

UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

GRADO EN GEOLOGÍA

TRABAJO FIN DE GRADO

Estratigrafía y tectónica del Terciario en el sector Nigüella-Mesones de Isuela (Zaragoza)

Nerea Santos Bueno

18/09/2015

Trabajo dirigido por: Concha Arenas y Andrés Gil



ÍNDICE.

Abstract.....	1
1. Planteamiento.....	2
2. Objetivos.....	2
3. Metodología.....	2
4. Contexto geológico.....	3
5. Presentación y discusión de los principales resultados obtenidos.....	4
5.1. Materiales.....	4
5.2. Mapa geológico.....	6
5.3. Cortes geológicos y estructura.....	8
5.4. Estratigrafía.....	9
5.4.1. Columnas estratigráficas.....	9
- Columna del barranco del cementerio de Nigüella.....	9
- Columna del barranco de la carretera de Nigüella-Mesones de Isuela.....	12
- Columna del barranco de los bancales.....	14
5.4.2. Correlación.....	14
5.4.3. Descripción e interpretación de facies.....	15
5.4.4. Asociación vertical de facies.....	19
5.5. Discusión de resultados: evolución sedimentaria y su relación con la tectónica.....	19
6. Conclusiones.....	25
7. Bibliografía.....	26
8. Anexos.....	27



ABSTRACT

This work is focussed on the Tertiary materials situated in the Nigüella-Mesones de Isuela sector (Zaragoza province, Spain). These materials unconformably overlie different Mesozoic units and are considered Miocene in age (Ramírez del Pozo *et al.*, 1978). The main tectonic structure affecting the Tertiary is a NW-SE syncline, which extends towards NW outside the study area. We have studied their SE extreme. The main objectives of the study were the knowledge of the general geological history of the Nigüella-Mesones de Isuela sector, focussed on the Tertiary, including the interpretation of their sedimentary environment. To achieve these different objectives we made the geological cartography of the zone (1:10.000) and measured three stratigraphic sections (1:100) through the Tertiary. To interpret the structure, we have made three detailed geological cross sections. There are different small faults with an orientation N-S, E-W and WNW-ESE. However, the main macro-scale tectonic structures are 1) a normal-reverse fault (Nigüella Fault), which, to the North, has a sinistral component, and 2) a Tertiary syncline, both structures with a mean orientation NNW-SSE. The Nigüella Fault affects the Palaeozoic, Mesozoic and Tertiary materials. Tertiary materials were affected by the fault while they were deposited, causing their synsedimentary folding and resulting in the formation of the syncline.

Four main Tertiary units were mapped based on lithological and textural criteria; the two intermediate units only crop out in the southern half of the syncline. The total thickness ranges from 112 m in the southern part, to 74 m in the northern part. However, in the central part the thickness is 48 m.

Correlation and facies analysis of the measured sections allowed the interpretation and evolution of the sedimentary environment. The main facies associations (FA) are: A) alluvial FA: $Fm \rightarrow [Gm1, Gm1b] \leftrightarrow (Gh)$; $[Gm1, Gm1a] \rightarrow Fm \rightarrow (Cm)$; B) alluvial-fluvial FA: $[Gm2] \rightarrow Fm$; C) carbonate fluvio-lacustrine FA: $[Cbt \leftrightarrow Cbtv] \rightarrow (Ce) \rightarrow [M, (Fm)] \rightarrow Cm$; $[Cbt \leftrightarrow Cbtv] \leftrightarrow [M, (Fm)] \rightarrow Cm$; and D) carbonate lacustrine FA: $M \rightarrow Cm$. The basin fill in this sector records three main sedimentary stages, with a clear expansion of lacustrine conditions through time: dominant fluvial-alluvial conditions, followed by dominant fluvial-lacustrine conditions and then dominant lacustrine conditions. The nature of the coarse alluvial-fluvial facies and the areal distribution of the lithofacies suggest a principal sediment source (mostly from carbonate Mesozoic drainage areas) from the East and North, with local coarse inputs from the West. However, further studies on a broader area would allow a better approach to this hypothesis.

Tertiary compressive tectonics controlled both the sedimentation and the folding of all the sedimentary units, as it is evidenced by the thickness variations of the sedimentary units through the main cartographic-scale syncline. The main NW-SE trending cartographic fault represents an ancient NE dipping lower Mesozoic normal fault responsible for a hectometric-scale vertical slip. Tertiary compression, that controlled the source areas during sedimentation and location of a depocenter in the SW of the study area, gave rise to the buttressing of all the Tertiary record against the fault.

1. PLANTEAMIENTO

La zona estudiada se encuentra entre Mesones de Isuela y Nigüella, poblaciones de la Comunidad de Calatayud, en la Provincia de Zaragoza (Aragón), al Sur de la Sierra del Moncayo (Fig. 1A).

Geológicamente, el registro terciario de este sector forma parte de un conjunto de afloramientos terciarios que aparecen en la parte central de la Cordillera Ibérica (Rama Aragonesa) y que en su mayoría constituyen un sinclinal con dirección NW-SE. Dichos materiales se extienden desde el Norte de la localidad de Trasobares hasta Nigüella. Esta zona no cuenta con estudios detallados, exceptuando la información que podemos encontrar en el *Mapa geológico de Illueca (hoja 381)* (Ramírez del Pozo *et al.*, 1978), en el cual podemos apreciar gran parte de dicho sinclinal (Fig. 1B).

En este trabajo se va a estudiar la zona Sur de este sinclinal terciario, tanto los materiales que lo conforman como aquéllos que quedan estratigráficamente por debajo de él. De esta forma se intentará llegar al conocimiento de la evolución geológica de la zona, con énfasis en la estratigrafía y tectónica de los materiales terciarios, pudiendo llegar a interpretar el ambiente de sedimentación en el cual se depositaron éstos.

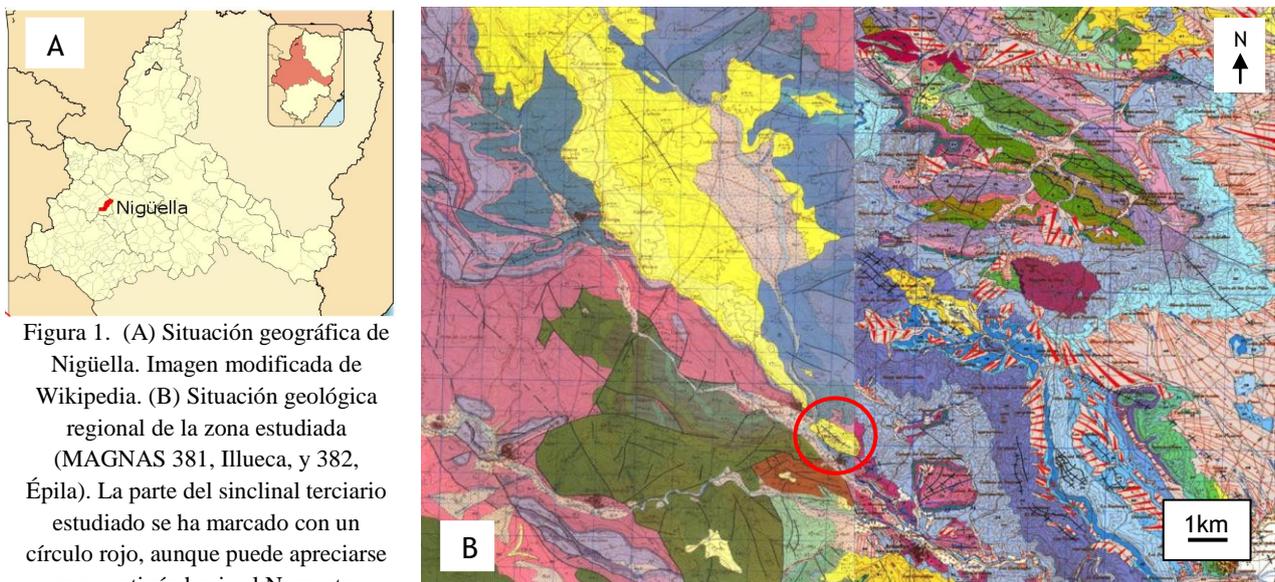


Figura 1. (A) Situación geográfica de Nigüella. Imagen modificada de Wikipedia. (B) Situación geológica regional de la zona estudiada (MAGNAS 381, Illueca, y 382, Épila). La parte del sinclinal terciario estudiado se ha marcado con un círculo rojo, aunque puede apreciarse que continúa hacia el Noroeste.

2. OBJETIVOS

El trabajo propuesto tiene como finalidad la aplicación de técnicas y conocimientos adquiridos en el Grado de Geología al estudio de un caso concreto: el conocimiento de la historia geológica de los materiales que se encuentran en el sector Nigüella-Mesones de Isuela (Zaragoza), con énfasis en la Estratigrafía y Tectónica del Terciario. Los objetivos principales son: 1) caracterización estratigráfica y tectónica del Terciario; 2) interpretación y evolución de los sistemas de sedimentación durante el Terciario; y 3) integración de la información en el contexto de evolución geológica de la zona.

3. METODOLOGÍA

La metodología para la elaboración del presente trabajo consta de diversas partes, cada una destinada al conocimiento de diferentes aspectos de los materiales geológicos que se encuentran al Noroeste de Nigüella. Dicha metodología incluye técnicas de análisis propias de Estratigrafía y Geología Estructural, y comprende trabajo de campo, gabinete y laboratorio.

En primer lugar, se hizo una revisión bibliográfica general y más tarde específica. Al mismo tiempo, comenzó el estudio de la zona a partir de fotografía aérea, a escala 1:18.000, para poder tener una visión amplia de la distribución de los materiales, estudiar su continuidad lateral y sus relaciones geométricas y temporales.

Con el estudio exhaustivo de la fotografía aérea, se acudió al campo para reconocer y cartografiar los materiales con detalle, tomar datos de dirección y buzamiento de las distintas unidades mesozoico-terciarias, así como de las estructuras tectónicas presentes. Con los datos de la fotografía aérea y los recopilados en campo, se elaboró el mapa geológico a escala 1:10.000 y los cortes geológicos a escala 1:5.000.

Para el estudio estratigráfico del Terciario se realizaron tres columnas estratigráficas de detalle que incluyen todos los materiales que conforman el Terciario en este sector, recogiendo muestras de cada uno de ellos para su posterior análisis en laboratorio. Las columnas se han representado siguiendo el modelo habitual en Estratigrafía, con los términos texturales de Dunham (1962) y Embry y Klovan (1971) para los carbonatos. En las muestras carbonatadas se realizaron cortes y láminas delgadas. Estas últimas se estudiaron en microscopio óptico, con obtención de fotografías, para la descripción de las facies. Una vez caracterizadas las distintas facies del Terciario, se analizaron sus relaciones laterales y verticales, para intentar interpretar los procesos y ambientes en los cuales se depositaron. La correlación entre las columnas, junto con las observaciones en el campo, han permitido elaborar esquemas de la distribución de ambientes de sedimentación en el espacio y el tiempo.

Finalmente, se ha reunido toda la información y se ha plasmado en esta memoria.

4. CONTEXTO GEOLÓGICO

El área de estudio se sitúa en el sector Noroeste de la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica. Los materiales aquí presentes han sido afectados por diferentes fases tectónicas durante las Orogenias Hercínica y Alpina, e incluyen unidades del Cámbrico, Devónico, Triásico, Jurásico y Terciario. Las unidades paleozoicas están afectadas por anticlinales y sinclinales de gran radio con direcciones NNW-SSE a NW-SE, con vergencia NE; cabalgamientos de orden kilométrico y de importancia regional; y sistemas de fracturas E-W, NW-SE y SW-NE (Ramírez del Pozo *et al.*, 1978). Los materiales mesozoicos y terciarios se encuentran afectados por plegamientos con distinto grado de apretamiento y con dirección predominante NW-SE, correspondiéndose con pliegues de cobertera, disarmónicos con los materiales del zócalo, favorecidos por los materiales plásticos de edad triásico superior. Por lo que al Terciario se refiere, en este sector, está caracterizado por formar un sinclinal (Sinclinal de La Cabota, según Ramírez del Pozo *et al.*, 1978), con orientación NNW-SSE y un elevado grado de apretamiento en gran parte de su recorrido. Los depósitos cuaternarios presentan suave buzamiento hacia el Noroeste en algunos sectores (Fig. 1B), aunque de forma general se trata de materiales horizontales correspondientes con los depósitos del Río Isuela.

Los rocas terciarias objeto de estudio (conglomerados, lutitas y escasas areniscas en la base, y calizas y margas hacia techo) conforman la parte sur del sinclinal de La Cabota, que se denominará Sinclinal de Nigüella en este trabajo (Anexo 1), de orientación NW-SE, próxima a la dirección dominante de las estructuras del sector central de la Cordillera Ibérica. Estos materiales se encuentran discordantes sobre distintas unidades mesozoicas; el Triásico (Facies Buntsandstein, Muschelkalk y Keuper) y las formaciones Imón y Cortes de Tajuña. Según Ramírez del Pozo *et al.* (1978), en la *Memoria del mapa geológico de Illueca (381)*, los materiales terciarios se consideran de edad Miocena, siendo divididos

en dos tramos: uno inferior de carácter terrígeno con intercalaciones de calizas lacustres y margas blancas, del Burdigaliense-Vindoboniense Superior-Pontiense; y un tramo superior de calizas lacustres, de tonos claros y beige, oncolíticas, con margas blanquecinas y calizas micríticas o biopelmicríticas recristalizadas, de edad Vindoboniense Superior-Pontiense.

5. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE LOS PRINCIPALES RESULTADOS OBTENIDOS

La realización del mapa geológico a escala 1:10.000 ha permitido reconocer diversas unidades de las Eras Paleozoica, Mesozoica y Cenozoica (Anexo 1).

5.1. MATERIALES

5.1.1. Paleozoico

Los materiales paleozoicos, que no han formado parte de nuestro estudio, afloran en la esquina suroeste del mapa y se corresponden con pizarras de colores grisáceos y rojizos. Según Ramírez del Pozo *et al.* (1978), los materiales paleozoicos se corresponden con Cámbrico inferior y Devónico inferior, en contacto mediante el Cabalgamiento de Datos. Sobre estos materiales se apoya discordantemente el Mesozoico.

5.1.2. Mesozoico

- Triásico

-Facies Buntsandstein: Aflora en una banda paralela al río Isuela; se trata de una sucesión detrítica de colores rojizos, de hasta 285 m de espesor (Ramírez del Pozo *et al.*, 1978), caracterizada en esta zona por presentar una base conglomerática, con cantos de hasta 20 cm de diámetro, de naturaleza cálcica y silíceo. La parte media está constituida por areniscas de grano medio de colores rojizos y violáceos que hacia techo pasan a tener menor tamaño de grano, llegando a limos rojizos que coronan dicha unidad. En ocasiones presentan estratificación cruzada, tanto planar como en surco. Estos materiales se disponen discordantemente sobre el Paleozoico.

-Facies Muschelkalk: esta unidad se dispone adosada al afloramiento de los materiales en facies Buntsandstein. En el área estudiada, los tramos M1 y M2 se han considerado en conjunto, ya que no han podido diferenciarse con claridad; su espesor es de 24 m (Ramírez del Pozo *et al.*, 1978). M1 se corresponde con calizas grises, mientras que M2 se caracteriza por presentar limos, margas y yesos abigarrados. Por otro lado, el tramo M3 presenta un espesor de 97 m (Ramírez del Pozo *et al.*, 1978) y consta de calizas grises con aspecto masivo que, en superficie, tiene colores grises oscuros e incluso negros. Puede reconocerse con facilidad, además, por el aspecto de “piel de cocodrilo” en superficie debido a la meteorización. Estos tres tramos se encuentran entre las Facies Buntsandstein y Keuper en contacto concordante.

-Facies Keuper: aflora en el centro y en los extremos N y SW del mapa; los materiales corresponden a limos y yesos abigarrados, con colores rojos, amarillos, verdes y blancos (Fig. 2), de hasta 80 m de espesor (Ramírez del Pozo *et al.*, 1978). En el sector estudiado tiene gran trascendencia como nivel de despegue de las fallas principales, hecho que se tratará más adelante. Esta unidad es aparentemente concordante con la Formación Imón.

- Formación Imón: se trata de dolomías grises que, en ocasiones, puede presentar colores más anaranjados debido a la meteorización (Fig. 2). Se presenta en estratos tabulares de pequeño espesor, los cuales alcanzan 50 cm de espesor. Su potencia media es de 40 m.

Figura 2. Fotografía del Norte de Nigüella. Sobre los depósitos de la Facies Keuper se apoya concordantemente la Formación Imón. Sobre ellas, discordantemente, los materiales terciarios estudiados en el presente trabajo.



- **Jurásico**

Ocupa la parte Noreste de la zona de estudio. En el sector estudiado, los materiales del Jurásico se corresponden con las formaciones Cortes de Tajuña y Lécera, y un conjunto indiferenciado que presenta facies oncolíticas.

