper pueden considerarse como tres ciclos evaporíticos, limitados mediante contactos netos en la zona donde se concentran las evaporitas, y contactos graduales en las zonas de arcillas y carbonatos periféricos. En un corte sur-norte, la litoestratigrafía sugiere un progresivo desplazamiento del depocentro evaporítico hacia el norte. Así, los Yesos de Canelles sólo están presentes en el sector surpirenaico meridional de las Sierras Marginales, los Yesos de Boix se extienden por toda la región surpirenaica, y los Yesos de Senterada sólo por el sector septentrional de Les Nogueres.

Los datos bioestratigráficos disponibles (Calvet *et al.*, 1993) permitirían atribuir la primera serie evaporítica al Carniense-Noriense inferior?, la segunda al Noriense inferior-medio y la tercera al Noriense superior-Retiense basal.

En una posible reconstrucción paleogeográfica de esta migración de las evaporitas, conviene no perder de vista que la tectónica alpina ha acertado enormemente la cuenca triásica, y que lo que ahora vemos en pocas decenas de kilómetros hay que extenderlo en más de un centenar de kilómetros en su posición original, previa a los cabalgamientos alpinos.

Correlación con las unidades de estudios anteriores

Klimowitz y Torrescusa (1990) han descrito la serie triásica atravesada por los sondeos petroleros profundos de Serrablo-1, Surpirenaica-1, Benabarra-1 y Iso-na-1bis. De entre éstos, el único que atraviesa la totalidad de la serie triásica sin aparentes trastornos tectónicos es el de Surpirenaica-1, realizado en las proximidades de Ainsa, próximo al límite noroccidental del área estudiada. En este sondeo, el Keuper está representado por dos unidades litológicas diferentes: una *serie evaporítica* inferior, de 465 m de espesor, compuesta por sal y anhidrita, y una *serie lutítica* superior, de 130 m, compuesta por arcillas gris-verdosas con intercalaciones de anhidrita. En el Muschelkalk estos autores distinguen tres niveles: un Muschelkalk inferior carbonatado, de 80 m de espesor; un Muschelkalk medio evaporítico (halita y anhidrita) con intercalaciones de arcillas grises, de 45 m; y un Muschelkalk superior de 60 m, compuesto por dolomías, con intercalaciones de margas grises y halita en su mitad superior.

La estratigrafía de este sondeo muestra un notable paralelismo con la serie que hemos descrito en las Sierras Marginales. Se puede establecer la siguiente correlación: (1) las dolomías, margas y halita de la parte superior del Muschelkalk superior serían equivalentes a la Fm. Canelles. En ambos casos, la composición evaporítico-carbonatada y la potencia son similares. En superficie, la ausencia de niveles evaporíticos en el techo del Muschelkalk en toda la región Surpirenaica (Calvet

