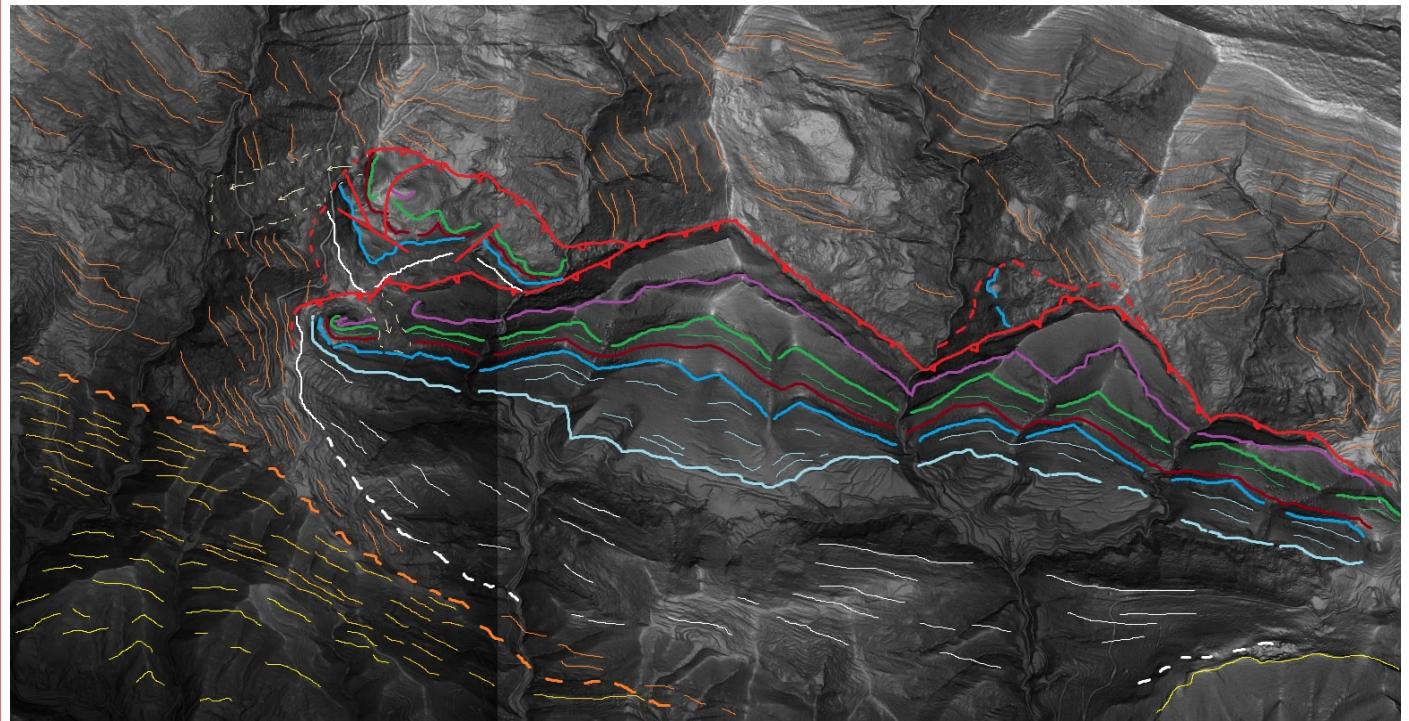


TRABAJO DE FIN DE GRADO

**GEOLOGÍA Y DEFORMACIÓN  
EN EL CABALGAMIENTO DE SAN FELICES (HUESCA)  
(SIERRAS EXTERIORES)**



Autor

Felipe Barbed Ferreiro

Directoras

Belén Oliva Urcia

Teresa Román Berdiel

Departamento de Ciencias de la Tierra

Facultad de Ciencias – Universidad de Zaragoza

Curso 2022/2023

## Índice

### Abstract

1.-Introducción. Planteamiento y objetivos.

2.- Metodología

3.- Situación geográfica y geológica.

    3.1.-Antecedentes.

    3.2.-Estratigrafía general

4.- Presentación e interpretación de resultados.

    4.1.- Estratigrafía y descripción de la serie local.

    4.2.- Estudio estructural. Análisis estructural en afloramiento.

        4.2.1.- Las fallas al NW

        4.2.2.- Desprendimiento

        4.2.3.- La escama o *horse* del Salás

        4.2.4.- La lámina de Artaso

        4.2.5.- Extremo W de la Unidad de San Felices (Zona de San Miguel de Liso)

        4.2.6.- Extremo E de la Unidad de San Felices (Zona de San Esteban-Punta Abadías).

    4.3.- Otros aspectos e interpretaciones.

        4.3.1.- Brechas. Microestructuras

        4.3.2.- Cartografía geológica.

5.- Discusión de resultados.

6.- Conclusiones.

7.- Bibliografía

*“...imponentes crestones calizos verticales, bajan como cuchillos de las cimas al fondo, cortando por una serie de pétreas barreras el descenso al valle, de modo que el caminante llega a dudar seriamente si podrá salir de esa cárcel agobiante de piedra.”*

*Antonio Almela y José M<sup>a</sup> Ríos, 1956. Memoria Magna Hoja 209.*

## Abstract

The Sierras Exteriores are formed by a system of thrust sheets and cover folds, rooted in the South Pyrenean frontal thrust. In its southern part they appear fossilized by synorogenic deposits of the foreland basin (Ebro Basin) from the Oligocene to the Miocene time. The San Felices thrust sheet (Agüero, Huesca) is the westernmost of these thrusts. The local stratigraphy encompassing rocks from Triassic, Jurassic, Upper Cretaceous and Paleogene, their location and their relationship with the materials of the footwall are studied. In particular, a predominance of brittle behavior is observed in the deformation of the materials involved in the formation of cataclasites, especially in the dolomites and to a lesser extent in the limestones (Cretaceous – Eocene). The study of the rocks has been carried out after thin section and polished sections observations of ~100 samples. The access to new outcrops and the new detail mapping allows to describe two duplex horse structures, one of which is a novelty of this work. It is interpreted as a continuation of the Salás horse, described in previous studies. In addition, some variations in the interpretation of the structure are proposed (i.e. new mapped faults). Faults and striae in three sites complete the study of the deformation, together with the analyses of the Anisotropy of Magnetic Susceptibility (AMS) carried out in two sites, which also provides information about the orientation distribution of grains related to the compression in the San Felices thrust sheet.

**Key words:** San Felices, Sierras Exteriores, thrust, horse, thin section, breccia, brittle faults, cataclastites.

## 1.-INTRODUCCIÓN. PLANTEAMIENTO Y OBJETIVOS

Las Sierras Exteriores representan la parte más meridional de la zona surpirenaica y son la manifestación del cabalgamiento que desplazó toda la Cuenca de Jaca sobre el nivel de despegue de los materiales plásticos del Triásico, desde el Cretácico superior al Mioceno, formando diferentes pliegues y escamas no sincrónicos (Teixell, 1995) en el frente sur. Delimitan el borde de la cuenca de antepaís (Cuenca del Ebro) que recibió los depósitos molásicos, procedentes del desmantelamiento de los relieves recién formados.

En 1979, el autor hizo una primera exploración del entonces llamado “klippe” o “tête plongeante” de San Felices (Puigdefábregas, 1975), situado en el lado más occidental de la vertiente sur de las Sierras Exteriores. El interés por la comprensión de esa estructura tectónica persiste, por lo que se ha considerado un buen lugar para poner a prueba los conocimientos, escasos entonces, adquiridos en estos últimos años de formación académica.

El planteamiento inicial era investigar en el plano del cabalgamiento de San Felices (**CSF**, desde ahora) las relaciones e indicadores cinemáticos, a media y pequeña escala, entre el bloque inferior, en el que aparecen “decapitadas” las areniscas de la Fm. Campodarbe, fuertemente invertidas, y el bloque superior que conforma un paquete sedimentario que abarca desde el Triásico hasta el Eoceno en aparente concordancia con ese plano. Pero, la gran revegetación que han sufrido estos montes debido al abandono del territorio, la pérdida de los senderos y de la ganadería extensiva y las repoblaciones forestales de los años 60, los han convertido en un territorio hostil y muchas veces impenetrable, con escasos afloramientos accesibles.

Los objetivos planteados finalmente han sido:

- 1) Completar las descripciones de las unidades litoestratigráficas locales mediante secciones pulidas y láminas delgadas. Comprobar en ellas si son observables microestructuras de deformación.

2) La revisión de las interpretaciones anteriores de la estructura en algunos aspectos en los que aún parece posible efectuar alguna aportación, añadiendo una cartografía a pequeña escala del extremo W.

3) Caracterizar la estructura a escala mesoestructural mediante la medida y análisis de fallas, estrías y foliaciones, y mediante la aplicación Anisotropía de la Susceptibilidad Magnética

El estudio se centra en el lado oeste del **CSF** por cuestiones de interés estructural, de accesibilidad para la toma de muestras (debido al cierre habitual, por riesgo de incendio, de la pista del lado este) y por la limitada extensión del trabajo.

## 2.- METODOLOGÍA

Se han llevado a cabo los siguientes procesos:

1.-En primer lugar, se buscaron los antecedentes de los estudios geológicos en la zona, para lo que se realizó una recopilación y consulta de bibliografía, cortes, mapas, interpretaciones anteriores...

2.-Reconocimiento de la zona previo a las jornadas de campo con las herramientas que ponen a nuestra disposición: el Instituto Geológico y Minero (IGME) en las hojas 208 (UNCASTILLO) y 209 (AGÜERO) del Mapa Geológico de España 1:50000; el Instituto Geográfico Nacional (PNOA LIDAR (Modelos Digitales del Terreno), PNOA IMAGEN (actualidad + vuelo americano)); el Ministerio de Agricultura (SIGPAC), o la Diputación General de Aragón (Visor IDEARAGON 2 y 3D). Con ellas se realizó una búsqueda afloramientos y una captura de imágenes utilizables posteriormente para ubicar los lugares de toma de muestras y realizar la cartografía

3.-**Trabajo de campo:** Se llevaron a cabo 11 jornadas de campo. En ellas se tomaron más de 100 muestras (de unos 10 cm de lado de promedio) con medidas estructurales. En la mayoría de los casos se tomaron fotografías del afloramiento y de la muestra antes de su extracción. Se realizaron medidas de potencia de rocas aflorantes y columnas estratigráficas en zonas concretas. Se tomaron medidas de la orientación de planos de estratificación y de mesoestructuras (planos de falla con estrías, foliación...) con la brújula.

4.-**Trabajo de laboratorio.** Se realizaron secciones pulidas (de todas las muestras, excepto las detriticas sin cementar, hasta abrasivo de grano 2500), 54 láminas delgadas de 28x48 mm y 10 de 52x76 mm en el SAI-Servicio de Preparación de Rocas y Materiales Duros de UNIZAR. De ellas se tomaron fotografías en el microscopio petrográfico y/o lupa binocular. Para observar mejor la textura de las muestras se procedió al escaneo de las láminas con un escáner de diapositivas adaptado (Plustek Optic Film 8100, a una resolución de 7200dpi, con el Software Vuescan 9 x64). Se hicieron medidas de la Anisotropía de la Susceptibilidad Magnética (ASM) sobre las muestras estándar obtenidas (cubos de 2,1x2,1 x2,1 cm) a partir de dos bloques orientados. La ASM es un método válido de análisis estructural ya que se ha demostrado una buena correlación entre las orientaciones de la petrofábrica y de la fábrica magnética en las rocas (Graham, 1954). Las medidas de ASM se realizaron en el laboratorio de Geodinámica Interna de Unizar con un susceptómetro Kappabridge KLY-3 (Agico).

5.-**Trabajo de gabinete.** Los modelos digitales del terreno se han procesado con el software Surfer, con variaciones en la dirección e inclinación de la iluminación y la escala vertical del terreno (x 5 en algunos casos), para resaltar los elementos geológicos de la superficie. Se ha trabajado y creado imágenes en mosaico a partir de las hojas MDT02-ETRS89-HU30-0208-2-COB2, MDT02-ETRS89-HU30-0208-4-

COB2.y MDT02-ETRS89-HU30-0209-3-COB2, en formato ASC, de fecha 2021 y una resolución de 2 m, obtenidas del Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica.

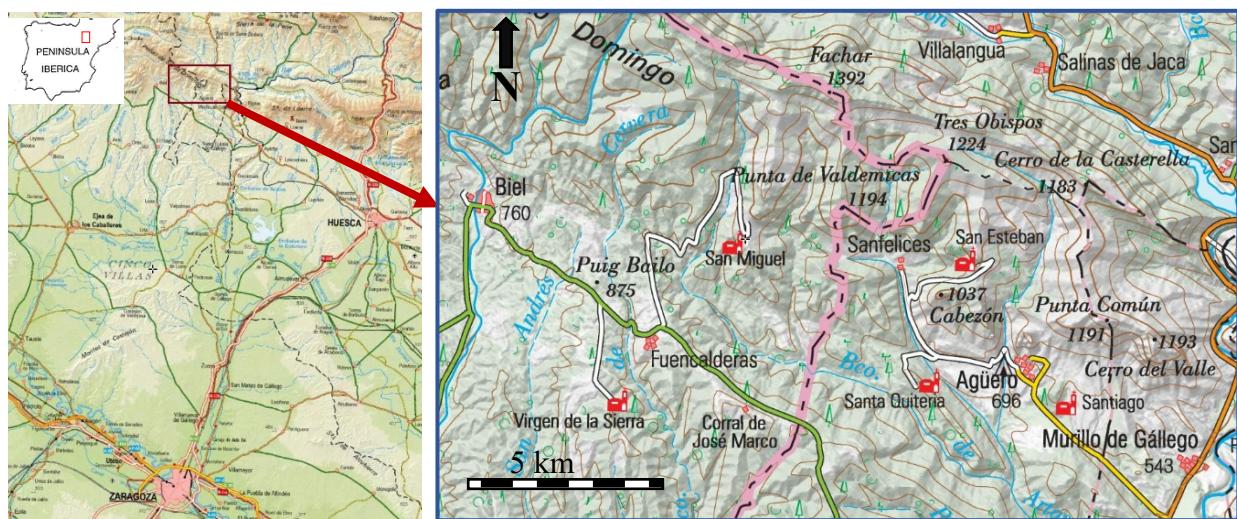
Se ha situado en ortofotos actuales el lugar de toma de cada muestra, el lugar de cada fotografía y de las direcciones y buzamientos tomados. Se ha hecho una cartografía de detalle (escala 1:5000) del extremo W del **CSF** con ayuda del LIDAR y de los datos de campo. Se ha confeccionado una hoja excel con la clasificación de las muestras recogidas (según las clasificaciones de Folk, Dunham, etc.). Se ha hecho una comparación de muestras pertenecientes a la misma unidad de diferentes afloramientos. Se han hecho descripciones macro más detalladas de muestras particularmente interesantes (brechas). Se ha tratado de establecer la estratigrafía local, con descripciones litológicas a nivel de lámina delgada, comparándola con descripciones y unidades de trabajos anteriores para tratar de situar las muestras tomadas en la estratigrafía regional.

El procesado de los datos de ASM se hizo con el programa Anisoft 5 (Chadima y Jelinek, 2009) y las proyecciones estereográficas de las mesoestructuras medidas en el campo con el software Stereonet v. 11.5.1 (Allmendinger et al., 2013).

Se ha hecho un intento de reconstrucción temporal de la evolución tectónica y sedimentaria ilustrándolo con cortes geológicos, bloques diagrama y modelización con materiales plásticos o maleables. Se ha planteado una reinterpretación, a la vista de los resultados, de aspectos de la tectónica, de las fallas y de la extensión hacia el W del **CSF** y del significado estructural del *horse* del Salás y del afloramiento descubierto en Artaso. Finalmente se ha procedido a la redacción y elaboración de las figuras de esta memoria.

### 3.-SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA

El área objeto de estudio está a 80 km al norte de la ciudad de Zaragoza y algo más de 40 al noroeste de la de Huesca. Situada en la vertiente meridional de la Sierra de Santo Domingo, que es la más occidental de las Sierras Exteriores, cadena de montañas de dirección E-W que limitan por el sur el



Figs.1 y 2. Situación geográfica del área de estudio. La zona enmarcada en el mapa de la izquierda aparece aumentada en el de la derecha. La localidad de Fuencalderas se encuentra en la zona central izquierda y la de Agüero en la central derecha. Tomadas y editadas del mapa MTN actual del IGN

Pirineo. Se encuentra en parte en el término de Biel-Fuencalderas (Zaragoza), municipio que forma parte de la mancomunidad de las “Altas Cinco Villas” y, por otro, en parte del término municipal de Agüero (Huesca) (Figs. 1 y 2).



Fig.3. Imagen aérea virtual de la zona estudiada con la toponimia utilizada en este trabajo rotulada en amarillo. Tomada y editada del Visor 3D de Ideargón

El trabajo se centra especialmente en torno a la lineación que forman un conjunto de cimas (Pueluza, Plandemicas, San Caliéen, Punta Abadías) de menor altura (1100-1200 metros) que la divisoria de la Sierra de Santo Domingo, pero que se alinean paralelamente a ella en dirección WNW-ESE. Están separadas por una red de drenaje norte-sur que forma profundos barrancos paralelos (Bergales, Reacuba, Artaso y Villano de oeste a este) que finalmente se unen y fluyen juntos en dirección este hacia el Gállego (Fig. 3).

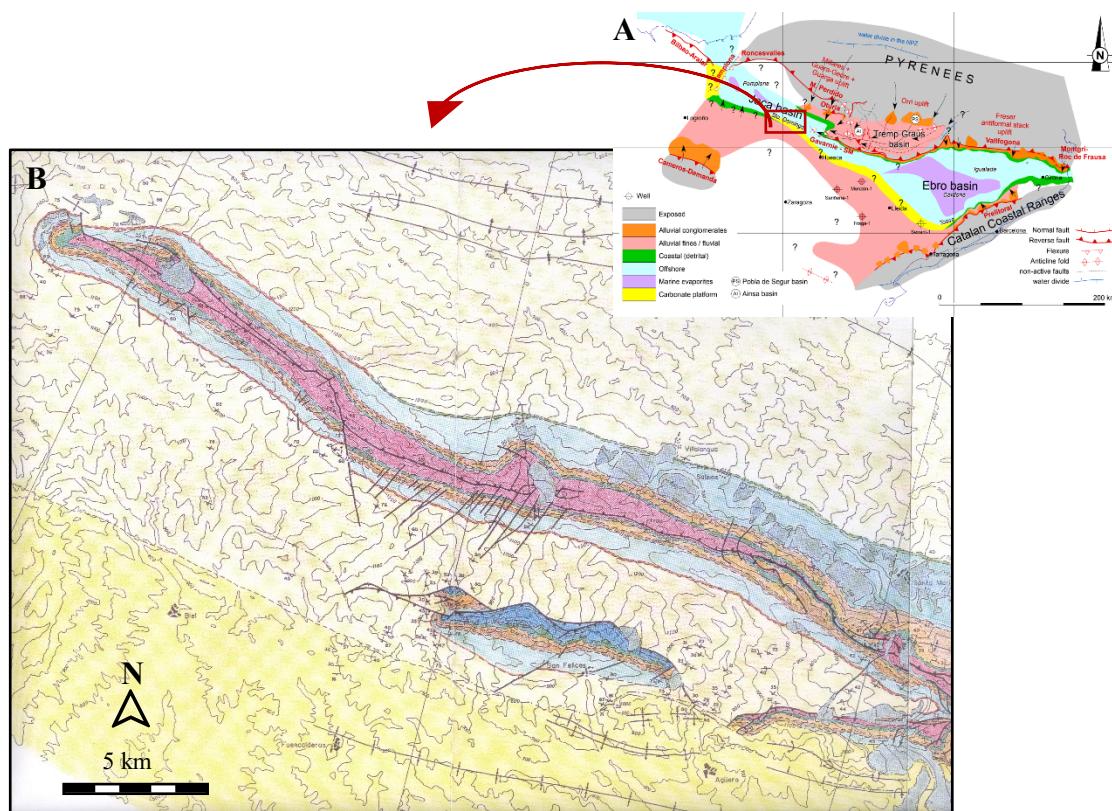


Fig.4. A) Plano del contexto estructural y sedimentario de la zona pirenaica en el Oligoceno (Garcés et al, 2020) en el que se señala en un recuadro la situación de la Sierra de Santo Domingo, (B) Zona ampliada en un mapa geológico actual (Millán, 1996). En él podemos ver al sur, y separada de la gran estructura anticlinal que forma la sierra, la unidad cabalgante de San Felices objeto de este trabajo.

La zona estudiada se encuentra geológicamente en el límite de la Zona Surpirenaica, en el borde N de la cuenca de antepaís (Cuenca del Ebro, Fig. 4A). La Sierra de Santo Domingo es una gran estructura anticlinal de dirección WNW-ESE, con algún pliegue secundario de orientación N-S. Es un anticlinal de despegue, fallado en el plano axial (Soler y Puigdefábregas, 1973). Hacia el este pliega el cabalgamiento de San Felices, objeto de este trabajo, y el de Punta Común. La terminación occidental es un pliegue cónico con una fuerte inmersión del cierre periclinal ( $65^{\circ}$ W). Tiene unos 20 km de largo desde esa terminación por el oeste hasta el Río Gállego (Millán, 1996) (Figs. 4 y 5).

