



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado



**Caracterización estratigráfica de las megacapas 3, 5 y 8
del Grupo de Hecho del sector de Villanúa (Huesca)**

Stratigraphic characterization of the megabeds 3, 5 and 8 of the Hecho
Group (Villanúa sector, Huesca).

Autora

Laura Quintanilla Torres

Directoras

Aránzazu Luzón Aguado

Reyes Giménez Portero

Departamento de Ciencias de la Tierra
Facultad de Ciencias
Universidad de Zaragoza

Curso
2018-2019

Índice

1. Abstract	3
2. Introducción	3
3. Objetivos	5
4. Metodología	5
5. Situación geográfica y geológica.....	5
6. Resultados	9
6.1 Equivalencia de megacapas explotadas en el campo Serrablo con las descritas en la serie magna.....	9
6.2 Cartografía de la zona de trabajo	11
6.3 Columnas estratigráficas.....	11
6.3.1 Columna de Aisa.....	11
6.3.2. Columna Torrijos Oeste.....	12
6.3.3. Columna Torrijos Este	13
6.3.4. Columna Villanúa	16
6.3.5. Afloramiento Carretera Aisa.....	18
6.4. Análisis de litofacies: descripción e interpretación	19
7. Discusión	21
8. Conclusiones.....	23
9. Bibliografía	24

Anexos:

- Anexo 1: Cartografía unificada de la serie MAGNA.
- Anexo 2: Descripción de las secciones pulidas y láminas delgadas de las muestras recogidas en campo.
- Anexo 3: Esquema interpretativo de la Megacapa 8 en el afloramiento de Torrijos.

1. Abstract

Eocene megabeds in the Jaca Basin (Pirenean Range) are cartographic layers interbedded in turbidite submarine deposits that represent catastrophic events in the carbonate platforms. These layers can be observed and mapped in large lengths allowing their study in different outcrops. In this way, it is possible to study their heterogeneity, both lateral and vertical.

This work has been based on the study of megabeds 3, 5 and 8 of the Hecho Group, in the surroundings of Villanúa (Huesca, Aragonese Pyrenees) and their main characteristics, with the aim of knowing the changes they present in the different outcrops and thus be able to plan any action in relation to these layers.

The main interest that presents the megabeds is that it has been proved that they are gas stores. In the Serrablo's field gas, these deposits are managed by Enagas S.A, who inject the gas in summer in the field and the extract it in winter. However, when they tried to perform a new survey for searching of a new point to inject gas, the results was not the expected, in our opinion due to the great heterogeneity of the megabeds.

In the present work, different beds, as well as the different facies present in the megabeds are analyzed, in order to propose the hypothesis that which is the most propitious facies for gas storage.

To carry out the study of the megabeds, firstly, the bibliography corresponding to the area was revised, and later a mapping based on the Magna series maps was made to recognize the different outcrops to be studied. Afterwards, 4 profiles and a sedimentary sketch were made possible the study of the megabeds in detail. Finally, the samples taken in the field were analyzed and a series of polished sections and thin sections were made, which provide interesting information to defining the different facies.

With the data obtained, it has been possible to establish the age and the deposit system to which the different outcrops belong, as well as to make a profile type for the megabeds, relating to other profiles proposed by other authors previously.

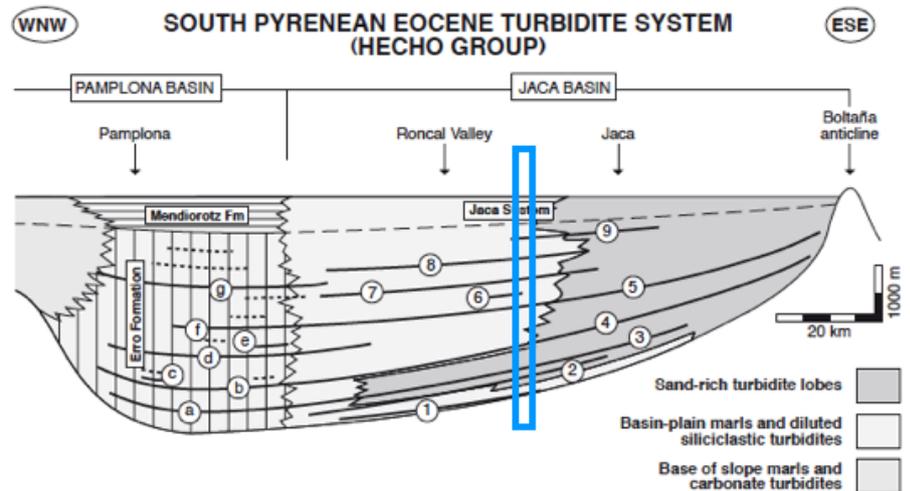
Finally, a correlation was made of the outcrops of megabed 8, since it is the megabed that has been best studied in the area.

2. Introducción

El campo de gas del Serrablo pertenece, geológicamente hablando a la Cuenca de Jaca. En el Eoceno esta zona correspondía a un surco marino profundo dominado por un abanico submarino alimentado desde el Este (Payros et al, 1994, Teixell et al, 1994b). La serie eocena está compuesta por una alternancia de lutitas y areniscas en secuencias turbidíticas granodecrecientes y en conjunto se denomina generalmente como "Flysch eoceno surpirenaico" o Grupo de Hecho (Mutti et al, 1972). Este Grupo presenta un espesor próximo a 4500 metros, e incluye además de lutitas y areniscas, capas cartografiables de brechas predominantemente carbonáticas y calcareníticas, denominadas megacapas o megaturbiditas (Fig. 1) y representan eventos catastróficos (Teixell y Barnolas, 1995). Estas megacapas presentan distinta continuidad y espesor, y en los diferentes afloramientos se pone de manifiesto su heterogeneidad litológica. En la cuenca de Jaca se reconocen 9 megacapas (Labaume et al, 1983, 1985,

1987) aunque se han identificado otras de dimensiones más reducidas hacia el oeste (Payros et al, 1999).

Figura 1: Sección E-W del Grupo de Hecho en la Cuenca de Jaca-Pamplona con los conjuntos sedimentarios correspondientes a distintos subambientes y la posición relativa de las megacapas (Modificada de Payros et al, 1999). El rectángulo marca la posición correspondiente a la zona donde se ha desarrollado este trabajo.



A veces el término megacapa es sustituido por el de megaturbidita y ello depende de sus rasgos significativos (Payros et al, 1994). Se consideran megaturbiditas aquellas capas con carácter de evento único, de gran envergadura y espesor y con una organización vertical muy característica, mientras que las megacapas han sido denominadas en un sentido más amplio, pues no cumplen estrictamente todas las características (aunque representen grandes eventos catastróficos). En este trabajo se utilizará inicialmente el término megacapa, más amplio, para referirnos a estos materiales.

El interés de las megacapas es que han demostrado ser almacenes de gas (Gil Peña et al, 1996a). De hecho, además de resultar explotables en los años 70, una vez depletados, estos yacimientos se están gestionando por Enagas S.A. como almacén en el que se inyecta gas en verano y se extrae en invierno, cuando la demanda es mayor. El almacén de gas próximo a las localidades de Jaca y Sabiñánigo se encuentra ubicado en dos megacapas, a las que denominan “Jaca” y “Aurín”, que constituyen el Campo Serrablo. Los niveles de producción se sitúan a unos 2700 m de profundidad (capa Jaca) y a 1500 m (capa Aurín) (Fig. 2).

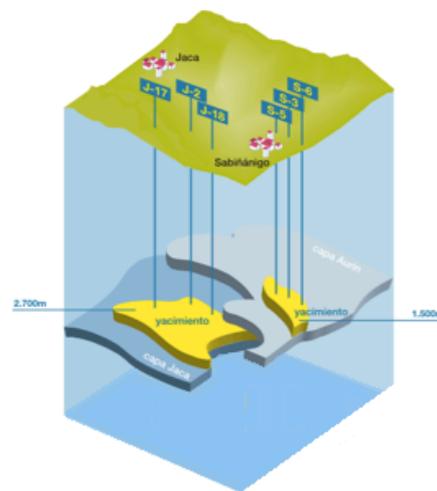


Figura 2: Capas Jaca y Aurín con sus profundidades. <https://www.enagas.es>

Recientemente, con objeto de conseguir mayor velocidad de operación, se realizó un sondeo en la megacapa Jaca, con la que esperaban obtener buenos resultados de velocidad de inyección/extracción, ya que está muy próximo al pozo de extracción actual, pero los resultados no fueron todo lo buenos que se esperaba.

3. Objetivos

A partir de lo anterior, el objeto principal del presente trabajo es realizar un estudio para analizar las características sedimentarias de algunas megacapas en la zona y discutir si se debe prestar atención a sus características para poder planificar cualquier actuación en relación con las mismas. Ello quizá aporte alguna hipótesis para explicar el motivo por el cual Enagás S.A. en el último de los sondeos realizado no obtuvo resultados positivos para el almacenamiento de gas en la megacapa perforada.

Para ello otros objetivos específicos son:

- Realizar una cartografía síntesis de la zona ya que los colores y tramas utilizados en las distintas hojas Magna no coinciden.
- Determinar que megacapas se corresponden a las del yacimiento de Serrablo, pues las nomenclaturas utilizadas por Enagás y los autores que han trabajado en la zona es distinta.
- Una vez conocidas, elegir las megacapas con buenos afloramientos para analizar su heterogeneidad vertical y horizontal.

4. Metodología

Para llevar a cabo este trabajo se ha seguido la metodología que incluye trabajo de gabinete-laboratorio y de campo y que se describe a continuación:

En primer lugar, se llevó a cabo una revisión de la bibliografía sobre la zona de estudio, que cuenta principalmente con estudios estratigráficos y estructurales. Se consultaron especialmente trabajos relativos al Grupo de Hecho y las megacapas de este grupo.

El trabajo realizado en el gabinete y laboratorio consistió en la elaboración de una cartografía de la zona basada en los mapas de la serie Magna y en ortofotos a partir del visor de Iberpix. Asimismo, se analizaron las columnas de sondeos disponibles en la web del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) de esta zona. Dado que la zona de trabajo se localiza en tres hojas Magna distintas (144, 176 y 177), se homogeneizó la nomenclatura de estos mapas. Además, se realizaron 4 perfiles en campo y se tomaron muestras. En gabinete se llevó a cabo la representación de los perfiles y el análisis de las litofacies. Además, se elaboró un esquema del afloramiento de una de las megacapas basado en observaciones de campo y fotografías con dron. Se estudiaron con lupa bincular (Marca Nikon) 16 muestras pulidas, sobre todo de cantos de las megacapas, para identificar sus componentes y textura, y 2 láminas delgadas en microscopio (Marca Carl Zeiss Jena). Finalmente se llevó a cabo la elaboración del informe final.