-Formación Cortes de Tajuña: se presenta como materiales de distinta naturaleza, aunque siempre tiene colores grises o amarillentos. Puede tratarse de brechas grises constituidas por cantos calizos y, en menor medida, cantos de arenisca permotriásicos. También podemos encontrar carníolas de colores amarillentos o anaranjados, al igual que pueden aparecer con colores grises. En cualquiera de los casos, la Formación Cortes de Tajuña tiene aspecto masivo. Esta formación aparece discordante sobre los materiales Mesozoicos anteriores, y llega a alcanzar potencias de hasta 400 m (Robador *et al.*, 2006).

-Formación Lécera: se corresponde con yesos de colores amarillentos y grisáceos que aparecen como paso lateral a techo de la Formación Cortes de Tajuña.

5.1.3.Cenozoico

- **Terciario**

Dentro de los materiales del Terciario encontramos diversas litologías, las cuales, por orden cronológico se corresponden con: conglomerados y lutitas, calizas fitoclásticas y oncolíticas, margas, calizas tobáceas y micríticas (Fig. 3). Todos estos materiales se encuentran afectados por el sinclinal de Nigüella, con dirección NW-SE. El espesor máximo es de 112,4 m.



Figura 3. Vista panorámica del Sinclinal de Nigüella, afectando a las distintas unidades terciarias diferenciadas en este trabajo, desde su extremo SE. En la imagen se han diferenciado las diferentes unidades del Terciario mediante líneas rojas.

- Conglomerados: se trata de conglomerados grises granosostenidos constituidos por cantos carbonatados del Triásico superior y jurásicos y silíceos permotriásicos, en su mayoría mal clasificados. Pueden presentar desarrollo de calcretas (Fig. 4). En ocasiones, aparecen calizas laminadas intercaladas entre los estratos de conglomerado.



Figura 4. Detalle de las calcretas en los conglomerados.

- Calizas fitocásticas y oncolíticas: encontramos un estrato de calizas grises con cambio de espesor con respecto al eje del sinclinal en el cual se ven involucradas. Se trata de unas calizas compuestas en su totalidad por fitoclastos y oncolitos (rudstone), los cuales, hacia el techo del estrato pasan a ser de menor tamaño y están en menor abundancia, llegando a dar lugar a un mudstone. Estas calizas se encuentran muy cementadas.

- Margas: existe un paquete de margas de gran espesor, el cual, al igual que en el caso anterior, cambia de espesor con respecto al eje del sinclinal. Estas margas presentan colores blancos y amarillentos.

- Calizas tobáceas y micríticas: se trata de calizas grises y blancas constituidas por fitoclastos y oncolitos (envueltas cálcicas de tallos y hojas de plantas), lo cual les confiere una textura rudstone. En ocasiones, las envueltas cálcicas se disponen perpendicularmente a la estratificación, indicativo de su posición “in situ” por lo que la textura pasa a ser boundstone. Los componentes fitocásticos llegan a desaparecer hacia techo, dando lugar a unas calizas blancas con textura mudstone.

- Cuaternario

Los materiales cuaternarios se corresponden con depósitos detríticos del río Isuela y de algunos de los barrancos presentes en la zona de estudio.

5.2. MAPA GEOLÓGICO

El mapa geológico (Anexo 1) engloba las unidades anteriormente descritas, las cuales se encuentran afectadas por diferentes etapas de deformación.

En el Suroeste del mapa se encuentran materiales Paleozoicos pertenecientes al Cámbrico y Devónico. En este sector Sur del Río Isuela podemos encontrar dos “Klippes” tectónicas, de reducidas dimensiones, constituidas por materiales cámbricos dispuestos sobre materiales devónicos (Ramírez del Pozo *et al.*, 1978). Hacia el Norte, sobre los materiales paleozoicos, se dispone discordante el Cuaternario depositado por el río.

Las unidades del Mesozoico afloran extensamente al Este del río Isuela. A escala regional, aquéllas, se disponen discordantemente sobre cualquier unidad anterior. En la zona de estudio, los depósitos en facies Buntsandstein y Muschelkalk se encuentran afectados por fallas con dirección N-S, E-W y WNW-ESE de pequeña entidad. La estructura principal, de carácter frágil, es la Falla de Nigüella que, con una orientación NNW-SSE, discurre a lo largo de toda la zona poniendo en contacto materiales de edad triásica (facies Buntsandstein y Muschelkalk) en el bloque occidental con materiales jurásicos y terciarios del bloque oriental.

En la zona Sureste del mapa, en el bloque oriental de la falla de Nigüella, encontramos sendos pliegues de escala hectométrica, de orientación NW-SE, vergentes al SW y con el flanco común vertical.

Ambas estructuras afectan a los materiales en facies Keuper y de las formaciones Imón y Cortes de Tajuña.

Un aspecto peculiar de la zona de estudio es la presencia de la Formación Lécera, de edad Jurásico inferior, en la zona más septentrional cartografiada. Ésta consiste en yesos masivos de tonos blancuzcos como paso lateral con las brechas de la Formación Cortes de Tajuña. La zona de afloramiento se denomina “la Yesera”, precisamente por tratarse de materiales yesíferos que fueron explotados.

En el centro del mapa se hallan los materiales terciarios, discordantes sobre todo lo anterior, constituyendo un sinclinorio y afectados por fallas decamétricas de orientación preferente N-S a NW-SE. La base de estos materiales está constituida por conglomerados grises, los cuales presentan mayores espesores al Sur. Dichos conglomerados afloran en todo el sinclinal, excepto en una parte del flanco Suroeste. Existen unas calizas grises oncolíticas y fitoclásticas muy cementadas, en contacto concordante con los conglomerados anteriores, las cuales pierden espesor hacia el Noreste, es decir, hacia el flanco NE del sinclinal. En el flanco Suroeste se ven limitadas por una falla normal, aunque no vuelven a aparecer hacia el Norte, por lo que se encuentran exclusivamente en la zona Sur del sinclinal. Las margas que se encuentran por encima de ellas experimentan un cambio lateral con los conglomerados, perdiendo espesor hacia el Norte, quedando limitadas a la zona Sur del sinclinal, al igual que las calizas infrayacentes. Las calizas tobáceas y micríticas que encontramos por encima de ellas coronan el sinclinal.

En cuanto al sinclinal principal (sinclinal de Nigüella) que recorre la zona de NW a SE, en su tramo más meridional, cerca del pueblo de Nigüella, presenta una forma ligeramente asimétrica (Fig. 5). En este sector, el flanco Noreste tiene un buzamiento menor que el flanco Suroeste. Sin embargo, conforme nos desplazamos hacia el NW, ambos flancos ganan buzamiento, llegando a alcanzar los 70°. En este sector, y en la parte más NW, el sinclinal principal presenta una morfología más simétrica, con una charnela más angulosa. Como muestra la cartografía, la mayor parte de la traza del pliegue es paralela a la traza de la falla principal que recorre la zona (Anexo 1).



Figura 5. Zona Sur del sinclinal de Nigüella (vista hacia el Sur). En la imagen puede apreciarse la charnela del pliegue afectando al tramo de calizas micríticas.

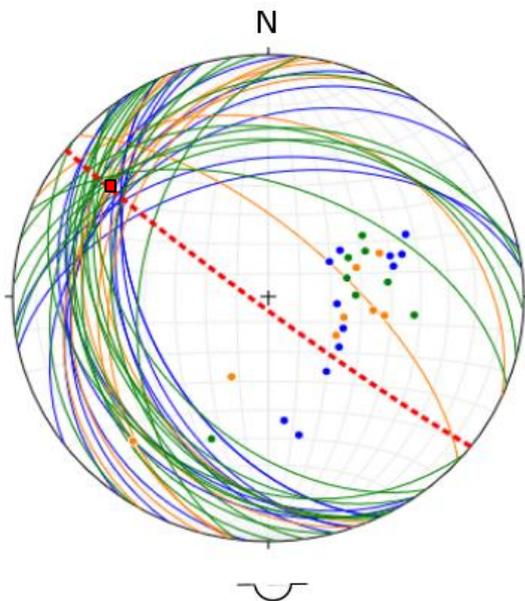
5.3. CORTES GEOLÓGICOS Y ESTRUCTURA

En los cortes geológicos realizados (Anexo 2) pueden apreciarse las características estructurales del área estudiada. De esta manera caracterizaremos la estructura tectónica de la zona de estudio.

La Falla de Nigüella (F.N.) es la principal macroestructura frágil que puede apreciarse en los tres cortes. Como se observa en los cortes, se trata de una falla con orientación NNW-SSE, con el bloque hundido al NE, que, como se deduce de la geometría de los pliegues del bloque superior, ha sido afectada tanto por extensión como por contracción. En el tercio más NW la traza de la falla se bifurca en una falla secundaria de clara componente sinestral. En este tramo direccional, podemos apreciar la existencia de un horse extensional asociado a la misma (Corte geológico 3-3').

Tanto en los cortes geológicos como en el mapa geológico, podemos observar la presencia de diferentes plegamientos en los materiales mesozoicos que coinciden con la orientación de la Falla de Nigüella y que presentan vergencias hacia el Sur. Afectando a materiales triásicos y jurásicos podemos encontrar una sucesión de sinclinal y anticlinal volcados con vergencia Sur cuya traza es oblicua a la de la falla principal. En la charnela anticlinal, el espesor de los materiales de la Facies Keuper aumenta considerablemente.

En cuanto a las unidades terciarias, éstas aparecen igualmente plegadas, configurando una estructura sinclinal, pero, como se observa en la cartografía, según una dirección oblicua respecto a la de los materiales mesozoicos. Como muestra en los cortes geológicos (Anexos 1 y 2, corte 1-1') se trata de un pliegue, a grandes rasgos, simétrico con un grado de apretamiento creciente de SE a NW.



En el estereograma adjunto (Fig. 6) pueden apreciarse las orientaciones de los diferentes materiales terciarios afectados por el sinclinal con un eje medio de orientación 26,306 y superficie axial 128,87 S.

Figura 6. Estereograma de datos de planos de estratificación de las unidades terciarias afectadas por el sinclinal. En color azul se han representado los conglomerados basales, en color naranja, las calizas oncolíticas y fitoclásticas, y en color verde, las calizas tobáceas y micríticas. El cuadrado rojo y la ciclográfica roja discontinua representan el eje de plegamiento y el plano axial medio del sinclinal respectivamente.

Todas las estructuras tectónicas de origen compresivo, tanto mesozoicas como terciarias, presentes en el mapa y en los cortes geológicos sufren un mayor apretamiento hacia el Noroeste, coincidiendo con el tramo direccional de la Falla de Nigüella.

5.4. ESTRATIGRAFÍA

5.4.1. Columnas estratigráficas

Los materiales terciarios fueron el objeto principal del trabajo desde un principio. Para abordar su estudio se realizaron numerosas observaciones puntuales y se levantaron tres columnas estratigráficas (Fig. 7) que nos permitieron obtener datos de detalle de cada una de las diferentes unidades. La representación gráfica de las columnas estratigráficas se encuentra en el Anexo 3. Se realizó una correlación de las mismas, la cual halla en el Anexo 4.

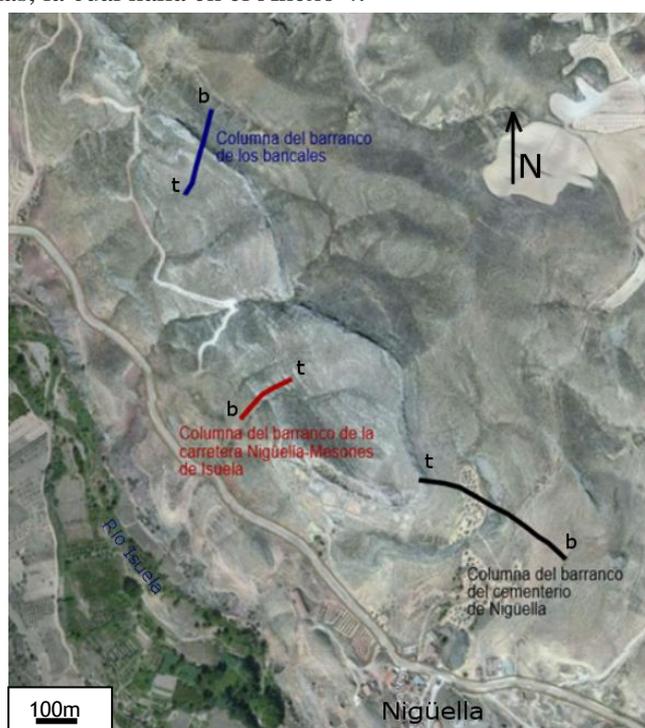


Figura 7. Situación de las columnas estratigráficas (b: base; t: techo).

- Columna del barranco del cementerio de Nigüella

La columna se sitúa al Norte de la localidad de Nigüella. Se halla en la hoja nº 381 (Illueca) del mapa topográfico nacional a escala 1:50.000. La base de la columna se sitúa en el barranco situado al Este del cementerio de Nigüella y el techo en la parte más moderna del sinclinal terciario (Fig. 7). Las coordenadas UTM aproximadas son: Base: 30TXL234999 - Techo: 30TXM231001.

Se trata de una sucesión discordante sobre la Formación Cortes de Tajuña, compuesta por conglomerados en la zona basal de la columna, calizas constituidas principalmente por restos vegetales cubiertos por calcita y oncolitos en la zona media y calizas micríticas blancas en la parte superior.

De base a techo se han establecido los siguientes tramos:

TRAMO 1. 11,40 m. de limos grisáceos con intercalaciones de conglomerados grises y calizas grises y rojizas.

Los limos se disponen en estratos tabulares, alcanzando espesores de casi 3 m.

Los conglomerados forman estratos tabulares de 0,3 a 1,2 m de espesor. Tienen fábrica granostenida; los clastos son de litología variada (calizas y dolomías grisáceas, y areniscas rojizas permotriásicas), heterométricos (0,5 a 12 cm), angulosos y subredondeados; la matriz es rojiza, microconglomerática a arenosa.

Las calizas tienen textura mudstone y forman estratos tabulares de pocos cm a 40 cm, ocasionalmente con laminación horizontal.

El conjunto del tramo muestra desarrollo de calcretas.

TRAMO 2. 6,6 m. de limos blancos y rojizos con intercalaciones de conglomerados grises.

Los limos forman paquetes de hasta 2 m de espesor, sin estructuras apreciables.

Los conglomerados forman estratos tabulares de 0,1 a 0,71 m de espesor. Tienen fábrica granosostenida, y hacia techo son no granosostenidos. Los cantos son de caliza y dolomía de colores grisáceos, así como de areniscas rojizas permotriásicas. Son angulosos y muy heterométricos, variando desde 8 cm en la base del tramo hasta unos pocos mm hacia techo. Muestran evolución granodecreciente. El conjunto muestra desarrollo de calcretas.

TRAMO 3. 19,7 m de alternancia de lutitas rojizas y grisáceas y conglomerados grises.

Las lutitas y margas forman intervalos con espesores de entre 30 cm y 2,10 m, sin estructuras apreciables.

Los conglomerados se disponen en estratos tabulares, a veces con morfología de canal, y bases erosivas, de 0,5 y 0,95 metros. Son granosostenidos, con cantos calizos y dolomíticos grisáceos y areniscos rojizos, tanto redondeados como angulosos, y poco esféricos, mal clasificados (0,5 a 32 cm de diámetro); la matriz es de arenisca rojiza. Uno de los estratos que encontramos en el tramo presenta estratificación horizontal. En general son granodecrecientes o sin evolución, pero también forman secuencias granocrecientes.

El conjunto muestra desarrollo de calcretas.

TRAMO 4. 3,40 m. de conglomerados grises con intercalaciones de margas arenosas blanco-anaranjadas y lutitas y margas amarillentas y blancas.

Los conglomerados constituyen estratos tabulares que en ocasiones presentan bases canaliformes, con potencias de 50 cm a 1 metro. Son granosostenidos, con clastos calizos y dolomíticos de colores grisáceos y areniscas rojizas, desde 2 hasta 11 cm de diámetro. La matriz es de arenisca gruesa de color gris-rojizo. Muestran granoselección tanto positiva como negativa.

Las margas arenosas se disponen en estratos tabulares que varían entre 0,20 y 0,60 m de espesor.

Las lutitas y margas se presentan en estratos tabulares de 20 cm de espesor que se sitúan hacia el techo del tramo.

El tramo no tiene una evolución granulométrica clara.

TRAMO 5. 2,35 m. de calizas de color gris y anaranjado, con algún nivel de caliza margosa amarillenta intercalado.