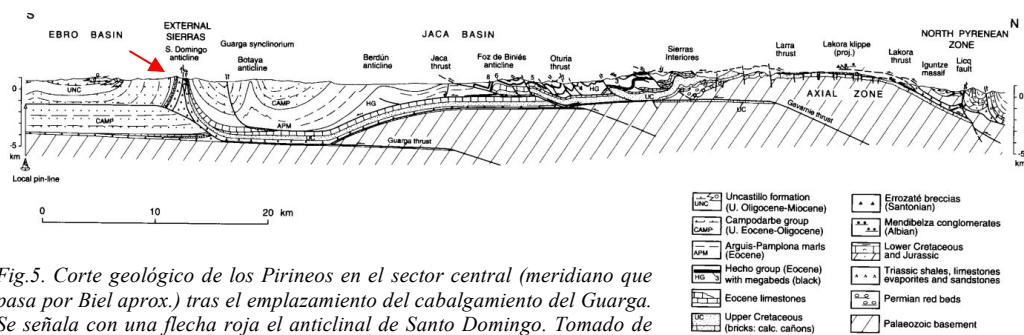


Fig.5. Corte geológico de los Pirineos en el sector central (meridiano que pasa por Biel aprox.) tras el emplazamiento del cabalgamiento del Guarga. Se señala con una flecha roja el anticlinal de Santo Domingo. Tomado de Teixell (1995)

En la vertiente sur de ese anticlinal, toda la serie sedimentaria desde el Keuper hasta el Oligoceno está o bien vertical, cerca del cierre, o invertida, hacia el este. Desde la Ermita de San Miguel (Fuencalderas) a la de San Esteban (Agüero) sobre las capas invertidas de la formación Campodarbe se coloca, cabalgante, la misma serie sedimentaria pero en posición normal buzando al sur. Esta lámina cabalgante sería la parte visible de la unidad aloctona San Felices-Aguas (Millán, 2006) que se encontraría oculta en todo el frente de las Sierras Exteriores por los depósitos Miocenos de la Cuenca del Ebro excepto aquí y en el sector de Vadiello (Fig. 6).

Esta polaridad normal de la serie cabalgante tampoco lo es en la parte occidental de la lámina, con una terminación en forma de anticlinal siniforme al norte de San Miguel de Liso (Soler y Puigdefábregas, 1973). Complicándose aun más la estructura en esta zona ya que aquí el bloque inferior es otra escama del cabalgamiento en la que la serie se encuentra totalmente invertida (*horse of the Salás*) (Millán, 2006) (Fig. 7).

### 3.1.-Antecedentes

Los estudios estructurales del sector occidental de la Sierras Exteriores fueron bastante limitados hasta la década de los 80 del siglo pasado, primero con la llegada de investigadores británicos como Nichols (1984, 1987) y Turner (1989, 1990) y hasta la implantación de grupos de investigación en el incipiente Departamento de Ciencias de la Tierra de Universidad de Zaragoza y otros muchos que en etapas recientes han colaborado con investigadores del IGME o de otros Organismos Públicos.

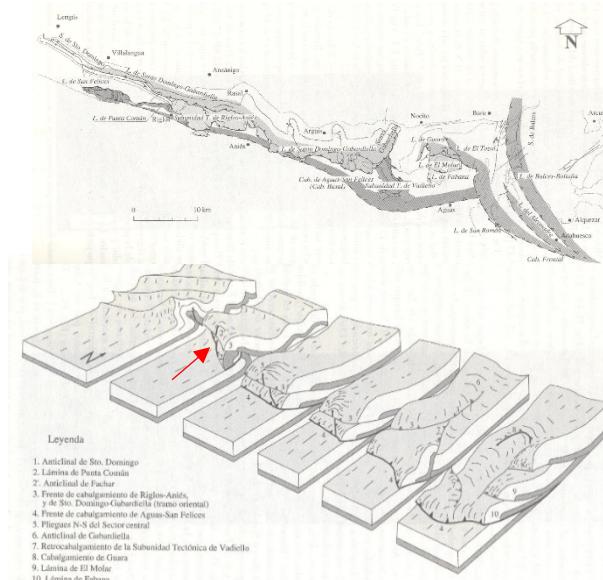


Fig.6. Esquema geológico general de las diferentes láminas cabalgantes y bloque diagrama de las Sierras Exteriores. Se señala con una flecha roja la posición de la lámina de San Felices (Editado de Millán, 2006)

Un siglo antes, a finales del XIX, Lucas Mallada (1898), el pionero, ya realizó algunos cortes geológicos de la zona. Más tarde Selzer (1934) y, posteriormente, Almela y Rios (1954) en la memoria explicativa de los mapas de la primera serie del magna en las hojas de Agüero (209) y Uncastillo (208) hacen una primera aproximación a la interpretación que hoy en día se acepta, con ligeras variaciones, como buena.

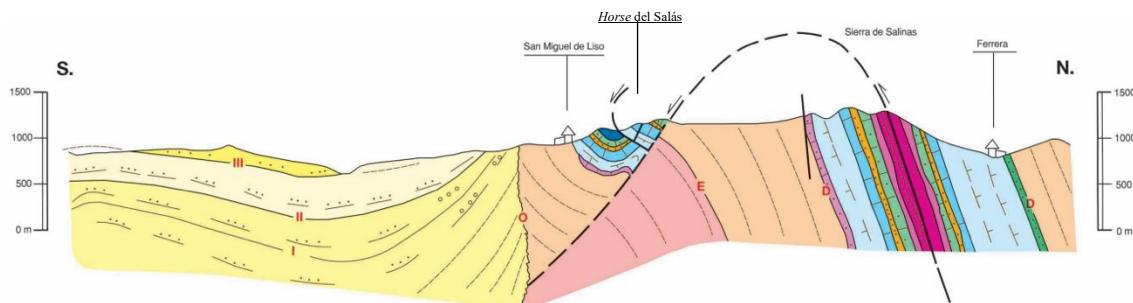


Fig.7. Corte Geológico Norte-Sur por la Ermita de San Miguel de Liso en la Hoja 208 del Mapa Geológico de España 1:50000. Coincidente con la interpretación de Teixell (1995). Se ha añadido la situación del horse del Salás.

Para llegar a ella fueron determinantes los trabajos de Soler y Puigdefábregas (1973) y Puigdefábregas (1975), que la interpretan, en el corte del Gállego, como resultado de dos fases tectónicas. En la primera se desarrollaría un pliegue de vergencia sur, tumbado, fallado en el núcleo, con un frente que queda fosilizado por los conglomerados de Agüero y Riglos, y una segunda fase en que todo este conjunto vuelve a plegarse en otro anticlinal, vergente al sur en el Gállego pero que va perdiendo su vergencia hacia el oeste. Estos autores ya interpretan su origen en el corrimiento de la Cuenca de Jaca hacia el sur, en un movimiento con una componente de giro en sentido horario alrededor de un punto próximo a la terminación periclinal de la Sierra de Santo Domingo (Pueyo et al., 2002, Fig. 8).

Los trabajos posteriores han ido confirmando que fue ese desplazamiento como cuenca de piggy-back el que hizo surgir a los materiales mesozoicos a través de la potente serie molásica que se había depositado y aún se depositaba sobre ellos. El británico Nichols (1984, 1987), aun aceptando ese desplazamiento, puso la nota discrepante intrepretando las estructuras del lado sur (San Felices, Punta Común) como un retrocabalgamiento de dúplex de techo pasivo. Diferentes trabajos (Pocoví et al., 1990), (Millán et al., 1992; 1995; Millán, 1996) ponen énfasis en el atenuamiento de las deformaciones conforme nos encontramos más al oeste, así como en la rotación de las estructuras (en base a datos paleomagnéticos) y su relación con el desarrollo de los anticlinales N-S del flanco septentrional de las Sierras Exteriores asociados a rampas de cabalgamiento (Fig. 8), además de las implicaciones sedimentarias de la evolución de esta deformación que ya puso de manifiesto Puigdefábregas (1975).

Los trabajos para los mapas de la segunda serie del MAGNA (Teixell et al., 1992; Teixell y Sansegundo, 1995) y diferentes trabajos de modelización de la estructura (Millán, 1992, Ramón et al., 2010), de interpretación de datos de paleomagnetismo (Oliva-Urcia, 2012; Sánchez et al., 2012 y 2013), muy

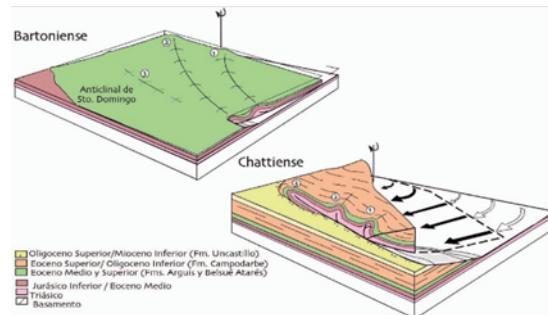


Fig.8 Bloques diagrama de los dos estadios de deformación con componente rotacional que generaron el anticlinal Santo Domingo (Pueyo et al., 2002).

útiles para rotaciones de eje vertical como se ha mencionado, y otros encaminados a establecer dataciones (Oliva-Urcia et al., 2012 y 2018; Pueyo et al., 2016) han ido completando el conocimiento estructural y cronoestratigráfico actual. Sin olvidarnos de otras disciplinas: sedimentología (Arenas et al., 1990 y 2001), estratigrafía y paleontología (Comas et al., 1989; Silva et al., 2012 y 2021; Alegret, 1999; Canudo et al., 1991) cuyas aportaciones en artículos interdisciplinares han sido necesarias para completar el conocimiento de este sector.

### 3.2. Estratigrafía general

**Triásico-Jurásico** Si bien no se reconocen niveles estrictamente evaporíticos en el cabalgamiento objeto de estudio, si afloran los materiales triásicos, en facies Keuper, en el núcleo del anticlinal (Salinas Viejo de Jaca) que habrían actuado como nivel de despegue. Siendo las facies calcáreas atribuidas al Muschelkalk (Almela y Ríos, 1954) las que generalmente dan los relieves más altos en la divisoria de la sierra y en el **CSF**.

Se considera que existe un hiato y que los materiales del Cretácico superior (Santoniano-Maastrichtiense) se superponen, en paraconformidad, a los triásicos (Fig. 9). Aunque existe un pequeño afloramiento margoso de edad **Liásica** (Comas et al., 1989) en el lado sur del Puntal de Plandemicas (Fig. 10). Pero no se ha reconocido en ningún otro lugar, así que en la estratigrafía general de las Sierras Exteriores tiende a ignorarse.

**Cretácico Superior.** La edad de los materiales puede estar entre el Santoniano ( $\approx 86$  Ma) y el Maastrichtiense ( $\approx 71$  Ma), (Pueyo et al., 2016). En general predominan en estas unidades calcarenitas bioclásticas con rudistas y ostreidos de tonos ocres (Almela y Ríos, 1954; Alegret, 1999) que se reconocen bien en toda la parte central del cabalgamiento, pero no fácilmente correlacionables con las formaciones del sector central de las Sierras Exteriores o del flanco norte. También está representada la Fm. Tremp en facies Garumn con un posible hiato sedimentario previo, entre los cronos C31r y C29r del Maastrichtiense (Pueyo et al., 2016) en el bloque inferior.

**Eoceno medio y superior** La serie continúa con unos 100 m de calizas de la Formación Guara que son muy evidentes en el paisaje (Fig. 10). En la vertiente sur de la Sierra contienen menos restos de foraminíferos que en el lado norte y más restos de bivalvos, sobre todo pectínidos, algas y ostreidos (Teixell et al., 1992).

Por encima, a ambos lados de la Sierra, encontramos las características margas grises de la Fm. Arguis (Puigdefábregas y Soler, 1973). Son facies interpretadas como de talud producto de una fase transgresiva. A techo tienen un nivel arrecifal (Fm. Belsué) que genera otra cresta, muy evidente en el bloque inferior, que suele delimitar una depresión longitudinal entre ésta y las calizas de la Fm. Guara, producto de la mayor erosión de las margas, y que llegan a mostrar zonas acarcavadas, llamadas “terreros” localmente.

A los niveles arrecifales lateralmente, en otros sectores, le suceden otras facies de plataforma, transición a continentales, Areniscas de Yeste-Arrés (Puigdefábregas, 1975). Esta tendencia parece que se debió a la pérdida progresiva de comunicación con el Atlántico a finales del Eoceno y comienzos del Oligoceno (Costa et al., 2011).

**Oligoceno inferior y superior** La Formación Campodarbe “está constituida por todas las facies continentales que suceden a las facies marinas del Eoceno medio-superior. El límite superior puede situarse en la base de la discordancia progresiva de los conglomerados de Biel-Gallipienzo”

(Puigdefábregas, 1975). En la Sierra de Sto. Domingo tiene una potencia aproximada de 3500 m (Millán, 1996). Son facies fluviales meandriformes de llanura de inundación. Las paleocorrientes señalan dirección W-NW (Puigdefábregas, 1975).

**Mioceno.** En este sector existe una discordancia progresiva en los depósitos oligocenos que forman un abanico de capas. El contacto con los del Mioceno es una discordancia angular en el Este, en la zona de Agüero, y una paraconformidad, hacia el oeste, en la zona de Luesia (Arenas, 1990). Hay un predominio de conglomerados en este flanco del anticlinal que se manifiestan en el gran abanico que configura la sierra de Luesia, producto de la reactivación tectónica del final del Stampiense que implica la desaparición de los sistemas fluviales procedentes del SE y la generalización de sedimentos conglomeráticos procedentes de los nuevos relieves.

Estos conglomerados y otros que se encuentran al sur de la Sierras Exteriores (Agüero, Riglos...) no son isócronos y se distinguen al menos dos fases. Los de Biel se producirían en la primera y los de la Sierra de Luesia en la segunda (Puigdefábregas, 1975). Para entonces ya se había elevado el Pirineo y comenzado a erosionar. El anticlinal de Santo Domingo además actuó como un punto fijo de despegue, lo que generó la superposición de discordancias progresivas sintectónicas (Sanchez et al., 2015)

Los depósitos de la Fm. Uncastillo son los correspondientes a esta etapa en la que se desarrollan los abanicos aluviales que dieron lugar a los actuales “mallos” y un sistema fluvial extenso, que incluye aportes procedentes del Pirineo Axial (Arenas, 1993; Arenas et al., 2001), que se extiende por todo el frente sur bordeando las facies conglomeráticas como cambio a facies más distales. Son lutitas y limolitas alternando con areniscas de grano medio a grueso (Puigdefábregas, 1975).

La edad de depósito de la Formación Uncastillo abarca desde el Oligoceno superior hasta el Mioceno inferior (Arenas et al., 2001).

#### 4.- PRESENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

##### 4.1.- Estratigrafía Local

Este apartado recoge las observaciones de campo y las de las secciones pulidas y láminas delgadas realizadas sobre las muestras recogidas en el área de estudio. La identificación de las mismas se cita entre paréntesis, fotografías y descripción, si no figuran en el texto, pueden consultarse en los anexos.

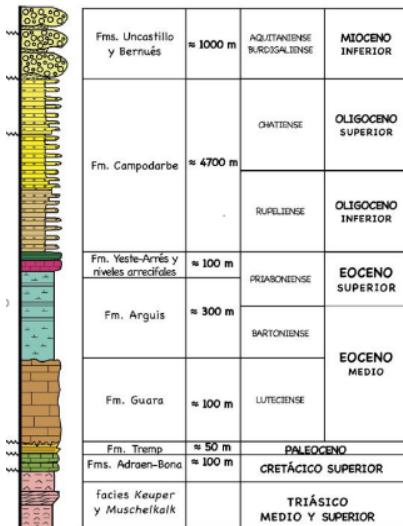


Fig. 9 Columna estratigráfica sintética en la Sierra de Santo Domingo. Tomado de Sánchez (2015)

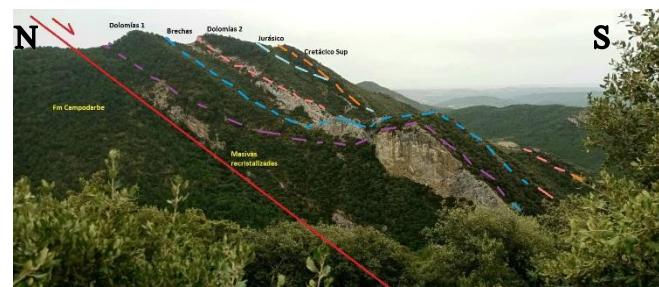


Fig. 10. Bloque superior del CSF en Plandemicas. El Trias estaría representado ahí por cuatro unidades (Calizas masivas recristalizadas, Dolomías1, Brechas y Dolomías 2). Podemos ver la situación del pequeño afloramiento Jurásico. Foto del autor.

**Triásico-Jurásico** En la parte inferior del bloque superior, en el barranco de la Reacuba (Fig. 10), el primero que corta el CSF por el oeste, afloran calizas masivas muy recristalizadas que pueden tener aspecto marmóreo en lámina delgada (P\_8). Sobre éstas, las unidades descritas por Nichols (1987) se reconocen bastante bien sobre el terreno en la zona central de la unidad de San Felices. En Plandemicas, sobre las areniscas invertidas de la Fm. Campodarbe (Puigdefábregas, 1975), los materiales más antiguos observables en el bloque superior son dolomícritas en capas de pocos centímetros, o tableadas (PDM\_6), y sobre ellas unas brechas rojizas (de colapso disolución de anhidrita según Nichols, pero con fuertes evidencias tectónicas (estrías ANEXO X A)) que corresponderían ambas a la Fm. San Calién (Nichols, 1987). Las brechas se continúan hacia el W por ambas vertientes del barranco de la Reacuba (MQ2\_26) pero con una menor presencia de capas dolomíticas (MQ2\_25) que o bien son más masivas o se encuentran recristalizadas o dedolomitizadas. Sobre estas brechas se encuentra un nuevo paquete de dolomías de grano fino tableadas (TAB\_2) (Flgs. 11 y 12) Estas unidades alcanzan en conjunto 150-200 m de espesor.

**Cretácico Superior.** En el horse del Salás, donde la serie se halla invertida, la serie cretácica comienza, desde la cima de Pueluza y en sentido descendente en la topografía, con unas brechas de cantos dolomíticos, de milimétricos a centimétricos, muy angulosos

con porosidad fenestral en matriz calcítica (PU-3) (Fig. 13). La brechificación parece progresivamente menor en niveles más modernos (PU\_2, PU\_2½) conforme las dolomías son más tableadas. Estas se continúan ahí con niveles bioclásticos y arenosos (T\_1 A y B) (fig 14A) que se brechifican (T-2) (FIG. 14C) en el contacto con los niveles lutíticos rojizos en facies Garum

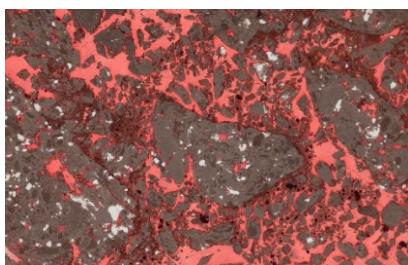
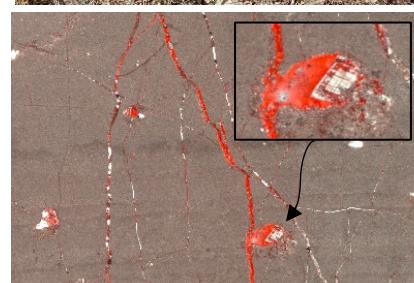


Fig. 13. Microfotografía de la muestra PU\_3. Fragmentos de dolomía en tonos marrones, en rojo (por tinción) cemento calcítico. Campo 2x1,2 cm. Foto del autor.

(T\_6) (Figs. 14B y 14D) que parecen haber actuado como nivel local de despegue, además de favorecer actualmente la reptación ladera abajo de la masa de bloques que se desprenden por la fuerte fracturación de estas unidades.

**Eoceno.** Las Alveolinas y Miliólidos del Miembro Guara Superior (Silva, 2019) están presentes en la cota media de las Rallas de San Miguel (muestras Sm\_26 y Ss2\_2), en la cota inferior W de la Ralla del Salás, donde está invertida, junto con



Figs.11. Aspecto de campo y toma de muestras. en el segundo tramo de dolomías triásicas. Foto T. Román.

Fig.12. Microfotografía de esas dolomías (TAB\_2) La tinción pone de manifiesto la calcita formada en las grietas y las sustituciones zonadas en algunos cristales romboédricos de dolomita. Campo 2x1,3 cm. Foto del autor.

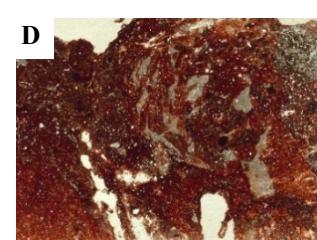
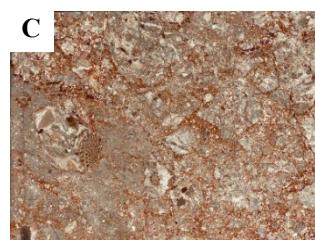
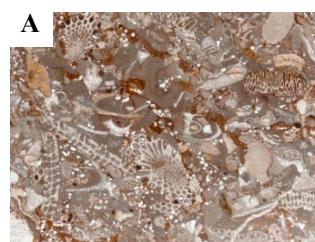


Fig. 14. A) Microfotografía de la muestra T\_1, caliza arenosa bioclástica del Cretácico Superior. B) Contacto entre esas calizas y las arcillas en facies Garum, muestra T\_2. C) Brechificación en las calizas en contacto con las arcillas. D) Microfotografía de las arcillas rojas que contienen cantos calcáreos de color claro. Muestra T\_6. Campo 1 x 0,6 cm. Fotos del autor.

numulítidos (Ss3\_1) y en la vertiente Este del *horse del Salás* (MQ2\_5). También puede reconocerse el nivel de areniscas glauconíticas del Miembro Santo Domingo (Silva, 2021) bajo el escarpe del lado norte (Ss\_1y Ss\_2) y bajo el de la “Cueva de los Maquis” (bioesparitas tipo packstone (MQ2\_2, MQ2\_3 y MQ2\_4). Estas muestras tomadas en la terminación W pueden correlacionarse con las series estudiadas por Silva en la sección de San Calien, al E de San Felices, y las realizadas al N, en el bloque inferior, en la Osqueta y Campo Fenero, en la divisoria de la Sierra. Este Miembro se ubica cronoestratigráficamente dentro de la Fm. Arguis como un cambio lateral de facies (Silva, 2021).