5. Situación geográfica y geológica

La zona estudiada se encuentra al norte de Jaca, entre las carreteras N-330 y A-2605 y el entorno de Villanúa, municipio pirenaico localizado al norte de la provincia de Huesca (Fig. 3), en la comarca de la Jacetania (Aragón, España). Villanúa se encuentra a unos 15 km de Jaca y 85 km de Huesca, capital de la provincia, desde donde se puede acceder a Villanúa por las carreteras A-23/E-7/N-330.

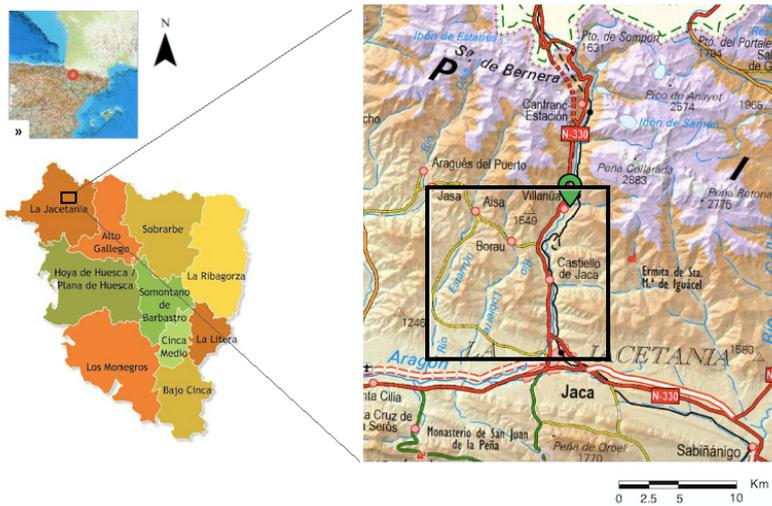


Figura 3: Situación geográfica de Villanúa. A la derecha, el mapa de la zona estudiada. El rectángulo marca una sección correspondiente a la zona donde se ha desarrollado este trabajo. Tomada de <https://www.gifex.com> y <http://www.ign.es>.

Desde el punto de vista geológico la zona se localiza en los Pirineos, cordillera que surge por la convergencia de las placas euroasiática e Ibérica. Durante el Mesozoico, el Pirineo fue sometido a una distensión intermitente reflejada en la extensión y el adelgazamiento cortical, el vulcanismo, la creación de cuencas sedimentarias subsidentes y la separación de Iberia y Europa. Posteriormente, en la Orogenia Alpina, del Cretácico tardío hasta el Mioceno, se produjo la convergencia y colisión de las dos placas, la inversión positiva y la deformación de las cuencas sedimentarias antes formadas, afectando también al zócalo varisco (Barnolas y Pujalte, 2004).

La estructura pirenaica se caracteriza por pliegues y cabalgamientos desarrollados en niveles corticales altos. En conjunto, la cordillera muestra una doble vergencia: la vertiente francesa, con vergencia norte, y la española, vergente al sur. El Pirineo está bordeado por dos cuencas de antepaís (Fig. 4), la Cuenca de Aquitania al norte y la Cuenca del Ebro al sur. Dentro de la cadena se diferencian 3 zonas por sus características estructurales y litológicas; de norte a sur son: Zona Norpirenaica, Zona Axial y Zona Surpirenaica. Dentro de la última, se diferencian a su vez distintos dominios: Sierras Interiores, Cuenca de Jaca (subdividida en cuenca turbidítica, donde se lleva a cabo el estudio, canal de Berdún y Sinclinatorio de Guarga) y Sierras Exteriores-Marginales (Fig. 5).

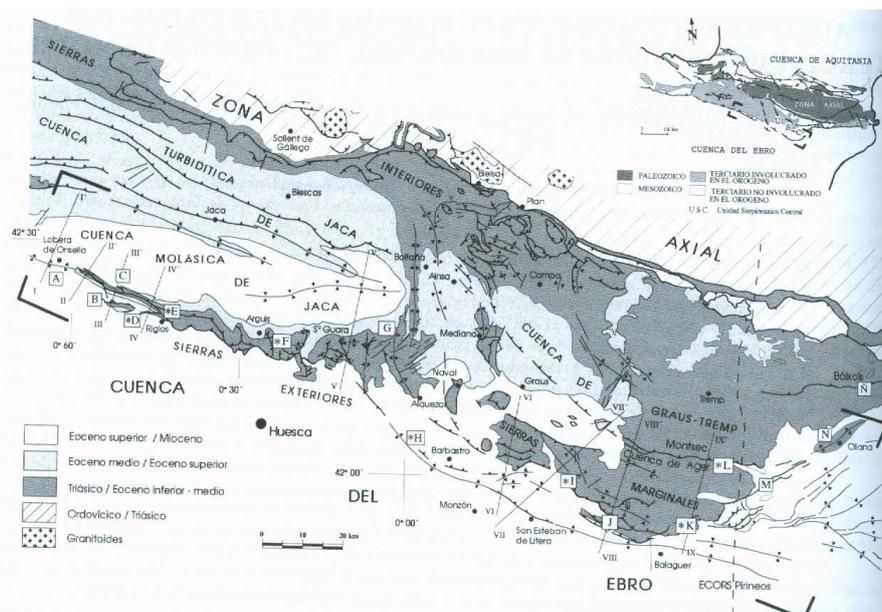


Figura 4: Mapa de situación del Pirineo, bordeado por la Cuenca de Aquitania por el Norte y la Cuenca del Ebro por el Sur (Tomada de Millán et al, 2000).

Durante el Eoceno inferior-medio dominó la sedimentación marina profunda con materiales turbidíticos procedentes del este (que forman el Grupo de Hecho) en el surco pirenaico de dirección E-W, donde se encuentra la zona de estudio. Hacia el sur, las turbiditas pasan gradualmente a margas de talud (Fm. Margas de Arro-Fiscal) y calizas de plataforma (Fm. Calizas de Guara), que se apoyan sobre el margen continental (Puigdefabregas, 1975; Labaume et al, 1985). Hacia el Este el sistema se relaciona con zonas marinas someras y sistemas deltaicos. Como se ha comentado antes, entre los materiales turbidíticos aparecen megacapac intercaladas, que Barnolas y Teixell (1994) interpretan como resultado de grandes deslizamientos de las plataformas carbonatadas situadas especialmente al sur (Fig. 6) como resultado de terremotos durante el emplazamiento de cabalgamientos. Es en estos materiales en los que se centra este trabajo.

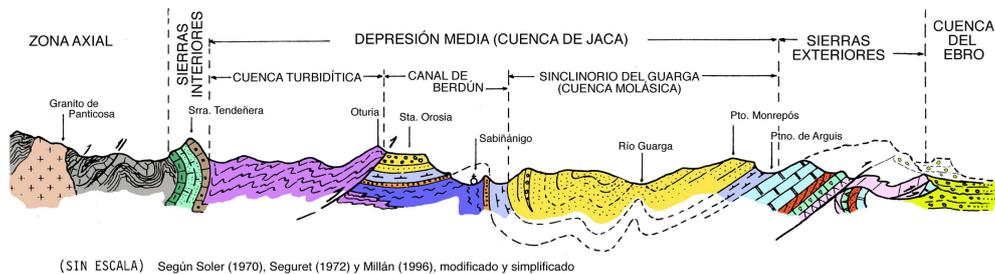
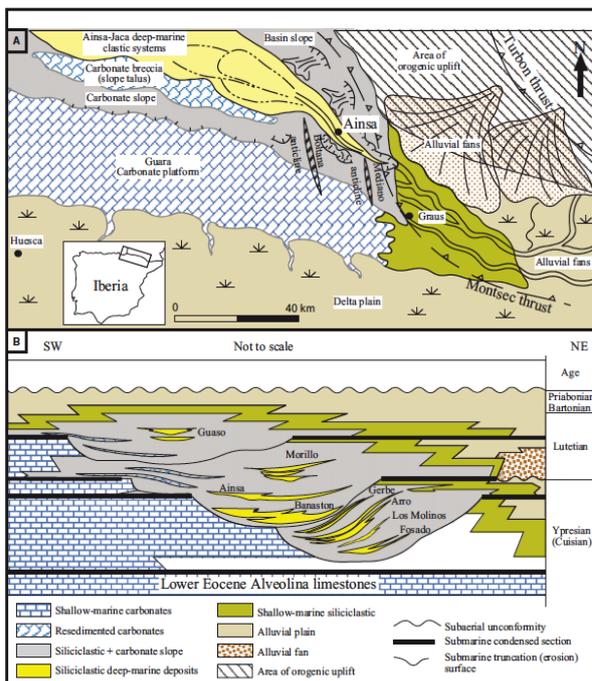


Figura 5: Corte geológico de la cadena pirenaica. Tomado de Millán (1996). La zona estudiada en este trabajo se corresponde con la Cuenca Turbidítica, de color morado en la figura.



Posteriormente, a partir del Eoceno medio, se produce la retirada del mar hacia el oeste y la progradación de las plataformas, dominando el depósito de plataforma-talud deltaico (Margas de Arguís-Pamplona) y progresivamente sedimentos de frente deltaico (Fm. Belsué –Atarés) y depósitos de origen continental (Grupo Campodarbe) (Fig. 7) (Casas et al, 2004).

Figura 6: (A) reconstrucción paleogeográfica de la cuenca de Ainsa-Jaca en el Luteciense. (B) Estratigrafía general de la cuenca proximal de Ainsa-Jaca. Tomada de Heart et al (2014).

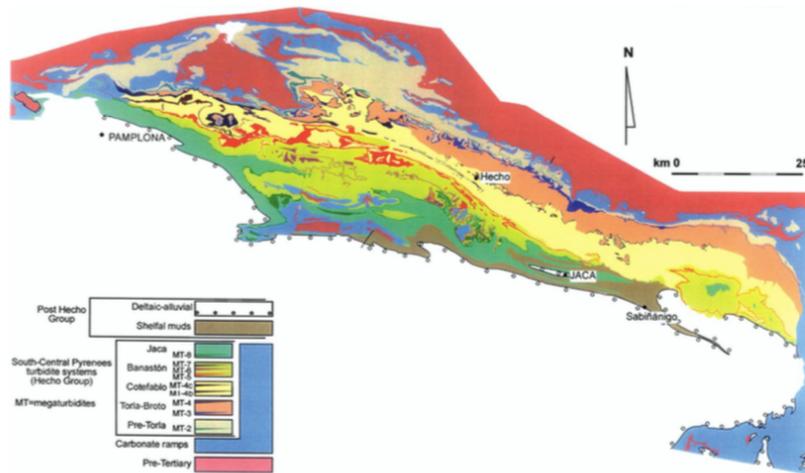


Figura 7: Mapa geológico simplificado de la estratigrafía del Grupo Hecho (tomado de Remacha y Fernández, 2003). Se muestra la distribución de las megacapas en la cuenca.