Forman estratos tabulares, uno de ellos con base cóncava, de hasta 1,15 m de espesor. Se trata de rudstones y mudstones. Los rudstones constan de oncolitos y fitoclastos entre matriz micrítica, con un tamaño máximo de 3 cm longitudinalmente y 1-3 mm transversalmente. Los fitoclastos y oncolitos se corresponden con envueltas carbonadas sobre restos de plantas, las cuales ya no se conservan. En ocasiones, los fitoclastos y oncolitos están orientados horizontalmente, dando lugar a cierta laminación. Hacia techo, los oncolitos y fitoclastos disminuyen de tamaño, llegando a desaparecer, dando lugar a calizas micríticas muy porosas y laminadas. Dicha laminación se corresponde, al menos localmente, con un estromatolito (corroborado en lámina delgada al microscopio).

Hacia el oeste (eje del sinclinal), el espesor de este tramo aumenta, llegando a alcanzar 3,90 m.

TRAMO 6. 24,60 m. de margas gris-amarillentas que se encuentran en parte cubiertas por un campo de olivos. Hacia el oeste (eje del sinclinal), aumenta su espesor, llegando a 26,40 m. Más hacia el oeste vuelven a perder potencia.

TRAMO 7. 3,10 m. de calizas grises-blancuzcas con una intercalación de margas amarillentas.

Las calizas se disponen en estratos tabulares de 0,2 a 0,8 m de espesor. Tienen textura rudstone y packstone de fitoclastos y oncolitos (de mm hasta 0,5 cm de diámetro), así como boundstones de plantas. En lámina delgada se han podido identificar estructuras estromatolíticas, fitoclastos (tallos y hojas), oncolitos, intraclastos y otros aloquímicos. En la base del tramo los fitoclastos son menos abundantes, pero, en el estrato del techo, de apenas 0,2 m de espesor, los fitoclastos llegan al 90%. En este estrato existen zonas con recubrimientos de calcita sobre plantas verticales, perpendiculares a la estratificación, indicativas de su situación “in situ”.

Las margas se disponen en un único estrato de 30 cm de espesor. Presentan cierta cantidad de fitoclastos y oncolitos mm-cm dispersos.

TRAMO 8. 12 metros de margas y limos grisáceos.

TRAMO 9. 6,5 m de calizas grises en superficie y ocre-anaranjadas en corte fresco con intercalaciones de limos grises.

Las calizas se disponen en estratos tabulares con espesores de entre 0,80 hasta 1,85 m. La base del tramo está formada por wackestones y mudstones de fitoclastos y oncolitos que pueden alcanzar los 9 mm de longitud, con secciones transversales de 0,02mm, aunque en general, los fitoclastos tienen 2 mm de longitud y 0,1-0,3 mm de ancho. Entre estos fitoclastos se encuentran restos de ostrácodos y valvas de moluscos sin identificar. Hacia la mitad del tramo las calizas pasan a tener textura rudstone y boundstone, de manera que están formadas en su totalidad por fitoclastos y oncolitos con tamaños de hasta 6 mm, existiendo zonas aisladas en las que se encuentran recubrimientos de tallos que se disponen de manera vertical, “in situ”. En lámina delgada se han podido reconocer también fragmentos estromatolíticos y conchas de ostrácodos.

Los limos, por su parte, se disponen en estratos tabulares de 0,1 a 1,65 m de espesor.

TRAMO 10. 2,90 m. de lutitas y margas grises y anaranjadas con alguna intercalación de calizas blancas. Este tramo se encuentra cubierto por la vegetación.

Las calizas afloran como estratos tabulares, de muy poco espesor, apenas 5 cm, de textura mudstone.

TRAMO 11. 4,70 m. de calizas grises, anaranjadas y blancas en corte fresco con intercalaciones de margas anaranjadas.

Las calizas se disponen en estratos tabulares de 15 hasta 40 cm de espesor. Corresponden a rudstones y boundstones. Los rudstones, con matriz, están formados por fitoclastos orientados aleatoriamente que pueden alcanzar 10 cm de longitud y 1 cm de diámetro en la base del tramo y de menor tamaño (milimétrico) hacia el techo del tramo. En lámina delgada también se han reconocido restos de ostrácodos, estructuras estromatolíticas y carofitas.

En la base y zona media del tramo se encuentran envueltas de tallos dispuestos perpendicularmente a la estratificación, es decir, “in situ”. Estos boundstones pueden aparecer como parches aislados dentro de los rudstones o constituir el estrato completo. Su altura es de hasta 7 cm.

Las margas se disponen en estratos que varían desde 5 hasta 30 cm de espesor. No se aprecian estructuras.

TRAMO 12. 2,65 m. de calizas grises en superficie y blancas en corte fresco.

Se disponen en estratos tabulares de 20 a 55 cm de espesor. Se trata de mudstones que presentan cierta porosidad, probablemente debida a la desaparición de materia orgánica.

TRAMO 13. 0,3 m. de calizas blancas.

Tramo constituido por un único estrato con base y techo ondulados, con un espesor mínimo y máximo de 5 y 30 cm. Presenta laminación caracterizada por una alternancia de láminas micríticas y esparíticas de 0,5 cm de espesor. En las láminas micríticas, en microscopio, se han reconocido filamentos de cianobacterias que conforman domos que se acuñan hacia los extremos. Correspondería, por tanto, a un estromatolito. En lámina delgada se han podido reconocer valvas de pequeño tamaño que podrían corresponderse con ostrácodos.

TRAMO 14. 4,30 m. de calizas grises claras y blancas.

Aparecen en estratos tabulares de 1,00-1,20 m de espesor. Son mudstones, con alta porosidad (poros de tamaño milimétrico), lo cual les confiere una baja densidad. En lámina delgada se reconoce cierta laminación no rítmica, con zonas más esparíticas y micríticas alternantes. Podemos observar algún filamento cianobacteriano perpendicular a la laminación. Se aprecia también alguna valva que podría pertenecer a ostrácodos.

TRAMO 15. 3 m. de calizas de colores gris claro y blanco.

Se disponen en estratos tabulares de 10 a 40 cm de espesor. Su textura es mudstone, de manera excepcional con fitoclastos y oncolitos de tamaño milimétrico. En lámina delgada han podido identificarse filamentos bacterianos, valvas y tallos con envueltas micríticas. Presentan laminación horizontal.

De forma general, el tramo es estratodecreciente.

TRAMO 16. 5,15 metros de calizas blancas.

Forman estratos tabulares que varían desde 11 hasta 70 cm de espesor. Su textura es mudstone, y muestran baja densidad. En lámina delgada han podido diferenciarse filamentos micríticos de cianobacterias dispersos y algún fitoclasto de pequeño tamaño, pero de forma general se trata de una micrita peloidal.

- Columna del barranco de la carretera Nigüella-Mesones de Isuela

La columna se sitúa al Noroeste de la localidad de Nigüella (Fig. 7). Se halla en la hoja nº 381 (Illueca) del mapa topográfico nacional a escala 1:50.000. La base se sitúa en el barranco que cruza la carretera que conecta dicha población con Mesones de Isuela; y el techo en la parte más moderna del sinclinal terciario. Las coordenadas UTM aproximadas son: Base: 30TXM228001- Techo: 30TXM230003.

La columna estratigráfica comienza con la Formación Cortes de Tajuña, sobre la cual se apoya discordantemente la sucesión terciaria: margas, calizas fitoclásticas y oncolíticas y calizas micríticas.

De base a techo se han establecido los siguientes tramos:

TRAMO 1. 2 m. de carniolas y brechas beige y grises correspondientes a la Formación Cortes de Tajuña. En alguna zona pueden adoptar colores más rojizos, aunque éste es minoritario.

TRAMO 2. 4,40 m. de margas ocre y beige. No muestran estructuras apreciables.

TRAMO 3. 5,8 m. de calizas grises con intercalaciones de margas grises.

Las calizas se disponen en estratos tabulares con espesores de entre 0,3 y 2,20 m. Se trata de rudstones que constan de oncolitos y fitoclastos con tamaños que varían desde 1 mm hasta 4,1 cm. Existe cierta gradación en el tamaño de los fitoclastos, siendo mayor en la base y menor hacia techo.

Las margas se disponen en estratos tabulares de 0,20 y 0,25 m de espesor.

TRAMO 4. 10,8 m de alternancia de calizas grises y blancas y margas grises.

En este tramo encontramos unas calizas grises fitoclásticas que se disponen en estratos tabulares de 21 y 41 cm. Se trata de rudstones de fitoclastos de tamaños que alcanzan los 3,2 cm en corte longitudinal y 0,7cm en corte transversal.

El resto de las calizas grises que encontramos tienen espesores de entre 0,5 y 3,15 m, son blancas en corte fresco y presentan texturas mudstone y wackestone de fitoclastos. Estas calizas presentan alta porosidad y zonas con mayor oxidación que podrían corresponderse con restos de materia orgánica.

Las margas se disponen en estratos tabulares con potencias de entre 0,75 y 0,80 m.

TRAMO 5. 5,7 m de calizas grises con intercalaciones de margas grises.

Las calizas forman estratos tabulares de 0,41 a 0,73 m de espesor. Dicha calizas presentan texturas mudstone y wackestone de fitoclastos y oncolitos. En alguna ocasión podemos apreciar cierta laminación horizontal.

Las margas se disponen en estratos tabulares de 0,30-1,72 m.

TRAMO 6. 6,35 m de alternancia de calizas grises y marrones y margas grises.

Las calizas grises se presentan en la base del tramo, en un estrato tabular de 35 cm de espesor. Están constituidas por fitoclastos de gran tamaño, de hasta 5cm de longitud, los cuales le confieren una textura rudstone. Las calizas marrones son más margosas y, en corte fresco, tienen color blanco. Estas calizas se disponen en estratos tabulares de 0,86 y 1,25 m de espesor. En estas calizas podemos encontrar diversos componentes: fitoclastos, oncolitos, intraclastos y gasterópodos, presentando textura rudstone.

Las margas se presentan en estratos tabulares de 1,20 a 2,60 m.

TRAMO 7. 9,30 m de calizas grises y margas grises.

Las calizas se disponen en estratos tabulares de 0,58 a 1,25 m de espesor. Estas calizas presentan textura rudstone, constituidas por fitoclastos y oncolitos de tamaños variados, desde 2 mm hasta 1 cm. En la base del tramo encontramos un estrato de caliza en el que pueden observarse envueltas cálcicas sobre tallos perpendiculares a la estratificación de hasta 3,5 cm de altura, lo cual nos indica que se encuentran “in situ”. En este caso, las calizas adquieren una textura boundstone. En la mitad del tramo encontramos unas calizas que presentan mayor porosidad que el resto y menor cantidad de fitoclastos. Se trata de wackestones y floatstones de fitoclastos.

Las margas forman estratos tabulares que se encuentran hacia el techo del tramo. Estos estratos presentan espesores de 1,15 y 3,20 m.

TRAMO 8. 4,35 m de calizas grises.

Las calizas se disponen en estratos tabulares de 0,40 a 2,80 m. De forma general, las calizas presentan colores blancos en corte fresco y son muy porosas. No se aprecia la existencia de componentes aloquímicos, por lo que tienen textura mudstone. Sin embargo, hay un estrato de 40 cm de espesor que se encuentra constituido por envueltas carbonatadas de tallos “in situ” de hasta 6 mm en sección transversal y 7 cm de altura. Estas calizas corresponden a un boundstone.

- Columna del barranco de los bancales

La columna se sitúa al Noroeste de la localidad de Nigiüella. Se halla en la hoja nº 381 (Illueca) del mapa topográfico nacional a escala 1:50.000. La base de la columna se sitúa en el barranco situado al Norte de la carretera que conecta dicha población con Mesones de Isuela, el cual se dispone paralelo a la misma; y el techo en la parte más moderna del sinclinal terciario (Fig. 7). Las coordenadas UTM aproximadas son: Base: 30TXM229007- Techo: 30TXM228005.

La columna estratigráfica comienza con los conglomerados de la base del Terciario, sobre los cuales se apoyan los materiales margosos y calizos terciarios. En este caso, la columna estratigráfica presenta mayores dificultades para ser levantada ya que existen varios tramos que se encuentran espesamente cubiertos por la vegetación.

De base a techo se han establecido los siguientes tramos:

TRAMO 1. 23,30 m de conglomerados grises y cubierto.

En alguna ocasión podemos encontrar algún estrato tabular de conglomerados grises con cantos calizos grises y de areniscas rojizas, angulosos, que presentan tamaños de 0,5 a 6 cm. Hacia techo disminuye el tamaño de los cantos, pudiendo llegar a dar lugar a microconglomerados y areniscas.

TRAMO 2. 2,40 m de calizas grises en superficie y marrones en corte fresco.

Las calizas se disponen en un único estrato tabular. Se trata de rudstones de fitoclastos y oncolitos de pequeño tamaño, desde escaso un milímetro hasta 3 mm. Sin embargo, abundan los fitoclastos de tamaño entre 2 y 3 mm.

TRAMO 3. 18,75 m cubiertos.

TRAMO 4. 23,4 m de alternancia de calizas blancas y grises y margas grises.

Las calizas se disponen en estratos tabulares que tienen espesores de entre 40 y 2,30 m. Se trata de rudstones constituidos en su mayoría por fitoclastos y oncolitos de diversos tamaños, comprendidos entre 1mm y 4cm. A techo de uno de los estratos, encontramos tallos de plantas recubiertos por calcita distribuidos de forma vertical, es decir “in situ”; estos tallos llegan a alcanzar alturas de 3 cm. Además, en alguna ocasión podemos encontrar intraclastos de hasta 1cm de diámetro.

Existe alguna zona cubierta en la cual no se ha podido identificar con facilidad los materiales.

Las margas se disponen en estratos tabulares de espesores que varían entre 10cm y 1,60m. No presentan estructuras sedimentarias visibles.

TRAMO 5. 5,95 m de calizas marrones y blancas con una intercalación de margas grises.

Las calizas se disponen en estratos tabulares de entre 3cm y 1,05m de potencia. Se trata de wackestones y floatstones de fitoclastos, oncolitos, conchas de gasterópodos e intraclastos de hasta 5mm de tamaño. Hacia techo pierden los componentes y pasan a presentar texturas mudstones, con escasos fitoclastos de tamaño menor a 2mm.

Las margas se presentan en un único estrato tabular de 1,30m de espesor. No presentan estructuras sedimentarias visibles.

5.4.2. Correlación

La correlación de los perfiles estratigráficos anteriores (Anexo 4) se ha realizado según criterios litológicos, texturales y cartográficos, así como el apoyo del estudio de campo, mediante los cuales se

ha podido llevar a cabo el seguimiento espacial de las diferentes unidades. La fotografía aérea ha sido de gran ayuda a la hora de correlacionar los techos de las columnas estratigráficas.

Como puede apreciarse en la correlación, el espesor de los materiales terciarios es mayor al Sur (Bco. Cementerio), siendo destacable el gran espesor de los conglomerados y las margas en este sector. Además las calizas oncolíticas y fitoclásticas sólo pueden encontrarse en la columna estratigráfica del barranco del cementerio, en donde su espesor aumenta hacia el eje del sinclinal. Aunque el conjunto de las calizas tobáceas y micríticas situadas a techo de los tres perfiles estratigráficos presentan espesores semejantes en todo el sector, las calizas micríticas superiores son más potentes hacia el Sur. En la zona sur los materiales terciarios se apoyan mediante un contacto mecánico (Falla de Nigüella) con el sustrato mesozoico, mientras que hacia el Norte, el límite entre el Terciario y la Formación Cortes de Tajuña, es una discordancia.

5.4.3. Descripción e interpretación de facies

Tras la elaboración de las columnas estratigráficas se ha llevado a cabo la caracterización de las diferentes facies sedimentarias presentes en el Terciario en el sector Nigüella-Mesones de Isuela. La nomenclatura utilizada para las facies detríticas sigue el código de Miall (2006). En el caso de las facies carbonatadas, la nomenclatura se ha basado en la de Vázquez Urbez (2008). Estas facies son:

-Conglomerados: *Gm1/Gm1a/Gm1b/ Gm2/Gh*

Gm1 (Fig. 8A): los conglomerados se disponen en estratos tabulares de espesores que varían entre 0,10 y 1,45 m, presentando, en ocasiones, bases con morfologías erosivas o canaliformes. Se trata de conglomerados granosostenidos constituidos por cantos subangulosos en su mayoría, aunque podemos encontrar algún canto con mayor redondez; en cualquiera de los casos se trata de cantos poco esféricos. Los cantos tienen litologías variadas: calizas y dolomías grises, del Triásico superior y Jurásico, areniscas rojizas permotriásicas y areniscas gris-marronáceas que pueden identificarse como paleozoicas. Más del 90% son de rocas carbonatadas. El diámetro de los mismos varía desde 0,5 hasta 32 cm, dando lugar a conglomerados muy heterométricos y mal clasificados. La matriz es microconglomerática, de color rojizo, pudiendo presentar alguna zona de color más grisáceo. No presentan ningún tipo de organización textural ni tienen estructuras sedimentarias (Fig. 8A).