En la zona de Artaso se ha localizado un importante paquete sedimentario, unos 30 m de serie, marino sin duda (en un área cartográfica tradicionalmente atribuida a la Fm. Campodarbe), con facies bioconstruidas, de carácter predominantemente recifal con presencia de abundantes algas rojas en muchos niveles, foraminíferos bentónicos (miliólidos, etc.), algas dasicladáceas, espongiformidos (ver ANEXO IV). Precisando en cada muestra:

AT\_-1: Con presencia de "Gypsina" moussaviani. Edad: Luteciense - Bartoniano.

AT\_2: Rotálidos. Similar a la muestra AT\_5, que se describe a continuación.

AT\_5: Esta facies se ha visto con las mismas características en el Luteciense de la Fm. Guara. (Silva, 2021). Algunos rotálidos se asemejan a especies del Lutenciense, aunque sin precisar, ya que las secciones no son las adecuadas. En cualquier caso, queda excluida la posibilidad de que esta muestra sea del Mesozoico. Además, las formas incrustantes que se encuentran en la parte superior de la muestra parecen Solenomeris, un foraminífero incrustante también frecuente en la Fm. Guara.

AT\_7: También con presencia de rotálidos que, si bien tampoco se pueden identificar completamente, son similares a los que aparecen en la Formación Guara. También se observa la presencia de Sphaerogypsina globulus (Lutenciense medio-Oligoceno).

AT\_8: Presencia de un foraminífero rotálico probablemente del género Gyroidinella, también de afinidad Luteciense.

AT\_9: Presencia de Fabiania cassis y Solenomeris ogormanii (Luteciense o Bartoniano).

AT\_10: Facies bioconstruida sin elementos diagnósticos de edad.

AT\_14: Presencia de Rotalidos, Sphaerogypsina globulus, "Gypsina" moussaviani (Luteciense y Bartoniano) (Fig.15).



Fig. 15 Microfotografía escaneada de la lámina AT\_14, con abundantes algas rojas coralinas. Señalada con una flecha roja Gypsina moussaviani. De la base del afloramiento de Artaso en su parte norte. Campo 1.5 x 0.6 cm. Foto del autor.

Todas ellas tienen características de la Fm. Guara, bien del miembro Guara superior (Luteciense superior) o del miembro Santo Domingo (Bartoniano inferior). Los foraminíferos presentes no permiten una determinación muy precisa de la edad, pero se trata sin duda de faunas Eocenas. En cualquier caso, la presencia de facies bioconstruidas es más frecuente en Guara superior. Las algas rojas son también muy abundantes y un indicador más.

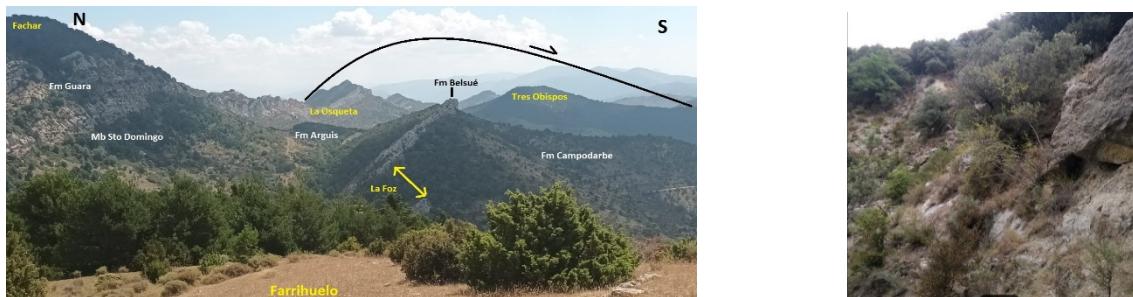


Fig. 16. A) Bloque inferior invertido visto desde Farrihuelo. Se observa la depresión alargada que define la Fm. Margas de Arguis y una falla transversal con un salto importante (en amarillo) que afecta al nivel transicional. B) Afloramiento de la Fm. Arguis en el lado W de la escama del Salás, en la orilla derecha del Barranco de la Reacuba. Foto del autor.

En la Fm. Arguis la potencia de la unidad es mucho menor en la vertiente sur, bloque inferior, 300 m, que en el bloque superior (600-700 m en el Pantano de La Peña y algo menos en San Felices). En lámina delgada tiene un contenido fosilífero escaso, algún foraminífero (Sm\_16), que no nos permite la datación más allá de lo ya establecido por otros autores. Se reconoce esta unidad, además de en todo el frente sur del **CSF**, en el “horse”, tanto en la collada entre las Rallas del Salás y de San Miguel, y en el fondo del barranco de la Reacuba (Peñalén) donde hay un afloramiento margoso o “terrero” (fig. 16B).

La unidad de transición (Fm. Belsué) que da paso a los sedimentos fluviales es difícilmente reconocible en la zona de la ermita de San Miguel de Liso. Hay un afloramiento al norte que pudiera serlo de areniscas grises de matriz calcárea con esquistosidad y tal vez laminación flaser (Sm\_14), similares a otras (Pi\_8) que existen al otro lado del pequeño barranco que desciende hacia el oeste desde la collada que separa las Rallas. Existe algún banco de arenisca rojiza (Sm\_13) similar a los que pueden encontrarse en el bloque inferior en la base de la Fm. Campodarbe. Si se constata la presencia de areniscas de grano muy fino o limosas con abundante bioturbación en la pista (Sm\_8, Sm\_11...) y también en el camino viejo en niveles algo más modernos (Fig. 17).

**Oligoceno-** Los conglomerados y microconglomerados que se van sucediendo a partir de la discordancia angular que fosiliza el frente sur del **CSF** muestran una gran variedad de fragmentos líticos



Fig. 17. Limolita con bioturbación de la Fm. Campodarbe en la proximidad de San Miguel de Liso. Muestra Sm\_8. Foto del autor.

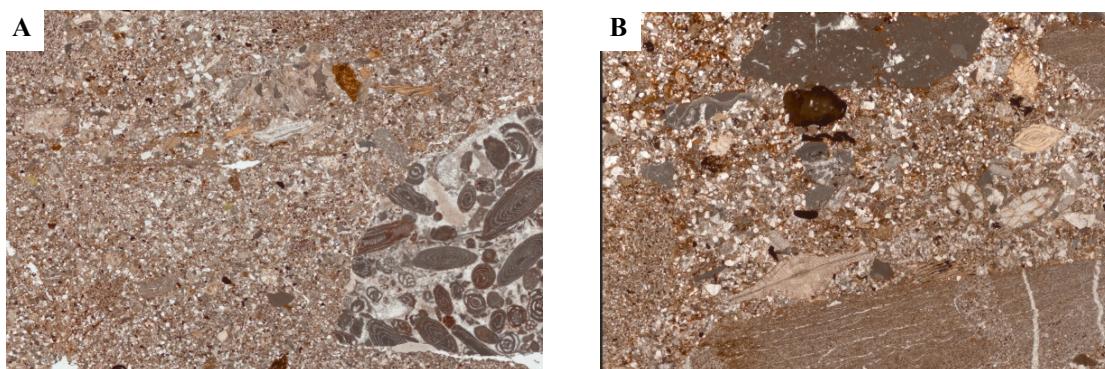


Fig. 18.- Microfotografías escaneadas (campo 2x1,2 cm) de láminas delgadas de las muestras (PR\_1), foto A, con un canto de caliza de alveolinás y milíolidos, y (PR\_6), foto B, que contiene cantos dolomíticos, cantos limosos con laminación, y secciones de diversos foraminíferos (discocyclina, nummulites...), fragmentos de briozoa...procedentes de la Fm. Guara y reelaborados. Muestras de la Fm. Campodarbe tramo superior. Fotos del autor.

(dolomías, areniscas, calizas...) e incluso fósiles individualizados, completos o fragmentados (nummulites, alveolinas, discocyclinas...), procedentes del desmantelamiento de las rocas precursoras, todo ello envuelto en una matriz arenosa con cemento calcáreo (PR-1) (PR\_6) (Figs. 18 A y B).

**Oligoceno Sup-Mioceno.** En esta zona, al sur del CSF, la sedimentación conglomerática en la Fm. Uncastillo es menor que en las áreas de Biel, Agüero o Riglos, pero es posible encontrar entre los sedimentos arenosos, que predominan, algunos episodios en los que se movilizaron cantos de cierto tamaño, de 2 a 5 cm (PR\_0). Pueden verse algunos bancos de espesor métrico ya con buzamiento de unos 30 grados en el camino viejo de San Miguel, cerca de los Bergales, y en la pista 1 km al oeste.

#### 4.2.- ESTUDIO ESTRUCTURAL

En este apartado se revisan las interpretaciones macroestructurales realizadas hasta la fecha y se aportan nuevas observaciones y resultados meso y microestructurales de los sectores que se han podido estudiar

##### 4.2.1.- Las fallas al NW

Se ha revisado, con los modelos digitales de elevaciones (MDTs) (Ver ANEXO III), algunas estructuras tectónicas de escala kilométrica, puestas de relieve en las sucesivas cartografías de la zona, muchas de ellas interpretadas sobre las fotografías aéreas del vuelo americano de 1956, ya que la revegetación del terreno hace muy difícil su visión en las ortofotos actuales a pesar de su mayor resolución. La posibilidad de modificar la escala vertical y la iluminación en el modelo digital permite un mejor seguimiento de la estratificación.

Al NW del cabalgamiento de San Felices (CSF) aparecen en la cartografía del IGME (2009) y en la de Teixell (1995) dos fallas N-S de más de 2 Km que entroncan con el núcleo del anticlinal de Santo Domingo (ver ANEXO III C). La que está más al W no podemos reconocerla y la oriental no parece que alcance esa longitud ni llegue a enraizar con la supuesta prolongación del plano de cabalgamiento al W de Pueluza que reflejan estas cartografías ni con la discordancia que fosiliza el frente sur del CSF (ANEXO III, B4). En las cartografías de Puigdefábrefas (1975) o Millán (1996) (ver Fig. 4) tampoco aparece esa falla al W, y la segunda (falla de Santa Engracia; Millán, 1995) tampoco alcanza esa longitud. Lo que si hemos observado en las primeras unidades de la Fm. Campodarbe son secuencias en onlap, sobre la Fm. Belsué, a ambos lados de la falla principal (ANEXO III, A1 y B1). Desde la falla, 2 km hacia el NW, hay un aumento de espesor en la formación de unos 500 mts.

##### 4.2.2.- Desprendimiento

La prolongación del CSF hacia el W tampoco podemos verla con claridad. Se observa un desprendimiento, activo hoy en día (ANEXO III, B3), desde la base de la punta de Pueluza con un canchal de bloques de decimétricos a métricos, de al menos 250 m de longitud, que cruza la pista forestal en la parte alta y que también alcanza el tramo inferior de la misma (sube en zigzag) donde llega a haber bloques de calizas con alveolinas. Este desprendimiento que también se reconoce en el vuelo americano (AMS 1956-1957) parece alcanzar el barranco de los Bergales (a 750 m de distancia del escarpe). Esa ladera tiene una pendiente media del 25%. La falta de estratificación hacia el oeste, al otro lado del barranco, parece deberse a la gran superficie estructural que ofrece una ladera con la misma inclinación que el buzamiento de la Fm. Campodarbe en ese punto (135,45 NW i), hecho que se ve refrendado por la ausencia histórica de cultivos (ANEXO III, B2).

#### 4.2.3.- La escama o *horse* del Salás.

Se trata del mismo paquete sedimentario que el del cabalgamiento principal, pero con la serie totalmente invertida y un buzamiento general, oblicuo respecto al CSF, de unos 30° al NE. La interpretamos como una escama de duplex de flanco invertido (Fig. 19A). Se sitúa al norte de San Miguel de Liso en la parte más occidental del CSF y por detrás de su terminación antiforme.

La Punta de Pueluza presenta en su parte superior dolomías intensamente brechificadas “sobre” calizas invertidas del Cretácico Superior en estructura sinforme, (ANEXO XII, 7) y otra elevación menor, al SE de la anterior, con calizas muy recristalizadas, similares a las de la base del CSF

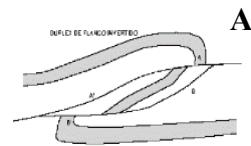


Fig. 19. A Relaciones de corte en díplex invertido, tomado de Román Berdiel y Casas Sainz (2013). B Vista lado W, desde Plandemicas, del “horse del Salás”. C Espejo de falla. Muestra MQ\_2. D Calizas eocenas con buzamiento 30° norte en el fondo del barranco de la Reacuba. E Falla de unos 5m de salto afectando a la Fm. Guara y a la Fm. Tremp en el lado este del horse del Salás. Fotos del autor.

en la Reacuba, con una probable falla entre ambas (Fig. 19B). Topográficamente, bajo estas calizas recristalizadas encontramos al este microconglomerados y calcarenitas tableadas con la estratificación invertida buzando al norte (Fig. 20B).

Las calizas de Guara inferior forman un escarpe, de unos 70 m de altura por el oeste (Ralla del Salás) y el sur, que también se sigue por la ladera este con menor altura (Fig. 19D). Es en esta formación donde se han observado una mayor presencia de indicadores cinemáticos (espejos de falla con estrías y esquistosidad) (Fig. 19C) (ANEXO X). Hay algunas fallas con importantes, saltos de hasta unos 10 m, en la Fm. Guara (Figs. 19E y 21A) y, por otra parte, las lutitas rojas de la Fm. Tremp parecen haber actuado entre estos paquetes calcáreos como nivel de despegue local por la brechificación tectónica que se observa en las zonas de contacto (T\_2) (ver Figs. 14B y 14C). Se han tomado medidas en algunos planos

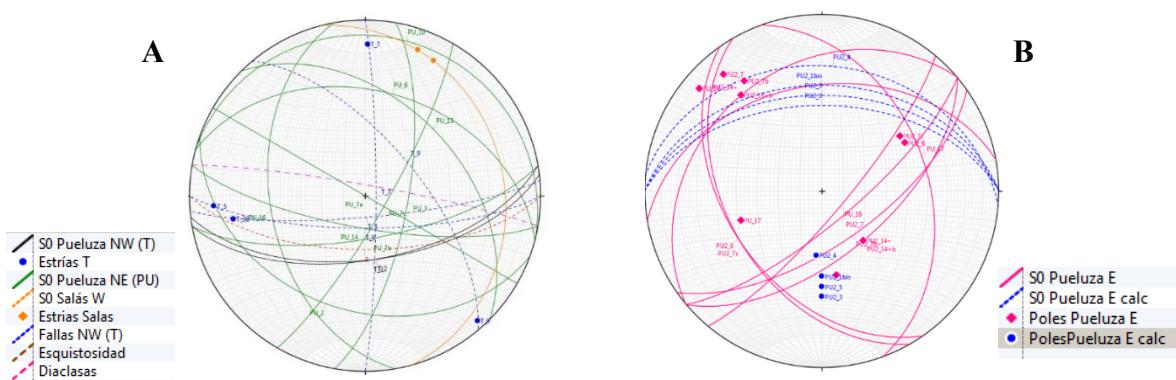


Fig 20 A) Estereograma de medidas en los lados Norte y Oeste del horse del Salás. Líneas negras estratificación (S0) en afloramientos NW (T), en azul fallas T y sus estrías, en verde estratificación (S0) en afloramientos NE (PU), en naranja estratificación calizas y estrías del Salás. B) Estereograma de medidas en el lado Noreste del horse del Salás. Líneas discontinuas y círculos azules planos de estratificación(S0) y sus polos, agrupados, medidas en las calcarenitas tableadas del lado Este de Pueluza, aforamientos PU2. En fucsia, el resto de medidas de estratificación y polos en calizas y dolomías, próximas al contacto con el bloque inferior, excepto en PU2\_17 que es un plano de cizalla.

de falla y el cabeceo de las estrías, tanto en la ladera NW de Pueluza como en la W del Salás (Fig. 20A), el bajo cabeceo de las estrías indica un movimiento direccional.

Al NE, en los límites con la rampa del bloque inferior y la Fm. Campodarbe encontramos calizas y dolomías masivas o tableadas intensamente fracturadas y brechificadas, en las que no suele ser fácil reconocer los planos de estratificación. Existen afloramientos muy descompuestos con escarpes que llegan a superar los 10 m. En ellos podemos observar alguna estructura sigmoidal de tamaño métrico y planos de cizalla con brechificación (Fig. 21B) y cataclastitas (PU2\_16 y 17) (ver ANEXO VII).



Fig 21. A) Interpretación de una falla en el Mb Santo Domingo de la Fm. Guara (Foto B Oliva). B) En rojo una estructura sigmoidal en dolomías probablemente cretácicas del límite NE de la escama del Salás. En azul bandas de cizalla y brechas. En amarillo planos de estratificación (S0) probables. El sombreado de vegetación perjudica la visión de las estructuras, más evidentes al natural.

Se han tomado dos muestras orientadas (MQ\_1 y MQ\_2) para medidas de ASM en espejos de falla (Fig. 22) del escarpe sur antes mencionado, que forma la Fm. Guara, en la base del miembro inferior o Santo Domingo, de la Fm. Arguis (Silva, 2019). En general muestran susceptibilidades bajas (entre 30 y  $65 \cdot 10^{-6}$  SI, Fig. 23).

La muestra MQ\_1, con 16 especímenes analizados, presenta una lineación magnética ( $k_{\max}$ ) in situ poco definida y un eje  $k_{\min}$  agrupado en torno a la vertical (Fig. 23A izq.). El valor predominante de la

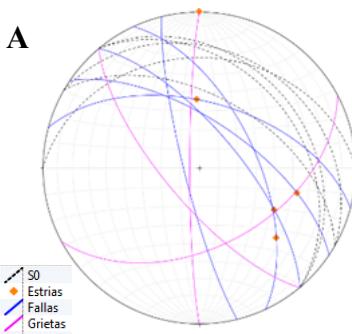


Fig. 22.- Estereograma de medidas en la zona del Salas sur (MQ). En líneas negras discontinuas planos de estratificación, líneas fucsia grietas de extensión, azules fallas, rombos naranjas estrias.

susceptibilidad es ligeramente más bajo que en la muestra MQ\_2, entre  $30$  y  $35 \cdot 10^{-6}$  SI (Fig. 23B izq.). Los valores representados en la gráfica de la relación entre el grado de anisotropía,  $P_j$ , y la forma del elipsoide,  $T$ , predominan en el campo que señala una forma oblata (Fig. 23C izq.).

La muestra MQ\_2, con 31 especímenes analizados, presenta el eje  $k_{\max}$  bastante bien agrupado in situ, con orientación 248/3 y el eje  $k_{\min}$  orientado 158/8 (Fig. 23A dcha.). Predomina un valor de la susceptibilidad bajo entre  $40$  y  $45 \cdot 10^{-6}$  SI (Fig. 23B dcha.). La gráfica de la relación entre el grado de anisotropía,  $P_j$ , y la forma del elipsoide,  $T$  (gráfico de anisotropía de Hrouda-Jelinek) señala una forma débilmente oblata para éste (Fig. 23C dcha.).

En ambas muestras, el gráfico de correlación entre la anisotropía ( $K$ ) y el grado de anisotropía corregido ( $P_j$ ) señala una cierta relación lineal inversa entre ambas, resultando que el incremento de la primera se corresponde a una disminución de la segunda como se aprecia en las líneas de tendencia estimadas de dichos gráficos (en rojo, Figs. 23D).

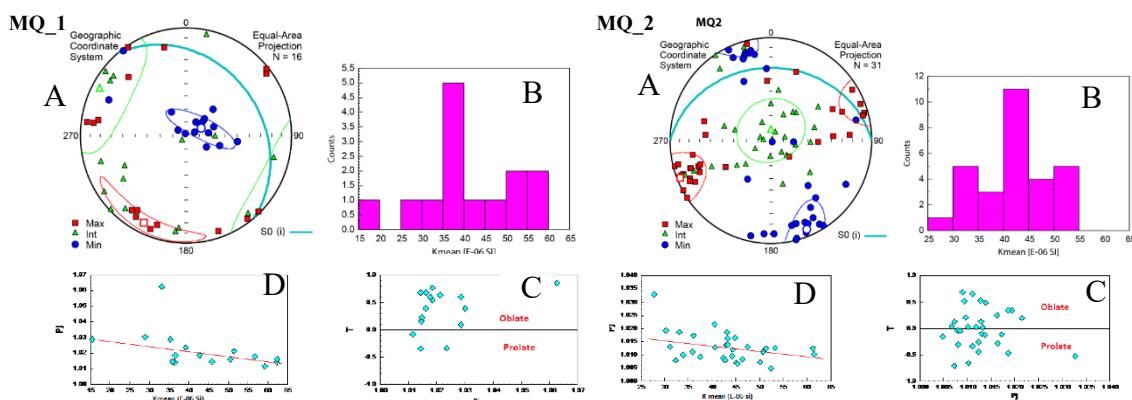


Fig 23.- A) Estereogramas de ASM de las muestras orientadas MQ\_1 y MQ\_2 in situ. B) Histogramas de distribución de los valores de susceptibilidad C) Gráficos de anisotropía de Hrouda-Jelinek en el que se señala el campo de los elipsoides oblatos o proláticos. D) Gráfico de correlación entre la susceptibilidad ( $K_{\text{mean}}$ ) y el grado de anisotropía ( $P_j$ ). Gráficos obtenidos con el software Anisoft.. Debajo está la tabla de resultados.

| SITE            | Coord UTM      | Nº esp | Kmean   | Std.Err. | $P_j$ | Std.Err. | T     | Std.Err. | $K_{\text{max}}(D/I)$ | Conf.ell.Jelinek | $K_{\text{int}}(D/I)$ | Conf.ell.Jelinek | $K_{\text{min}}(D/I)$ | Conf. Ell.Jelinek |
|-----------------|----------------|--------|---------|----------|-------|----------|-------|----------|-----------------------|------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|-------------------|
| MQ_1 in situ    | 676052/4695047 | 16     | 43 E-06 | 8 E-06   | 1012  | 0.012    | 0.232 | 0.378    | 206/10                | 38/8             | 298/8                 | 38/30            | 65/77                 | 30/8              |
| MQ_2 in situ    | 676035/4695028 | 31     | 43 E-06 | 13 E-06  | 1009  | 0.006    | 0.021 | 0.372    | 248/3                 | 29/14            | 360/82                | 27/25            | 158/8                 | 26/12             |
| MQ_1 restituido | 676052/4695047 | 16     | 43 E-06 | 8 E-06   | 1012  | 0.012    | 0.232 | 0.378    | 260/37                | 38/8             | 156/18                | 38/27            | 45/47                 | 30/8              |
| MQ_2 restituido | 676035/4695028 | 31     | 43 E-06 | 13 E-06  | 1009  | 0.006    | 0.021 | 0.372    | 108/13                | 29/15            | 0/52                  | 29/24            | 207/35                | 26/12             |

La orientación de los ejes del elipsoide magnético una vez abatida la estratificación a la horizontal (Fig. 23 bis) correspondería a una fábrica tectónica, donde el eje  $k_{\min}$  se dispone indicando una dirección de acortamiento máximo NNE-SSW (MQ2) a NE-SW (MQ1). Los ejes  $k_{\max}$  (dirección de estiramiento) se disponen subhorizontales en dirección ESE (MQ2) y ENE (MQ1). Este tipo de fábricas aparecen en estadios avanzados de deformación (Soto et al., 2022).