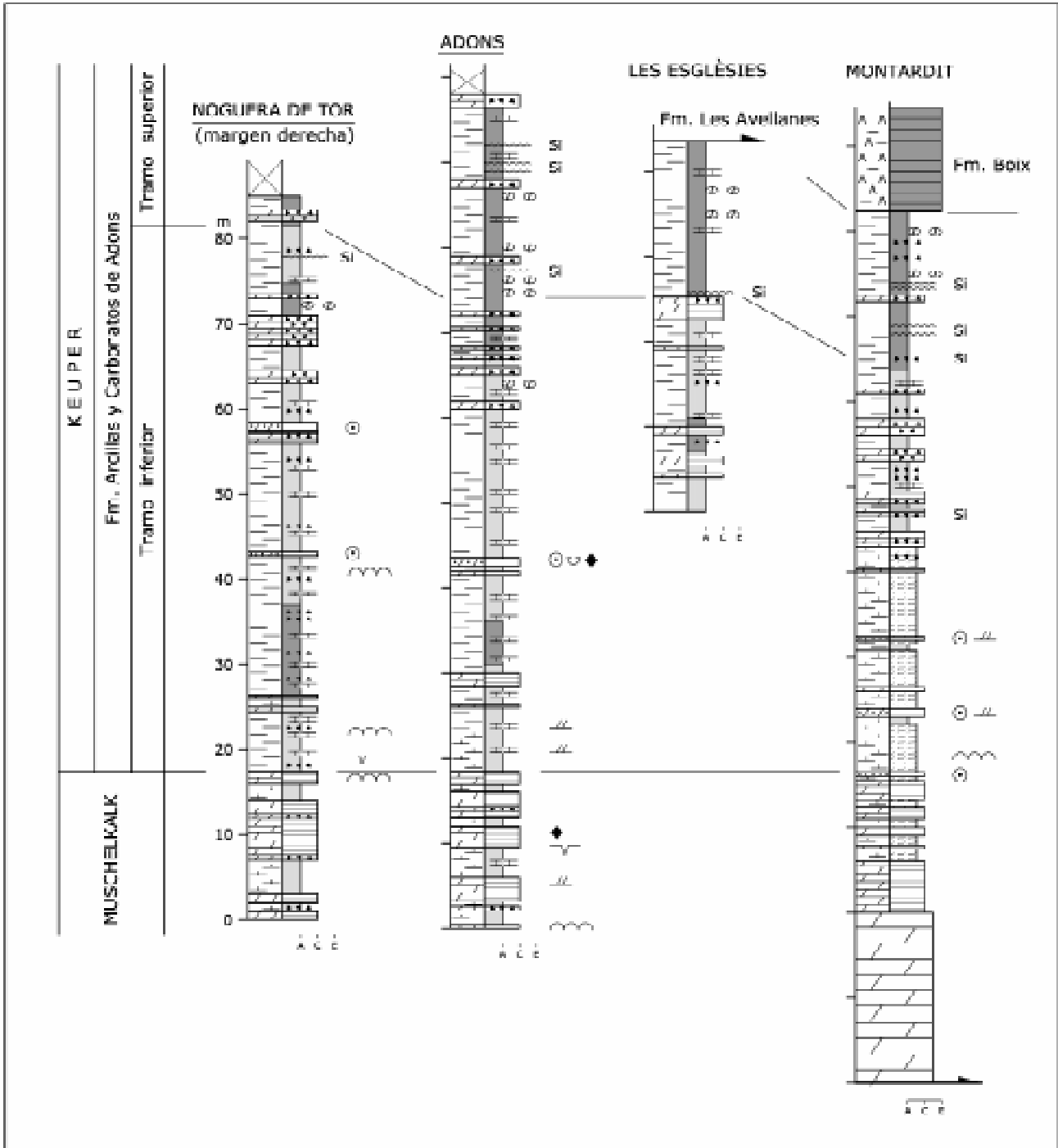


Figura 16.- Series estratigráficas de la Fm. Adons, en diferentes localidades de Les Nogueres. Leyenda en figura 10. Ver figura 3 para su localización.

et al., 1994), apoya también esta equivalencia. Por tanto, la parte superior evaporítico-carbonatada del Muschelkalk correspondería al Keuper basal. (2) La *serie evaporítica* sería equivalente a la Fm. Boix. En ambos casos representa la unidad principal del Keuper, de gran potencia y carácter evaporítico monótono. En el sondeo se presenta como una unidad esencialmente salina, aunque en superficie esta sal no llega a observarse por efecto de su disolución. (3) la *serie lutítica* sería equivalente a la Fm. Les Avellanes. De nuevo se da una notable similitud litológica y de potencia entre el sondeo y los afloramientos.

La equivalencia con las unidades definidas por el grupo francés de Toulouse (Fréchengues y Peybernés, 1991a y b; Fréchengues *et al.* 1992) ofrece más dificultades. Estos autores hacen un análisis estratigráfico secuencial del Triásico Medio-Superior (Muschelkalk, Keuper y Suprakeuper) del Pirineo central y oriental. Su estudio se desarrolla principalmente en Francia, donde están definidas la mayor parte de sus unidades, pero también incluye diversos afloramientos de Les Nogueres, en el entorno del valle del Noguera Ribagorzana. En su estudio definen un total de seis secuencias

