

Trabajo de Fin de Máster

Máster Universitario en Geología: Técnicas y aplicaciones

**TAFOFACIES DE LOS NIVELES CON
AMMONOIDEOS DEL ALBIENSE SUPERIOR DE LA
CUENCA VASCO-CANTÁBRICA Y SU RELACIÓN
CON EL MEDIO SEDIMENTARIO**



**Departamento de
Ciencias de la Tierra
Universidad Zaragoza**

Autor:
Jon Burgos Iglesias

Directores:
Mikel A. López Horgue
Guillermo Meléndez Hevia

✂ Zaragoza, 8 de febrero de 2019 ✂

Índice

| | |
|--|----|
| Resumen | 2 |
| Abstract | 2 |
| Introducción | 3 |
| Trabajos previos y antecedentes | 4 |
| Objetivos | 7 |
| Material y métodos | 7 |
| Contexto geográfico y geológico | 8 |
| Aptiense-Albiense de la Cuenca Vasco-Cantábrica..... | 9 |
| Series sedimentarias con ammonoideos objeto de este estudio | 10 |
| <i>Meñakoz</i> | 11 |
| <i>Armintza</i> | 11 |
| <i>Karrantza</i> | 13 |
| <i>Estella-Lizarra</i> | 14 |
| Aspectos tafonómicos | 16 |
| Tafofacies | 17 |
| Tafofacies 1. Arenisca turbidítica | 18 |
| Tafofacies 2. Limolitas con ammonoideos aplastados..... | 21 |
| Tafofacies 3. Caliza arenosa | 23 |
| Tafofacies 4. Arenisca con glauconita | 26 |
| Tafofacies 5A. Limolita con ammonoideos piritizados con cámara de habitación | 30 |
| Tafofacies 5B. Limolitas con ammonoideos piritizados no deformados | 32 |
| Tafofacies 5C. Limolitas con ammonoideos piritizados deformados | 33 |
| Tafofacies 6A. Nódulos carbonatados con señales de disolución..... | 35 |
| Tafofacies 6B. Nódulos carbonatados con señales de erosión..... | 36 |
| Tafofacies 6C. Nódulos carbonatados con ammonoideos aplastados..... | 38 |
| Tafofacies 7A. Nódulos de siderita con ammonoideos en 3D | 39 |
| Tafofacies 7B. Nódulos de siderita con ammonoideos deformados | 40 |
| Tafofacies 7C. Nódulos de siderita con ammonoideos con señales de disolución | 42 |
| Discusión | 44 |
| Diferencias en la diagénesis temprana | 44 |
| Relación entre el ambiente sedimentario y la tafonomía | 46 |
| Hábitats de los ammonoideos | 47 |
| Conclusiones | 48 |
| Bibliografía | 49 |

Resumen

Se lleva a cabo el primer análisis tafonómico detallado de algunos niveles y tramos estratigráficos correspondientes al Albiense superior de la Cuenca Vasco-Cantábrica. Las sucesiones del Albiense superior, presentan espesores de alrededor de 300 metros en altos paleogeográficos con series de mar somero y hasta 5000 metros en surcos correlativos con series siliciclásticas de mar más profundo. Las series del margen norte de la cuenca, localizadas en Armintza y Meñakoz, corresponden a facies siliciclásticas de rampa distal; las localizadas en el margen sur de la cuenca, corresponden a facies deltaicas y de plataforma somera fangosa, Karrantza y Estella-Lizarra respectivamente. Se pudieron observar diferentes modos de conservación en los ammonoideos: en niveles de condensación, en la base de una arenisca turbidítica, en nódulos carbonatados, en nódulos sideríticos, como moldes externos en facies lutíticas y piritizados.

Se definieron diferentes tafofacies en base a las primeras características sedimentológicas y tafonómicas más representativas. Este hecho, permite relacionar el ambiente deposicional y diagenético, reflejando de manera compleja las condiciones ambientales, como los niveles de energía, los eventos de reelaboración y los cambios en el nivel del mar.

Gracias al estudio realizado, los ammonoideos del margen norte de la cuenca se consideran parautóctonos, depositados en un medio fangoso tranquilo con algunos intervalos energéticos que no eran capaces de erosionar el fondo marino. Mientras que, en el margen sur de la cuenca, con facies deltaicas, cuando la energía del medio se detenía o ralentizaba, los organismos se establecían sobre un sedimento arenoso bien oxigenado; los ammonoideos que se encuentran en estas facies son considerados parautóctonos. En cambio, en el margen sur de plataforma somera fangosa, las facies no energéticas indican que los ammonoideos son parautóctonos, pero ciertas facies indican la acción de corrientes energéticas que producían una reelaboración del sedimento, y en algunos casos de ammonoideos.

Abstract

In this work a detailed taphonomic analysis of some levels from several stratigraphic sections of the upper Albian of the Basque-Cantabrian Basin is carried out for the first

time in the studied area. The successions of the Upper Albian, with thicknesses of around 300 meters in paleographic highs with shallow marine environments, and up to 5000 meters in coeval siliciclastic basinal troughs. The studied series of the northern margin of the basin, located in Armintza and Meñakoz, correspond to distal siliciclastic ramp environments; those located in the southern margin of the basin in Karrantza and Estella-Lizarra areas, correspond to delta facies and shallow muddy platform environments respectively. It is worth noting several different conservation modes in the ammonoids: in condensation levels, in the base of a sandstone turbidite, in carbonate nodules, in sideritic nodules, as fine-grained imprints and pyritized.

Different taphofacies were defined on the basis of their sedimentological and representative taphonomic characteristics. This fact allows to relate the depositional and diagenetic environment, reflecting the complex environmental conditions, such as energy levels, reworking events and changes in sea level.