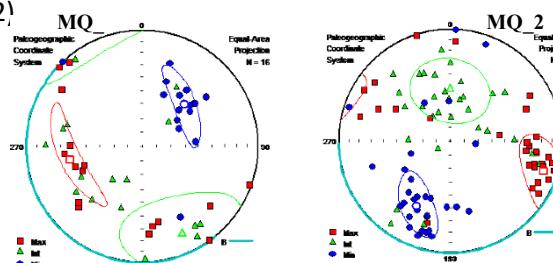


Fig. 23 bis. Estereogramas de ASM de las muestras orientadas MQ\_1 y MQ\_2 una vez abatida la estratificación a la horizontal.

#### 4.2.4.-La lámina de Artaso

Durante el desarrollo del trabajo de campo se ha reconocido de manera novedosa en la margen izquierda del barranco de Artaso (zona centro oriental de la zona de estudio, Fig. 3) un afloramiento de rocas calcáreas marinas de edad Eocena (Fig. 24A) en un área cartográfica atribuida tradicionalmente a la Fm. Campodarbe, que es fluvial. Esta litología puede estar relacionada con otra lámina de cabalgamiento o bien con la prolongación hacia el oeste de la lámina del Salás (Fig. 19B). Solamente Millán (1996) en su cartografía (ver figura 4B) incluye una escama bajo el CSF al norte de San Felices, pero de materiales triásicos.



Fig. 24. A) Afloramiento de calizas marinas recifales, señalado con una flecha amarilla, en la ladera W del Barranco de Artaso, al Norte del plano principal del CSF (en rojo) y con buzamiento contrario hacia el NNW, paralelo al de la Fm. Cambodarbe. B) Vista desde el afloramiento hacia Plandemicas, En primer término, calizas de la muestra AT\_1. Fotos del autor.

El afloramiento principal, el más alejado del plano del CSF, tiene unos 120 m de longitud y unos 30 m de altura de calizas de tonos claros en su parte superior y más pardo en los intermedios. De acuerdo con lo descrito en el apartado de estratigrafía local, la edad es Eocena, pero no se ha podido establecer la polaridad de la serie ni por criterios estratigráficos ni paleontológicos de modo que no podemos decir si está invertida como en el Salás. Hay otro afloramiento al sur, a una cota similar, de tono ocre aparentemente dolomítico, tableado y muy diaclasado verticalmente con una probable falla entre ambos. Hay otro afloramiento, de aspecto calcáreo, a una cota superior alineado con los anteriores y otro, cerca de la cima (San Calién, Fig. 3), probablemente relacionado. La estratificación del bloque principal, que es al único que se ha podido acceder y se ha muestreado, presenta una dirección media

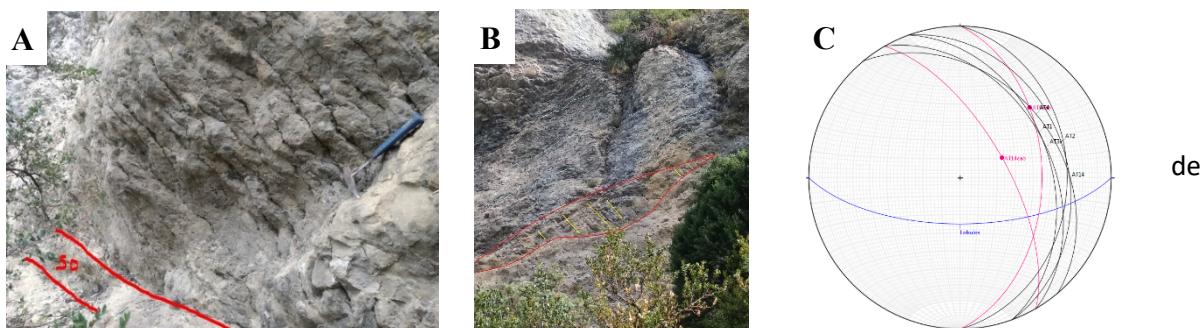
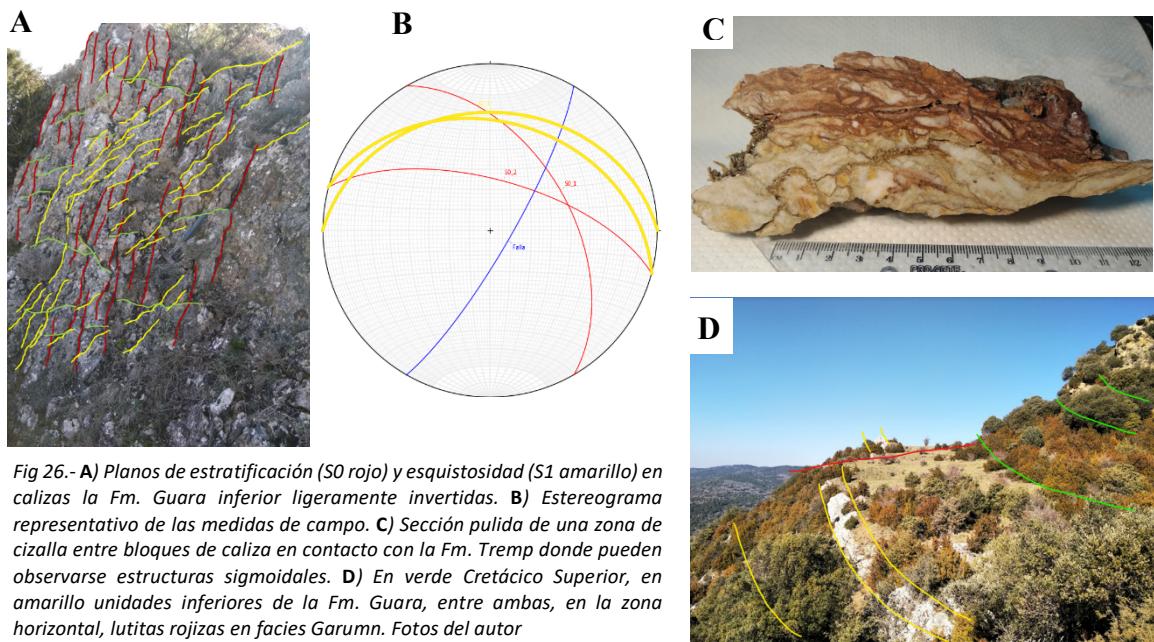


Fig.25. A-B) Foliación tectónica en el tramo medio de la escama de Artaso, oblicua a la S0 (rojo). C) Estereograma representando con líneas negras los planos de estratificación (S0), foliación tectónica (azul) y de los planos de falla con estrías (líneas y puntos fucsia) observadas.

160° y un buzamiento de 35°E. Se han medido dos espejos de falla [(000, 45E / 45N) y (150, 65NE / 70NW)] (Fig. 25C). En la parte media del bloque principal, la serie está afectada en varios puntos por una foliación tectónica anastomosada poco penetrativa con un espaciado de unos 10/12 cm, oblicua a la estratificación (Figs. 25 A y B).

#### 4.2.5.- Extremo W de la Unidad de San Felices (Zona de San Miguel de Liso).

En el extremo W del **CSF** el buzamiento sur de la serie se invierte y acaba en una terminación periclinal siniforme con un adelgazamiento patente de las unidades (el conjunto Cretácico Sup. y Fm. Guara se reduce de unos 250 m de potencia a menos de 70 en el extremo). Estas unidades presentan signos de cataclasis a escala microestructural (ver Fig. 29B). Esa inversión no es del todo gradual y se observan algunas fallas y/o zonas de fractura transversales a la SO que parecen favorecerla (Figs. 26C y D).



También se observa una esquistosidad paralela a la orientación general del **CSF** (Fig. 26A).

#### 4.2.6.- Extremo E de la Unidad de San Felices (Zona de San Esteban-Punta Abadías)

No se ha localizado ninguno buen afloramiento a lo largo de todo el **CSF** en el que puedan apreciarse los efectos del deslizamiento del bloque superior sobre el inferior, salvo al norte de la Ermita de San Esteban, en el lado oriental, donde podemos encontrar margas y brechas calcáreas, en bloques métricos o decimétricos, entre las calizas del Triásico y las areniscas de la Fm. Campodarbe (Fig. 27).



Fig. 27.- Bloque brecoide calizo, aislado ( $\text{in situ}$ ?), y margas al NW de Punta Abadías, en el extremo este, entre las areniscas invertidas de la Fm. Campodarbe y el paquete calizo de la unidad de San Felices. En detalle puede apreciarse cierta foliación, acentuada por la disolución superficial, en la zona media y, a la derecha de la foto, la base brecoide Foto del autor.

#### 4.3- Otros aspectos e interpretaciones

##### 4.3.1- Brechas. Microestructuras

A partir del estudio de las secciones pulidas y láminas delgadas se han identificado numerosos tipos de brechas, creemos que tectónicas en su mayor parte, clasificables de acuerdo con los criterios de Sibson (1977), Morrow (1982); Wise (1984); Killick (2003) o Woodcock & Mort (2008).

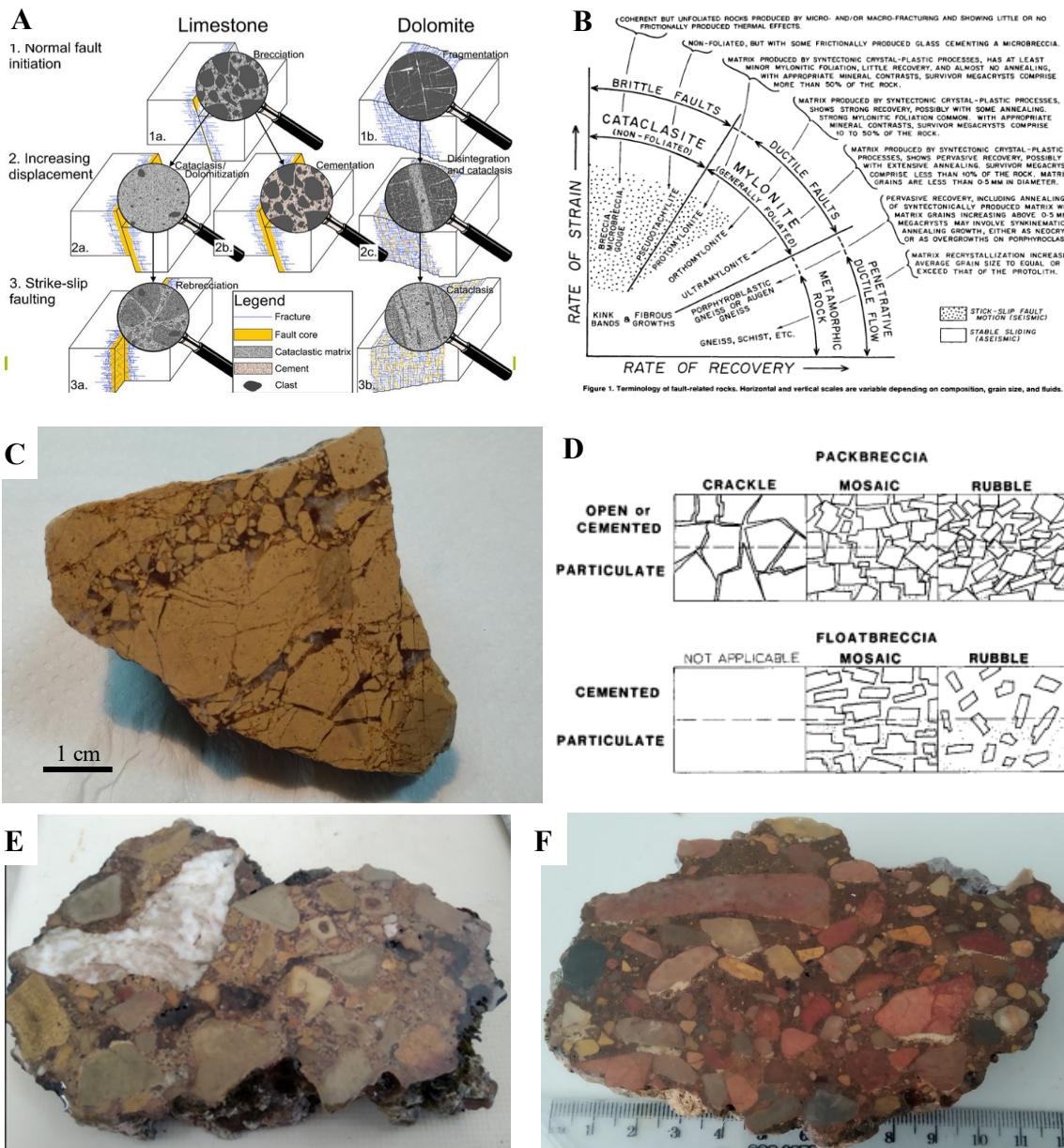


Fig. 28. A) Diferencias en el proceso de brechificación de calizas y dolomías. Tomado de Kaminskaite et al. 2019. B) Términos para rocas relacionadas con fallas. Tomado de Wise (1984). C) Sección pulida de la muestra PU\_3. Son dolomías brechificadas en las que pueden llegar a distinguirse zonas que se identifican con casi todos los términos la clasificación de la figura siguiente (craqueladas, en mosaico, escombros, tanto "empaqueadas" como "flotantes" D) Representación gráfica de la clasificación de Morrow (1982). E) Sección pulida de la muestra MQ2\_15. Brecha polimictica. Tal vez aluvial, su matriz parece cemento de cristalización en la zona vadosa. Muestra de 10 x 6 cm. F) Brecha polimictica con cantos subredondeados de tonos rojizos, seguramente procedentes del Garumán.



Fig. 29. A) Sección pulida de una cataclasita, muestra T\_2 en calizas de la Fm. Tremp en contacto con el Garumn. B) Sección pulida de la muestra Sm\_26 en calizas de alveolinás de la Fm. Guara brechificada en mosaico el extremo antiforme W del CSF.

Por ejemplo: protocataclasitas y cataclasitas (Sibson, 1977) o cataclasitas y milonitas según Wise (1984, Figs. 28B y 29A). Según la clasificación de Morrow (1982, Fig. 28D), en la sección pulida de las dolomías brechificadas de la muestra PU\_3 (Fig. 28C) pueden llegar a distinguirse zonas en las que se identifican casi todos los términos de la misma (craqueladas, en mosaico, escombros, y tanto “empaquetadas” como “flotantes”). Las brechas se han desarrollado sobre todo en los paquetes dolomíticos, y también en los calizos, aunque con comportamientos algo diferentes ante los mismos eventos (Kaminskaite et al., 2019) (Fig. 28A). En el ANEXO V puede reconocerse en una sucesión de muestras dolomíticas la secuencia desde la roca indeformada a la cataclasita, comenzando con su fragmentación y la progresiva desintegración. En la secuencia del ANEXO VI podemos ver muestras calizas en diferentes estadios de deformación incluyendo cataclasitas rebrechificadas. Por otra parte, no se han reconocido en los clastos de las brechas pseudomorfos de sulfatos que serían indicadores de un posible origen por disolución-colapso (Scholle et al., 1993, Jaglarz y Rychliński, 2019). También existen otros tipos de brecha polimícticas con cantos subredondeados que parecen tener un origen aluvial (Fig. 28F) o monomícticas, pero con ciertos signos de una cementación diagenética y/o kárstica (Fig. 28E). En algunos casos son grandes bloques brechoides formados por clastos heterométricos (de métricos a milimétricos) aparentemente monomícticos y brechificados a su vez que parecen afectados por karstificación. Su situación próxima al plano principal del cabalgamiento hace difícil su interpretación (¿debris cuaternarios de brechas de falla cementados?) (ver ANEXO XII, 1 y 3).

#### 4.3.2. Cartografía geológica

En el ANEXO I se presenta la cartografía realizada en este trabajo a escala 1:11500, en la que se han dibujado las unidades por transparencia sobre las imágenes LIDAR, a escala vertical sin aumento, en base a las observaciones de campo y características litoestratigráficas de las muestras recogidas, fundamentalmente en la escama occidental del Salás y la central de Artaso. Es estos lugares donde se reflejan algunos cambios sobre las cartografías existentes y donde hay una mayor complejidad estructural. En el ANEXO II se muestra una comparación de algunas cartografías previas de la parte central y oeste del **CSF**. Son las realizadas por Almela y Ríos (1956), Puigdefábregas (1975), Millán (1996) y la que consta actualmente en los mapas del IGME (hojas 208 UNCASTILLO y 209 AGÜERO) similar a la de Teixell (1995). Esta zona queda precisamente en los límites de estas hojas y ello complica su visión de conjunto, ocurriendo que incluso hay cambios de color para las mismas unidades en una y otra.

### 5.- DISCUSIÓN

La escama de Artaso está situada a una cota topográfica similar a la del punto en la que la escama del Salás desaparece hacia el E bajo el CSF en la Reacuba, y presenta una dirección y buzamiento NE casi idénticos. Siendo que el contenido faunístico del afloramiento principal es Eoceno, (lo que descarta a

su vez que se trate de un enorme bloque desprendido por gravedad del lado norte del **CSF** en época reciente), y que en niveles topográficos más altos existen dolomías tableadas, con toda probabilidad cretácicas o triásicas, cabe pensar que se trata de la misma serie invertida y que, por su proximidad, pueden ser continuidad una de la otra, como una lámina única, (anterior a la del **CSF** y a la de Punta Común), de mayor amplitud, que no se restrinja a la terminación W, o bien que sean lóbulos independientes pero formados simultáneamente por el mismo pulso tectónico.

Al oeste del **CSF**, los datos observados sugieren otras posibles interpretaciones para algunos aspectos de la estructura tal como se representan en la cartografía del IGME, Teixell (1995) o de Millán (1996). En los modelos digitales de elevaciones al W del **CSF**, no encontramos tantas evidencias de fallas cortando perpendicularmente la Fm. Campodarbe, que parecen haberse ido heredando de la, por otra parte, magnífica cartografía de Puigdefábregas (1975). Tampoco de que las que son más evidentes tengan tanto recorrido, puede que por una interpretación diferente de los efectos del relieve y el buzamiento aparente. Si que se comprueba la existencia de distintos abanicos de secuencias en onlap u offlap, algunos ya observados por Millán (1996) (Fig. 30) (ANEXO III B4), y otros más antiguos en el techo de la Fm. Belsué (ANEXO III A1, B1), con importantes diferencias de potencia que han acomodado la sedimentación Bartoniana a la deformación producida por esos esfuerzos, tal vez más continuos y menos episódicos de lo estimado hasta ahora, restando extensión a las fracturas.

Por otra parte, la dirección predominante en la ladera E del Barranco de los Bergales es casi N-S, con buzamiento E invertido muy homogéneo (Fig. 31A), y solamente se observa una interrupción debida, a nuestro entender, a un movimiento en masa de esa ladera (Fig. 31B) que parece haberse interpretado en la cartografía del IGME como continuación del plano del **CSF**, incluyendo el horse del Salás. Nuestra interpretación es que la caída y acumulación de bloques, que se sigue produciendo, en la ladera oeste de la Punta de Pueluza sufre un proceso de reptación favorecido por las arcillas rojizas de la Fm. Tremp y por la Fm. Arguis que han creado un nivel plástico e impermeable que se manifiesta

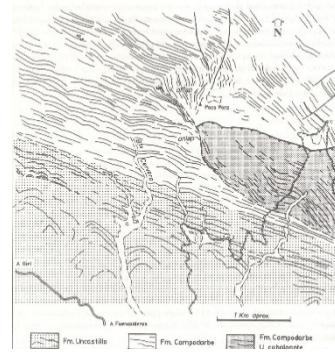


Fig. 30. Esquema fotogeológico de la Fm. Campodarbe al W del CSF y una discordancia progresiva en onlap-offlap según Millán (1996).