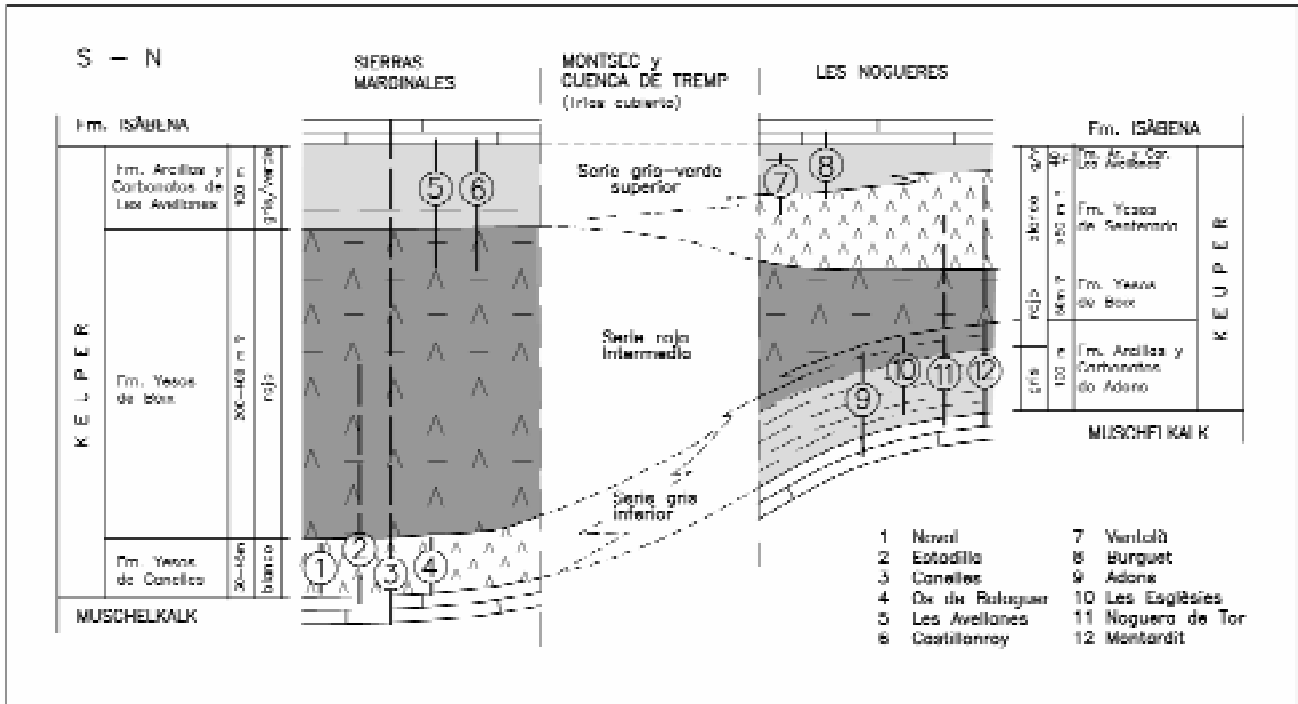


Figura 17.- Correlación de las unidades litoestratigráficas del Keuper de las Sierras Marginales y de Les Noguères. Se sitúan las series estratigráficas detalladas en las figuras 10, 11 y 16.

deposicionales: dos para el Muschelkalk, dos para el Keuper y otras dos para el Suprakeuper. Para cada una de ellas definen, a su vez, diversas unidades litológicas que asocian a diferentes estadios de la evolución secuencial.

Para la secuencia deposicional inferior del Keuper estos autores distinguen una formación de calizas con sílex basal, Fm. du Col-de-Rédoulade; y una formación superior de lutitas versicolores evaporíticas, Fm. du Tunnel de Lavaix, que atribuyen respectivamente a depósitos de TST y HST. Para la secuencia superior del Keuper distinguen tres formaciones: una brecha basal evaporítica, de origen olistostrómico, Fm. de Bonansa; unas calizas oscuras intermedias, Fm. Sopeira; y unas lutitas evaporíticas superiores, Fm. de Rimont, que atribuyen respectivamente a depósitos de LST, TST y HST (Fréchengues *et al.*, 1992). Las edades de estas secuencias son: Carniense superior la inferior, y Carniense terminal-Noriense la superior. Son edades obtenidas a partir de diferentes conjuntos micropaleontológicos.