Gm1a: conglomerados, con características similares a *Gm1*, pero con evolución granodecreciente.

Gm1b: conglomerados, con características similares a *Gm1*, pero con evolución granocreciente.

Gm2: conglomerados con imbricación de clastos; estos conglomerados presentan cantos calizos grises redondeados, jurásicos, y más escasos silíceos, con morfologías alargadas, triásicos. Pueden carecer de evolución granulométrica o ser granodecrecientes; algunos de los cantos tienen imbricación (Fig. 8B).

Gh: conglomerados con estratificación horizontal, debida a la alternancia de bandas centimétricas a decimétricas con diferente granulometría. En conjunto, tienen una evolución granocreciente. Estos conglomerados presentan características texturales similares a los de la facies *Gm1*.

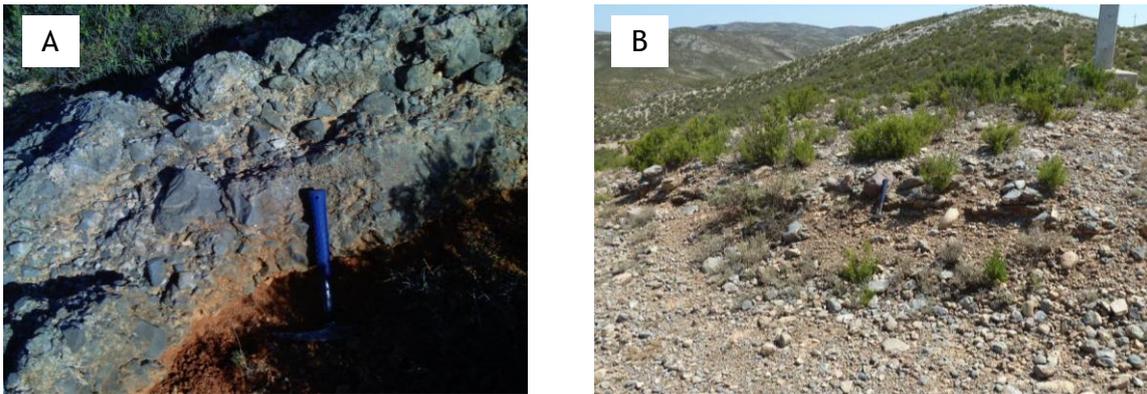


Figura 8. A) Depósitos de la Facies *Gm1* (grises) sobre los de la facies *Fm* (de color rojizo), en la zona sur. B) Depósitos de la Facies *Gm2*, en la zona norte. Pueden apreciarse varios cantos imbricados.

A excepción de los depósitos de la facies *Gm2*, los conglomerados se encuentran muy calcretizados. Interpretación: las facies *Gm1* y *Gh* se corresponden con depósitos groseros en sectores aluviales proximales, mientras que la facies *Gm2* se formaría en barras (posiblemente longitudinales), en el sector medio o medio-distal de un sistema fluvial entrelazado (Miall, 2006).

-Limos y margas: *Fm*, *M* (Fig. 8A).

Los limos y margas presentan colores rojizos cuando se encuentran en contacto con los materiales conglomeráticos (*Fm*), mientras que cuando están en contacto con las calizas presentan colores blancos y amarillentos (*M*). Se disponen en estratos tabulares que varían desde 0,05 hasta 1-2 m, a veces paquetes de hasta 26,40 m de espesor. No presentan estructuras reconocibles.

Interpretación: La facies *Fm* resulta del depósito de material detrítico fino en áreas aluviales y fluviales inactivas, mientras la facies *M* representa el depósito tras la llegada de aportes siliciclásticos finos a una zona lacustre (Arenas y Pardo, 1999).

-Calizas bioconstruidas de plantas (tallos verticales): *Cbtv* (Fig. 9).

Las calizas bioconstruidas de plantas presentan colores grises y ocre. Forman cuerpos discontinuos, a veces tabulares, con potencias de entre 15 y 40 cm, que suelen asociarse en el mismo estrato con las calizas *Cbt*. Corresponden a boundstones constituidos por envueltas (moldes) sobre tallos de plantas, las cuales ya no se conservan, que se encuentran perpendiculares a la estratificación (“in situ”) y pueden alcanzar 19 cm de altura. Las envueltas constan de una alternancia de láminas micríticas y microesparíticas.

Interpretación: precipitación de carbonato cálcico alrededor de las partes sumergidas de plantas, a menudo con estructura estromatolítica (Vázquez Urbez, 2008).



Figura 9. Facies *Cbtv*.

-Calizas bioclásticas de tallos y oncolitos: *Cbt* (Fig. 10 A, B, C, D).

Las calizas bioclásticas de tallos y oncolitos presentan colores grises, aunque en alguna ocasión pueden ser ocreos o marrones. Algunas de ellas son blancas en corte fresco. Estas calizas forman estratos tabulares con potencias que varían entre 0,21 y 2,40 m.

Se trata de calizas constituidas por oncolitos y tallos con envueltas micríticas y microesparíticas que dan lugar a los fitoclastos. Estos componentes presentan tamaños muy variados, desde 0,2 mm de diámetro hasta 10 cm de longitud. En lámina delgada se ha podido reconocer una mayor variedad de componentes, como pueden ser valvas, que pueden pertenecer a ostrácodos, conchas de gasterópodos e intraclastos. La gran abundancia de dichos componentes y los tamaños en que se presentan, hace que las calizas tengan una textura rudstone, a veces packstone.

Interpretación: las plantas sumergidas y las envueltas de carbonato cálcico que han precipitado alrededor de las mismas se rompen y caen al lecho. En este momento pueden quedar depositadas, dando lugar a fitoclastos, o comenzar a rodar lentamente por la superficie del lecho y recubrirse de nuevas envueltas carbonatadas, formando oncolitos (Vázquez Urbez, 2008). Cualquier otra partícula también puede ser núcleo de un oncolito.

-Estromatolitos: *Ce*.

Son depósitos con laminación fina, a menudo subparalela a la estratificación, de escasa continuidad lateral y hasta 0,3 m de espesor, con base y techo ondulados. Sin embargo es frecuente que no formen estratos propiamente dichos, sino parches dentro de los estratos que incluyen la facies *Cbt*. La laminación consiste en láminas compuestas por filamentos micríticos, perpendiculares y oblicuos a la laminación, alternando con zonas con texturas peloidales (Fig. 10 E, F). En otros casos, la laminación únicamente es debida a la alternancia de bandas de micrita y microesparita.

Interpretación: Calcificación de tapices microbianos en áreas lacustres y fluviales someras (Riding, 1991a, b).

-Calizas micríticas: *Cm*.

Las calizas micríticas presentan colores grises claros en superficie y blancos en corte fresco. Forman estratos tabulares con potencias de entre 0,03 y 2,80 m (Fig. 10 G).

Se trata de calizas con textura mudstone-wackestone, las cuales pueden presentar ciertos componentes aloquímicos como pequeños fragmentos de tallos oscuros, algún filamento algal y valvas que pueden ser de ostrácodos (Fig. 10 H). También, en alguna de las muestras, se ha podido intuir cierta bioturbación.

Interpretación: Sedimentación carbonatada en áreas lacustres en las que habitan diversos tipos de organismos (p. ej., ostrácodos y gasterópodos) (Vázquez Urbez, 2008).

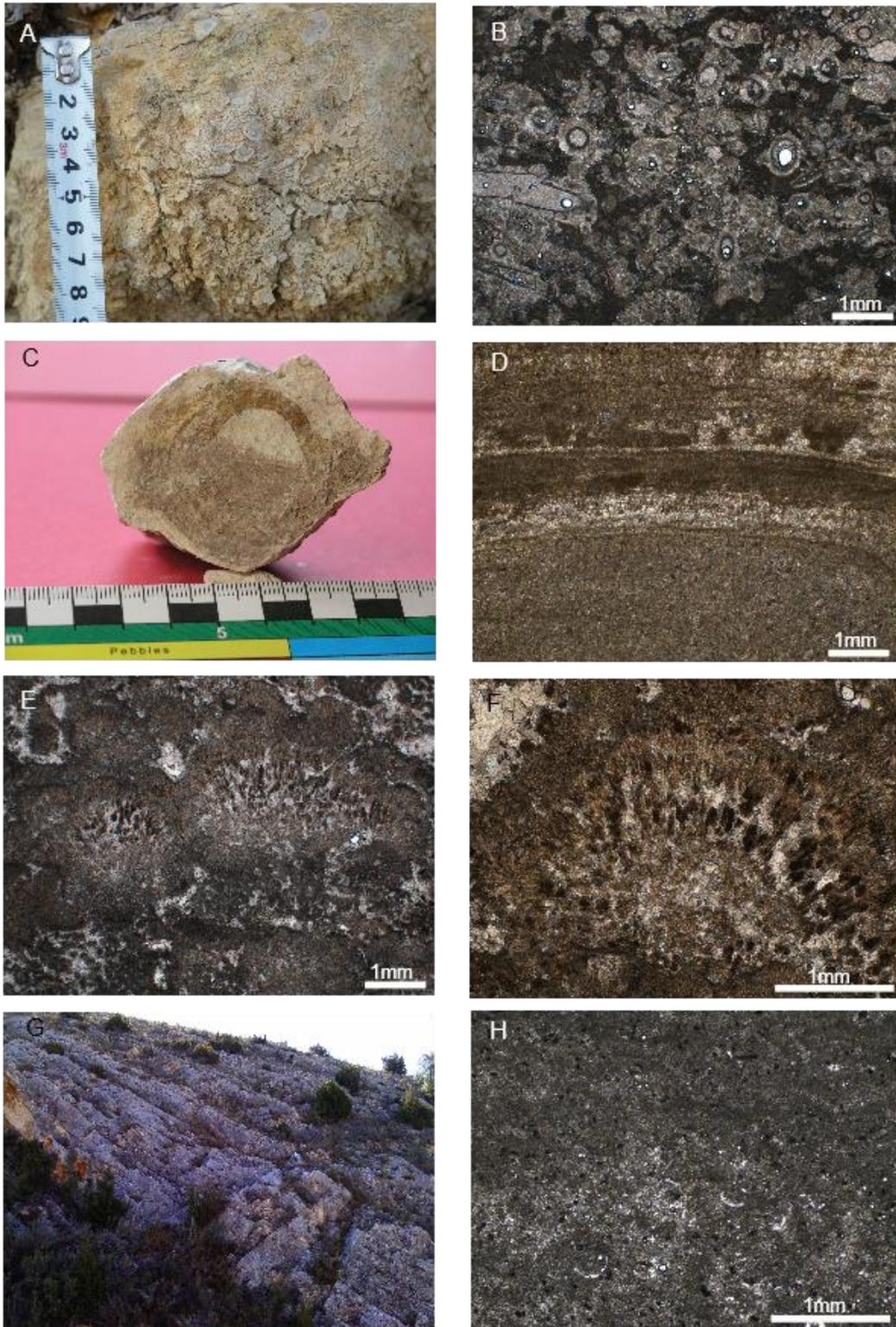


Figura 10. A) Aspecto de la facies *Cbt* (rudstone) a escala de afloramiento. B) Facies *Cbt* a escala microscópica. C) Recubrimiento carbonatado de un tallo, el cual no se conserva. D) Detalle de la laminación de la muestra en C. Pueden apreciarse ciertos filamentos de origen cianobacteriano, perpendiculares a la laminación. E) y F) Facies *Ce* a escala microscópica. Nótese la alternancia de láminas micríticas y microesparíticas, así como los filamentos cianobacterianos formando domos. G) Aspecto de la facies *Cm* a escala de afloramiento. H) Facies *Cm* a escala microscópica. Puede apreciarse la presencia de formas cóncavas que se interpretan como conchas de ostrácodos.

5.4.4. ASOCIACIONES VERTICALES DE FACIES.

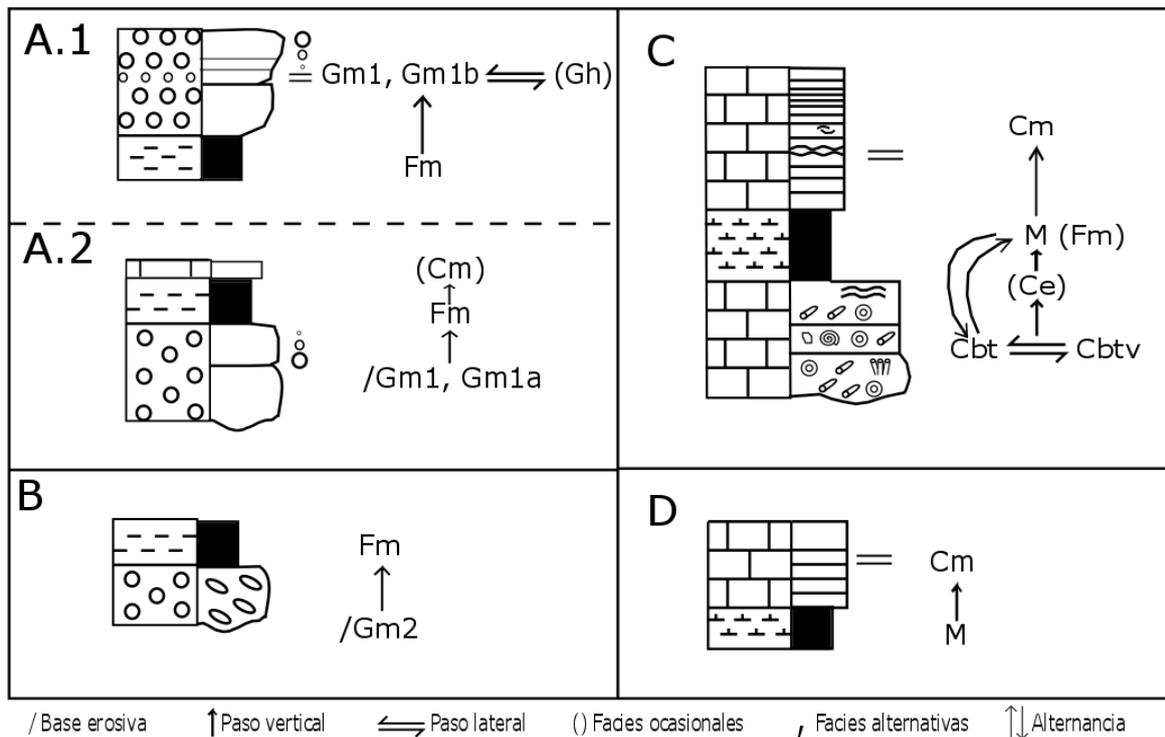


Figura 11. Asociaciones verticales de facies.

Las diferentes asociaciones verticales de facies (AF) representadas en la figura 11 se pueden dividir en dos grupos principales: asociaciones detríticas (A.1, A.2 y B) y asociaciones carbonatadas (C y D). Las asociaciones detríticas A se corresponderían con un ambiente de sedimentación aluvial, en el cual predomina la presencia de abanicos aluviales y algún lago somero de poca transcendencia de manera puntual. Por su parte, la asociación vertical B indica un ambiente de sedimentación fluvial de tipo *braided*, el cual presentaría su llanura de inundación con las facies *Fm*. Las asociaciones de facies carbonatadas se corresponden con un ambiente sedimentario fluvio-lacustre, como el representado en la base de la asociación C; y ambientes lacustres propiamente dichos, como el techo de la asociación C y la asociación D.

5.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS: Evolución sedimentaria y su relación con la tectónica.

A partir del estudio estratigráfico y estructural realizado en el sector de Nigiella es posible establecer un esquema de evolución geológica centrado en las distintas unidades terciarias (litofacies) diferenciadas.

La explicación de la evolución sedimentaria propuesta durante el Terciario (Mioceno, según Ramírez del Pozo *et al.*, 1978) se encuadra dentro de un régimen tectónico compresivo. A pesar de las reducidas dimensiones del área de estudio, el carácter compresivo de la deformación durante y después del depósito de las unidades terciarias se justifica en la interpretación combinada de argumentos de diversa índole y escala: 1) *geométricos*: paralelismo entre la orientación del pliegue cartográfico terciario y la traza de la falla principal, coincidencia entre la zona de charnela sinclinal y la distribución espacial y potencia de las litofacies, 2) *regionales*: reducción gradual de la inclinación de las unidades superiores hacia sectores situados al NW de la zona de estudio (p. ej., Tierga) y 3)

dinámicos: coherencia con la evolución tectosedimentaria reconocida en el Neógeno de la Cordillera Ibérica por distintos autores (Pérez, 1989; Muñoz y Casas, 1997; entre otros).

En primer lugar, y discordantemente a todo lo anterior, comenzaron a depositarse los sedimentos detríticos groseros y facies asociadas. En este momento nos encontramos ante un ambiente de sedimentación en el cual predominan las condiciones aluviales y fluviales, con desarrollo de lagos someros locales (Fig. 12).