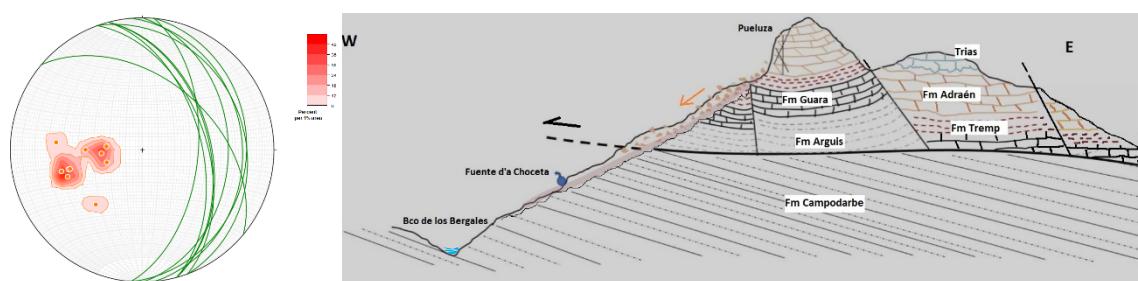


Fig. 31. A) Estereograma de planos de estratificación y sus polos de la Fm. Campodarbe desde el vado del Bco de los Bergales hasta las proximidades de la Ermita de San Miguel de Liso. Contornos del 1% con intervalos de 6. B) Corte geológico estimado W-E por la punta de Pueluza de la escama del Salás y el deslizamiento que parte de ella (ver situación en ANEXO I, línea A-B). Se plantean varias fallas de orientación NNE-SSW y buzamiento este por las observaciones litológicas de superficie. El plano de cabalgamiento quedaría erosionado en el aire hacia el W según esta interpretación.

ladera abajo en el manantial de A'Choceta (Fig 31B), donde pueden observarse arcillas rojas y bloques de tamaño métrico de calizas de alveolinas, que probablemente llegaron en un gran deslizamiento de época reciente, visible en las ortofotos del vuelo americano (AMS 1956-57). La interpretación del IGME, y también la de Millán (1996), similar a ésta, algo más al sur, exigen planos de cabalgamiento

Este-Oeste que entran en conflicto con el buzamiento invertido este (Fig.31B) y la dirección de empuje que parece deducirse en sentido hacia el SW, en consonancia con la deformación con componente rotacional que generó el anticlinal Sto. Domingo (Pueyo et al., 2002). El buzamiento general de la escama del Salás hacia el NE también parece a favor de interpretar que el plano de cabalgamiento se encuentra erosionado desde el núcleo del anticlinal a la escama del Salás por quedar a un nivel superior a la topografía actual algo que ya interpretaron de esa forma Soler y Puidefabregas en 1973. El espesor de la Fm. Campodarbe, al norte del punto señalado en el ANEXO III como B2 y el que se aprecia al norte del B4, se incrementa a la par que el buzamiento aumenta su inversión. Consideramos más probable que exista una discordancia progresiva en esa zona, en dirección NNW algo más al norte de la prolongación del cabalgamiento propuesto en las cartografías del IGME, Teixell (1995) y Millán (1996). Nuestra impresión general es que la Fm. Campodarbe fue adaptándose mediante secuencias en offlap u onlap a la colocación de estas láminas, que no necesariamente provocaron grandes fracturas en ella, o si las produjeron no se reconocen fácilmente. En los cortes interpretativos (Fig. 32) hemos aceptado la interpretación de la estructura en profundidad realizada por Teixell (1995) con un cabalgamiento basal que no aflora, extensión del cabalgamiento del Guara, que favorecería el plegamiento del **CSF** y los pliegues suaves al sur que afectan a la Fm. Uncastillo (anticlinal de Fuencalderas). Un

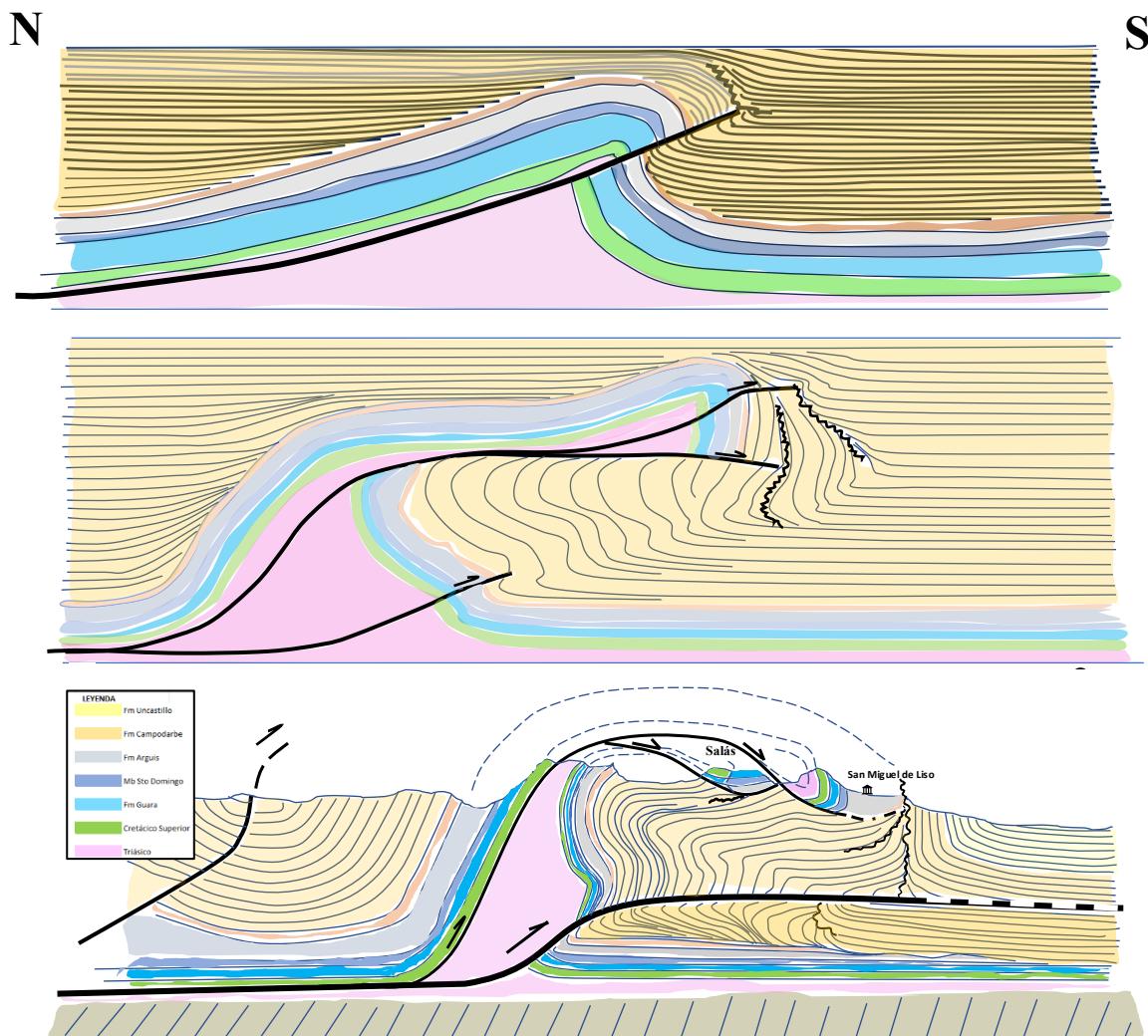


Fig. 32. Cortes geológicos esquemáticos N-S, pasando por Pueluza y San Miguel de Liso, de la interpretación de la evolución tectónica propuesta, con desarrollo de abanicos de capas y/o discordancias progresivas en la Fm. Campodarbe, incluyendo un cabalgamiento basal que no aflora. Original del autor, sin escala.

retrocabalgamiento ciego (cercano a la interpretación de Nichols, 1987) probablemente lo explicaría aún mejor. La interpretación de Millán (1996), igualmente probable, involucraría una gran cantidad de evaporitas triásicas que no se manifiestan en la Sierra en esa proporción, salvo en la zona de Salinas Viejo.

## 7.- CONCLUSIONES

1.- Tanto a nivel microscópico (láminas delgadas) como de muestra de mano (secciones pulidas) se comprueba en los paquetes dolomíticos un predominio del comportamiento frágil ante la deformación, con el desarrollo de distintos estadios de brechificación y cataclasis. En los paquetes de composición más calcítica existe igualmente un comportamiento frágil, pero puede llegar a dúctil en las zonas de cizalla o que han sufrido más de un ciclo de brechificación, especialmente en los eocenos y los del triásico calcáreo.

2.- La escama o *horse*, llamada en este trabajo del Salás, parece tener una continuidad hacia el este mayor de la considerada hasta ahora. El descubrimiento de un afloramiento equivalente con fauna marina Eocena en el Barranco de Artaso hace pensar en ello o en otro lóbulo sincrónico de la misma escama. Será necesario estudiar el resto de los afloramientos, a los que no se ha podido acceder, en esa misma ladera, para evaluar mejor su extensión, comprobar la polaridad y el registro de materiales afectados.

3.- El análisis estructural por medio del estudio de la Anisotropía de la Susceptibilidad Magnética (ASM) y de las direcciones de los principales indicadores cinemáticos en la escama del Salás, con datos escasos por la limitación del trabajo, nos proporciona direcciones de acortamiento NNE-SSW a NE-SW y de estiramiento ESE y ENE compatibles con la dirección estructural de la cadena pirenaica.

4.- La revisión de las anteriores interpretaciones de las estructuras al oeste del CSF, por comparación con las imágenes LIDAR y los MDT, hace pensar en un modelo con un menor desarrollo de grandes fracturas en los sedimentos continentales. Las areniscas de la Fm. Campodarbe se habrían comportado de una forma más dúctil y adaptativa por encontrarse en estadios de diagénesis temprana y por un mayor desarrollo de abanicos de capas y de secuencias en onlap u offlap del que se ha reconocido, tanto en el bloque superior como en el inferior.

## 8.-BIBLIOGRAFÍA

Alegret, L.; Aurell, M. (1999): La sedimentación carbonatada en el prepirineo aragonés durante el Cretácico superior. Estudios Geol. 55: 237-246.

Arenas, C., (1993): Sedimentología y paleogeografía del Terciario del margen pirenaico y sector central de la Cuenca del Ebro (Zona Aragonesa Occidental). Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza. 858 pp.

Arenas, C.; Millán, H.; Pardo, G.; Pocoví, A. (2001): Ebro Basin continental sedimentation associated with late compresional pyrenean tectonics (NE Iberia): controls on margin fans and alluvial systems. Basin Research, 13; 65-89.

Barbed, F.; Martínez, M.B.; Millán, H., Navarro, J.J., Pocoví, A. (1988): Observaciones sobre la geometría de la “klippe” de San Felices (extremo occidental de las Sierras Exteriores del Prepirineo meridional). Symposium on the Geology of the Pyrennes and Betics. Abstr: 71. Barcelona.

Canudo, J.I., et al. (1991): Las secuencias deposicionales del Eoceno medio y superior de las Sierras Exteriores (Prepirineo Meridional Aragonés. Geogaceta 9 , 1991, 81-84.

- Cardozo, N., Allmendinger, R. W. (2013). Spherical projections with OSXStereonet. Computers & Geosciences, 51, 193–205
- Chadima, M., & Jelinek, V. (2009). Anisoft 4.2: Anisotropy Data Browser for Windows. Agico, Inc.
- Comas, M. J.; Goy, A.; Meléndez, G.; Millán, H.; Navarro J. J.; Pocoví, A., (1989): Caracterización bioestratigráfica del Lías en San Felices (Extremo occidental de las Sierras Exteriores; Prepirineo). Cuadernos de Geología Ibérica, 13: 175-184
- García-Sansegundo, J. y Montes, M. J. (2009): Mapa Geológico de España E. 1:50.000, Hoja nº 209 (Agüero). Memoria explicativa por García-Sansegundo, J. y Montes, M. J. 50 pág. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- Graham, J. W. (1954). Magnetic susceptibility anisotropy, an unexploited petrofabric element. Geol. Soc. Am. Bull. 65, 1257–1258.
- Jaglarz, P. & Rychliński, T. (2018). Solution-collapse breccias in the upper Olenekian–Ladinian succession, Tatra Mts, Poland. Annales Societatis Geologorum Poloniae, 88: 303–319.
- Kaminskaite-Baranauskiene, I., Fisher, Q., Michie, E.A.H. (2019): Impact of Laboratory-Induced Deformation and Naturally Occurring Faults on Fluid Flow in Carbonates. 10.3997/2214-4609.201902313.
- Mallada, L. (1878): Descripción física y geológica de la provincia de Huesca. Mem. Com. Mapa Geol. De España., Madrid 439 pp.
- Millán, H., Pocoví, J., Casas A.M., (1995): El frente del cabalgamiento surpirenaico en el extremo occidental de las Sierras Exteriores. Rev. Sol. Geol. España, 8 (1-2): 73-90.
- Millán Garrido, H., (1996): Estructura y cinemática del frente de cabalgamiento surpirenaico en las Sierras Exteriores aragonesas. Colección de Estudios Altoaragoneses, 53. Instituto de Estudios Altoaragoneses, Huesca, 398 pp.
- Millán, H., Pueyo, E. L., Aurell, M., Luzón, A., Oliva, B., Martínez-Peña, M. B. And Pocoví, A. (2000): Actividad tectónica registrada en los depósitos terciarios del frente meridional del Pirineo central. Rev. Soc. Geol. España. 13(2), 279-300.
- Morrow, D. W., (1982): Descriptive field classification of sedimentary and diagenetic breccia fabrics in carbonate rocks. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 30: 227–229.
- Nichols, G.J., (1984): Thrust tectonics and alluvial sedimentation, Aragón, Spain. Unpublished Ph D. Thesis, University of Cambridge. 243 pp.
- Oliva-Urcia, B, Casas, A. M, Pueyo, E. I., A. Pocovi, A, (2012): Structural and paleomagnetic evidence for non-rotational kinematics of the South Pyrenean Frontal Thrust at the western termination of the External Sierras (southwestern central Pyrenees) Geologica acta vol 10 nº2 June 2012; 125-144
- Pocoví, A.; Millán, H.; Navarro, J. J. y Martínez, M.B. (1990): Rasgos estructurales de la Sierra de Salinas y la zona de los Mallos (Sierras Exteriores, Prepirineo, provincias de Huesca y Zaragoza). Geogaceta, 8: 36-39.
- Pueyo, E.L., Millán, H., Pocoví, A., (2002): Rotation velocity of a thrust: a paleomagnetic study in the External Sierras (Southern Pyrenees). Sed. Geol., 146 (1-2), 191-208
- Puigdefabregas, C. (1975): La sedimentación molásica en la cuenca de Jaca. Pirineos, Mon. Inst. Est. Pir., 104, 188 p.
- Puigdefàbregas, C. y Soler, M. (1973): Estructura de las Sierras Exteriores Pirenaicas en el corte del Río Gállego (Prov. de Huesca). Pirineos, 109: 5-15.

Sánchez, E., Pueyo, E.L., Bausa, J., Beamud, B., Ramón, M. J.; Oliva-Urcia, B.; Pocoví, A., (2012). Geometría no-coaxial del anticlinal de Sto. Domingo (Pirineo Occidental) deducida de la fábrica magnética (ASM). Geotemas 13 (VIII Congreso Geológico de España), 1188-1191.

Sánchez, E., Pueyo, E.L., Ramón, M.J., Oliva-Urcia, B., Calvín, P., (2013): Vertical axis rotation deduced from the AMS data in the Santo Domingo anticline (Western Pyrenees). Proceedings of the Colóquio Anisotropia da Susceptibilidade Magnética, Tectónica e (Paleo)magnetismo de Materiais. 2 pp.

Scholle, P. A., Stemmerik, L., Ulmer-Scholle, D., Di Liegro, G. & Henk, F. H., (1993): Paleokarst-influenced depositional and diagenetic patterns in Upper Permian carbonates and evaporites, Karstryggen area, central East Greenland. *Sedimentology*, 40: 895–918.

Selzer, G. (1934). "Geologie der Südpyrenaischen Sierren in Ober-Aragonien". N. Jhrb. Geol.Pal. Min. 88, Abt. b 370-406. Traducción española (1948) Public. Extr. Geol. de España.4, 185-230.

Sibson, R.H.;(1977): Fault rocks and fault mechanisms. *Journal of the Geological Society* 1977; 133 (3): 191–213. doi: <https://doi.org/10.1144/gsjgs.133.3.0191>

Silva-Casal, R., Aurell,M., Payros, A;(2012) Análisis de facies de la Formación Guara en las Sierras Exteriores Occidentales (Cuenca Surpirenaica, Eoceno Medio)

Silva-Casal, R., Aurell,M., Payros,A., Serra-Kiel, A., Pueyo, E.L.(2016): Primeras evidencias de la plataforma carbonatada Bartonense del Prepirineoaragonés: el Miembro calizas de Santo DomingoIX Congreso Geológico de España Geo-Temas, 16 (1) ISSN 1576-5172181

Silva-Casal, R., Serra-Kiel, J., Rodríguez-Pintó, A., Pueyo, L.E., Aurell, M., Payros, A., (2021): Systematics of Lutetian/larger foraminifera and magnetobiostratigraphy from South Pyrenean Basin (Sierras Exteriores, Spain). *Geologica Acta*, 19.7, 1-64, I-XVII.

Soto, R., Casas-Sainz, A.M., Oliva-Urcia, B., Román-Berdiel, T., 2022. A short guide for the study of anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) in deformed rocks. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 35 (1): 56-7

Teixell, A. y García-Sansegundo, J. (1995). Estructura del sector central de la cuenca de Jaca (Pirineo meridional). *Rev. Soc. Geol. España*, Madrid, 8 (3): 215-228.

Teixell, A., Montes M.J., Arenas, C., Garrido,E.A., (1992). Memoria de la Hoja nº 208 (Uncastillo). Mapa Geológico de España E. 1:50.000 (MAGNA), Segunda Serie, Primera edición. IGME, 48 pp.

Wise, D. U.et al; (1984): Fault-related rocks: Suggestions for terminology. *Geology* 1984; 12 (7): 391–394. doi: [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1984\)12<391:FRSFT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1984)12<391:FRSFT>2.0.CO;2)

Woodcock, N., & Mort, K. (2008): Classification of fault breccias and related fault rocks. *Geological Magazine*, 145(3), 435-440. doi:10.1017/S0016756808004883