De las descripciones aportadas por los autores franceses se desprende que las lutitas evaporíticas del Tunnel de Lavaix son equivalentes a la Fm. Adons, y que las lutitas evaporíticas de Rimont son equivalentes a los yesos de Boix y Senterada conjuntamente. Las otras formaciones no tienen un equivalente claro con las definidas en nuestro estudio.

La Fm. calizas con sílex del Col de Rédoulade (5 m de potencia) han sido identificadas en los corte de Noguera de Tor y Lavaix (Fréchengues *et al.*, 1992). Sin embargo, en ambos cortes el Muschelkalk y el Keuper forman un tránsito gradual sin que, a nuestro juicio, destaque ningún nivel calizo que pueda ser individualizado con la relevancia que se describe para la Fm. Rédoulade. La Fm. brecha

yesífera de Bonansa pensamos que puede tratarse de uno de los muchos niveles de brechas yesíferas tectónicas que caracterizan la formación Boix y que pueden estar desarrolladas en cualquier nivel de esta unidad (Fig. 5A). En nuestro estudio no se han reconocido brechas yesíferas sedimentarias, y menos con el grado de desarrollo con que se describen para la unidad Bonansa (“acumulación pluri-hectométrica”). Tampoco hemos reconocido la Fm. calizas oscuras de Sopeira, de 30 m de potencia, que debería situarse por debajo de los yesos de la Fm. Boix. El tránsito vertical de la Fm. Adons a los yesos de la Fm. Boix se muestra siempre como un cambio relativamente rápido de arcillas rojas hacia yesos arcillosos versicolores. Al margen de algunas finas capas de brechas carbonatadas, en ningún caso se presentan niveles de calizas en esta transición. Por otro lado, el afloramiento de Sopeira, donde los autores franceses definen esta unidad, es un afloramiento de estructura tectónica compleja y de características poco idóneas para el análisis estratigráfico. Tal vez pueda tratarse de una barra de Muschelkalk emplazada entre los materiales del Keuper por causas tectónicas, fenómeno que es habitual en muchos afloramientos triásicos de Les Noguères, como por ejemplo en el área de Vihuet-Sarroca (Fig. 12), donde se intercalan por causas tectónicas numerosos bloques de Muschelkalk entre los yesos de Senterada y Boix. Esto sería además coherente con la edad Ladiniense-Carniense atribuido a este nivel calizo de Sopeira obtenida a partir de una asociación fósil (Fréchengues *et al.*, 1992).

Conclusiones

Los depósitos sedimentarios del Keuper surpirenaico central presentan litofacies evaporíticas y carbona-

tadas similares a las descritas en otras regiones peninsulares, con las siguientes singularidades: (1) El gran desarrollo de litofacies carbonatadas, especialmente en el Keuper de Les Nogueres, con numerosos niveles oolíticos inhabituales en esta unidad. (2) La presencia de litofacies laminadas de yeso-carbonato con estructuras de corriente y pseudomorfos de anhidrita, en el Keuper basal de las Sierras Marginales. (3) Una asociación de minerales arcillosos esencialmente detrítica, compuesta por illita con cantidades subordinadas de clorita e interstratificados clorita-esmectita (predominando uno u otro tipo de lámina), con práctica ausencia de minerales de neoformación (esmectitas, etc.) que son comunes en el Keuper de otras regiones; en esta asociación puede atribuirse las diferencias en cristalinidad de las illitas reconocidas entre el dominio de Les Nogueres y el de las Sierras Marginales a diferentes cargas litostáticas máximas que han afectado a ambos dominios en su historia postsedimentaria. (4) La ausencia de niveles areníticos. Estas características sugieren que se trata de un Keuper distal con respecto al área fuente, afín al de los Catalánes y subsuelo de la Cuenca del Ebro.