Las megacapas del Grupo de Hecho se han citado y estudiado desde antiguo (Johns et al, 1981; Labaume et al, 1983, 1985, 1987) puesto que llamaban la atención la serie de capas de carbonatos de grano fino a grueso intercalados entre las turbiditas, formando horizontes claramente reconocibles en grandes distancias. Las megacapas del Grupo de Hecho están constituidas por brechas, calcarenitas y margas y se ha propuesto la secuencia tipo de la figura 8 (Labaume et al, 1983). La parte inferior está formada por brechas carbonatadas con clastos de calizas de plataforma y margas. Sobre este tramo existe una sucesión de calcarenitas y areniscas calcáreas y sobre ella, margas, constituyendo toda una secuencia granodecreciente. La base de las calcarenitas puede tener cantos conglomeráticos y foraminíferos (Teixell, et al, 1994a y b). La secuencia presenta variaciones, como evidencia, entre otros Payros et al (1994).

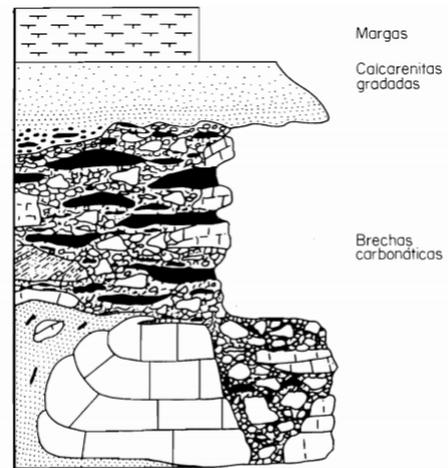


Figura 8: Secuencia estratigráfica idealizada de una megacapa carbonática (según Labaume et al, 1983).

En este trabajo se han estudiado los afloramientos en la zona de las megacapas 3, 5 y 8, cuyas características generales son según Teixell et al (1994a):

Megacapa 3 o de Villanúa: De edad Cuisiense superior, es la de mayores dimensiones. Su parte inferior son megabrechas con clastos de calizas y margas y hacia techo contiene tramos de calcarenitas gradadas y margas. Entre los clastos pueden aparecer fragmentos de sílex y calizas con alveolinas y nummulites.

Megacapa 5 o del Roncal: De edad Luteciense medio, presenta grandes dimensiones y está constituida por un tramo de brechas de clastos calcáreos en la base, un tramo brechoide más margoso y una secuencia de calcarenitas gradadas y margas a techo.

Megacapa 8 o de Embún-Jaca: De edad Luteciense superior, está constituida por brechas de calizas en la base, seguidas por brechas de material margoso y calcarenitas gradadas y margas a techo.

6. Resultados

6.1 Equivalencia de megacapas explotadas en el campo Serrablo con las descritas en la serie magna

Uno de los objetivos del trabajo es determinar la equivalencia entre las megacapas del yacimiento Serrablo y las de los mapas de la serie Magna. Analizando en detalle uno de los cortes N-S de la hoja 177 (Sabiñánigo; Gil Peña et al, 1996b), ha sido posible establecer cuáles son las megacapas que se están empleando por Enagas S.A. como almacén de gas. A partir del corte (Fig. 9), su escala, la localización de los sondeos de los pozos de Jaca y Aurín y las profundidades a las que están las capas (“Jaca” a 2700 m de profundidad y “Aurín” a 1500 m según datos de Enagas, figura 2) se ha determinado que las capas de Jaca y Aurín se corresponden respectivamente con las megacapas 8 y 4 de las cartografías Magna.

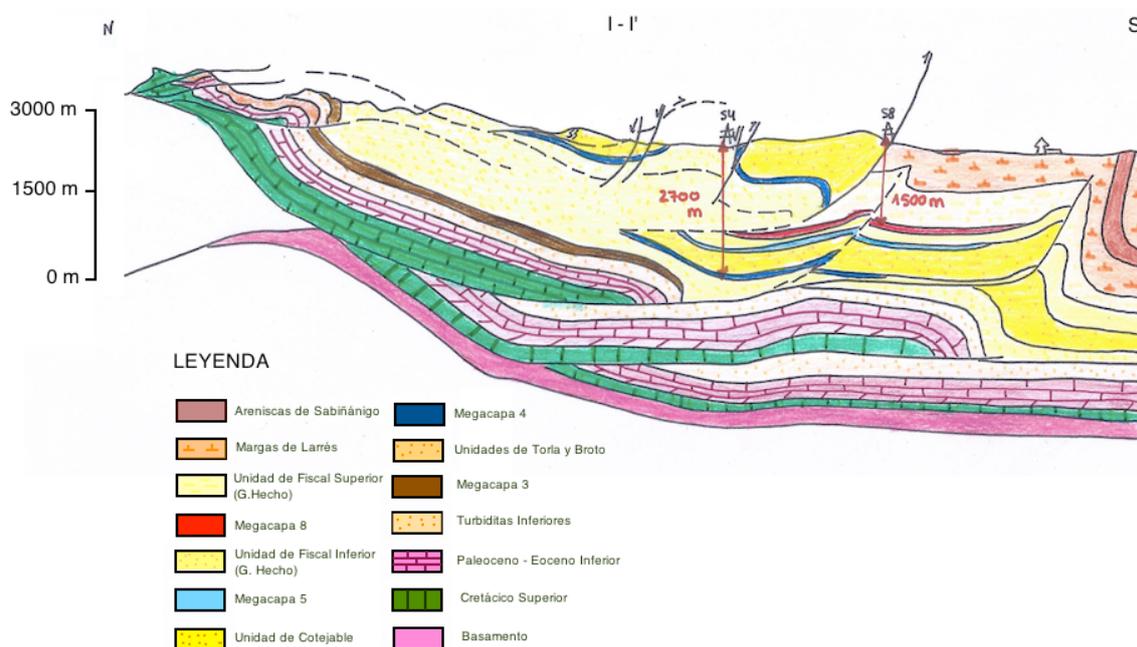


Figura 9: corte geológico simplificado de Gil Peña et al, (1996b) correspondiente al mapa de Sabiñánigo (hoja 177).

Se han analizado igualmente las columnas disponibles en la página web del IGME de distintos sondeos en la zona. El sondeo de la zona de Jaca (Fig. 10A) permite observar que los materiales que aparecen a una profundidad de unos 2700 m son predominantemente carbonatados, pudiendo corresponderse la Megacapa “Jaca” de Enagas con la Megacapa 4. Así mismo, en las columnas de la zona Aurín, se pueden reconocer materiales similares a una profundidad de 1500 m (Fig. 10B), con lo que podría corresponder la megacapa “Aurín” con la megacapa 8 del Magna.

Partiendo de esta interpretación, se procedió a buscar afloramientos de dichas capas y a partir de las características de los afloramientos se decidió estudiar los afloramientos de la Megacapa 8 por su buena accesibilidad y condiciones de afloramiento, mientras que los afloramientos de la Megacapa 4 en la zona de estudio no se encontraban bien conservados y por tanto se declinó su estudio.

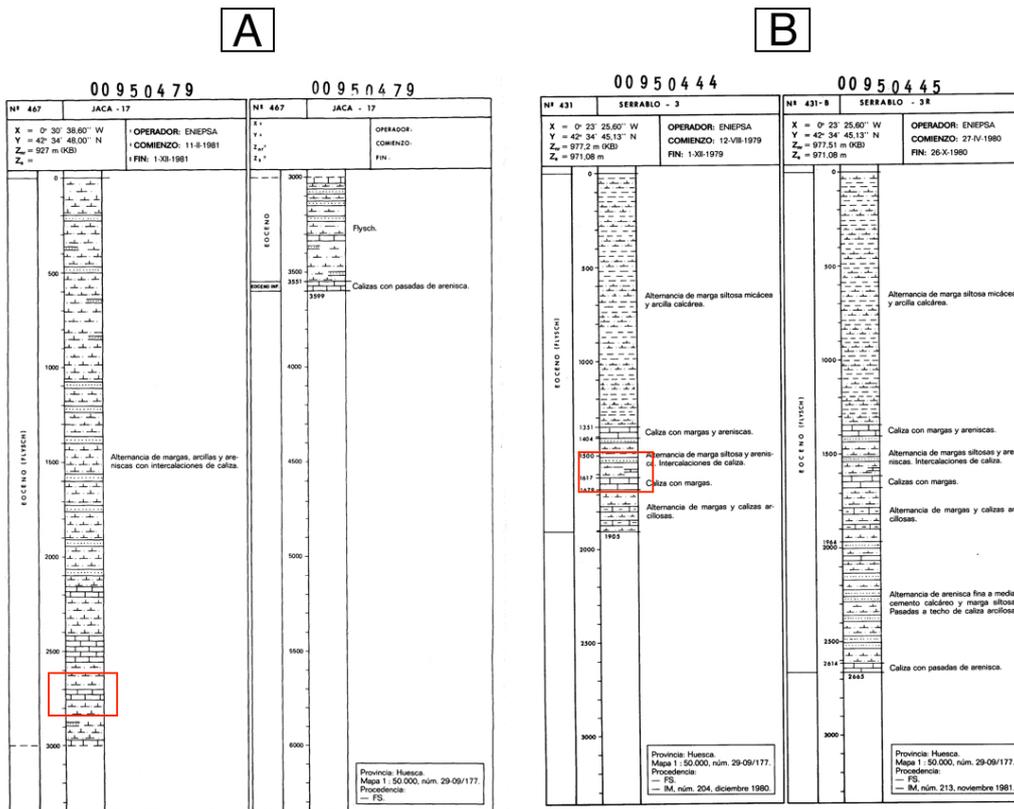
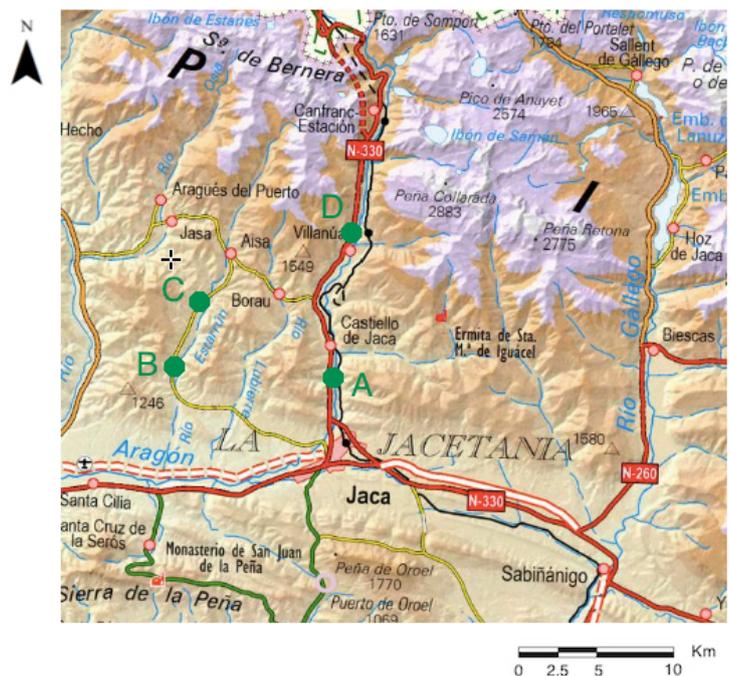