## **ANEXOS**

Anexo I.- Mapa Geológico

Anexo II.- Histórico de mapas

Anexo III.- Fallas al Oeste

Anexo IV.- Láminas de la Escama de Artaso

Anexo V.- Brechas en dolomías

Anexo VI.- Brechas en calizas

Anexo VII.- Secciones pulidas de otras brechas

Anexo VIII.- Láminas delgadas escaneadas. Situación

Anexo IX.- Listado de muestras

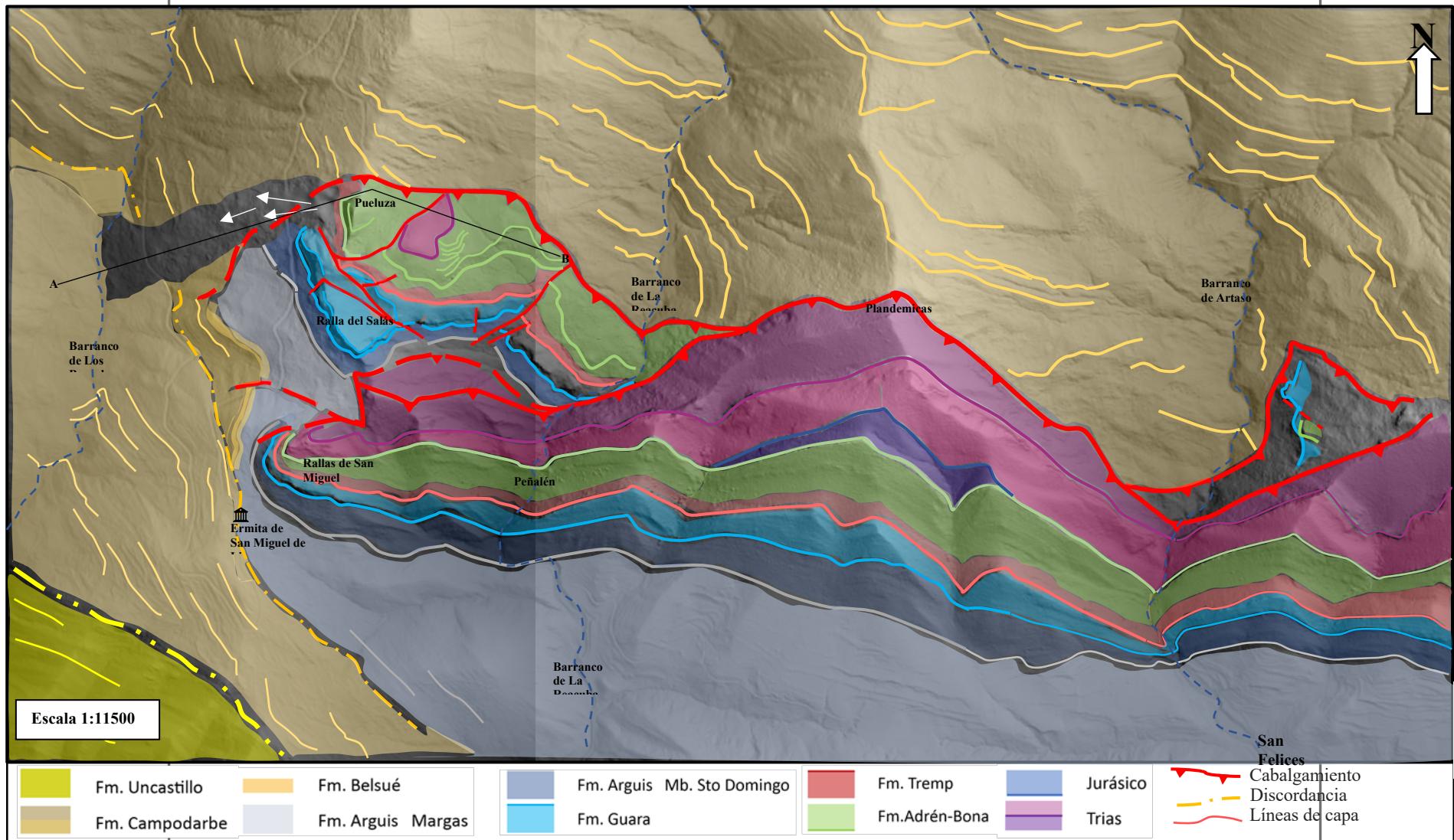
Anexo X.- Estrías de falla

Anexo XI.- Garumn y caída de bloques

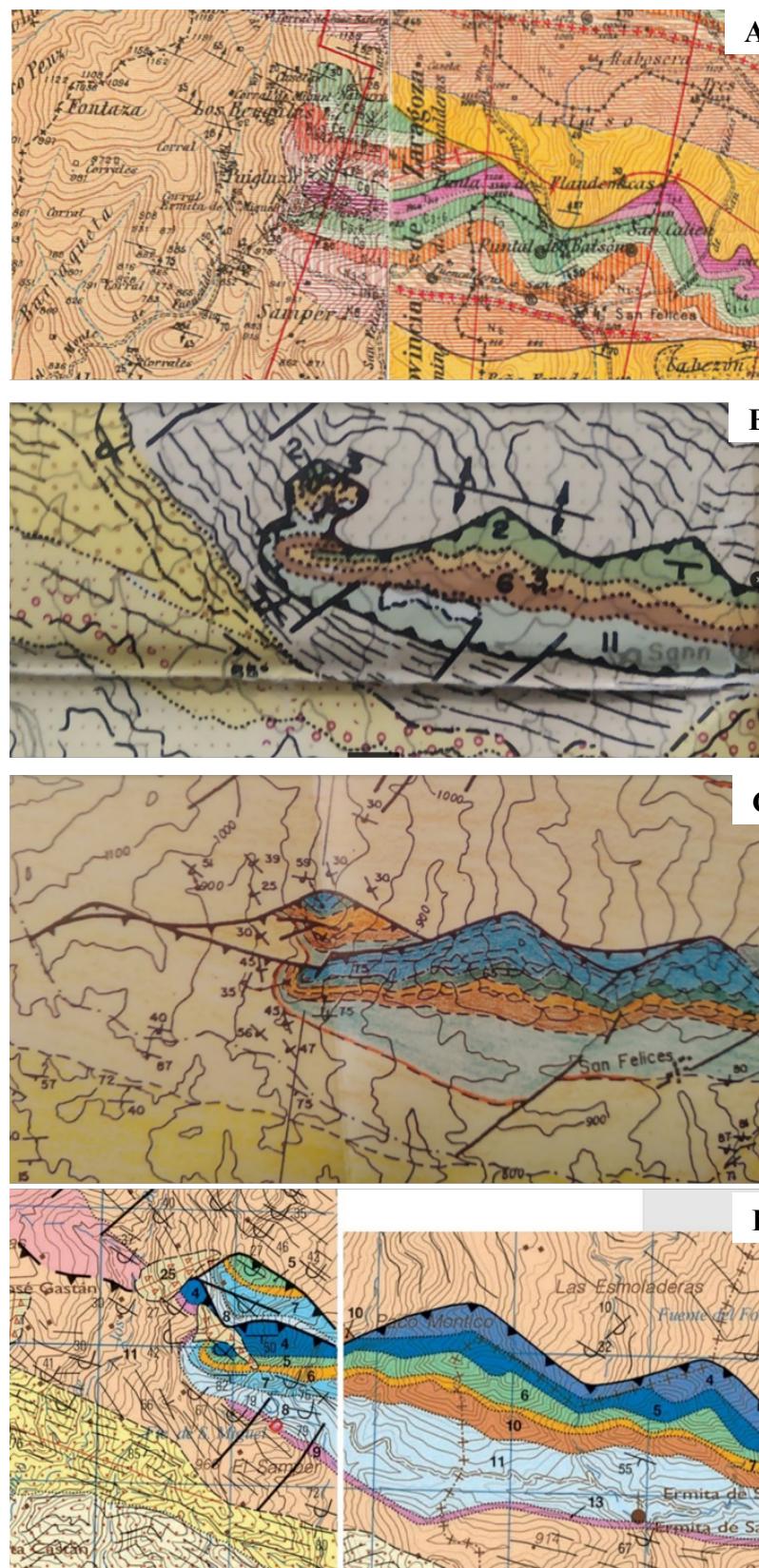
Anexo XII.- Galería fotográfica

Anexo XIII.- Localización medidas

ANEXO I.- MAPA GEOLÓGICO

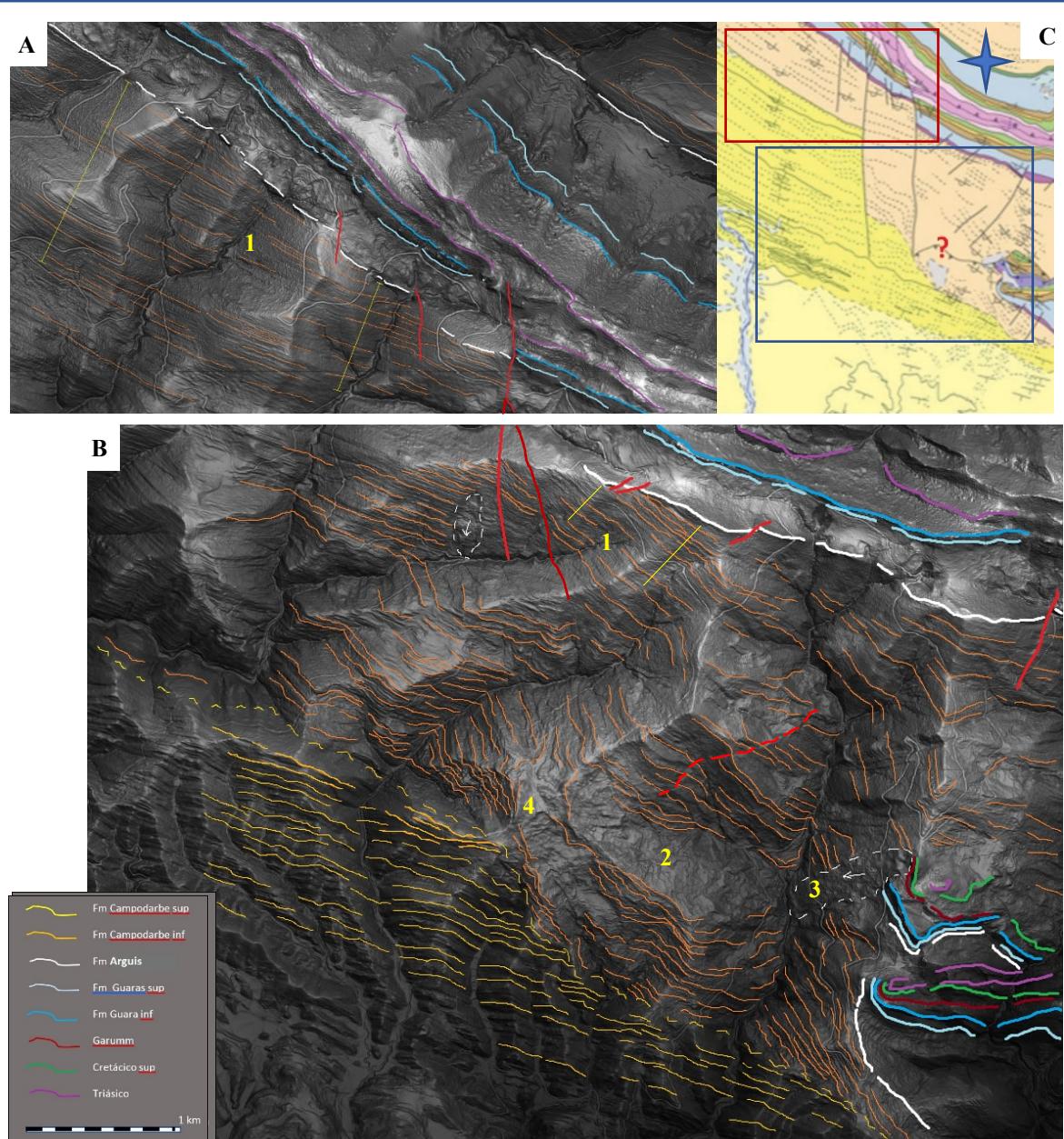


ANEXO II.- HISTÓRICO DE MAPAS



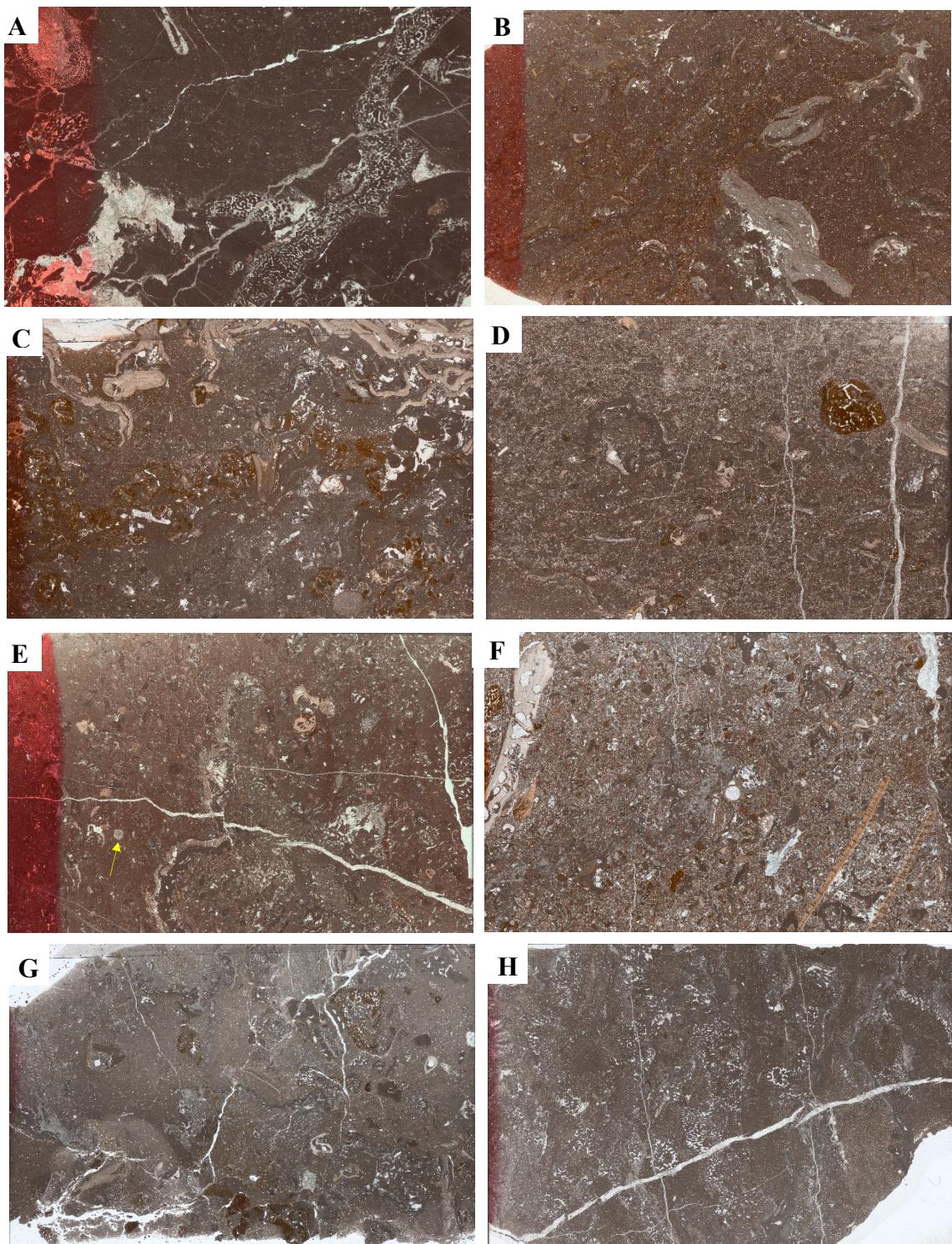
Cartografía de Puigdefábregas (1975). C) Cartografía de Millán (1996). D) Cartografía del IGME 1:50000 (2006) Hojas de Uncastillo (208) y Agüero (209)

### ANEXO III.- FALLAS AL OESTE



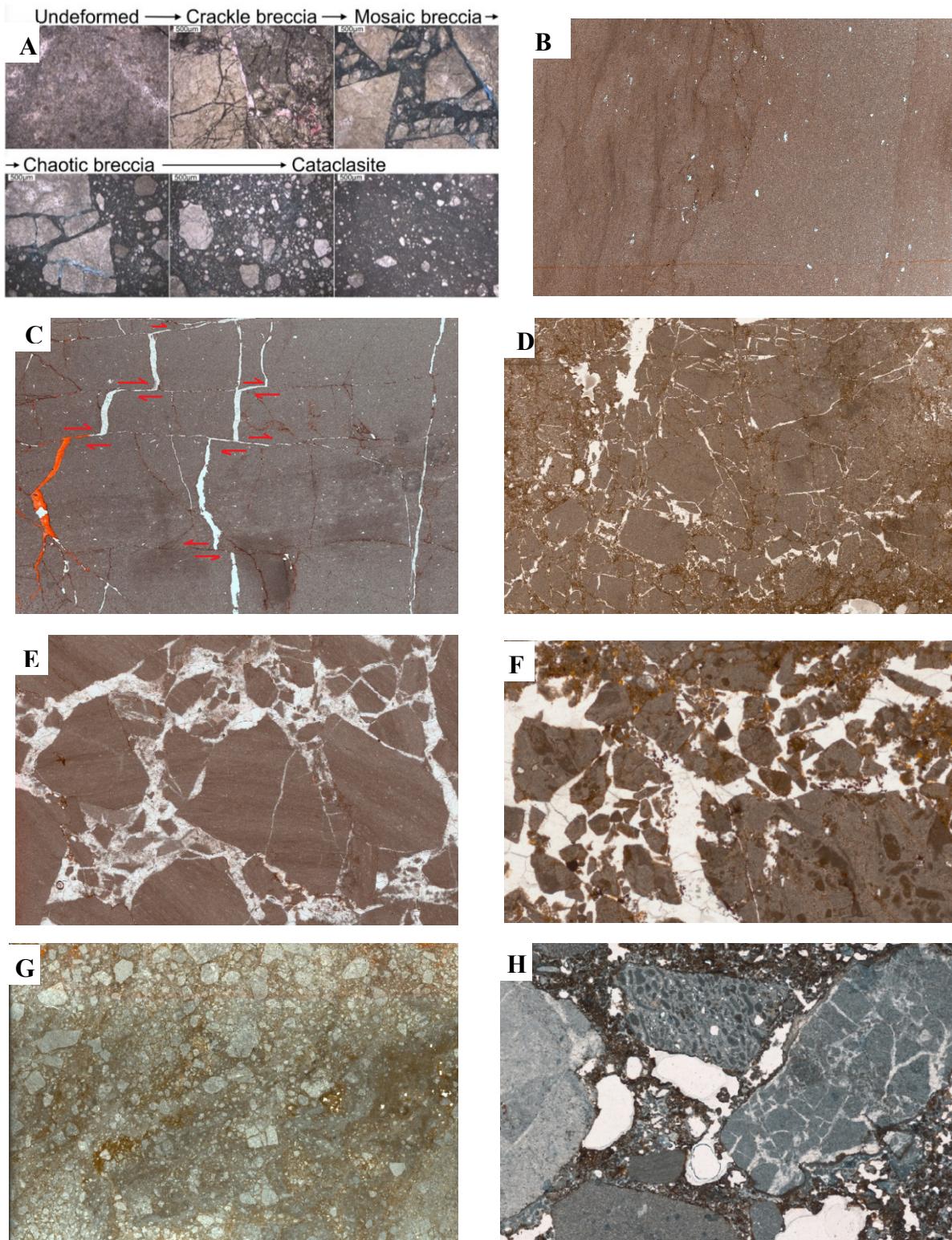
**Anexo III.-** Lineaciones estratigráficas dibujadas sobre un modelo digital de elevaciones dividido en dos sectores referenciados al mapa geológico del IGME (C). En A1 y B1 se señalan con segmentos amarillos, perpendiculares a la estratificación, la diferencia de espesor de la Fm. Campodarbe en onlap. En el sector B se señala la superficie estructural (2) y el movimiento en masa de Pueluza (3). Mosaico de imágenes de Modelos Digitales del Terreno (MDT02-ETRS89-HU30-0208- 4 y 2 -COB2) editadas con el software Surfer escala vertical por 5.

ANEXO IV.- LÁMINAS DE LA ESCAMA DE ARTASO



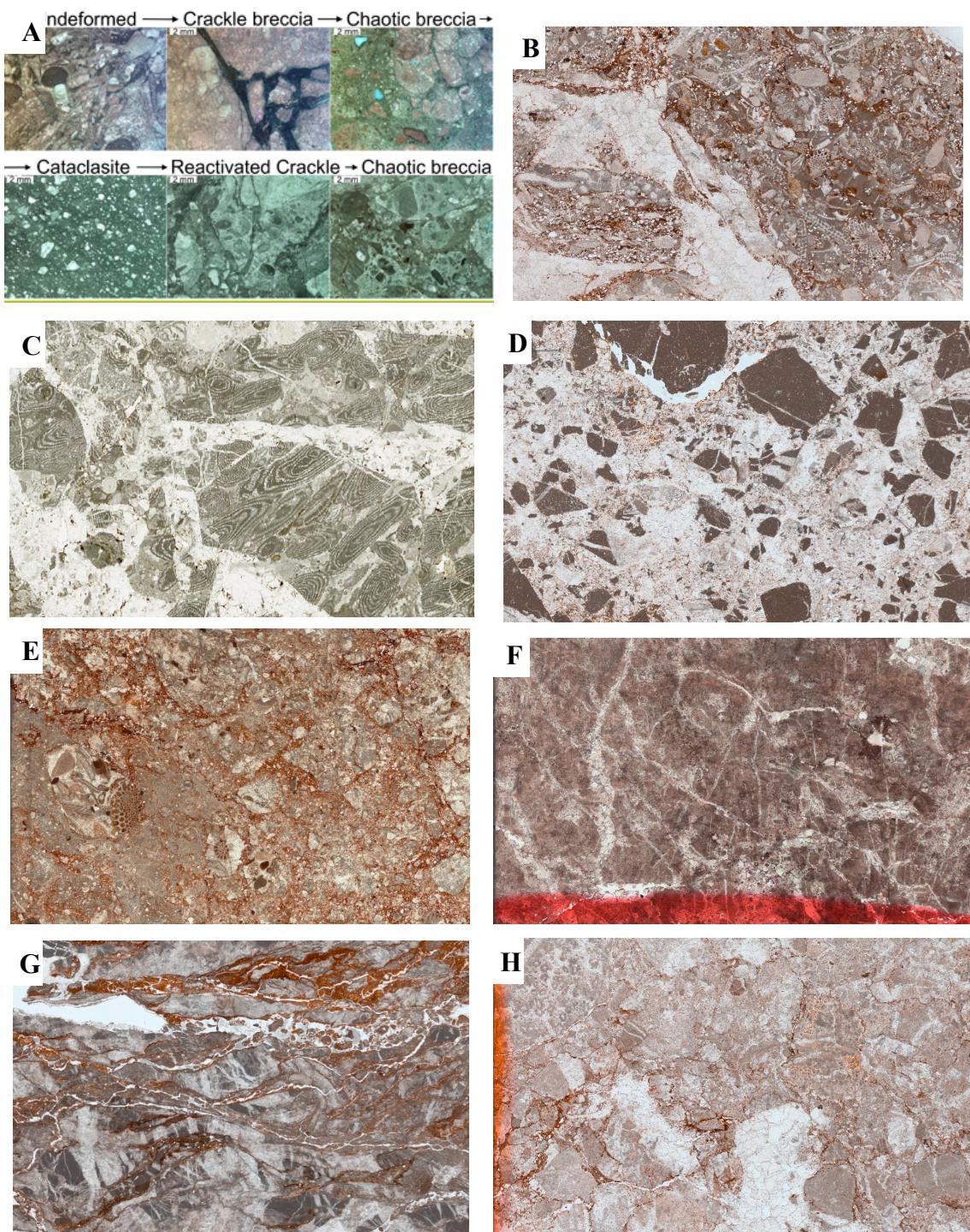
**Anexo IV.-** Muestras correspondientes al afloramiento de la escama de Artaso. A) AT\_1 *Gypsina*" moussaviani. Luteciense - Bartoniense. B) AT\_4 C) AT\_5 Rotálicos. Parte superior con formas incrustantes, *Solenomeris*? D) AT\_6 E) AT\_7 Rotálicos. *Sphaerogypsina globulus* (Luteciense medio - Oligoceno) F) AT\_8 Foraminífero rotálico probablemente del género *Gyroidinella*, también de afinidad Luteciense. G) AT\_9 *Fabiania cassis*, y *Solenomeris ogormani*, Luteciense o Bartoniano. H) AT\_10 Facies bioconstruida sin elementos diagnósticos de edad

## ANEXO V.- BRECHAS EN DOLOMÍAS



**Anexo V.- Brechificación en dolomías.** A) Diferentes estadios de brechificación en dolomías, extraído de Kaminskaite et al. (2019). B) Dolomía indeformada (PDM\_6). C) Dolomía craquelada (MQ2\_11x). D) Estado intermedio entre dolomía craquelada y en mosaico (MQ2\_8). E) Dolomía en mosaico con rotación de fragmentos (MQ2\_11). F) Brecha caótica (PU\_3). G) Cataclasita (PDM\_2). H) Brecha de fragmentos de brecha, alguno de ellos en mosaico (MQ2\_14). Láminas delgadas escaneadas. Campos de 4 x 2.5 cm. Fotos del autor.

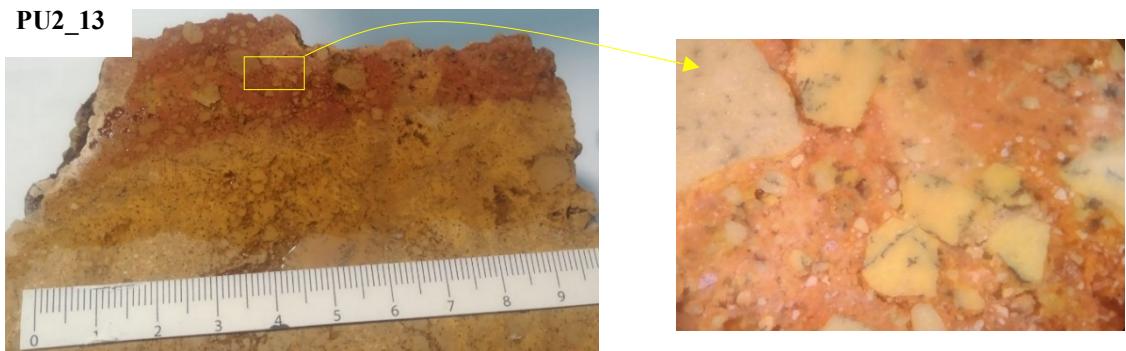
## ANEXO VI.- BRECHAS EN CALIZAS



**Anexo VI.- Brechificación en calizas.** A) Diferentes estadios de brechificación en calizas, extraído de Kaminskaite et al. (2019). B) Caliza packstone poco deformada (T\_1). C) Caliza de alveolinas craquelada y en mosaico (SM\_26) D) Brecha caótica en estrías de falla (MQ2\_16). E) Cataclasita en el límite entre la Fm. Adrén y la Fm. Tremp, se reconocen fragmentos con bioclastos (T\_2). F) Cataclasita (Sm\_15). G) Cataclasita reactivada en una zona de cizalla de la Fm. Guara (Sm\_17\_2). H) Brecha caótica con fragmentos de cataclasitas (MQ2\_25). Láminas delgadas escaneadas. Campos de 4 x 2.5 cm. Fotos del autor.