En el sector septentrional de la zona de estudio, se infiere la existencia de un sistema fluvial de tipo *braided*, dando como resultado los conglomerados de la facies Gm2 y lutitas (*Fm*) asociadas (AF B); la imbricación de cantos es indicativa de una dirección de flujo hacia el SSE. Para el depósito de los sedimentos detríticos que se sitúan al E y SE de la traza de la falla principal (Falla de Nigüella) deberían haber actuado abanicos aluviales (alimentados desde el E y SE, y en menor medida desde el W), relacionados lateralmente con pequeñas áreas lacustres carbonatadas (AF A). En todos los casos, el área fuente principal de sedimentos serían los materiales jurásicos y del triásico superior y, en menor medida, los del resto del Triásico y paleozoicos. La existencia de una potencia máxima de estos depósitos detríticos coincidiendo con la zona de charnela interna del sinclinal principal y su progresivo adelgazamiento hacia las zonas externas del pliegue, sugiere una estrecha relación entre la sedimentación y la tectónica en el sector.

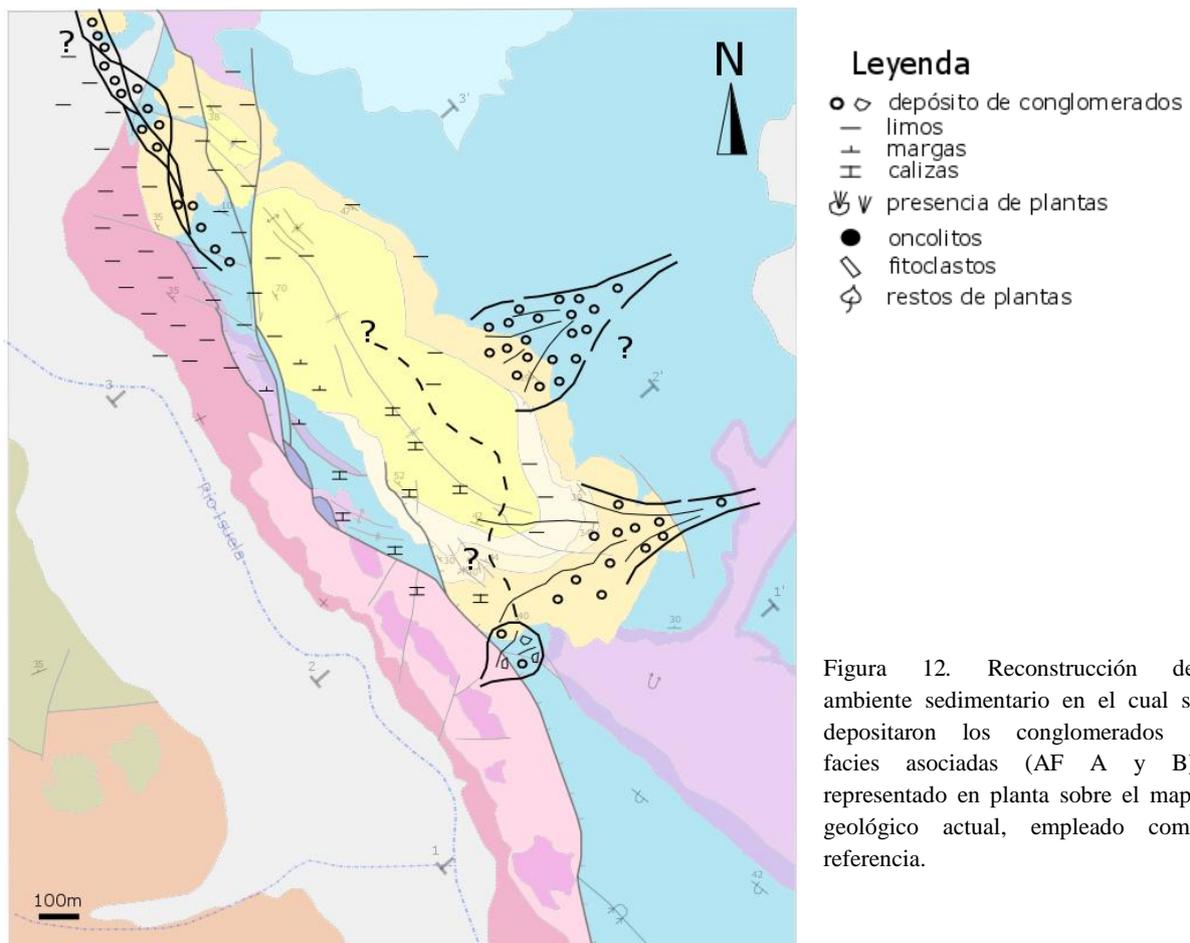


Figura 12. Reconstrucción del ambiente sedimentario en el cual se depositaron los conglomerados y facies asociadas (AF A y B), representado en planta sobre el mapa geológico actual, empleado como referencia.

Durante y quizás después de la sedimentación de los depósitos detríticos y calcáreos que encontramos al Sur, tiene lugar una fuerte calcretización. Su presencia señala interrupciones en la sedimentación, seguramente asociadas a condiciones de aridez (Alonso Zarza, 2003).

Directamente sobre los conglomerados basales se disponen calizas fitoclásticas y oncolíticas y margas, cuya variación de espesor sugiere, de nuevo, una sedimentación controlada por la creación de espacio en relación con la formación del sinclinal en el bloque superior de la falla de Nigüella. Estas dos litofacies (calizas fitoclásticas y oncolíticas y margas) sólo se encuentran en este sector sur del área estudiada; presentan diferencias de espesor entre los extremos laterales del sinclinal y el eje del mismo. En las calizas tobáceas suprayacentes se amortiguan estas diferencias de espesor y, además, junto con las calizas micríticas que coronan el sinclinal, representan una expansión del área de sedimentación carbonatada.

Para la formación de las calizas fitoclásticas y oncolíticas, así como las tobáceas, se proponen condiciones fluvio-lacustres (Fig. 13) con agua rica en HCO_3 y Ca (AF C). De modo que existen áreas encharcadas en las que encontramos plantas hidrófilas cuyos tallos pueden estar sumergidos, por lo que tiene lugar su recubrimiento por calcita. Estos tallos cubiertos por calcita, al romperse originarían los fitoclastos. Existen también canales someros en los que se forman y acumulan los oncolitos y fitoclastos que encontramos hoy en las calizas *Cbt* y *Cbtv*. Estos canales estarían dirigidos hacia la zona más deprimida de este sistema, que se corresponde con un lago en el cual se depositarían las margas y barro micrítico. Dicha zona parece haberse encontrado hacia el W y S de nuestro sinclinal actual.

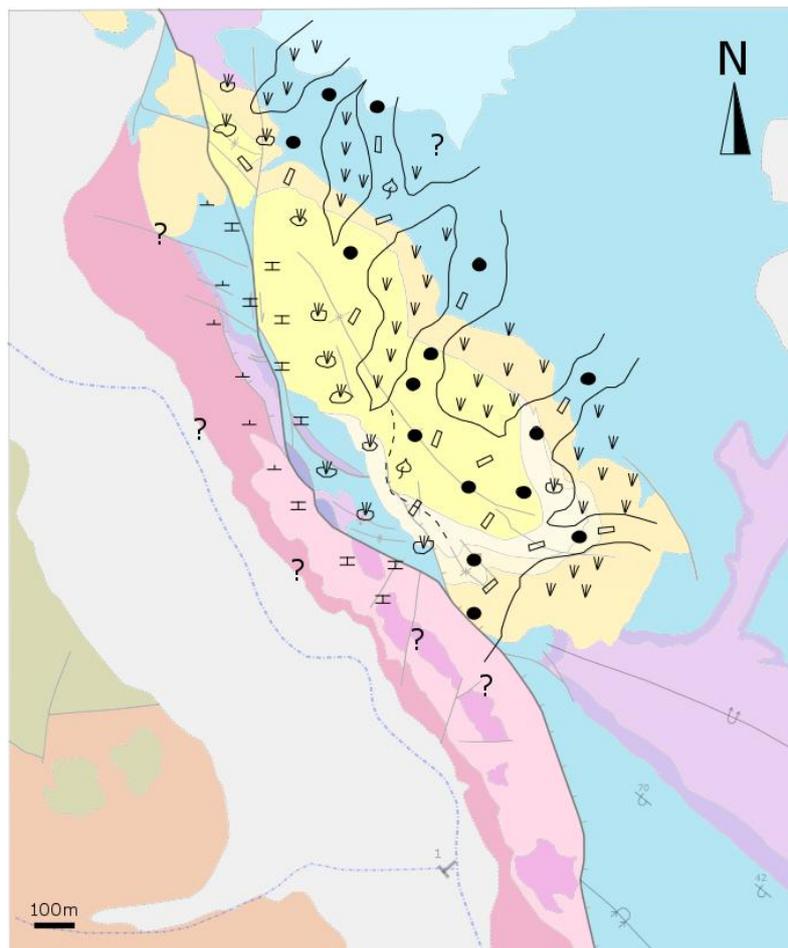


Figura 13. Reconstrucción del ambiente sedimentario en el cual se depositaron las calizas oncolíticas y fitoclásticas, las tobáceas y las margas (AF C), representado en planta sobre el mapa geológico actual empleado como referencia. La extensión corresponde a la base de la unidad superior de calizas.

Finalmente, para el último estadio sedimentario registrado en la zona de estudio, encontraríamos el predominio de condiciones lacustres (Fig. 14). En estas condiciones tendrá lugar el depósito de las calizas micríticas (Cm) y las margas (M) que alternan con ellas (AF D), coronando el sinclinal terciario que podemos encontrar en la actualidad. En este estadio, es patente el carácter expansivo del área de sedimentación lacustre.

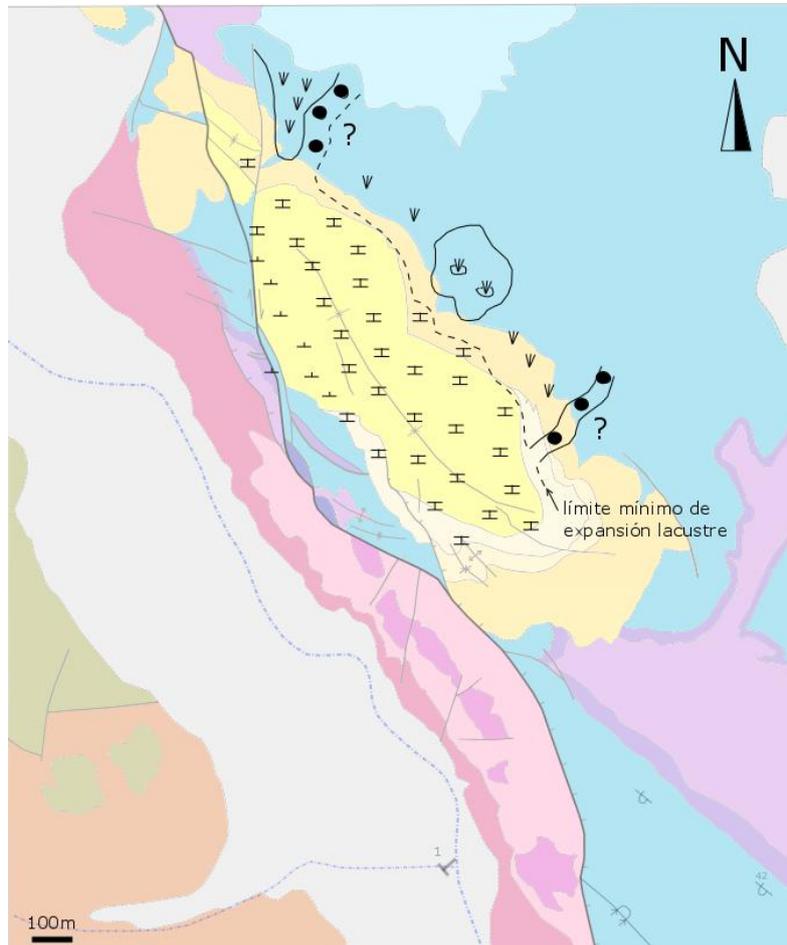


Figura 14. Reconstrucción del ambiente sedimentario en el cual se depositaron las calizas micríticas y margas (AF D), representado en planta sobre el mapa geológico actual, empleado como referencia.

En el sector de Tierga (al Norte y fuera del área de estudio), la unidad de calizas identificada a techo de la serie terciaria se dispone con buzamientos mucho menores. Este hecho resulta trascendente a la hora de interpretar las condiciones tectónicas durante la sedimentación sugiriendo el carácter sintectónico de ésta bajo un régimen compresivo y marcando el final de la compresión en la zona.

Tras el plegamiento se depositarán los materiales cuaternarios, correspondientes con depósitos generados por el Río Isuela y por alguno de los barrancos que encontramos en zonas adyacentes a nuestra área de estudio. Junto a ello, la erosión actual da lugar a la estructura que podemos observar hoy en día, conjunción de todos los estadios descritos anteriormente.

En la figura 15 se muestra, de forma esquemática, la evolución de la sedimentación de las unidades terciarias en relación a la actividad tectónica compresiva en la zona. De un modo sintético se han diferenciado tres estadios. El primero (Fig. 15, 1) representa el final del depósito de buena parte de la secuencia Jurásica en este sector de la Cordillera Ibérica (Goy *et al.*, 1976). En este primer estadio la Falla de Nigüella, presenta un carácter normal, en relación a la cual se produciría la sedimentación de

la Fm. Cortes de Tajuña (San Román y Aurell, 1992). No existe registro sedimentario desde finales del Jurásico hasta el Mioceno.

En algún momento del Terciario, bajo el efecto de la compresión, la falla normal previa de orientación NW-SE (Falla de Nigüella, con el bloque hundido al NE), se verticaliza, favoreciendo la formación de un sinclinal en su bloque superior, en respuesta al empuje de aquél contra la propia falla. Este momento marca el comienzo de la sedimentación de las unidades detríticas y las carbonatadas (calizas fitoclásticas y oncolíticas y margas), (Fig. 15, **2**). El hecho de tratarse de una falla mesozoica extensional previa, oblicua a la dirección de acortamiento regional terciario, explicaría la distinta orientación de los pliegues desarrollados en las unidades mesozoicas respecto a los desarrollados en la serie terciaria.

El último estadio evolutivo representaría el depósito de margas y calizas de ambiente lacustre bajo el mismo régimen compresivo (Fig. 15, **3**). El cese progresivo de la deformación compresiva (deducido a partir de datos regionales) se traduce en una paulatina reducción de buzamiento de las capas.

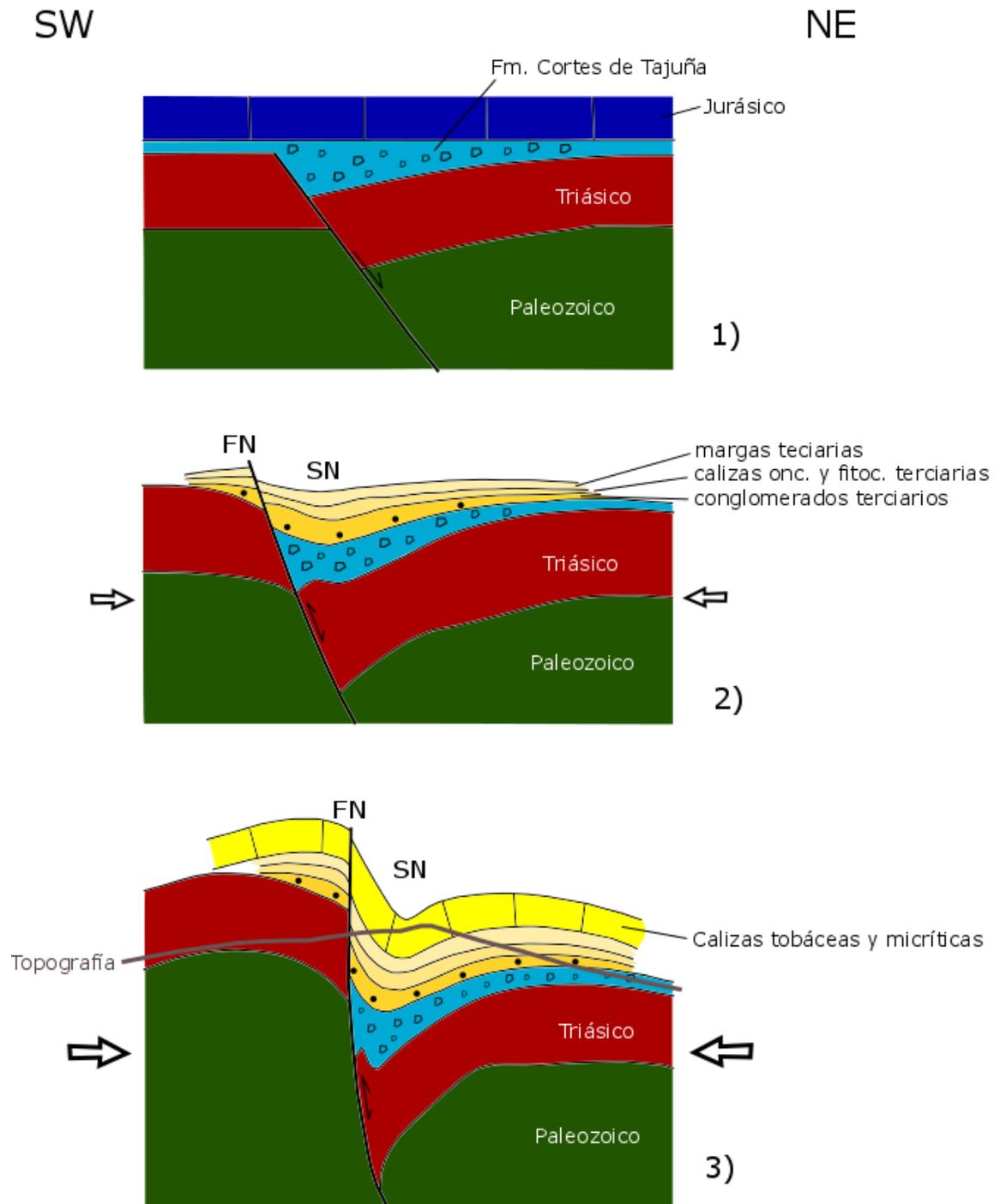


Figura 15. Esquema evolutivo de la sedimentación del Terciario del sector de Nigiella. Explicación en el texto. FN: Falla de Nigiella, SN: Sinclinal de Nigiella.