Figura 10: A: log correspondiente al sondeo Jaca donde a una profundidad de 2700 m aparecen unos materiales que podrían corresponder a la megacapa almacén “Jaca”. B: log correspondiente al sondeo Serrablo donde a una profundidad de 1500 m aparecen unos materiales que podrían corresponder a la megacapa almacén “Aurín”.

De la Megacapa 8 se han estudiado tres afloramientos, dos de los cuales se encuentran en la carretera Jaca-Villanúa junto al puente de Torrijos y otro se encuentra en la carretera de Aisa (Fig. 11).

Figura 11: Mapa en el que se han situado los afloramientos estudiados.
 A y B: afloramientos de la megacapa 8.
 C: afloramiento de la megacapa 5.
 D: afloramiento de la megacapa 3.

Además, se han analizado otros dos afloramientos en la zona correspondientes a la megacapas 5 en la carretera de Aisa (Fig. 11 punto C) y a la megacapa 3 en Villanúa, junto al centro de interpretación, afloramiento elegido por el gran espesor que presenta (Fig. 11 punto D).



6.2 Cartografía de la zona de trabajo

Se ha realizado una cartografía unificando las tramas de los mapas de la serie magna (Fig. 12, en Anexos) en la que aparecen situados los afloramientos estudiados.

6.3 Columnas estratigráficas

En cuatro de los puntos señalados en la figura 11 se ha llevado a cabo el levantamiento de columnas estratigráficas en las que se puede apreciar las diferencias litológicas entre las megacapas y dentro de cada una en función de su situación geográfica. Comenzando por la Megacapa 8, en el afloramiento de la carretera de Aisa (punto B) se ha levantado una columna, la columna Aisa, y en el afloramiento de Torrijos se han levantado 2 columnas (punto A), Torrijos Oeste y Torrijos Este. Para la Megacapa 3 se ha realizado una única columna, Villanúa (punto D). Por último, para estudiar la Megacapa 5 en la carretera de Aisa, se ha realizado un esquema litoestratigráfico en lugar de una columna estratigráfica (punto C).

6.3.1 Columna de Aisa

La columna (Fig. 13) se ha levantado en la margen izquierda del río Estarrún, en la carretera que conecta Jaca con Aisa (A-2605).

Las coordenadas U.T.M son:

Base: 30TXN92127216

Techo: 30TXN92058215

Tramo 1: 20 metros de alternancia entre areniscas calcáreas grises (naranjas en superficie) y niveles margosos de color beige.

Las areniscas son de grano fino y se disponen en estratos tabulares de 30 a 60 cm de espesor. Algunos presentan superficies de estratificación onduladas y marcas de corriente y bioturbación. Se reconocen secuencias estratodecrecientes de espesor centimétrico.

Las margas son masivas y aparecen en estratos de 20 a 30 cm de potencia. Son más abundantes en la base.

Tramo 2: 10 metros de areniscas calcáreas de color naranja con margas intercaladas de color gris. Este tramo se corresponde con un nivel slumpizado.

Las areniscas son de grano fino y aparecen en estratos de aspecto noduloso con un espesor de 20 a 50 cm.

Las margas son masivas y aparecen en tramos de 20 cm a 1m de espesor, y conforman los 3 últimos metros del tramo.

Tramo 3: 10 metros de brechas de color gris. Son granosostenidas y se encuentran constituidas por bolos de arenisca de grano medio y color gris con diámetro variado y morfología subangulosa-subredondeada, de entre 20 y 60 cm (Fig. 14A). Hacia la parte intermedia del tramo se reconocen slumps.

Tramo 4: 23 metros formados por brechas de color gris soportadas por matriz margosa. Los bolos son grises de caliza muy recristalizada y diámetro entre 30 y 80 cm. Presentan fósiles, especialmente nummulites y miliólidos, e intraclastos (wackstone a grainstone) angulosos; también hay cantos de arenisca. Estos bolos pueden aparecer en agregados de cantos de hasta 2 metros de diámetro. El tramo aparece slumpizado.

Tramo 5: 10 metros de calcarenitas grises (packstone-grainstone) masivas de grano medio que presentan nummulites, miliólidos e intraclastos irregulares. En la base la calcarenita aparece muy brechificada. Hacia techo, aparecen estratos muy irregulares.

Tramo 6: 5 metros de margas grises masivas que culminan la serie.

6.3.2. Columna Torrijos Oeste

La columna (Fig. 15A) se ha levantado en la margen izquierda del río Aragón, a su paso por el puente de Torrijos, en la carretera que conecta Jaca con Villanúa (N-330).

Las coordenadas U.T.M son:

Base:30TYN01376200

Techo:30TYN01388199

Tramo 1: 38 metros de areniscas calcáreas de color ocre con intercalaciones de margas grises.

Las areniscas poseen un tamaño de grano medio y aparecen en estratos tabulares, algunos de ellos con superficies erosivas y otros con superficies onduladas debido a la presencia de ripples. En las bases de algunos estratos es posible ver marcas de corriente, especialmente flute marks (Fig. 14B), que nos indican palocorriente hacia el oeste y la polaridad de la serie y, de manera que se deduce que se encuentra invertida. Además de las estructuras sedimentarias descritas, en algunos estratos es posible reconocer laminación ondulada.

Los estratos poseen espesores variables, de entre 20 cm a 3 m. Hacia techo, los estratos son más finos que en la base del tramo, conformando una serie estratodecreciente. Además de las estructuras sedimentarias descritas, en algunos estratos es posible reconocer laminación ondulada. Las margas son masivas y aparecen en estratos de 10 a 30 cm de espesor.

Tramo 2: 8 metros de margas grises parcialmente cubiertas por vegetación.

Tramo 3: 4 metros de arenisca calcárea de color ocre de grano medio. Se disponen en estratos tabulares de hasta 1 m de espesor que presentan laminación ondulada.

Tramo 4: 5 metros de brechas soportadas por una matriz margosa de color gris. Las brechas son de bolos grises que presentan un tamaño variable, de hasta 1 m de diámetro y son angulosos-subangulosos. En el nivel se reconocen estratos slumpizados (Fig. 14C). Los bolos están compuestos de calcarenita (con nummulites e intraclastos).

Tramo 5: 10 metros de brechas clastosoportadas aunque localmente con mucha matriz margosa, ambas de color grisáceo. Las brechas son de bolos angulosos a subredondeados de entre 30 cm hasta 2 m. Los bolos son de litología variada, localizándose algunos de arenisca calcárea y otros de wackstone a grainstone de nummulites e intraclastos muy recristalizados. Este nivel presenta un aspecto muy desorganizado (Fig. 14D).

Tramo 6: 15 metros de brechas sostenidas por la matriz. Los bolos subangulosos-subredondeados en general son de menor diámetro que el tramo anterior, de 30 a 70 cm, pero con la misma litología.

Tramo 7: 10 metros de calcarenita masiva gris con restos de nummulites muy fragmentados, miliólidos e intraclastos angulosos. La base de este tramo está muy formada por un microconglomerado de cantos de 20 a 40 cm de diámetro. A techo, la calcarenita presenta laminación ondulada en el techo y ripples.

Tramo 8: 5 metros de margas grises masivas que culminan la serie.

6.3.3. Columna Torrijos Este

La columna (Figura 15B) se ha levantado en la margen derecha del río Aragón, a su paso por el puente de Torrijos, en la carretera que conecta Jaca con Villanúa (N-330).

Las coordenadas U.T.M son:

Base:30TYN01523200

Techo:30TYN01513199

Tramo 1: 21 metros de arenisca calcárea de color ocre con alguna intercalación de margas de color gris. Las areniscas poseen un tamaño de grano medio y forman estratos tabulares de entre 60 cm a 2 m de espesor, algunos de ellos con superficies erosivas. En las superficies se pueden observar marcas de corriente que indican que la polaridad de la serie es invertida. La serie presenta una evolución estratodrecreciente. Las margas son masivas y se disponen en estratos tabulares de 20 a 30 cm de espesor.

Tramo 2: 7 metros de margas parcialmente cubiertas por vegetación. Donde afloran se puede apreciar su color gris claro.

Tramo 3: 7 metros de arenisca calcárea con algún nivel intercalado de margas grises. Las areniscas son de grano medio y aparecen en estratos tabulares a nodulosos, con espesores que varían entre 30 y 90 cm. Las margas son masivas y aparecen en estratos de 10 a 30 cm.

Tramo 4: 12 metros de margocalizas grises en estratos nodulosos con abundantes fósiles de nummulites y miliólidos. Este tramo es un gran bloque que no se encuentra en su posición original.