Hay importantes diferencias litoestratigráficas entre el Keuper de las Sierras Marginales y el de Les Nogueres. En el primer caso, el Keuper forma series con una potencia estimada del orden de 300-400 m, compuesta por tres formaciones: Yesos de Canelles, Yesos de Boix, y Arcillas y Carbonatos de Les Avellanes. En Les Nogueres, con una potencia menor, superior a los 200 m, el Keuper está compuesto por cuatro formaciones: Arcillas y Carbonatos de Adons, Yesos de Boix, Yesos de Senterada y Arcillas y Carbonatos de Les Avellanes. Estas diferentes formaciones pueden agruparse en tres series evaporíticas: serie gris inferior, formada por los Yesos de Canelles y las Arcillas y Carbonatos de Adons; serie roja intermedia, formada por los Yesos de Boix; y serie gris-verde superior, formada por los Yesos de Senterada y las Arcillas y Carbonatos de Les Avellanes.

La distribución de litofacies sugiere un progresivo desplazamiento hacia el norte de la sedimentación evaporítica en el transcurso de la sedimentación del Keuper surpirenaico. Así, durante la sedimentación de la serie gris inferior el depocentro evaporítico estaría ubicado en el sector de las Sierras Marginales, con depósitos arcillosos y carbonatados de margen de cuenca evaporítica hacia el norte, en Les Nogueres. La serie roja intermedia supone el desarrollo evaporítico principal, que se extendería por todo el dominio estudiado con las mismas facies, aunque con mayor potencia hacia el sur. Durante la sedimentación de la serie gris-verde superior, el depocentro evaporítico estaría ubicado en el sector de Les Nogueres, con el desarrollo de facies marginales de arcillas y carbonatos en las Sierras Marginales.

Agradecimientos

Los autores quieren dedicar este artículo al profesor Francesc Calvet Rovira, de la Facultad de Geología de Barcelona,

con quien en todo momento se mantuvo una estrecha colaboración al discurrir simultáneamente sus trabajos sobre el Triásico surpirenaico con los nuestros.

Este estudio ha tenido el soporte económico de la CIRIT (Generalitat de Catalunya, beca del primer autor, durante 1989-90) y del Servei Geològic de Catalunya. En el análisis mineralógico de muestras han colaborado: el Servei de difracció de R-X del Departament de Geologia de la Universitat de València; el Servei de Làmina Prima de la Facultat de Geologia de Barcelona y el Servei de difracció de R-X del Departament d'Enginyeria de la Construcció de la Universitat Politècnica de Catalunya. En su fase final, el estudio ha tenido también el soporte de los proyectos IGCP-458 y DGI PB03-3201. Los autores agradecen al Dr. Federico Ortí de la Universidad de Barcelona, así como a los dos revisores: Drs. Alfonso Sopeña de la Universidad Complutense de Madrid y Alberto Pérez López de la Universidad de Granada, la revisión crítica del manuscrito.