Tras el plegamiento se depositarán los materiales cuaternarios, correspondientes con depósitos generados por el Río Isuela y por alguno de los barrancos que encontramos en zonas adyacentes a nuestra área de estudio. Junto a ello, la erosión actual da lugar a la estructura que podemos observar hoy en día, conjunción de todos los estadios descritos anteriormente.

6. CONCLUSIONS

The cartographic, stratigraphic and structural data obtained in Nigüella-Mesones de Isuela area for the Tertiary strata, along with the different observations in the underlying units, allows us to interpret the tectonic and sedimentary evolution of this sector. By doing the studies and interpretations, we have ordered chronologically the different events which have affected our zone. The structure that we could see at the moment is the result of the whole sedimentary and compressive tectonic events that affected the zone.

Before the sedimentation of the Tertiary, there were different units of the Palaeozoic and Mesozoic Eras that had suffered several tectonic events. The main brittle macrostructure that we could see in the studied zone is a lower Mesozoic NW-SE trending normal fault (Nigüella Fault), which corresponds with a regional early extensional event. The kinematic evolution (first under extension and later under compression) of this fault controlled the deformation of both Triassic, Jurassic and Tertiary materials. In the studied zone, it was a normal fault, putting into contact the lower Triassic with the sedimentary lower Jurassic rocks. There is no sedimentary record since Late Jurassic times until the beginning of the Miocene. In the Miocene, compressive tectonics verticalized the Nigüella Fault, resulting in the formation of a hangingwall syncline. Then, alluvial, fluvial and lacustrine sedimentation occurred. Four main facies associations represent the lateral and vertical relations in such environments. Conglomerates and associated facies began to deposit in an alluvial-fluvial environment sourced from the East and North, with local inputs from the West; in the South, the alluvial fans were associated small local lakes in which limestone formed. Calcretes development on such deposits in the South suggests sedimentary interruptions, perhaps in arid conditions. After that, fluvial and lacustrine carbonate sedimentation, still in compressive context, became dominant the studied zone. First, oncolitic and fitoclastic limestones and marls formed in a fluvial-lacustrine environment, in which tufa deposits became significant through time. Finally, with decreasing compression conditions, carbonate lacustrine conditions dominated throughout the studied zone, giving rise to thick micritic limestones. The main sediment source was the Jurassic carbonate rocks.

7. BIBLIOGRAFÍA

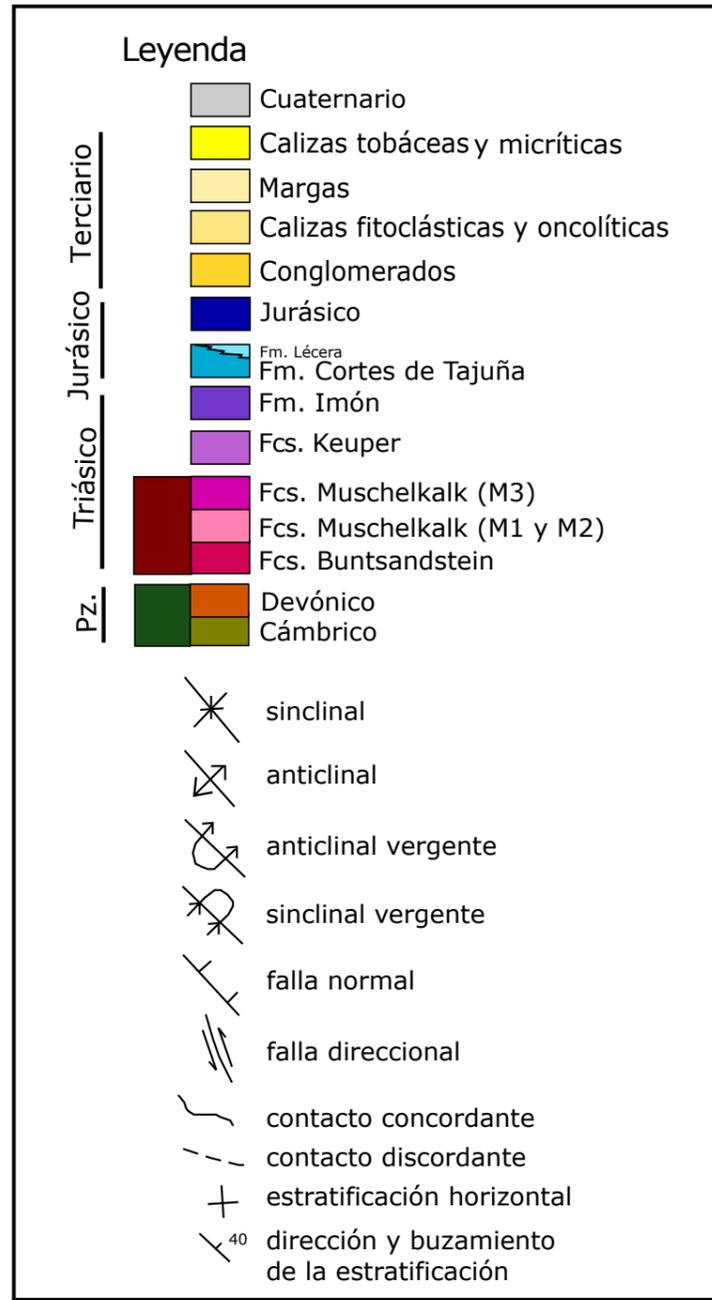
- Alonso Zarza, A.M. (2003). Palaeoenvironmental significance of palustrine carbonates and calcretes in the geological record. *Earth-Science Reviews*, 60, 261–298.
- Arenas, C. y Pardo, G. (1999): Latest Oligocene–Late Miocene lacustrine systems of the north-central part of the Ebro Basin (Spain): sedimentary facies model and palaeogeographic synthesis. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 151, 127–148.
- Dunham, R.J. (1962): Classification of Carbonate rocks according to depositional texture. Ham, W.E, 108–121.
- Embry, A.F. y Klovan, J.E. (1971): A late Devonian reef tract on northeastern Banks Island, NW Territories. *Bull. Can. Petrol. Geol.*, 19, 730–781.
- Goy, A., Gómez, J.J. y Yébenes, A. (1976). El Jurásico de la Cordillera Ibérica (mitad norte): unidades litoestratigráficas. *Estudios Geológicos* 32: 391-423.
- Miall, A. (2006): *The geology of fluvial deposits*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York, 99-130. 441p.
- Muñoz, A. y Casas, A.M. (1997): The Rioja trough: tectono-sedimentary evolution of a foreland symmetric basin. *Basin Research*, 9, 65-85.
- Pérez, A. (1989): *Estratigrafía y Sedimentología del Terciario del borde meridional de la Depresión del Ebro (sector riojano-aragonés) y cubetas de Muniesa y Montalbán*. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza. Mem. Inéd., 525 p.
- San Román, J. y Aurell, M. (1992): Palaeogeographical significance of the Triassic-Jurassic unconformity in the North Iberian basin (Sierra del Moncayo, Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 99, 101-117.
- Ramírez del Pozo, J., Aguilar Tomás, M., del Olmo Zamora, P., Aragonés Valls, E. y Hernández Samaniego, A. (1978): Mapa geológico de España, E. 1:50.000, Illueca (381). Servicio de publicaciones – Ministerio de Industria y Energía, Madrid, 39 p., 1 mapa.
- Riding R (1991a): Classification of Microbial Carbonates. En: *Calcareous Algae and Stromatolites* (ed. R. Riding), capítulo 2, 21-51. Springer-Verlag, Berlin.
- Riding R. (1991b): Calcified Cyanobacteria. En: *Calcareous Algae and Stromatolites* (ed. R. Riding), capítulo 3, 55-87. Springer-Verlag, Berlin.
- Robador Moreno, A., Hernández Samaniego, A., Léndinez González, A., Gonzalo Gutiérrez, R., Ramajo Moreno, A., Cabra Gil, P. y Pérez García, A. (2006): Mapa geológico de España, E. 1:50.000, Épila (382). Servicio de publicaciones – Ministerio de Industria y Energía, Madrid, 163p., 2 mapas.
- Vázquez Urbez, M. (2008): *Caracterización y significado ambiental de depósitos tobáceos neógenos en la cuenca del Ebro. Comparación de ambientes Cuaternarios*. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 542p.
- Wikipedia, versión en castellano (en línea). Nigüella. Wikipedia, the Free Encyclopedia (última modificación, 04/08/2015). Disponible en: <<https://es.wikipedia.org/wiki/Nigüella>>

8. ANEXOS.

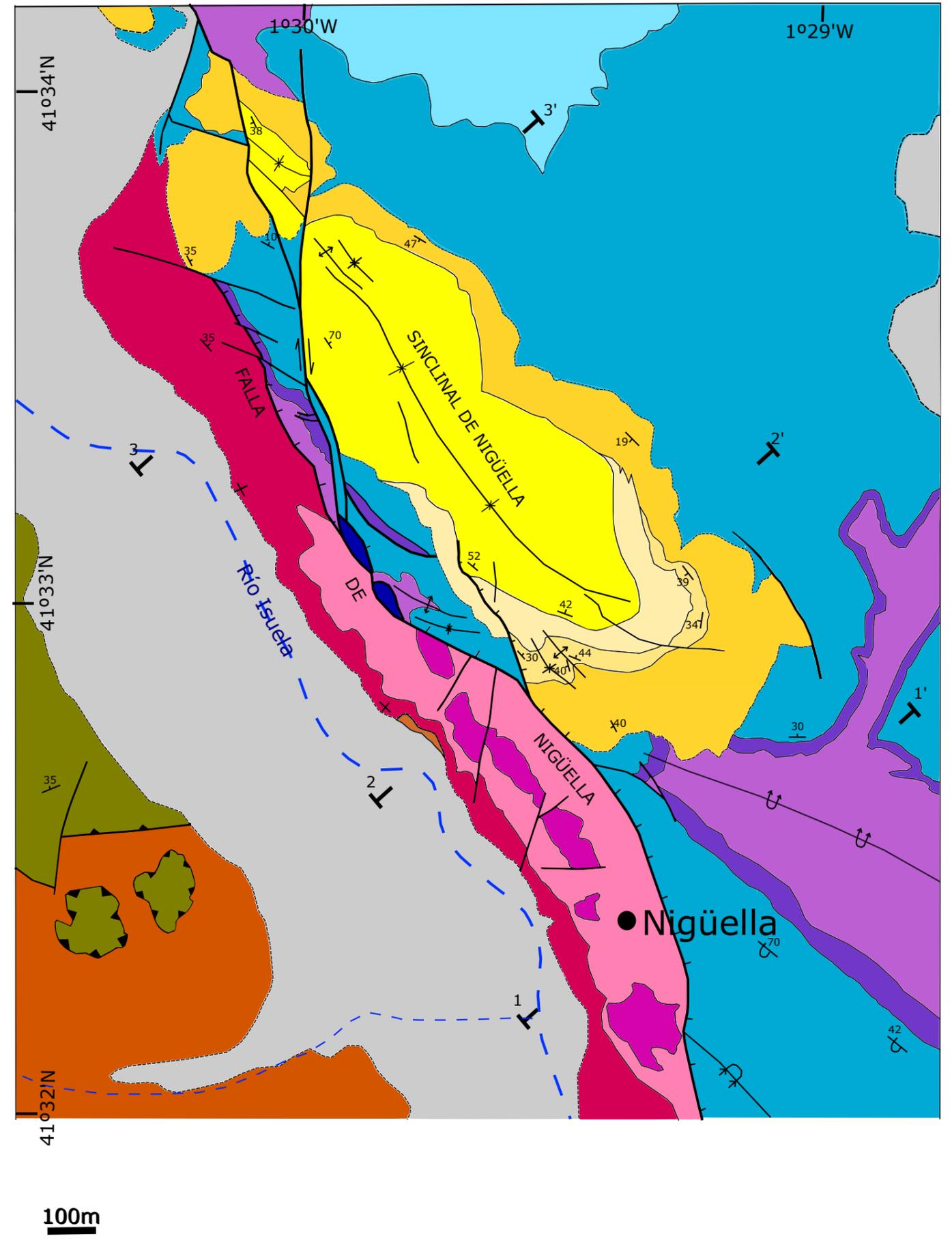
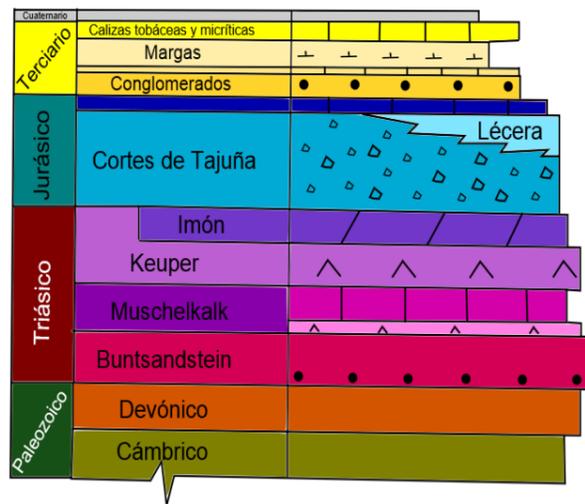
- Anexo 1: Mapa geológico, E. 1:10.000.
- Anexo 2: Cortes geológicos.
- Anexo 3: Columnas estratigráficas.
- Anexo 4: Correlación.