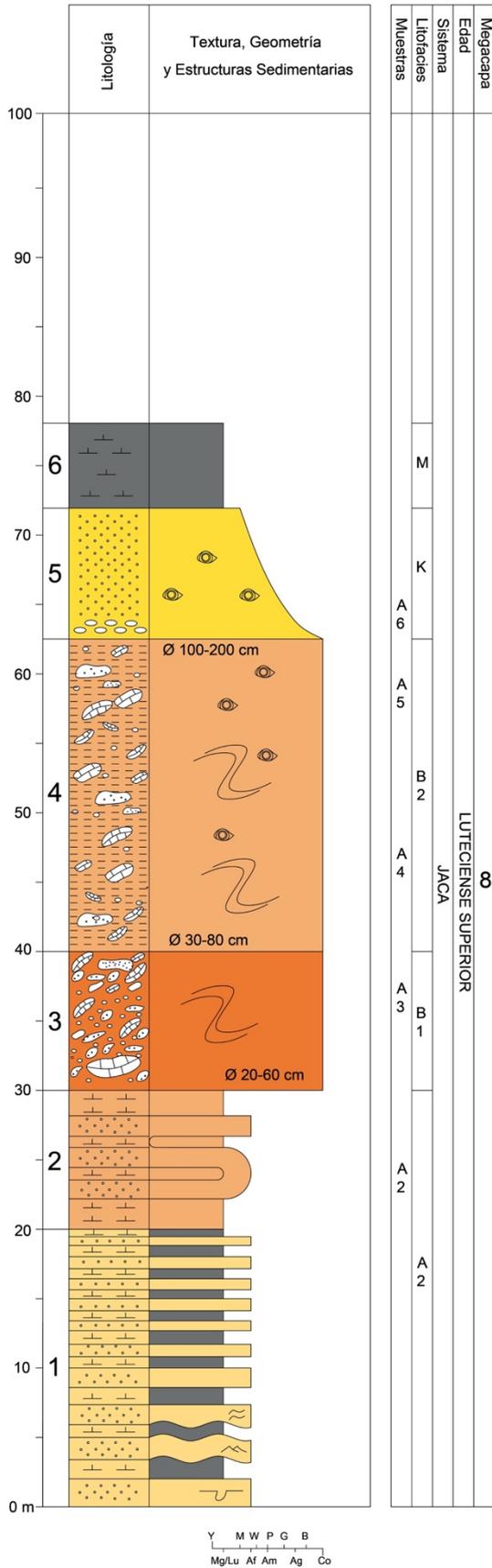
Tramo 5: 5 metros de brechas granosostenidas de color grisáceo. Las brechas son de bolos angulosos y subredondeados de hasta 2 m. Los bolos son de litología variada, algunos de ellos son de caliza muy recristalizada con abundantes miliólidos y nummulites y otros son de arenisca calcárea de grano fino a medio. Lateralmente el tramo es un gran bloque de estratos margocalizos nodulosos.

Tramo 6: 20 metros de brechas soportadas por la matriz. En la base del tramo los bolos, que son angulosos-subredondeados, tienen un tamaño mayor, de 1 a 2 m de diámetro (Fig. 14E), mientras que hacia techo los bolos pasan a tener un diámetro de 30 a 60 cm. La litología de los bolos es la misma que la del tramo anterior.

Tramo 7: 5 metros de calcarenita masiva de color gris con restos de nummulites cuya base está formada por un microconglomerado cuyos cantos presentan un diámetro de 20 a 40 cm.

Tramo 8: 5 metros de margas grises masivas que culminan la serie.

AISA



LEYENDA



ESTRUCTURAS Y COMPONENTES

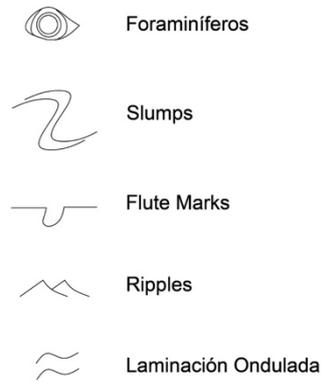


Figura 13: Columna de la megacapa 8 en Aisa.

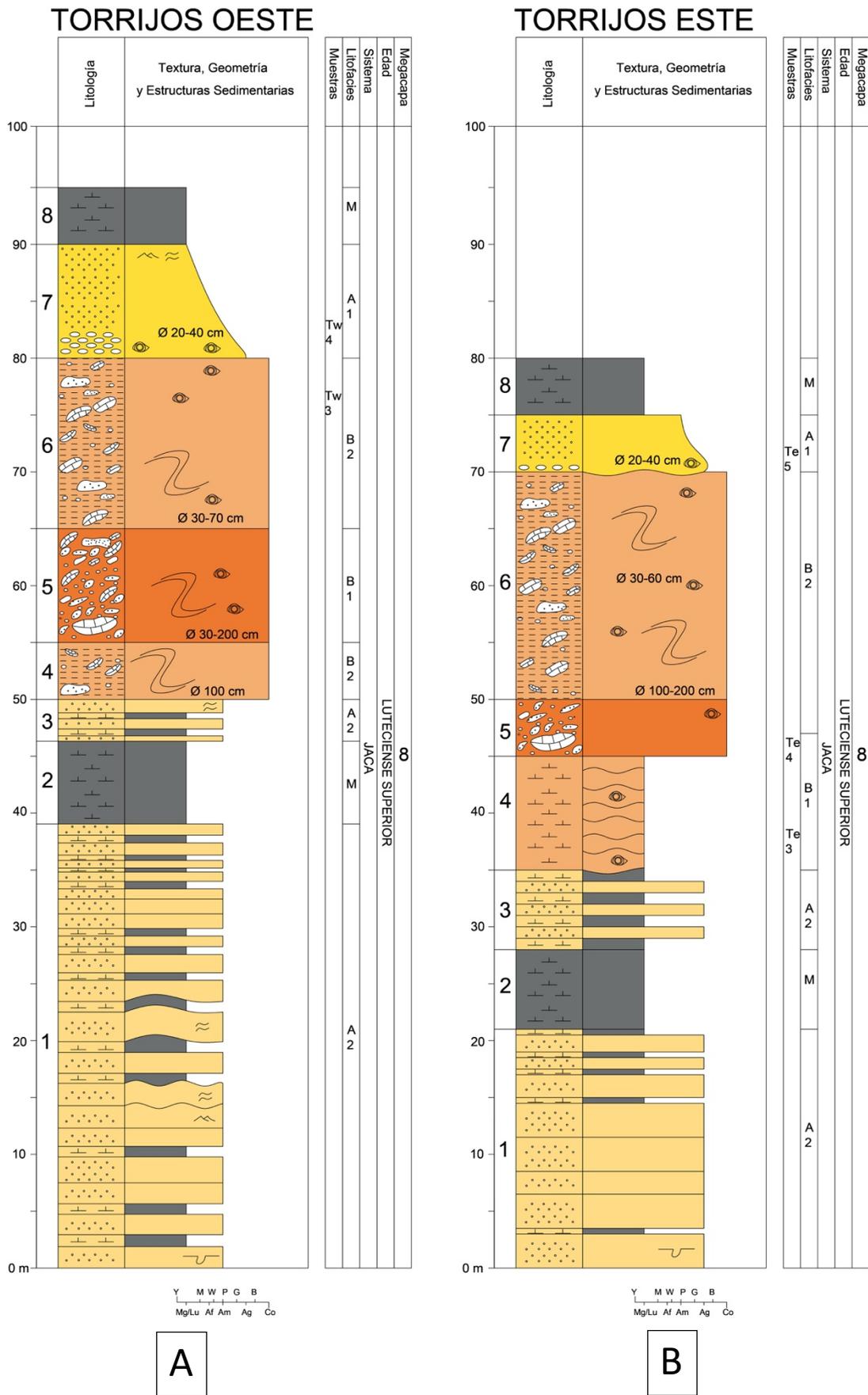


Figura 15: A: Columna de la megacapa 8 en Torrijos Oeste. B: Columna de la megacapa 8 en Torrijos Este.

VILLANUA

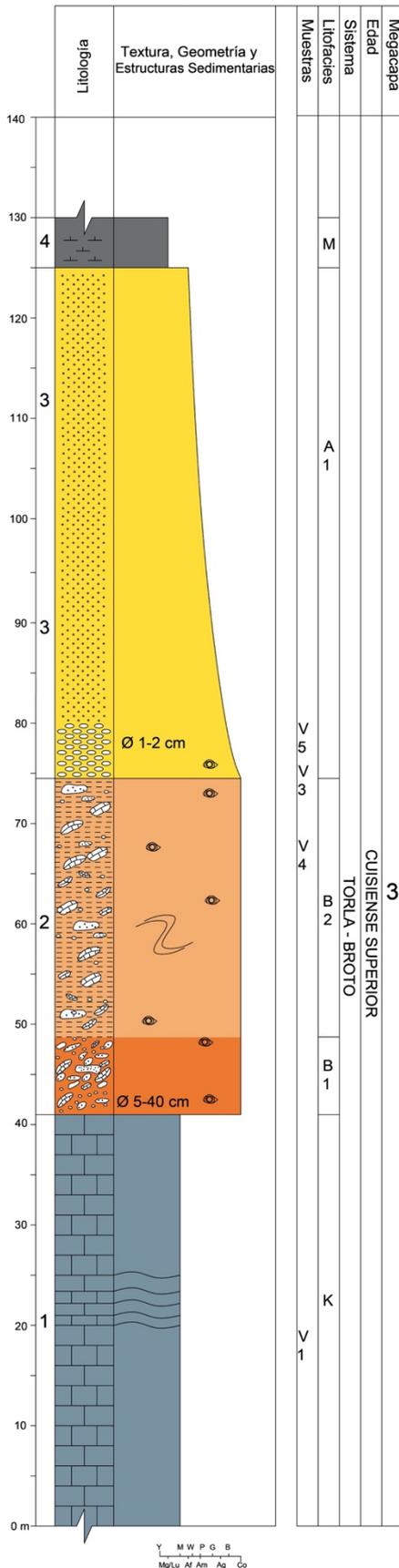


Figura 16: Columna de la megacapa 3 en Villanúa.

6.3.4. Columna Villanúa

La columna (Figura 16) se ha levantado en la margen derecha del río Aragón, a su paso por Villanúa, junto al centro de interpretación.