ANEXO VII.- SECCIONES PULIDAS DE OTRAS BRECHAS

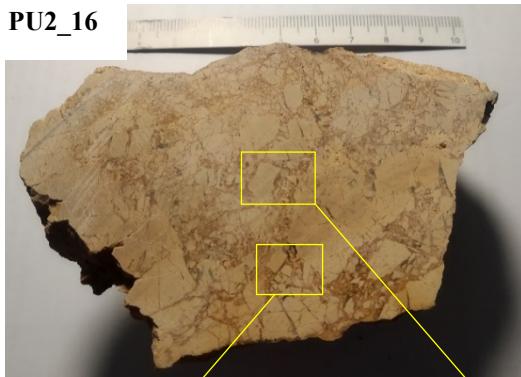
**PU2\_13**



**PU2\_14**



**PU2\_16**



**PU2\_8**



**1**



**2**

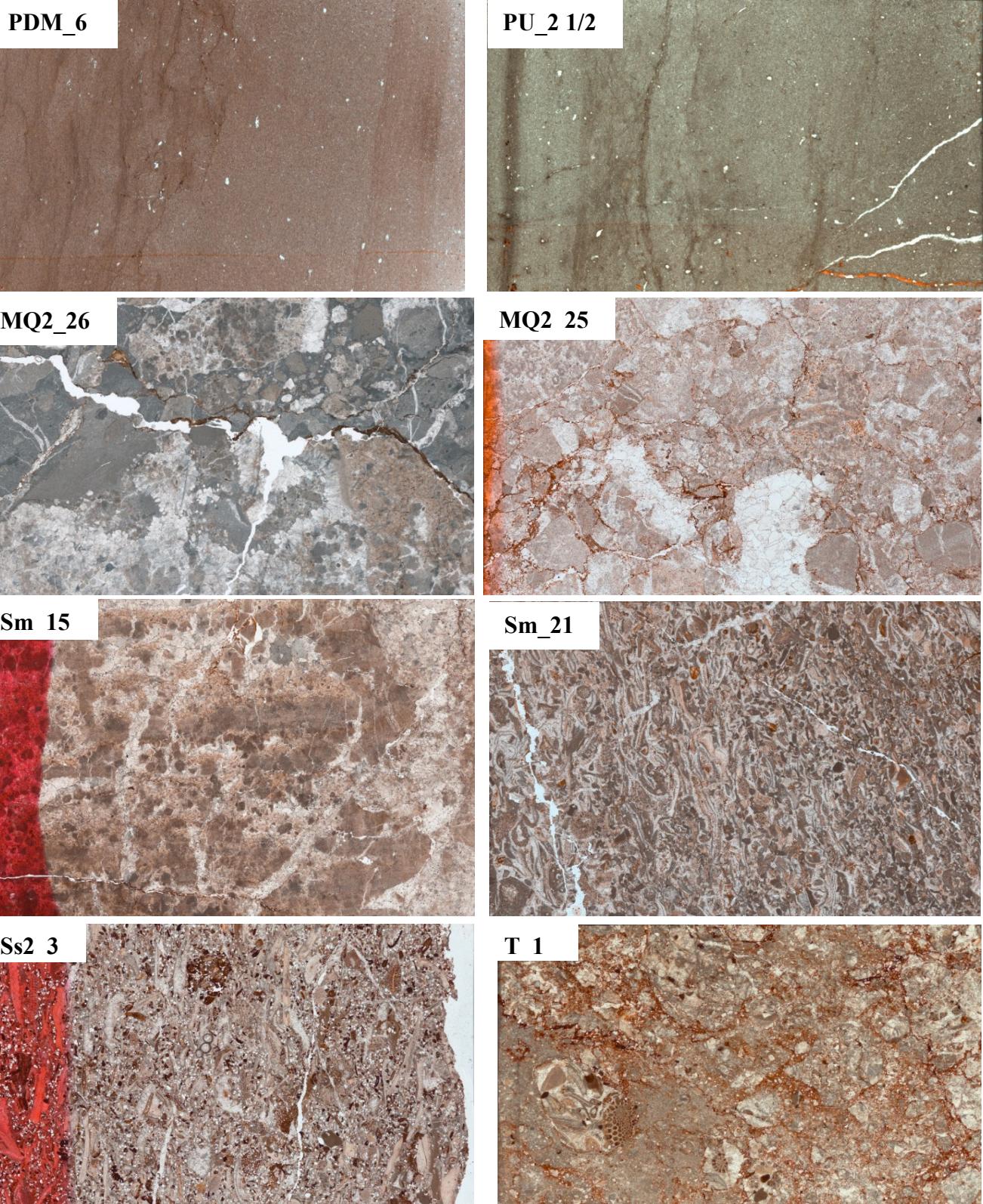


**PU2\_17**

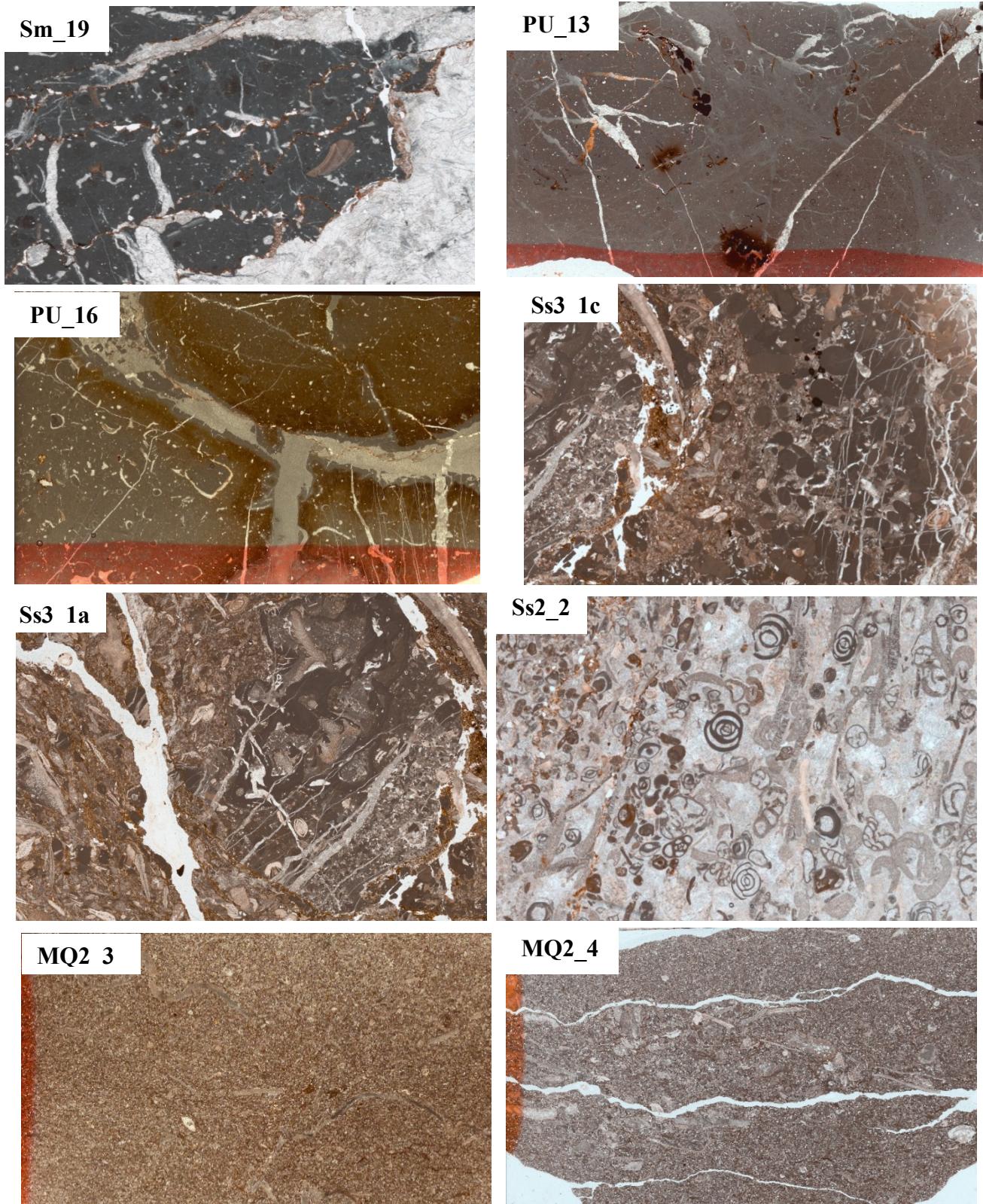


**Anexo VII. Otras Brechas.** PU2\_13. Cataclasita de cantos dolomíticos con matriz calcítica (tinción de carbonato en la zona superior y en la imagen derecha aumentada). PU2\_14 Brecha polimíctica con matriz calcítica en la que pueden encontrarse cantos cataclasíticos como la muestra anterior (ver imágenes aumentadas 1 y 2). PU2\_16. Brecha dolomítica en mosaico. PU2\_8. Dolomía craquelada con una banda diagonal de cizalla. PU2\_17. Dolomía craquelada/en mosaico con huecos no llenados por calcita. Muestras del lado noreste del horst del Salás, cerca del contacto con el bloque inferior. Algunas muy similares a la PU\_3 de la cima de Pueluza.

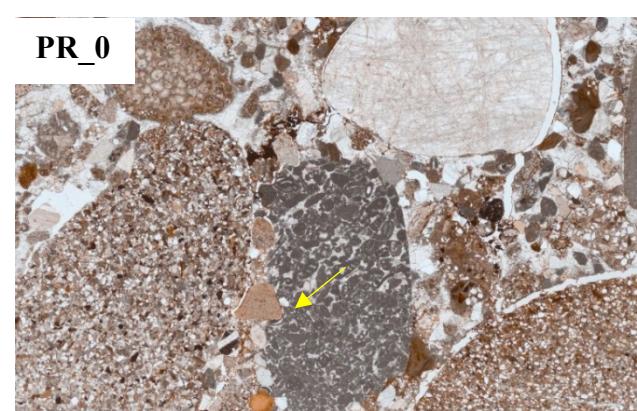
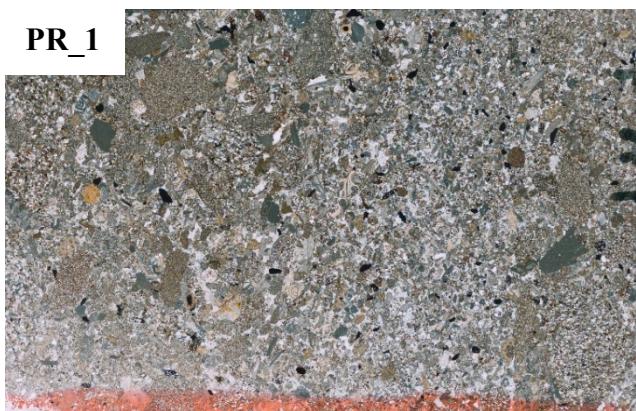
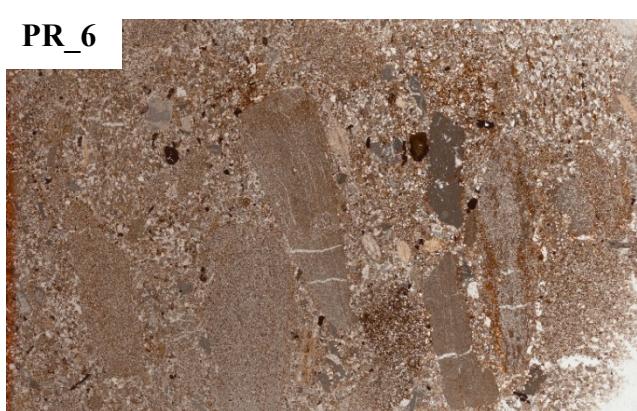
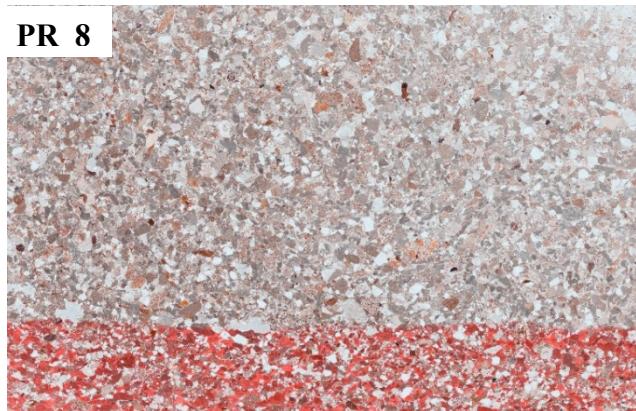
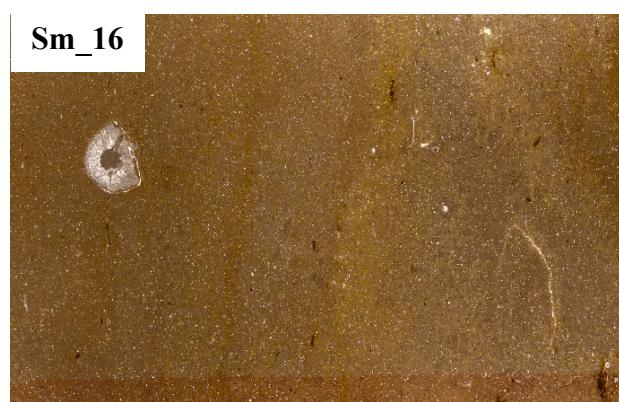
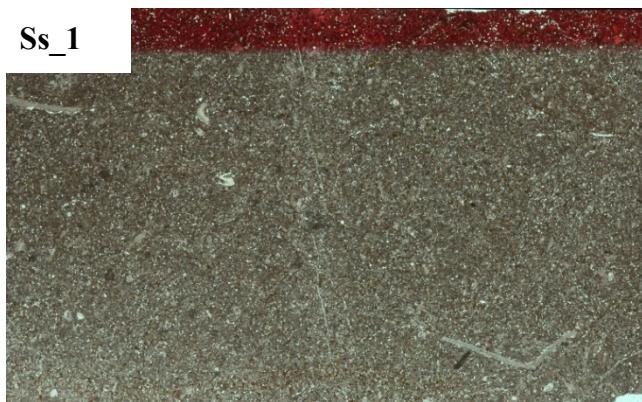
ANEXO VIII.- LÁMINAS DELGADAS ESCANEADAS. SITUACIÓN



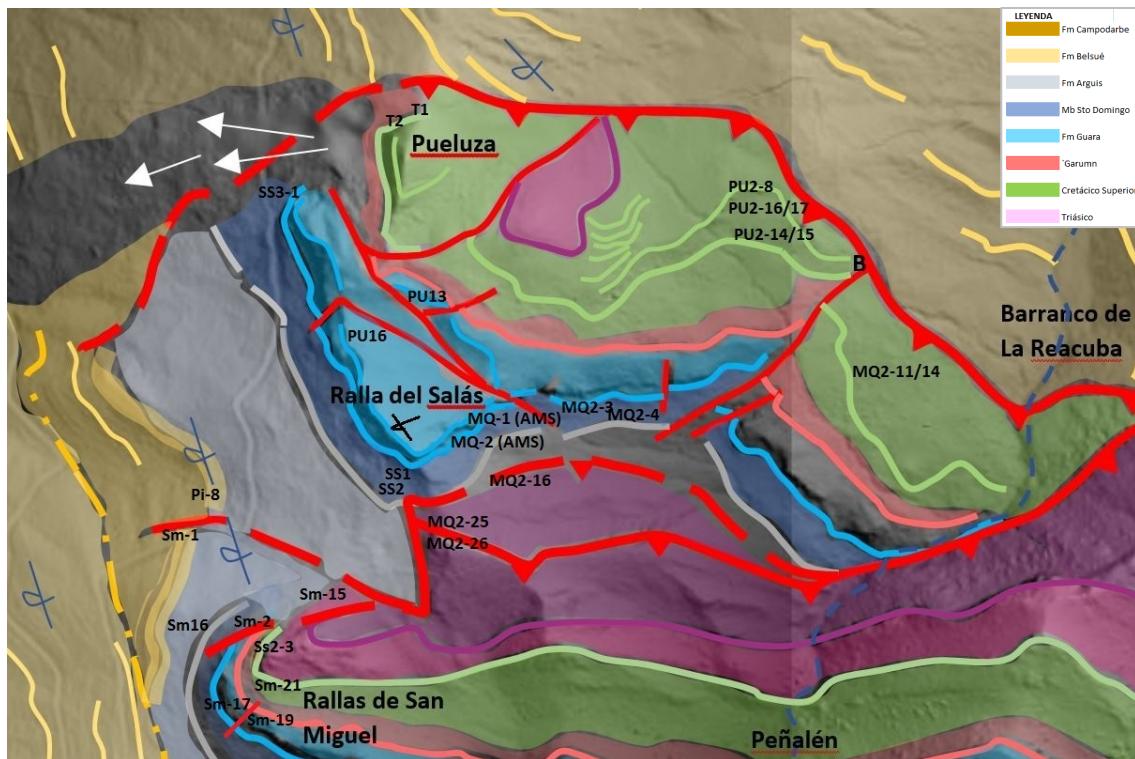
Anexo VIII Láminas escaneadas. PDM\_6 y PU-2 Dolomias tableadas de Plandemicas y Pueluza (triásico). MQ2\_25, MQ2\_26 y Sm\_15 Cataclastitas triásicas dedolomitizadas. Sm21 y Ss2\_3 Packstone de la Fm Tremp (Cretácico Sup.) del sinforme oeste del CSF. T-1 Packstone de la Fm Tremp brechificado en el contacto con las lutitas del Garumn. Campos de 4 x 2.5 cm excepto la última que es 2 x 1.25 cm



**Anexo VIII (2)** Láminas escaneadas. **Sm\_19, PU\_13 y PU\_16.** Wackestone eocenos de la Fm Guara inferior con grietas de extensión y estilolitos. **SS3\_1 (a y c)** Caliza brechificada con Briozos, Discocyclina, Operculina y Nummulites. Techo de la Fm Guara, o Mb de Santo Domingo (Fm Arguis). Luteciese terminal o Bartoniente. **Ss2\_2** Packstone-Grainstone con *Gypsina moussaviani*, *Idalina berthelini*, y *Orbitolites*. (Fm Guara) Luteciente. **MQ2\_3 y MQ2\_4** Bioesparita. Packstone. Mb Santo Domingo (Fm Arguis)



Anexo VIII (3) Láminas escaneadas. **Ss\_1** Arenisca con glauconita Mb Santo Domingo (Fm Arguis) Luteciense terminal-Bartoniense. **Sm\_16** Marga de la Fm Arguis del extremo W del sinforme del CSF con pequeños foraminíferos y un posible briozoo. **Pi\_8** y **Sm\_14** Areniscas posiblemente de la Fm Belsué. **PR\_8** Grauwacke lítica Primeras unidades al sur de la discordancia del CSF. **PR\_6** y **PR\_1** Microconglomerados de la Fm Campodarbe Superior con fragmentos líticos de mayor tamaño y de foraminíferos resedimentados. **Pr\_0** Conglomerado de la Fm Uncastillo inferior con contactos de presión disolución. Campos de 4x2.5 cm excepto el último de 2x1.5 cm.