Referencias

- Amigó, J.M., Bastida, J., Lago, M., Sanz, A. y Soriano, J. (1988): Estudio de la influencia térmica del emplazamiento de las doleritas triásicas del área de Estopiñán en los sedimentos encajantes. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 11: 83-97.
- Aracil, E. y Hernando, S. (1988): Las facies Keuper del SO de la provincia de Soria. *Estudios Geológicos*, 44: 211-217.
- Arnal, I., Calvet, F., Márquez, L., Márquez-Aliaga, A. y Solé De Porta, N. (2002): La plataforma carbonatada epeírica (Formaciones Imón e Isábena) del Triásico superior del Noreste de la Península Ibérica. *Acta Geológica Hispánica*, 37: 299-328.
- Bastida, J., Inglès, M. y Ortí, F. (1987): Observaciones sobre mineralogía y geoquímica de lutitas del Keuper de Valencia. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 11: 363-382.
- Bastida, J., Berastegui, X., Lago, M., Serrano, J., Signes, M. y Tritlla, J. (1993): Applied Clay Mineralogy of the dolerite contact sediments of the Pont de Suert Fm. (Catalonian Pyrenees, Spain). En: *Current Research in Geology Applied to Ore Deposits* (P. Fenoll, J. Torres y F. Gervilla, Eds.). Universidad de Granada: 671-674
- Bastida, J., Salvany, J.M., Berastegui, X., Lago, M., Signes, M. y Tritlla, J. (1994): Mineralogía de arcillas de la Formación Pont de Suert. En: *Resúmenes del III Coloquio de Estratigrafía y Paleogeografía del Pérmico y Triásico de España*, Cuenca: 19.
- Baudelot, S., Taugourdeau-Lantz, J. (1986) : Découverte d'une microflore dans les Pyrénées catalanes attribuable au Norien-Rhetien. *Revue de Paléobiologie*, 5-1: 5-9.
- Calvet, F. (1996) : Estratigrafía del Triàsic de l'àrea de Les Avellanes. Servei Geològic de Catalunya (informe inédito).
- Calvet, F. y Anglada, E. (1987) : El Triásico del Pirineo, análisis estratigráfico, cronoestratigráfico y sedimentológico. IGME (informe inédito).
- Calvet, F., Márquez, L. y Trifonova, E. (1994): Litoestratigrafía y bioestratigrafía (foraminíferos) de las facies Muschelkalk del Triásico Sudpirenaico y del Pirineo Vasco (España). *Boletín Real Sociedad Española de Historia Natural (Sección Geología)*, 89: 167-188.
- Calvet, F., Solé de Porta, N. y Salvany, J.M. (1993): Cronoestratigrafía (palinología) del Triásico