Las coordenadas U.T.M aproximadas son:

Base:30TYN02343287

Techo:30TYN02307286

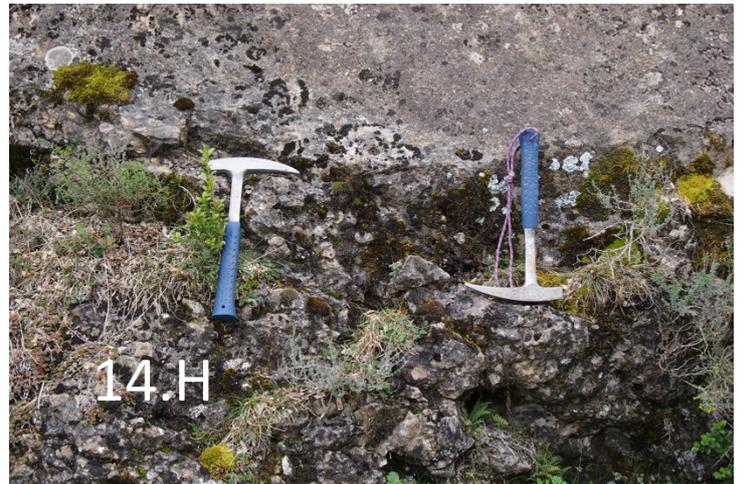
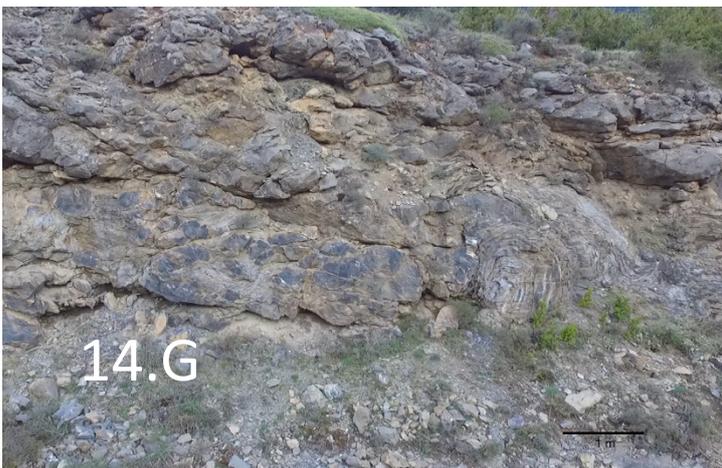
De base a techo se han establecido los tramos siguientes:

Tramo 1: 41 m de calizas masivas gris-beige de textura mudstone. Aparecen muy fracturadas y recrystalizadas si bien se observan zonas con estratificación, con niveles de 20 a 25 cm de potencia. Conforme se sube en la serie, pasan a tener un aspecto más brechificado.

Tramo 2: 32 m de brechas grises oscuras. En la base del tramo son granosostenidas, de cantos de caliza y de arenisca (Fig. 14F). En general, los cantos son subangulosos-subredondeados y presentan un tamaño variable, de entre 5 hasta 40 cm de diámetro. Los arenosos presentan granos milimétricos de cuarzo. Los de caliza masivos, otros poseen fósiles (nummulites) así como intraclastos hasta centimétricos. A lo largo del tramo es posible diferenciar una evolución granodecreciente, y hacia techo aumenta considerablemente la cantidad de matriz arenosa. El techo del tramo se corresponde con un slump (Fig. 14G).

Tramo 3: 50 metros de calcarenita masiva de color gris. La base (Figura 20) es microconglomerática granosostenida con algunas zonas de matriz arenosa. Los cantos son de caliza, de 1 a 2 cm de diámetro. El tramo va evolucionando a una calcarenita de grano más fino, por lo que presenta una evolución granodecreciente. En esta zona es posible encontrar estratos con base canaliforme, de un espesor de 30 a 40 cm. Se diferencian laminaciones internas onduladas. Existen muchos fósiles de alveolinas.

Figura 14: A. brecha granosostenida de la megacapa 8 de la columna Aisa, (tramo 3); B: flute marks en la base del estrato que indica la polaridad invertida de la serie (tramo 1 de Torrijos Oeste); C: Brecha sostenida por la matriz de la megacapa 8. Se aprecian estratos slumpizados. (Tramo 4 Torrijos Oeste); D: brecha clastosoportada de la megacapa 8 del (tramo 5 de Torrijos Oeste); E: brecha soportada por la matriz de la megacapa 8 (tramo 5 de Torrijos Este); F: brecha granosostenida de la megacapa 3 (tramo 2 del afloramiento Villanúa); G: Slumps de la megacapa 3 en el tramo 2 de la columna de Villanúa; H: transición del microconglomerado a la calcarenita en la megacapa 3 (tramo 3 de la columna de Villanúa).



6.3.5. Afloramiento Carretera Aisa

El esquema de afloramiento de la megacapa 5 se ha realizado en la carretera que conecta Jaca con Aisa (A-2605), en las coordenadas UTM: 30TXN93226241.

Para su estudio se llevó a cabo la toma de fotografías y videos con el dron, que han permitido realizar el esquema posteriormente en el gabinete (Fig. 17). Así, es posible deducir que la megacapa 5 se encuentra invertida, y la facies que se ha podido analizar en este tramo es la correspondiente con la brecha sostenida por la matriz. Tal y como se puede observar la megacapa 5 presenta base erosiva.

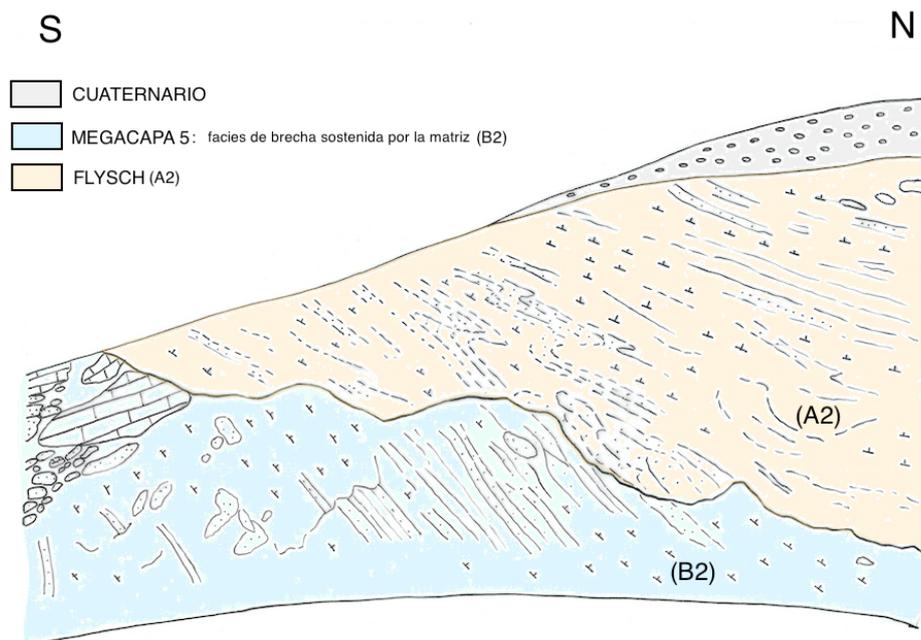


Figura 17: Esquema litoestratigráfico de la megacapa 5 en el afloramiento de la carretera de Aisa (ver figura 11).

6.4. Análisis de litofacies: descripción e interpretación

En el campo se realizó además la toma de muestras para realizar secciones pulidas y láminas delgadas que, como se ha indicado en la sección de metodología, se estudiaron en la lupa binocular y en el microscopio. En función de litología y textura se han descrito 6 litofacies: Calizas masivas (K), Margas grises masivas (M), Areniscas calcáreas con intercalaciones de margas laminadas (A2), Calcarenitas masivas con base microconglomerática (A1), Brecha con matriz margo-arenosa (B2) y Brecha granosostenida con matriz margosa (B1). Sus características principales e interpretación se recogen en la Tabla 1 y algunos aspectos se observan en las fotos de la figura 18. Las muestras estudiadas se incluyen en la Tabla 2 de los Anexos.

LITOFACIES		CARACTERÍSTICAS	INTERPRETACIÓN
K: calizas masivas		Color gris y aparecen muy fracturadas y recristalizadas. Posee zonas con estratificación, con estratos tabulares de 20 a 30 cm de espesor. A techo la caliza pasa a tener un aspecto más noduloso y brechoide.	Gran bloque de plataforma carbonatada removilizado Parte inferior de la megacapa
M: margas grises masivas		Son de color gris, masivas, y aparecen en ocasiones cubiertas total o parcialmente por la vegetación. Pueden poseer potencias de hasta 10 metros.	Margas de decantación en zonas marinas profundas en momentos de menor energía Parte alta de la megacapa
A	2: Areniscas calcáreas con intercalaciones de margas laminadas	Areniscas de color ocre, poseen un tamaño de grano fino a medio y aparecen en estratos tabulares de potencias entre 20 cm hasta 3 m. Las margas van de un 5% a un 20% y las areniscas de 80% a 95%. En ocasiones, las areniscas presentan superficies erosivas u onduladas, debido a la presencia de ripples. En la base presentan marcas de corriente (flute marks) y abundantes pistas fósiles.	Secuencias de Bouma Facies turbidíticas en abanicos submarinos
	1: Calcarenitas masivas con base microconglomerática	De color gris, en ocasiones aparece en estratos con base canaliforme, de espesor entre 30 y 40 cm en ocasiones canaliformes y granodecrecientes. Contiene una gran cantidad de fósiles de foraminíferos-nummulites y miliólidos- y abundantes intraclastos de hasta 2 cm procedentes de depósitos de plataforma removilizados. En ocasiones laminación ondulada y ripples. A menudo existe transición entre B2 y ésta.	Sedimento de gravedad Flujo turbidítico no cohesivo hiperconcentrado. Deceleración del flujo. Parte superior megacapa
B	2: Brecha con matriz margo-arenosa	Brechas soportadas por la matriz de color gris, dado por el de los clastos, matriz margo-arenosa de color marrón-grisácea, que puede llegar a constituir entre 20% y 50%. Los cantos son predominantemente de caliza con texturas muy variadas, con abundantes foraminíferos e intraclastos, y en menor medida de areniscas calcáreas y de margas calcáreas de tamaños variables, de 5 cm hasta los 50 m de diámetro. En ocasiones se pueden reconocer slumps de distintas dimensiones.	Sedimento de gravedad Resedimentación de facies de plataforma y talud en zonas marinas profundas. Flujo cohesivo alta densidad Parte baja o intermedia de la megacapa
	1: Brecha granosostenida con matriz margo-arenosa	Brecha clastosostenida de grisácea con clastos heterolíticos (a veces fragmentos de estratos de decenas de metros de extensión). Predominan los calcáreos (con abundantes foraminíferos e intraclastos) y en menor medida de arenisca. La matriz puede constituir desde un 5% hasta un 20% de la brecha. Pueden reconocerse slumps.	Sedimento de gravedad Resedimentación en zonas profundas. Flujo no cohesivo (Grain flow.) Parte inferior de la megacapa

Tabla 1: Litofacies identificadas en los sedimentos marinos profundos de la Cuenca de Jaca: características e interpretación.