8. ANEXOS.

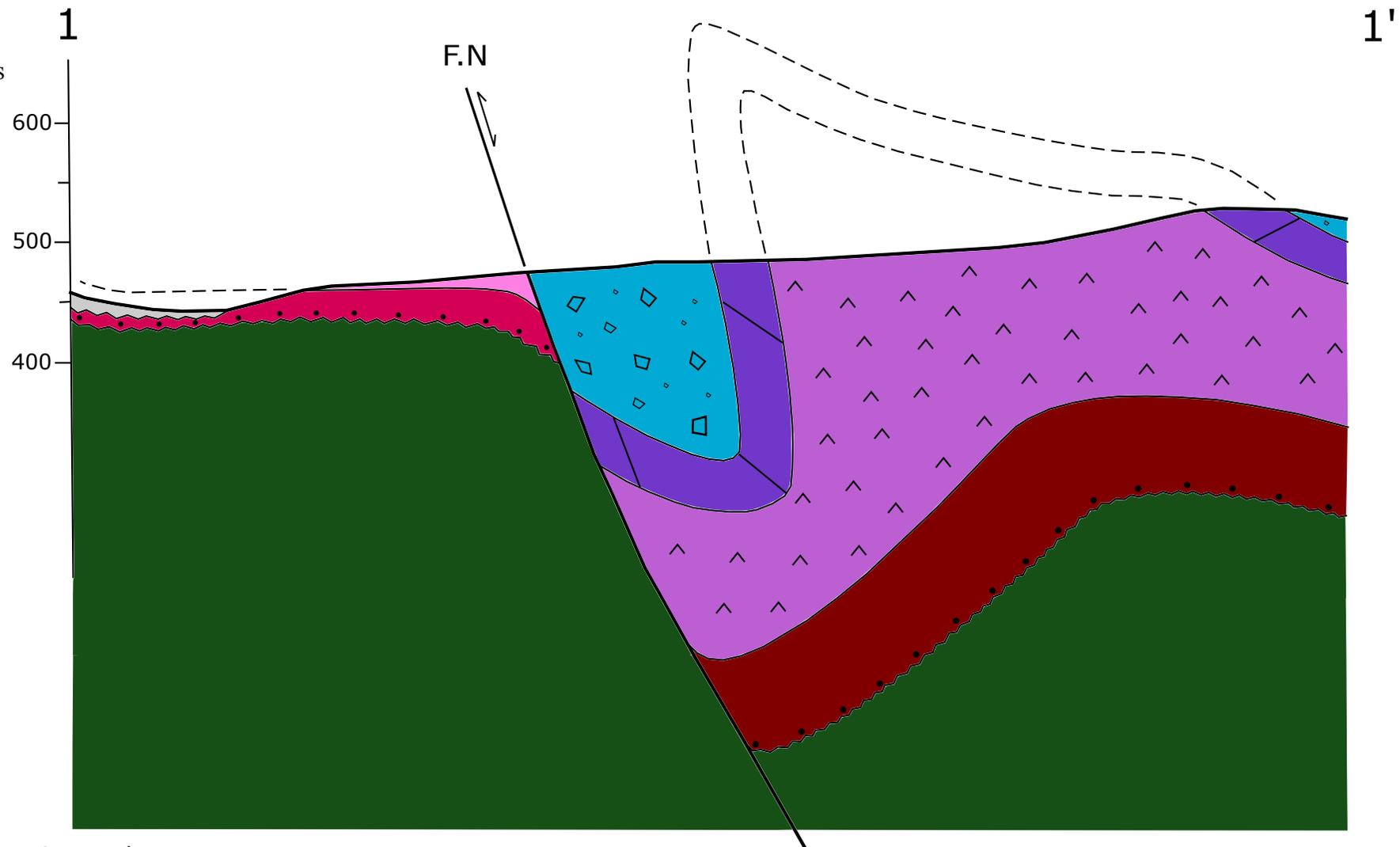
ANEXO 1. Mapa geológico



Columna estratigráfica local



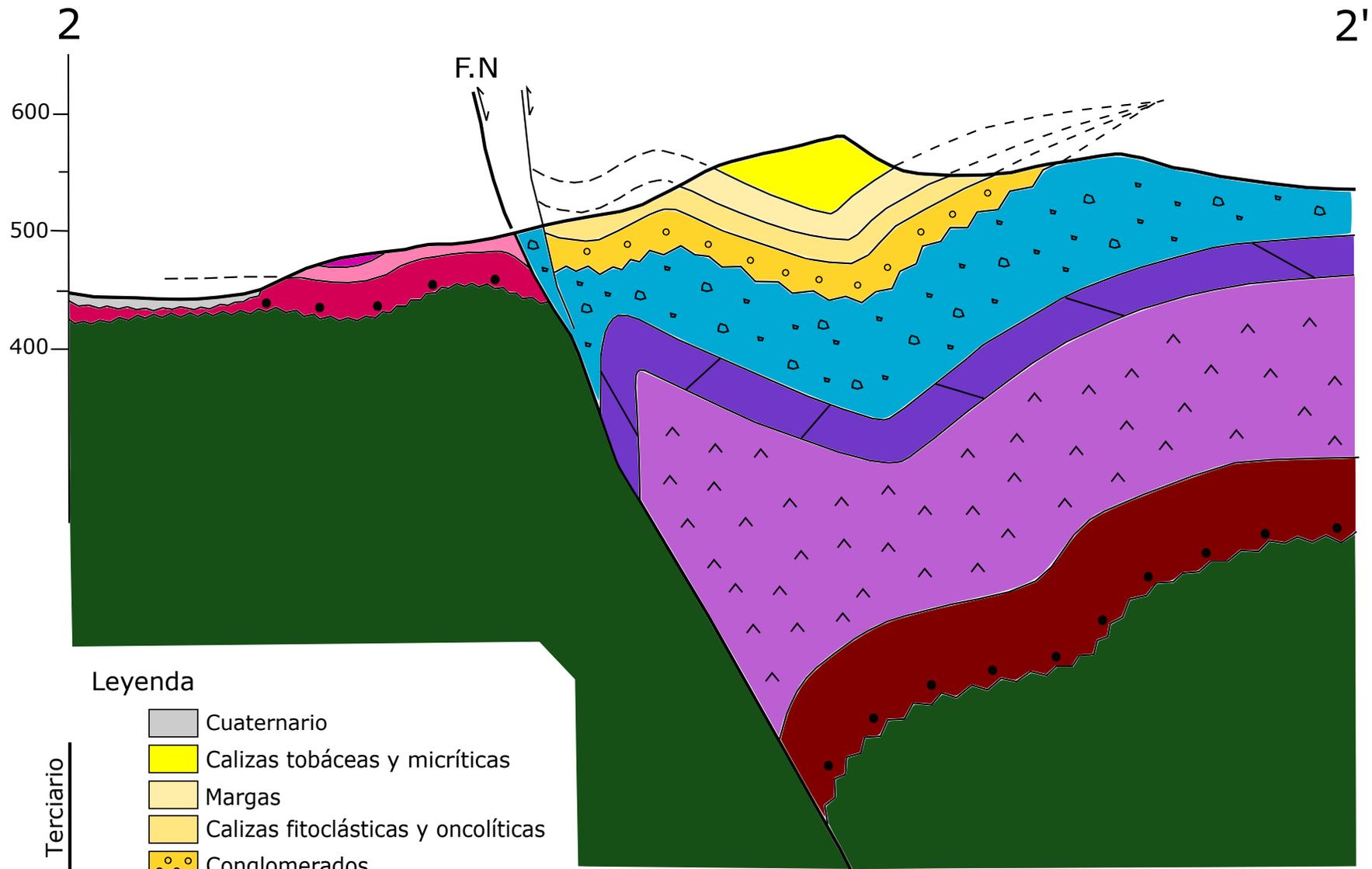
ANEXO 2.
Cortes Geológicos



Leyenda

- Cuaternario
- Jurásico**
- △ □ Fm. Cortes de Tajuña
- / Fm. Imón
- Triásico**
- ^ Fcs. Keuper
- Fcs. Muschelkalk (M3)
- Fcs. Muschelkalk (M1 y M2)
- ● ● Fcs. Buntsandstein
- Paleozoico

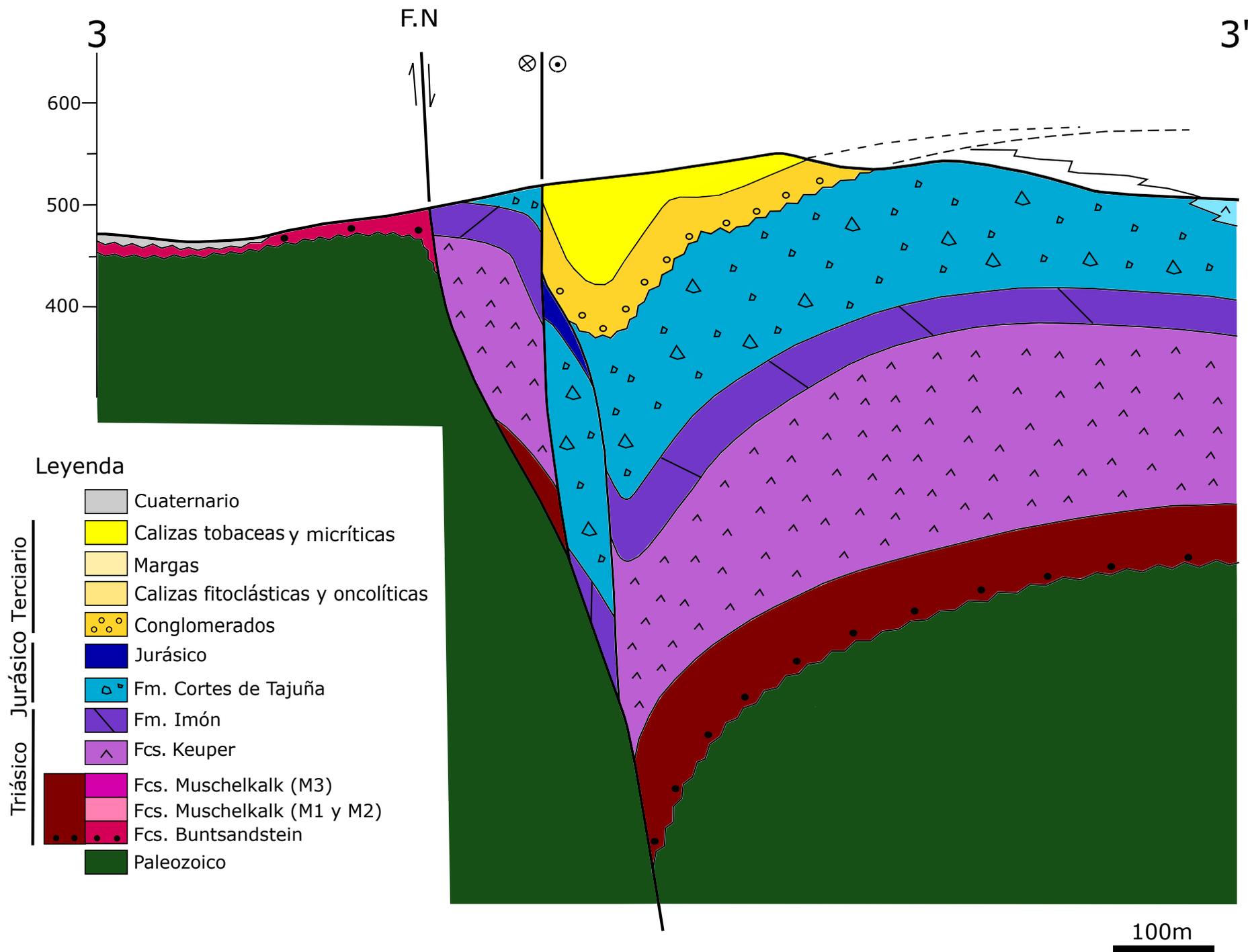
100m



Leyenda

- | | | |
|-------------|--|-------------------------------------|
| Cuaternario | | |
| Terciario | | Calizas tobáceas y micríticas |
| | | Margas |
| | | Calizas fitoclásticas y oncolíticas |
| | | Conglomerados |
| | | Fm. Cortes de Tajuña |
| Jurásico | | Fm. Imón |
| | | Fcs. Keuper |
| Triásico | | Fcs. Muschelkalk (M3) |
| | | Fcs. Muschelkalk (M1 y M2) |
| | | Fcs. Buntsandstein |
| | | Paleozoico |

100m

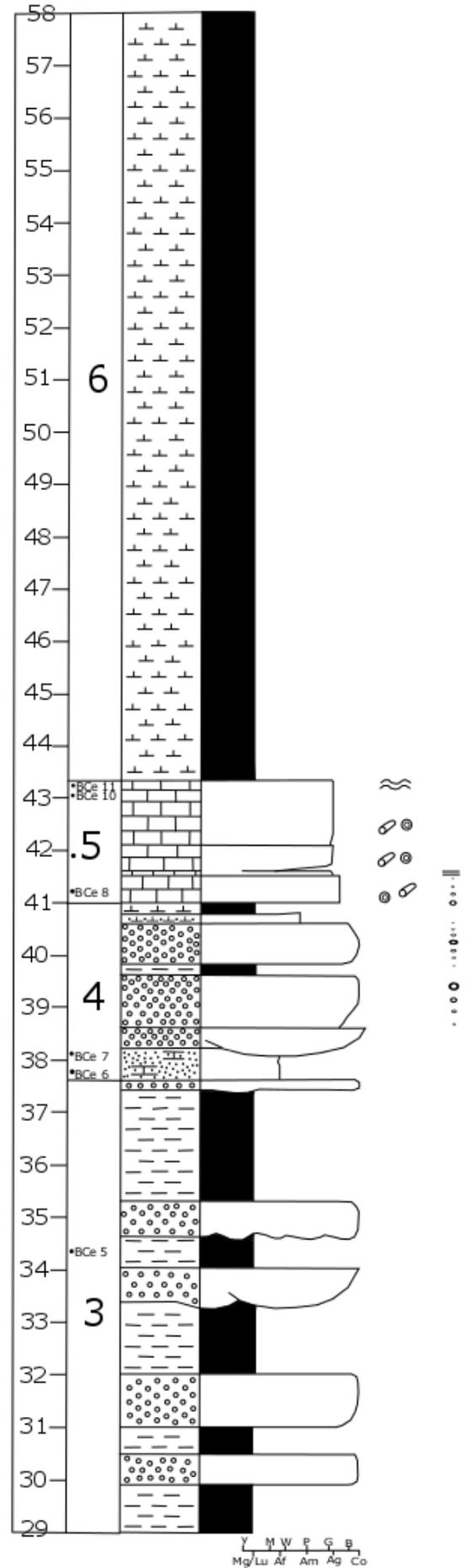
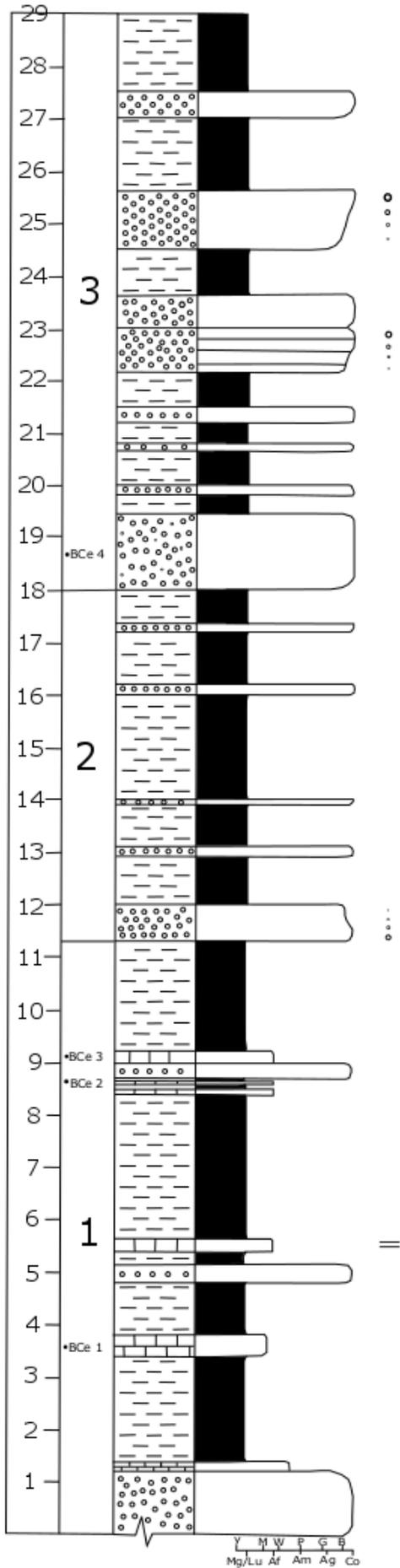


ANEXO 3. Representación gráfica de las columnas estratigráficas levantadas en el sector Nigiüella-Mesones de Isuela. Las tres columnas representadas a continuación presentan la simbología que se recoge en la siguiente leyenda:

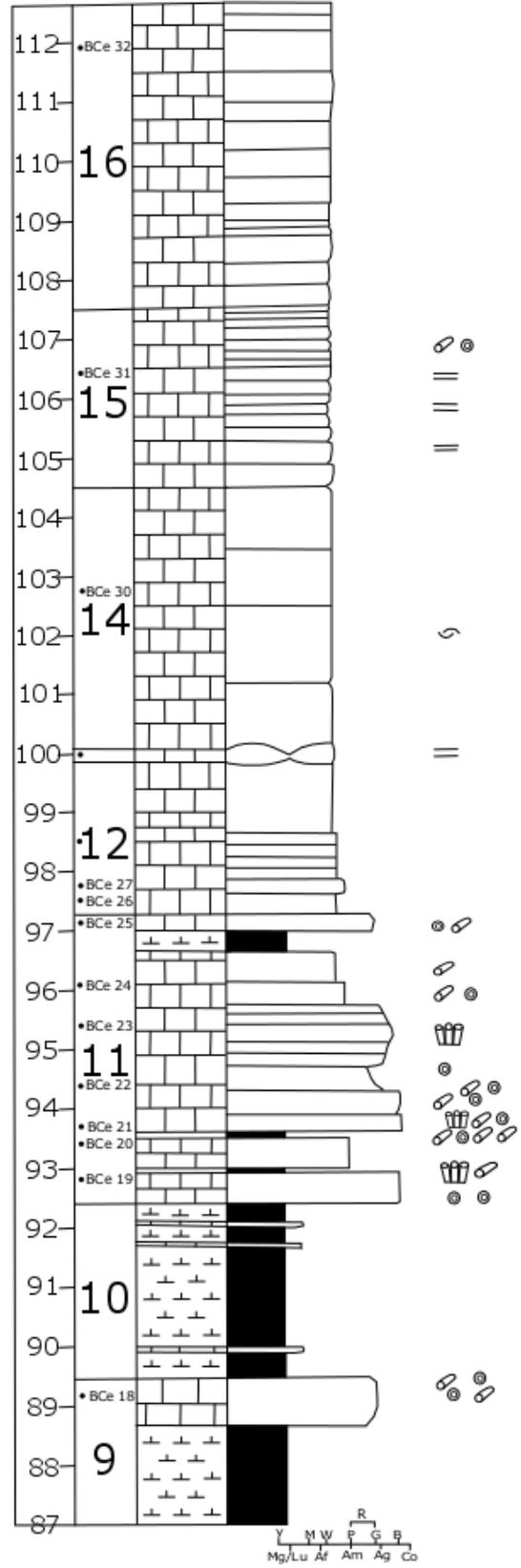
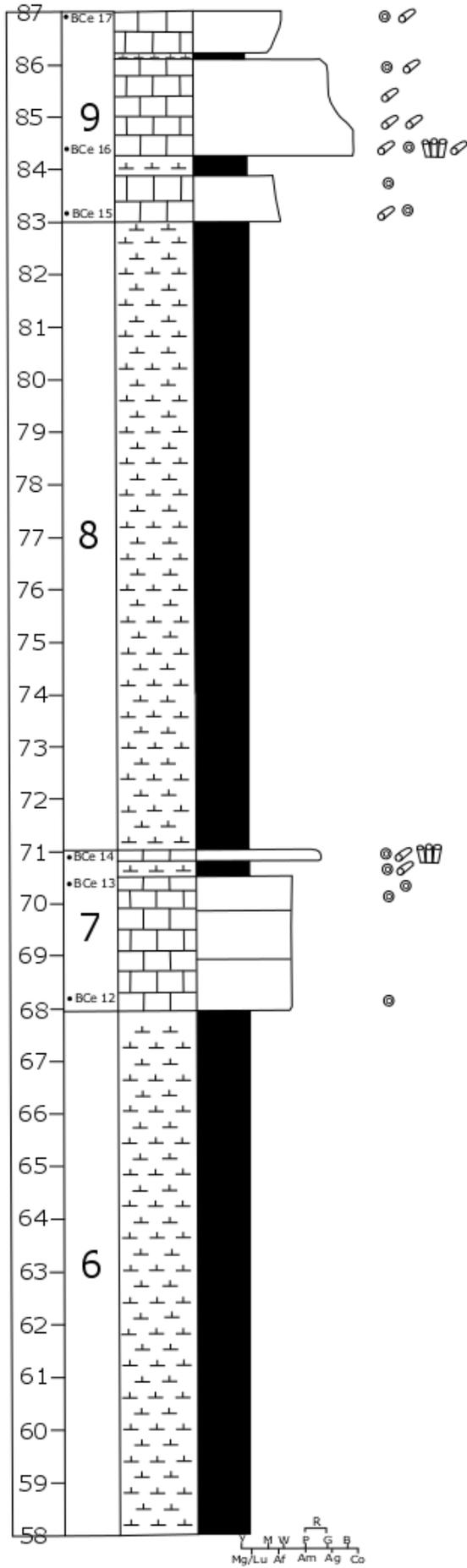
Leyenda

	oncolitos
	fitodastos
	tallos de plantas recubiertos de calcita "in situ"
	estromatolito
	intraclastos
	gasterópodos
	laminación horizontal
	ostrácodos
	calizas
	margas
	limos
	conglomerados
	cubierto

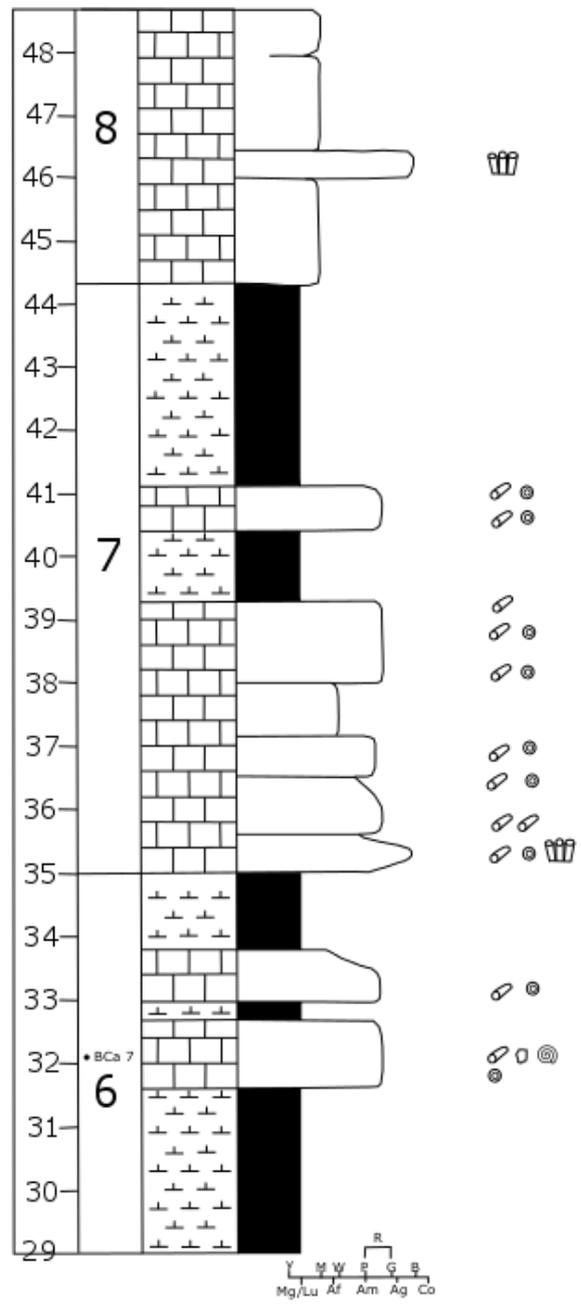
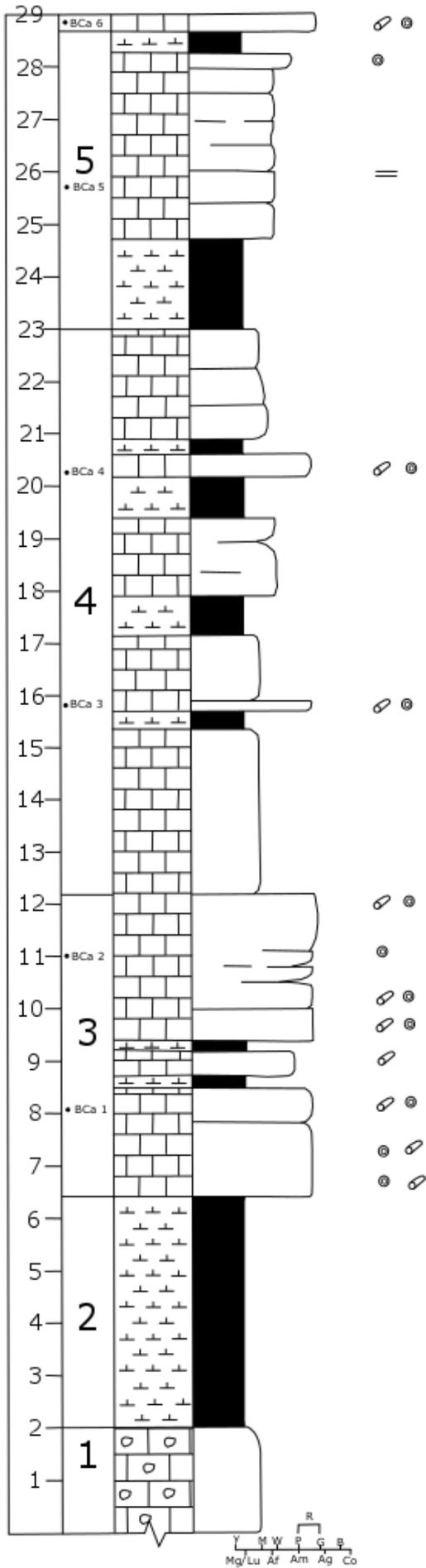
BCO. Cementerio (Nigüella)



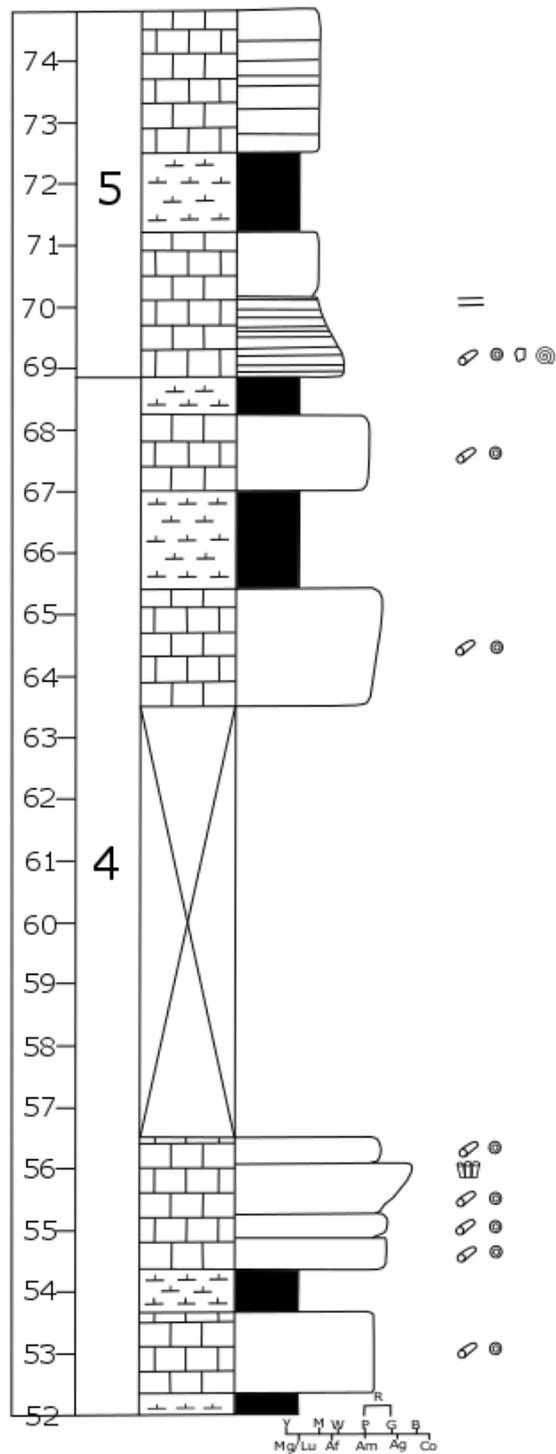
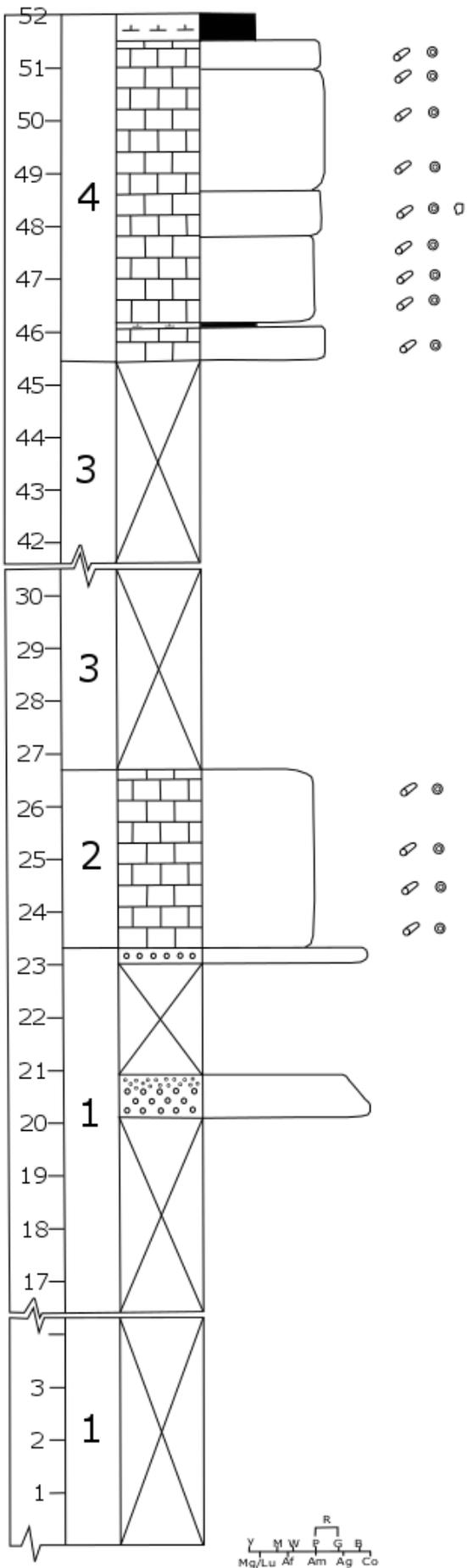
BCO. Cementerio (Nigüella)



BCO. Carretera (Nigüella)



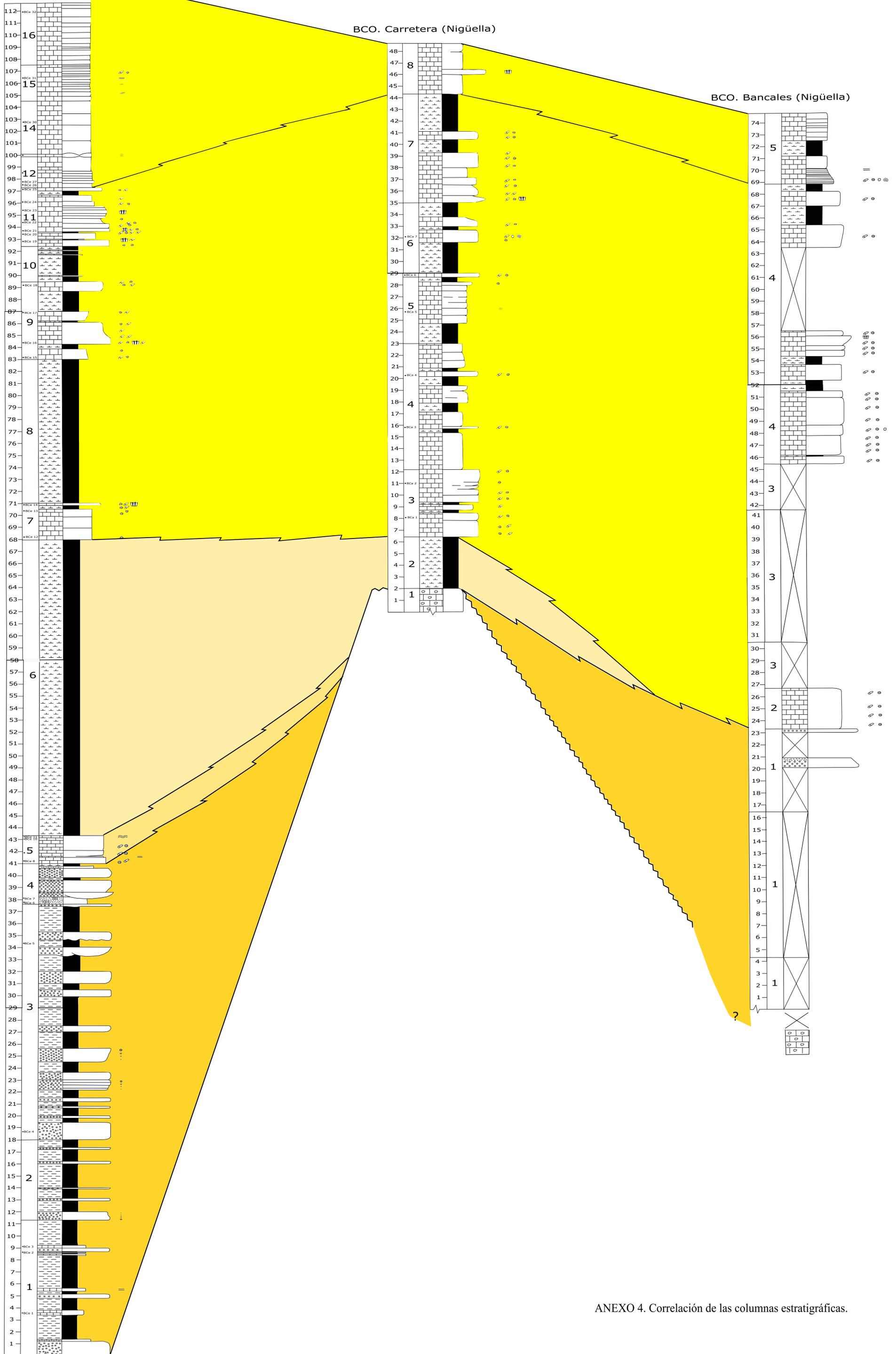
BCO. Bancales (Nigüella)



BCO. Cementerio (Nigüella) ?

BCO. Carretera (Nigüella)

BCO. Bancales (Nigüella)



ANEXO 4. Correlación de las columnas estratigráficas.