Situación de las muestras utilizadas para las láminas delgadas de este anexo VIII

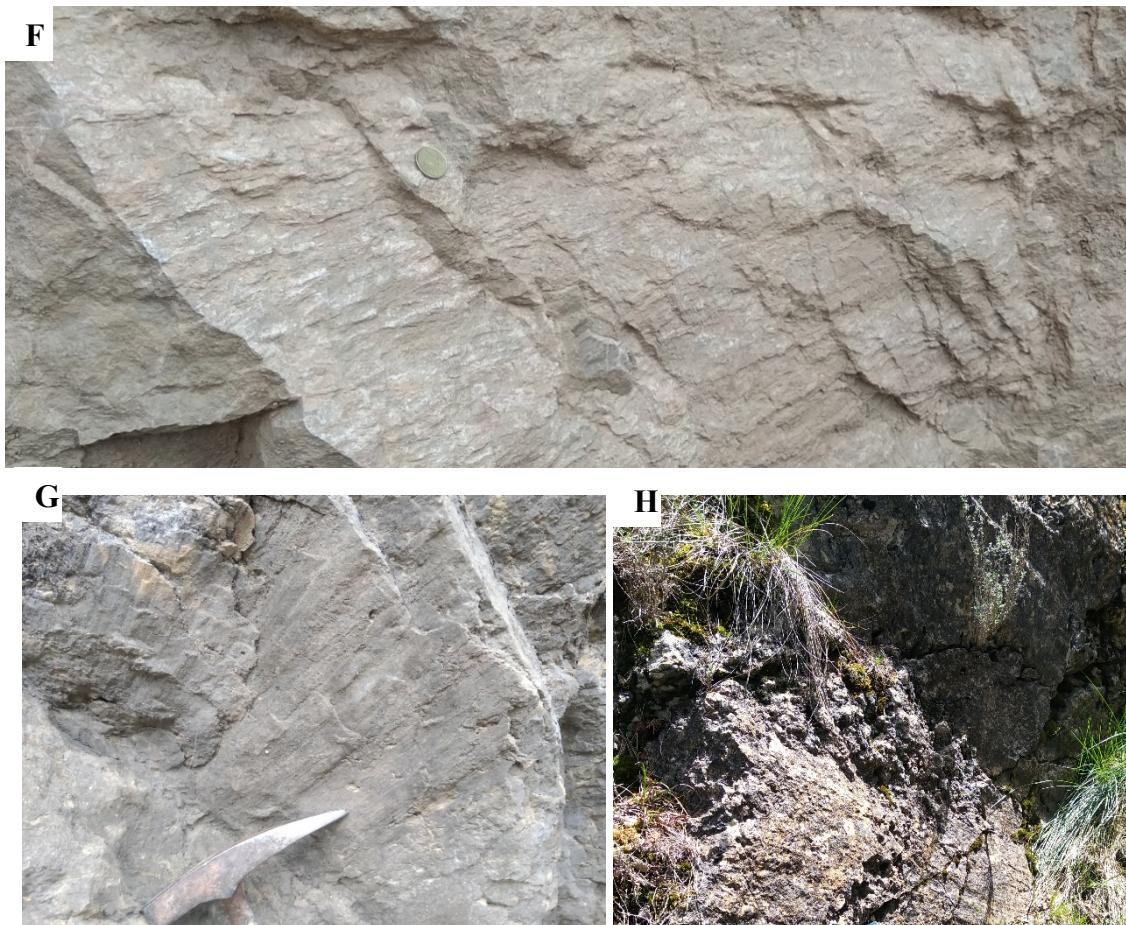
#### ANEXO IX.- LISTADO DE MUESTRAS

| MUESTRA | L/P | L/G | DESCRIPCIÓN        | MUESTRA | L/P | L/G | DESCRIPCIÓN         | MUESTRA  | L/P | L/G | DESCRIPCIÓN     |
|---------|-----|-----|--------------------|---------|-----|-----|---------------------|----------|-----|-----|-----------------|
| MQ_0    | sí  |     | Pacstone Alv/Milio |         |     |     |                     |          |     |     |                 |
| MQ2_1   | sí  |     | Biomicrita Wack    | AT_1    | sí  |     | Biomicrita Wack     | PR_1     | sí  |     | Microcong bio   |
| MQ2_2   | sí  |     | Bioesparita Pack   | AT_2    | sí  |     | Biomicrita Wack     | PR_2     |     |     |                 |
| MQ2_3   | sí  |     | Bioesparita Pack   | AT_3x   | sí  |     | Dolomía             | PR_3     |     |     |                 |
| MQ2_4   | sí  |     | Bioesparita Pack   | AT_4    | sí  |     | Rudstone            | PR_4     |     |     |                 |
| MQ2_5   | sí  |     | Bioesparita Pack   | AT_5    | sí  |     | Rudstone            | PR_5     | sí  |     | Aren-Cong bio   |
| MQ2_6   | sí  |     | Biomicrita Wack    | AT_6    | sí  |     | Wack-Rud            | PR_6     | sí  |     | Microcong bio   |
| MQ2_7   | sí  |     | Bioesparita Wack   | AT_7    | sí  |     | Wack-Rud            | PR_7     |     |     |                 |
| MQ2_8   | sí  |     | Brecha Doloesp     | AT_8    | sí  |     | Wack-Rud            | PR_8     | sí  |     | Grauvaca lítica |
| MQ2_9   | sí  |     | Esparita brechif   | AT_9    | sí  |     | Biomicrita Wack     | PDM_2a   | sí  |     | Brecha dolom    |
| MQ2_10  |     |     |                    | AT_10   | sí  |     | Rudstone            | PDM_6    | sí  |     | Dolomía         |
| MQ2_11  | sí  |     | Brecha Esp Lamin   | AT_11   |     |     |                     | PDM_10   | sí  |     | Brecha crist    |
| MQ2_11x | sí  |     | Brecha Doloesp     | AT_12   |     |     |                     | PDM_     |     |     |                 |
| MQ2_12  |     |     |                    | AT_13   |     |     |                     | PDM_     |     |     |                 |
| MQ2_13  | sí  |     | Biomic brechif     | AT_14   | sí  |     | Pack-Grainstone     | PDM_     |     |     |                 |
| MQ2_14  | sí  |     | Congl K dol/esp    | Sm_14   | sí  |     | Arenisca cem cal    | PU_1     |     |     | Arenisca        |
| MQ2_15  | sí  |     | Brecha K dol/esp   | Sm_15   | sí  |     | Caliza recristal    | PU_2 1/2 | sí  |     | Dolomía         |
| MQ2_16  | sí  |     | Brecha falla bioes | Sm_16   | sí  |     | Marga bio           | PU_3     | sí  | sí  | Brecha dolomit  |
| MQ2_17  | sí  |     | Biomicrita Wack    | Sm_17_2 |     | sí  | Brecha tect         | PU_4     |     |     |                 |
| MQ2_18  | sí  |     | Bioesparita Fant   | Sm_18   | sí  |     | Grain-Packstone     | PU_5     |     |     |                 |
| MQ2_19  |     |     |                    | Sm_19   | sí  |     | Biomicrita Wack     | PU_6     |     |     |                 |
| MQ2_20  |     |     |                    | Sm_20   |     |     |                     |          |     |     |                 |
| MQ2_21  | sí  |     | Biomicrita Wack    | Sm_21   | sí  |     | Packstone           | PU_13    | sí  |     | Mudstone Fe     |
| MQ2_21b | sí  |     | Biomicrita Q. Wack | Sm_26   |     | sí  | Grain Alveo Brech   | PU_16    | sí  |     | Mud/Wack brech  |
| MQ2_22  | sí  |     | Q_BioPack Glauc    | Ss_1    | sí  |     | Q-Grain glaucon     | T_2      | sí  |     | Brecha Pack     |
| MQ2_23  | sí  |     | Brecha biomicrita  | SS2_1   | sí  |     | Q-Grain             |          |     |     |                 |
| MQ2_24  | sí  |     |                    | SS2_2   | sí  |     | Pack-Grain Miliolid | T_8      | sí  |     | Wack/Pack-Q     |
| MQ2_25  | sí  |     | Brecha esparita    | SS2_3   | sí  |     | Grainstone          | T_10     | sí  |     | Arenisca        |
| MQ2_26  | sí  |     | Brecha +?          | Pi_8    | sí  |     | Arenisca cem cal    |          |     |     |                 |

ANEXO X.- ESTRIAS DE FALLA



Anexo X. Estrías de falla. A) Espejo de falla en un bloque suelto de brechas triásicas en el collado de Plandemicas B) Estrías en el techo invertido de un estrato calizo en la Ralla del Salás. C) Estrías en el bloque orientado MQ-1. D) Estrías en un gran bloque desprendido de calizas con alveolinas en el cauce del Barranco de la Reacuba. E) Espejo de falla en la muestra orientada MQ\_2 en el lado sur de la escama del Salás



F) Estrías en calizas cretácicas en el lado W de la punta de Pueluza. G) Espejo de falla en calizas Eocenas en la Escama de Artaso en el nivel de la muestra AT\_10 H) Estrías en brechas triásicas del nivel de la muestra MQ2\_16.

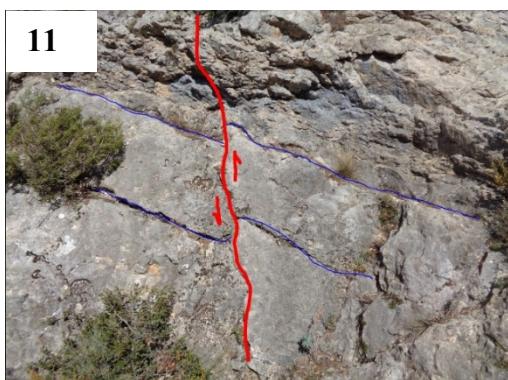
ANEXO XI.- GARUMN y CAÍDA DE BLOQUES



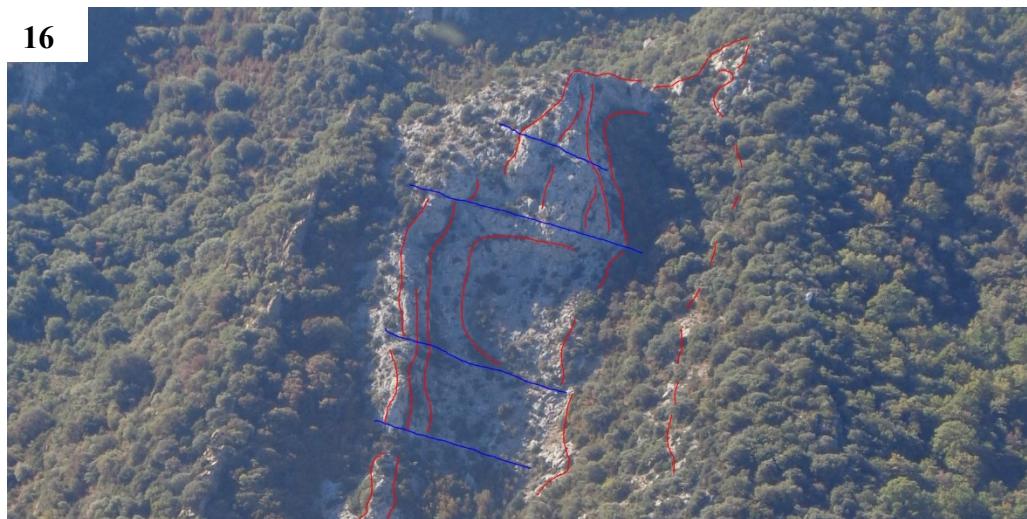
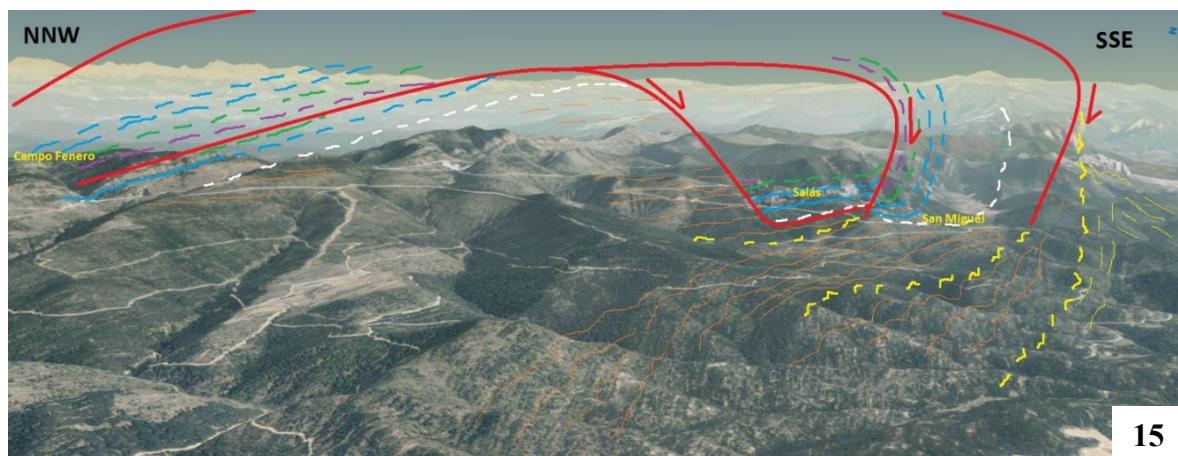
ANEXO XII- GALERÍA FOTOGRÁFICA



**Anexo XII.- Galería fotográfica. 1 y 3)** Grandes bloques de brechas de cantos a su vez brecoídes en la parte alta del barranco de la Reacuba. **2)** Estratificación cruzada en calcarenitas del Cretácico Superior en la Foz del Molino, al norte de San Felices. **4)** Areniscas laminares y en bancos de la Fm. Belsué, o tal vez del Miembro Sto Domingo de la Fm. Arguis, al norte de San Miguel de Liso. **5)** Esquistosidad en calizas de la Fm. Guara inferior en la escama del Salás. **6)** Buzamiento fuertemente invertido y diaclasas en las areniscas de la Fm. Campodarbe al sur del CSF en el barranco de la Reacuba.Fotos del autor

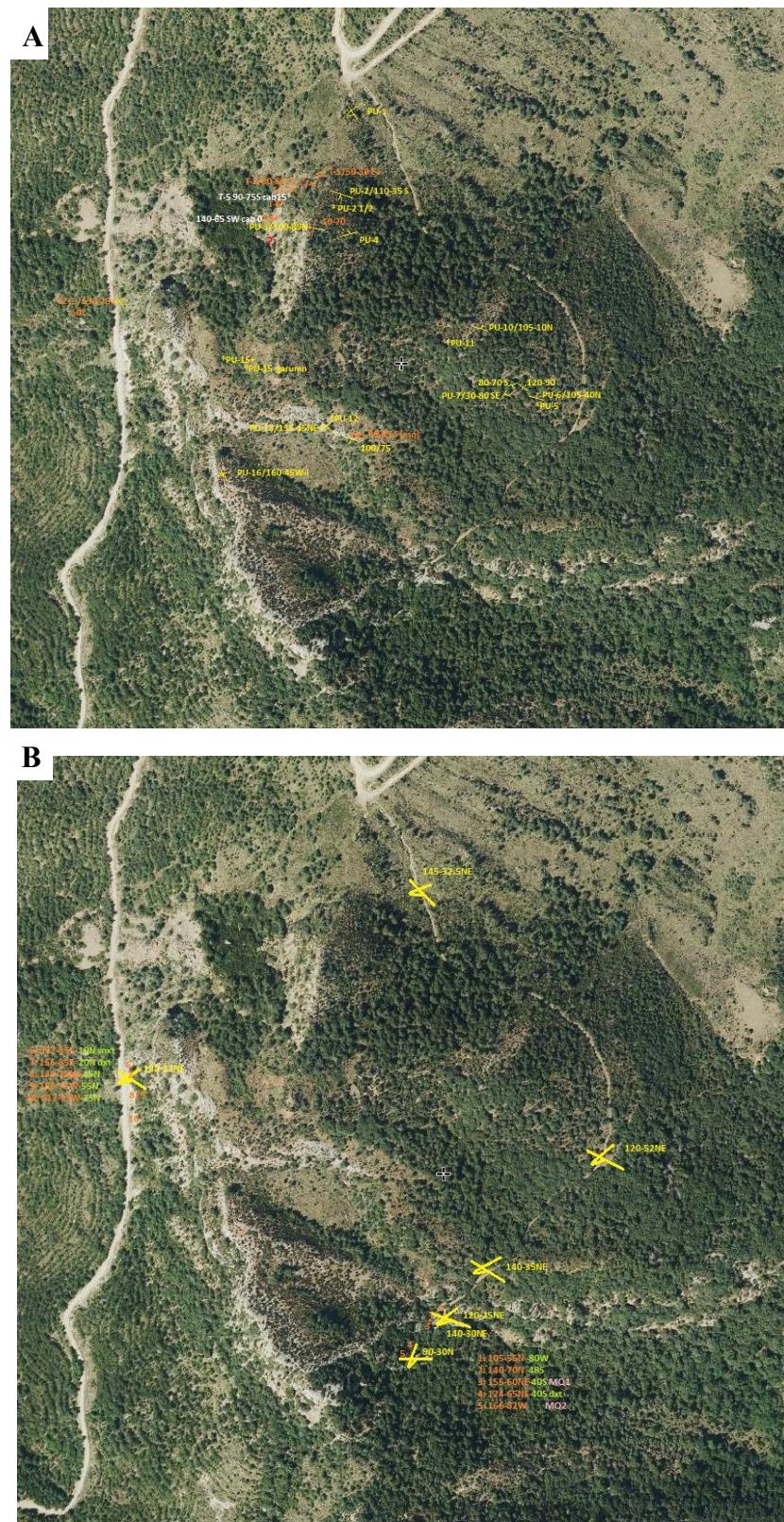


**Anexo XII.- Galería fotográfica (2)-** 7) Estructura siniforme en calizas de la Fm Tremp en Pueluza W. 8) Calcarenitas tableadas del Cretácico Superior en Pueluza E. 9) Panorámica de Plandemicas. 10) Tras el autor calizas de la Fm Guara del bloque inferior. En primer plano brechas triásicas en Plandemicas. 11) Interpretación de una falla en la Fm Guara en el horse del Salás. 12) Areniscas glauconíticas con esquistosidad del Mb. Santo Domingo (Fm Arguis).

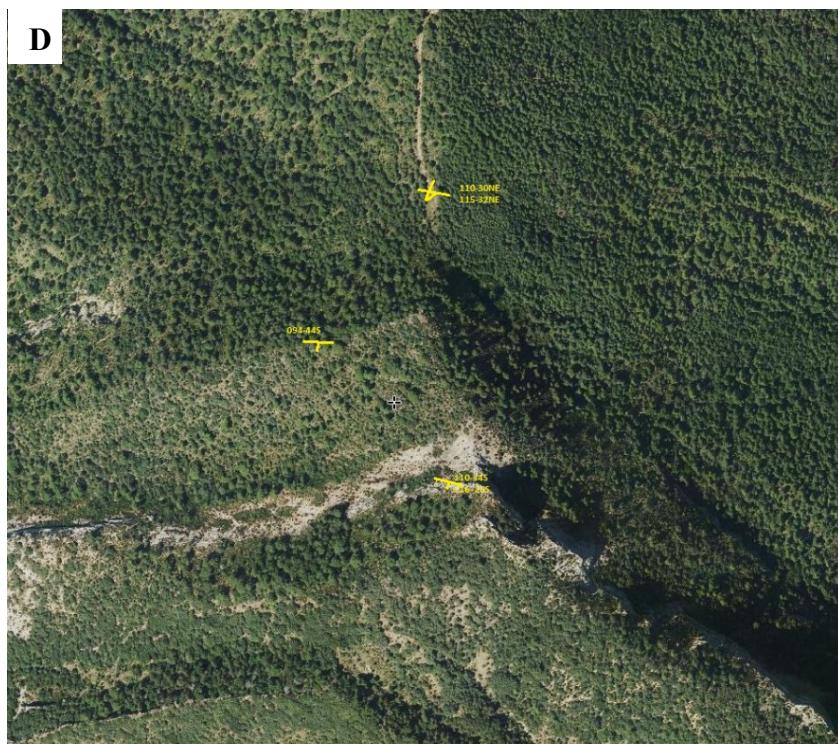
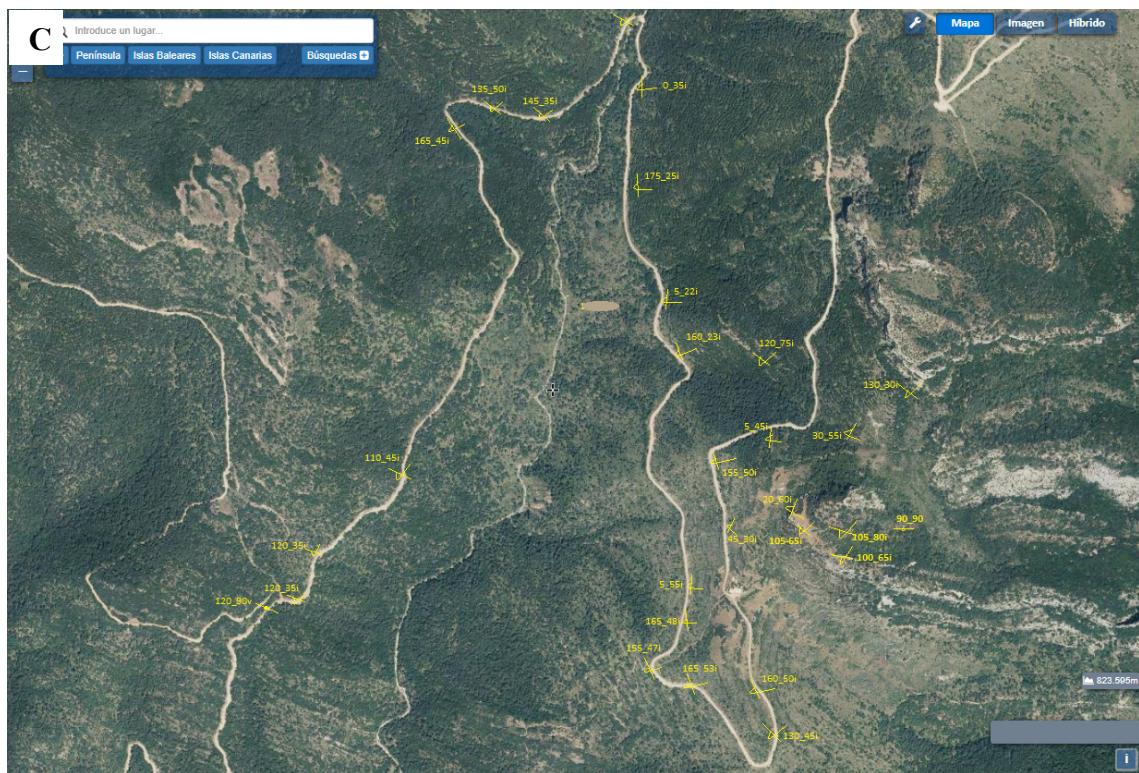


**Anexo XII.- Galería fotográfica (3)- 13)** Lutitas garumnenses en el tramo inferior de la pista de San Miguel, cerca de la fuente de A' Choceta. **14)** Buzamiento WNW de la Fm Guara en la Ralla del Salás. **15)** Interpretación estructural del CSF sobre una imagen virtual. **16)** Interpretación de pegamientos en un afloramiento triásico al NE de la Ralla de San Miguel

### **ANEXO XIII.- LOCALIZACIÓN MEDIDAS**



**Anexo XIII.- Medidas de campo y lugar de toma de muestras en las jornadas de campo 4 (foto B) y 5 (foto A) en la escama del Salás. En A no queda reflejado, pero todos los buzamientos son invertidos. Editado sobre ortofotografías PNOA de máxima actualidad del IGN.**



Anexo XIII.- C) Medidas de estratificación en la Fm Campodarbe y en el extremo sur del CSF.  
D) Medidas en Plandemicas. Editado sobre ortofotografías PNOA de máxima actualidad del IGN.