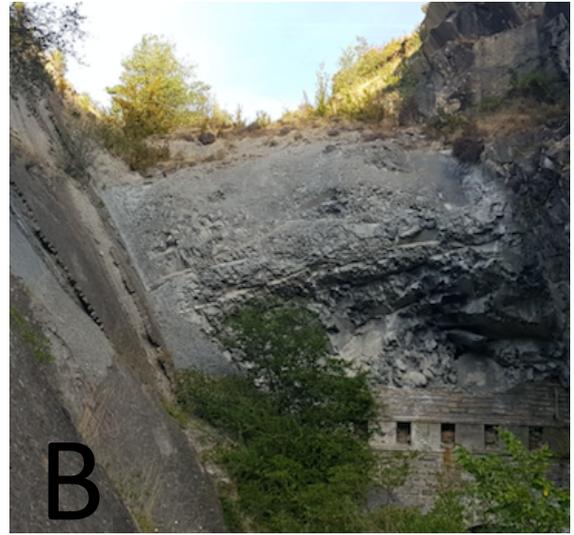


Figura 18: Facies identificadas en la zona de estudio. A: Calizas muy brechificadas (K). B: Margas grises masivas (M). C: Areniscas calcáreas con intercalaciones de margas laminadas (A2). D: Calcarenitas masivas con base microconglomerática (A1). E: Brecha con matriz margo-arenosa (B2). F: Brecha granosostenida con matriz margo-arenosa (B1).

7. Discusión

Se ha podido establecer la edad y sistema de depósito al que pertenecen los diferentes afloramientos estudiados en este trabajo a partir de los datos de Remacha y Fernández (2003). Así, los afloramientos de la megacapa 8 pertenecen al Sistema Jaca, de edad Luteciense superior, mientras que el afloramiento de la megacapa 5 en la carretera de Aisa pertenece al Sistema Banastón, de edad Luteciense medio y el afloramiento de la megacapa 3 en Villanúa pertenece al Sistema Torla-Broto, de edad Cuisiense superior (Fig. 7).

Las megacapas representan depósitos de gravedad, con resedimentación de materiales de plataforma y talud. Las distintas facies representan cambios en las características de los flujos (Dasgupta, 2003). Se ha planteado una correlación lateral de la megacapa 8, ya que es la que ha podido estudiarse en 3 afloramientos diferentes (Fig. 19). En este esquema es posible apreciar la heterogeneidad de la megacapa 8, tanto lateral, especialmente su base, como vertical. Así mismo, se ha realizado un esquema interpretativo (Anexo 3).

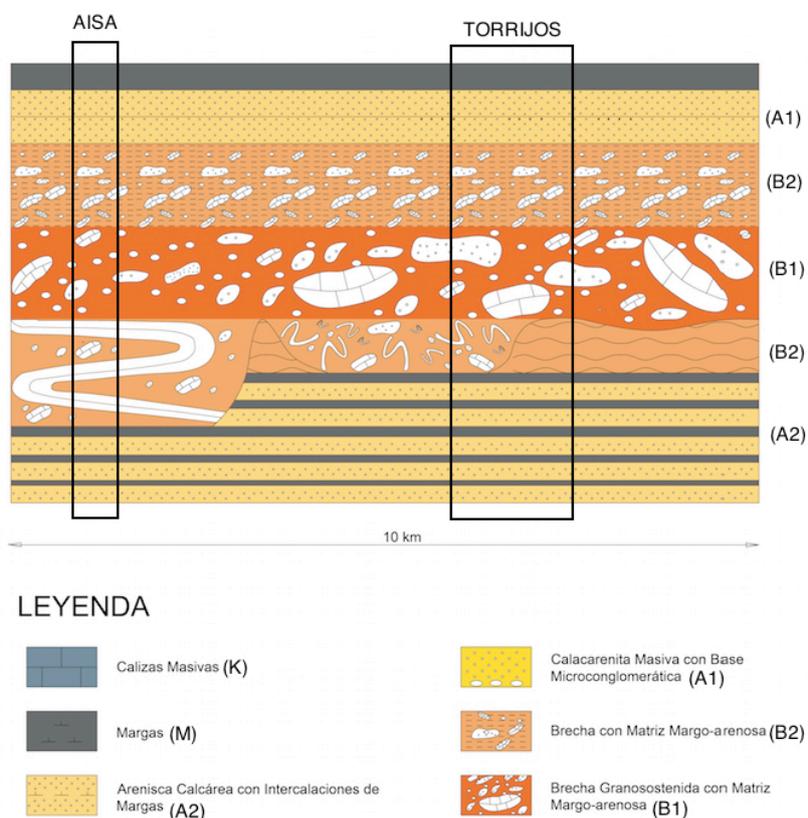


Figura 19: Esquema de la megacapa 8 en una extensión de 10 km (con escala exagerada en la vertical) conteniendo los afloramientos de Aisa, Torrijos Oeste y Torrijos Este. La cantidad de matriz y el tamaño de los cantos en B1 y B2 es muy variable lateralmente.

Según los resultados obtenidos, se propone la facies de brecha granosostenida (B1) como la más favorable para contener gas entre los cantos, ya que en algunas zonas ha sido posible observar cantos de gran tamaño que se encontraban muy próximos entre sí y poseían muy poca matriz margo-arenosa. Estas características permitirían el almacenamiento del gas. Sin embargo, las características de estas capas varían muy rápidamente tanto en la vertical como en la horizontal, por lo que estas condiciones se dan en zonas limitadas. De esta forma, al realizar un sondeo en diferentes partes de la misma

megacapa la permeabilidad y por tanto la capacidad de almacenamiento y la velocidad de inyección o extracción serán muy diferentes debido a la heterogeneidad lateral, ya que la facies B1 tiene un contenido de matriz y un tamaño de cantos muy distinto según la zona considerada.

A partir de las 6 litofacies (Tabla 1 y Fig. 18) definidas y las relaciones lateral y verticales observadas en las tres megacapas estudiadas se confirma que el perfil de Labaume es válido para ellas, pero se proponen algunas matizaciones (Fig. 20). Sobre los depósitos turbidíticos, areniscas y lutitas (A2) se encuentra la megacapa que comienza con una brecha que en algunas zonas es un nivel slumpizado con grandes bloques. Labaume et al (1983) la definía como brecha carbonática, mientras que en este trabajo se ha subdividido en varias litofacies en función de sus características. La columna propuesta incluiría las características tanto de la propuesta Payros et al (1999) como de Puigdeàbregas (2012).

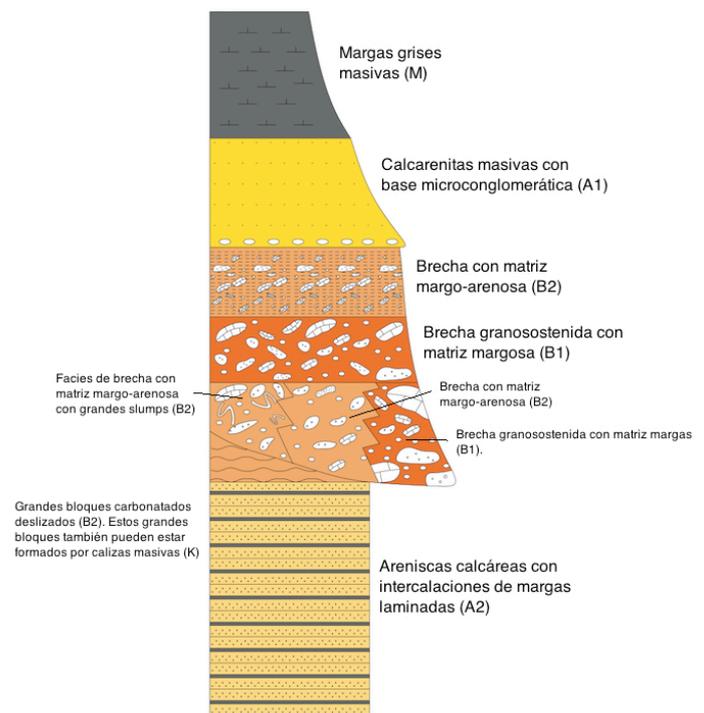


Figura 20: perfil tipo en el que se muestran todas las litofacies estudiadas. Aunque en toda la megabrecha se pueden encontrar slumps, son más importantes en la parte inferior.

La megacapa podría estar en contacto con diferentes materiales, según la zona, e incorporar materiales previamente depositados. La brecha puede ser granosostenida (B1), o sostenida por la matriz margosa con slumps (B2). Asimismo, puede ser un gran bloque de plataforma como ocurre en Villanúa (Fig. 16) o lateralmente al perfil de Torrijos. Sobre este tramo basal aparecen brechas granosostenidas con matriz margosa (B1), y sobre la misma, brechas con matriz margo-arenosa (B2). Por último, calcarenitas masivas con base microconglomerática (A1) y finalmente la serie termina con margas (M). Los slumps pueden afectar tanto a la facies granosostenida (B1) como a la sostenida por la matriz (B2), pero la zona con mayor cantidad de slumps es la base de la megacapa.

Entre las megacapas estudiadas se encuentran similitudes, como la aparición de las mismas facies, pero también se pueden apreciar diferencias, tales como la distinta procedencia de los cantos, de sus dimensiones, así como la energía del flujo de masa deslizado. En la megacapa 3 se pueden observar cantos de mayor tamaño, luego es posible deducir que la energía del flujo que los movilizó fue mayor o que representa una posición más proximal.

Las megacapas se formaron en el Eoceno en momentos de intensa actividad tectónica que provocaron la destrucción parcial de las plataformas carbonatadas y del talud margoso. Estas plataformas deslizaron por el surco marino generando el sistema turbidítico, en el que se encuentran las megacapas estudiadas (Fig. 21). Los materiales deslizaron actuaron como un flujo por gravedad que Pickering y

Corregidor (2005) definen como “mass transport complexes” y se generaron las distintas facies conforme el fluido perdió energía.