- Sudpirenaico y del Pirineo Vasco-Cantábrico. *Acta Geológica Hispánica*, 28: 33-48.
- Castellarin, A., Lucchini, F., Rosell, J., Rossi, P.L., Sartori, R. y Savelli, C. (1978): Preliminary data on mesozoic "ophites" from the Southern Pyrenees. *Mineralogía e Petrografía Acta*, 22: 85-93.
- Davis, I. y Smith, K. (1989). Table of Experimental Reference Intensity Ratios. *Powder Diffraction*, 3: 201-206.
- Fréchengues, M. y Peybernès, B. (1991a): Stratigraphie séquentielle du Trias moyen et supérieur des Pyrénées franco-espagnoles. *Comptes Rendus Académie Sciences Paris*, 313: 355-360.
- Fréchengues, M. y Peybernès, B. (1991b): Association de Foraminifères benthiques dans le Trias carbonaté (Anisien, Ladinien-Carnien et Rhétien) des Pyrénées Espagnoles. *Acta Geológica Hispánica*, 26: 67-73.
- Fréchengues, M., Peybernès, B., Lucas, Cl., Souquet, P., Fournier-Vinas, C., Martini y R., Zaninetti, L. (1992): Le Trias des Pyrénées centrales et orientales franco-espagnoles. Livre Guide. *Strata*, série 2, vol. 17, 90p.
- Garrido, A. y Ríos, J.M. (1972): Síntesis geológica del Secundario y Terciario entre los ríos Cinca y Segre (Pirineo central de la vertiente Sur pirenaica, provincias de Huesca y Lérida). *Boletín Geológico y Minero*, 83: 1-47.
- Jurado, M.J. (1988): *El Triásico del subsuelo de la Cuenca del Ebro*. Tesis Doctoral, Univ. de Barcelona, 259 p.
- Klimowitz, J. y Torrecusa, S. (1990): Notas sobre la estratigrafía y facies de la serie triásica en el Alóctono Surpirenaico. En: *Formaciones evaporíticas de la Cuenca del Ebro y cadenas periféricas, y de la zona de Levante* (F.Ortí y J.M.Salvany, Eds). GPPG-ENRESA: 29-33.
- Lago, M. (1980): *Estudio geológico, petrológico, geoquímico y de aprovechamiento industrial de rocas ofíticas en el Norte de España*. Tesis Doctoral, Univ. de Zaragoza, 444 p.
- Lanaja, J.M., Querol Müller, R. y Navarro Alvargonzález, A. (1987): *Contribución de la exploración petrolífera al conocimiento de la geología de España*. Instituto Geológico y Minero de España, 465 p.
- Losantos, M., Aragonès, E., Berástegui, X., Palau, J. y Puigdefàbregas, C. (1989): *Mapa Geològic de Catalunya 1:250.000*, Institut Cartogràfic de Catalunya, Barcelona.
- Mey, P.H.W. (1968): Geology of the Upper Ribagorzana and Tor valleys, Central Pyrenees, Spain. *Leidse Geologische Mededelingen*, 41: 229-292.
- Mey, P.H.W., Nagtegaal, P.J.C. y Roberti, K.J. (1968): Lithostratigraphic subdivision of post-hercynian deposits in the south-central Pyrenees, Spain. *Leidse Geologische Mededelingen*, 41: 221-228.
- Ortí, F. (1974): El Keuper del Levante Español. *Estudios Geológicos*, 30: 7-46
- Pérez López, A.D. (1991): *El Triás de facies germánica del sector central de la Cordillera Bética*. Tesis Doctoral, Univ. de Granada, 400 p.
- Permanyer, A., Ortí, F., Inglés, M., Rosell, L., y Salvany, J.M. (1991): Contenido de materia orgánica de formaciones evaporíticas peninsulares. *Geogaceta*, 10: 48-52.
- Pocoví, A. (1978): *Estudio geológico de las Sierras Marginales Catalanas (Prepirineo de Lérida)*. Tesis Doctoral, Univ. de Barcelona, 218 p.
- Ratbi, S. (1995): *Mineralogía y geoquímica de las lutitas del Keuper de los Catalánides*. Tesis de Licenciatura, Univ. de Valencia, 59 p.
- Riba, O. y Llamas, M.R. (1962): Los terrenos yesíferos triásicos y terciarios de las proximidades de Estada (Huesca). En: *I Coloquio Internacional Obras Públicas en Terrenos Yesíferos*, Madrid, 5: 1-14.
- Salvany, J.M. (1986): *El Keuper dels Catalànids, petrologia i sedimentologia*. Tesis de Licenciatura, Univ. de Barcelona, 128 p.
- Salvany, J.M. (1990): Introducción a las evaporitas triásicas de las cadenas periféricas de la cuenca del Ebro: Catalánides, Pirineo y Región Cantábrica. En: *Formaciones evaporíticas de la Cuenca del Ebro y cadenas periféricas, y de la zona de Levante* (F. Ortí y J.M. Salvany, Eds). ENRESA-GPPG: 9-20.
- Salvany, J.M. (1999): Diapirismo triásico antiguo y reciente en el anticlinal de Canelles, Sierras Marginales Catalanas (Zona Surpirenaica central). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 12: 149-163
- Salvany, J.M. y Ortí, F. (1989): El Keuper de los Catalánides. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 11: 215-236.
- Salvany, J.M. y Bastida, J. (1994): Características litoestratigráficas de las facies Keuper de la Zona Surpirenaica entre los ríos Segre y Noguera Ribagorzana (provincia de Lleida). En: *Resúmenes del III Coloquio de estratigrafía y paleogeografía del Pérmico y Triásico de España*, Cuenca: 111-112.
- San Miguel, M. (1936): Estudio de las rocas eruptivas de España. *Memorias Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid*, 660 p.
- Solé de Porta, N., Calvet, F. y Salvany, J.M. (1994): Palinología del Triásico Sudpirenaico y del Pirineo Vasco. En: *Resúmenes del III Coloquio de Estratigrafía y Paleogeografía del Pérmico y Triásico de España*, Cuenca: 117-118.
- Virgili, C. (1960-62): Le Trias du Nord-est de l'Espagne. *Bulletin Société Géologique de France*, Livre a la mém. du Prof. Paul Fallot, 1: 301-311.
- Warshaw, C. y Roy, R. (1961): Classification and scheme for the identification of layer silicates. *Geological Society of America Bulletin*, 72: 1455-1492

*Manuscrito recibido el 10 de noviembre de 2003
Aceptado el manuscrito revisado el 30 de enero de 2004*