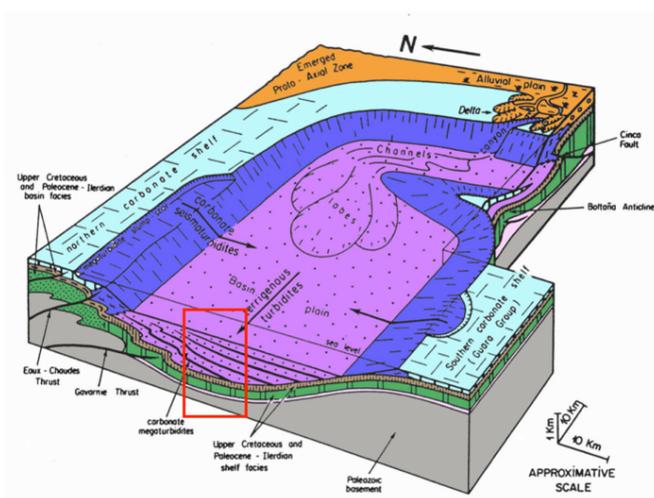


Figura 21: Formación del sistema turbidítico del Pirineo. Tomado de Labaume et al (1985).

De esta forma, es posible correlacionar las facies observadas en el campo con el modelo propuesto por Pickering y Corregidor (2005) (Fig. 22). Al frente se pueden ver las facies en un flujo de alta energía, donde se encontraría la mayor cantidad de slumps. Conforme disminuye la energía del flujo, comienza a darse una mayor organización de los sedimentos.

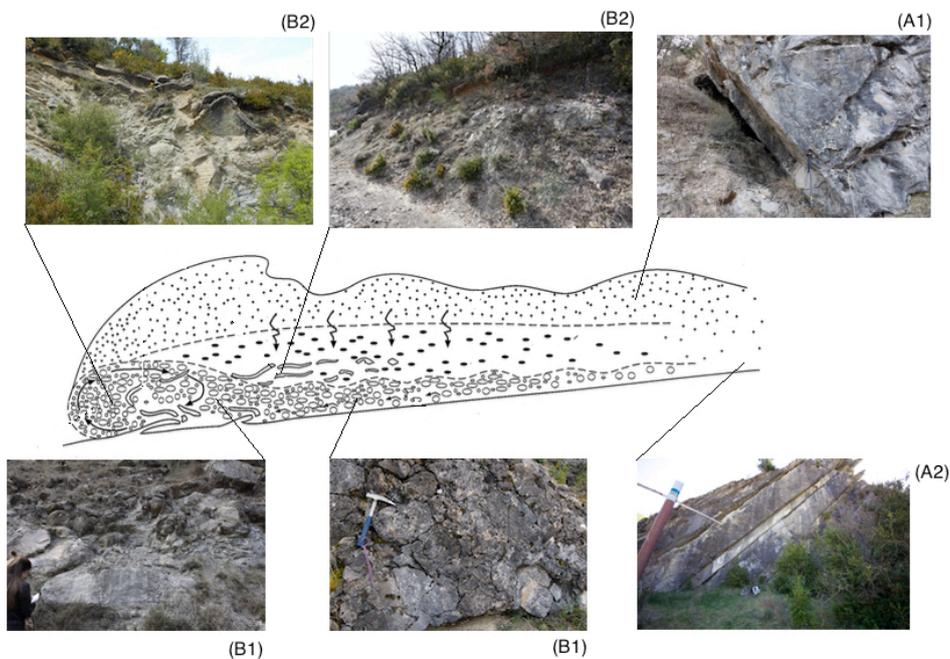


Figura 22: Modelo de Pickering y Corregidor (2005) con la asociación de las imágenes de las diferentes facies propuestas en el presente trabajo.

8. Conclusiones

After the detailed analysis of the megabeds 3, 5 and 8 of the Hecho Group, the main conclusions are:

- The deduction of which are the megabeds exploited in Campo Serrablo. These megabeds are 4 and 8 of the Hecho Group.
- The elaboration of a simplified map based on the cartography of the maps of the MAGNA 144, 176 and 177 series makes it possible to analyze the area of interest in a simple way.
- The logging of 4 stratigraphic profiles and 1 sedimentary sketch that allowed us to analyze in detail and compare the characteristics of the megabeds.

- The study of the 5 outcrops has allowed us to know their lateral and vertical heterogeneity, as well as certain differences with the sequences of Labaume et al. (1983) and Payros et al. (1999).
- 6 litofacies have been proposed in the study of the samples collected in the field, and their characteristics and interpretation have been defined. In this way, it must be taken into account that the facies more suitable for the use as gas storage is the B1 facies, but the presentation of the changes in the amount of the matrix can also be taken into account (and therefore it is not valid as a warehouse) both in the vertical and in the horizontal.
- Prediction models to take into account the heterogeneity of the layers when planning the exploitation surveys in the warehouse layer.

9. Bibliografía

Barnolas, A. y Pujalte, V. (2004): La Cordillera Pirenaica. Definición, límites y división. En: *Geología de España* (Vera, J.A.) Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 233-240.

Barnolas, A. y Teixell, A. (1994): Platform sedimentation and collapse in a carbonate-dominated margin of a foreland basin (Jaca basin, Eocene, southern Pyrenees). *Geology*, 22(12): 1107-1110.

Casas, A.M. y Pardo, G. (2004): *Estructura pirenaica y evolución de las cuencas sedimentarias en la transversal Huesca-Oloron*. Geo-guías, 1: 63-96.

Dasgupta, P. (2003): Sediment gravity flow—the conceptual problems. *Earth-Science Reviews*, 62(3-4), 265-281.

Enagas (en línea). Almacenamientos subterráneos: Folleto Almacenamiento Subterráneo de Serrablo (fecha de consulta: 18/02/2019). Disponible en: <<https://www.enagas.es>>

Gifex (en línea). Comarcas de la provincia de Huesca (fecha de consulta 22/04/2019). Disponible en: [https://www.gifex.com/detail/2010-10-08-12211/Comarcas de la provincia de Huesca.html](https://www.gifex.com/detail/2010-10-08-12211/Comarcas%20de%20la%20provincia%20de%20Huesca.html)

Gil Peña, I., Barnolas, A., Montes Santiago, M., García Ruiz, J.M., Peña Monné, J.L., Martí Bono, C. y Gómez Villar, A. (1996a): *Memoria de la hoja nº177 (Sabiñánigo). Segunda serie (MAGNA), Primera edición*. IGME, Madrid: 82 p.

Gil Peña, I., Malagón Luesma, J. y Montes Santiago, M. (1996b): *Mapa Geológico de España 1:50.000 hoja nº177 (Sabiñánigo). Segunda serie (MAGNA), Primera edición*. IGME.

Heard, T.G., Pickering K.T. y Clark, J.D. (2014): Ichnofabric characterization of a deep-marine clastic system: a subsurface study of the Middle Eocene Ainsa System, Spanish Pyrenees. *Sedimentology* 61, 1298-1331.

Iberpix 4 (Instituto Geográfico Nacional) (en línea) (fecha de consulta 22/04/2019). Disponible en: <<https://www.ign.es/iberpix2/visor/>>

Johns, D.R. Mutti, E. Rosell, J. y Séguret, M. (1981): Origin of a thick, redeposited carbonate bed in the Eocene turbidites of the Hecho Group, South-Central Pyrenees, Spain. *Geology*, 9: 161- 164.

Lablaume, P., Mutti, E., Séguret, M. y Rosell, J. (1983): Megaturbidites carbonates du bassin turbiditique de l'eocene inferieur et moyen sud-pyreneen. *Bulletin de la Société géologique de France*, 7(6): 927-941.

Lablaume, P., Séguret, M., y Seyve, C. (1985): Evolution of a turbiditic foreland basin and analogy with an accretionary prism: Example of the Eocene south-Pyrenean basin. *Tectonics*, 4(7): 661-68.

- Labbaume, P., Mutti, E., y Seguret, M. (1987): Megaturbidites: a depositional model from the Eocene of the SW-Pyrenean foreland basin, Spain. *Geo-Marine Letters*, 7(2): 91-101.
- Millán Garrido, H. (1996): *Estructura y cinemática del frente de cabalgamiento surpirenaico en las Sierras Exteriores Aragonesas*. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 330 p.
- Millán Garrido, H., Pueyo Morer, E.L., Aurell Cardona, M., Luzón Aguado, A., Oliva Urcía, B., Martínez Peña M.B. y Pocoví Juan A. (2000): Actividad tectónica registrada en los depósitos terciarios del frente meridional del pirineo central. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 13(2): 279- 300.
- Mutti, E., Luterbacher, H.P., Ferrer, J. y Rosell, J. (1972): Schema stratigrafico e lineamenti di facies del Paleogeno Marino della zona centrale sudpirenaica tra Tremp (Catalogna) e Pamplona (Navarra). *Memorie della Società Geologica Italiana*, 11: 391-416.
- Payros, A., Orue Etxebarria, X., Baceta, J.I. y Pujalte, V. (1994): Las «megaturbiditas» y otros depósitos de resedimentación carbonatada a gran escala del Eoceno surpirenaico: nuevos datos del área Urrobi-Ultzama (Navarra). *Geogaceta*, 16: 94-97.
- Payros, A., Pujalte, V. y Orue-Etxebarria, X. (1999): The South Pyrenean Eocene carbonate megabreccias revisited: new interpretation based on evidence from the Pamplona Basin. *Sedimentary Geology*, 125(3-4): 165-194.
- Pickering, K.T. y Corregidor, J. (2005): Mass transport complexes and tectonic control on confined basin-floor submarine fans, Middle Eocene, south Spanish Pyrenees. *Geological Society, London, Special Publications*, 244(1): 51-74.
- Puigdefábregas, C. (1975): La sedimentación molásica en la cuenca de Jaca. *Pirineos*, 104: 188p.
- Puigdefábregas, C. (2012): Comparing Roncal and Braux. Linking texture, flow processes and reservoir quality in deep-marine sandstones. *29th IAS Meeting, Schludming*: 394-394.
- Remacha, E. y Fernández, L.P. (2003): High-resolution correlation patterns in the turbidite systems of the Hecho Group (South-Central Pyrenees, Spain). *Marine and Petroleum Geology*, 20(6-8): 711-726.
- Teixell, A. y Barnolas, A. (1995): Significado de la discordancia de Mediano en relación con las estructuras adyacentes (Eoceno, Pirineo Central). *Geogaceta*, 18: 34-37.
- Teixell, A., García-Sansegundo, J.G., Zamorano, M.J. Caus, E., Robador, A., Zorzón, A. y Barnolas, A. (1994a): *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 144 (Ansó) y memoria*. IGME, Madrid. 58 p.
- Teixell, A., Zamorano, M., Remacha, E., Samsó, J.M, Montes, M.J y Barnolas, A. (1994b): *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 176 (Jaca) y memoria. Segunda serie (MAGNA), Primera edición*. IGME, Madrid. 35 p.