Accordingly to this study, the ammonoids from the northern margin of the basin are considered parautochthonous, deposited in a quiet muddy environment with intervals of low energy not enough to erode the seabed. While, on the southern margin of the basin, in the deltaic facies, tractive currents deposited the sediment on a well oxygenated sandy bottom, thereafter benthonic organisms colonized it; in this intervals ammonoids are considered parautochthonous as well. On the other hand, on the southern margin of a shallow muddy platform, the common parautochthonous ammonoids were sometimes reworked under coastal energetic conditions.

Introducción

Los ammonoideos, cefalópodos con concha externa tabicada, aparecieron en el Devónico inferior (Erben, 1964a) y se extinguieron en el tránsito Cretácico-Paleógeno. Se cree que tenían una flotabilidad casi neutra dentro de la columna de agua, con modos de vida que podían ser desde nectónicos a nectoplantónicos o nectobentónicos (e. g., Jacobs y Chamberlain, 1996; Westermann, 1996). Su modo de vida, la forma y la complejidad de su concha les hacía comportarse de un modo especial después de su muerte (Raup y Chamberlain, 1967; Raup, 1973). Por ello, nunca se pueden encontrar fosilizadas *in situ* (= autóctonos, ver definición en Kidwell et al., 1986). Por lo tanto, no podemos menospreciar su historia tafonómica, fundamental para realizar reconstrucciones

paleobiológicas o paleoecológicas, así como entender muchos procesos sedimentarios y diagenéticos que de otra forma pasarían desapercibidos.

En el presente trabajo se realizará un estudio tafonómico, estableciendo diferentes tafofacies, en el cual se describirá el modo en el que aparecen y se preservan los especímenes estudiados, procedentes de diferentes niveles y tramos estratigráficos localizados en el Albiense superior de la Cuenca Vasco-Cantábrica (CVC). Al oeste del margen norte de la cuenca, se localiza Meñakoz y Armintza; cercano a estos, al oeste del margen sur, se sitúa Karrantza y finalmente al este del margen sur de la cuenca, se localiza Estella-Lizarra. En esta última, se sitúan los niveles y tramos estratigráficos estudiados cerca de las localidades de Zubielki y Metauten. Con ello, se abarcan al menos cuatro tipos de conservaciones en sedimentos de ambientes deltaicos, de plataforma siliciclástica y de rampa turbidítica.

La historia tafonómica de los ejemplares estudiados será la base para poder establecer una relación con el ambiente deposicional y diagenético, así como para entender los procesos condicionantes. Este análisis ayudará en la discusión sobre posibles bioeventos de ammonoideos a nivel de cuenca y sobre los diferentes hábitats ocupados por estos cefalópodos.

Trabajos previos y antecedentes

El rifting de la región Vasco-Cantábrica (Cuenca de igual nombre: CVC) evolucionó desde un rift intracontinental a un rift pericratónico ligado a la apertura del Golfo de Bizkaia (Rat, 1988) desde el Triásico hasta el Paleógeno. En el Paleógeno, evolucionó a una cuenca de antepaís, previa a la inversión del Eoceno superior-Oligoceno. En un contexto geodinámico más amplio, la CVC es la parte occidental del denominado rift pirenaico, área con cuencas de rift similares separadas por fallas transformantes y que tuvieron una conexión marina durante el Cretácico. Durante el Albiense, los procesos de hiperextensión de la corteza continental se desarrollaron a favor de grandes fallas de rift que conllevaron, máximos de subsidencia, profundización de la cuenca, vulcanismo submarino y exhumación del manto en algunas de las cuencas del rift pirenaico (Jammes et al., 2009). En la CVC, la acomodación así creada fue compensada por la sedimentación de grandes espesores de sedimentos, principalmente siliciclásticos en ambientes

profundos (e. g., El Grupo Flysch Negro) y poco profundos (e. g., Formación Zufia), con importantes cambios de facies. Es en los sedimentos del Albiense superior, donde se han encontrado abundantes niveles con fauna ammonítica (e. g., López-Horgue et al., 2009). Además del valor bioestratigráfico de estas asociaciones de ammonioideos, que han sido la base para correlacionar las sucesiones sedimentarias, su valor para comprender las condiciones y cambios ambientales es de interés primordial.

En las últimas décadas, los estudios de ammonioideos del Albiense superior de las cuencas Vocontiense (al este de los Pirineos), Pirenaicas y Vasco-Cantábrica han experimentado un cierto auge, aunque queda todavía mucho por realizar. Los ammonioideos de las cuencas Vocontiense y Pirenaicas constituyen las faunas Tethysianas más próximas a las de la Vasco-Cantábrica. Su conocimiento se debe a trabajos bioestratigráficos y taxonómicos, de los que caben destacar los realizados por: Delanoy y Latil (1988), Gale et al. (1996) y Gale et al. (2011) en la Cuenca Vocontiense; Souquet et al. (1985), Mongin et al. (1983), Kennedy et al. (1997) y Kennedy y Bilotte (2009) en las cuencas Pirenaicas; Wiedmann (1962, 1979), Wiedmann y Kaufmann (1978), Wiedmann y Boess (1984), Agirrezabala et al. (1992), Santamaria y López (1996), López-Horgue et al. (1999, 2009) y Agirrezabala y López-Horgue (2017) en la CVC. En general, estos trabajos indican la presencia de una fauna ammonítica del Albiense superior típica de mares Tethysianos.

En las primeras propuestas de zonación de ammonioideos del Albiense superior para la CVC, Wiedmann y Kaufmann (1978) y Wiedmann (1979) reconocieron tres biozonas (Tabla 1). Pero la actual zonación de ammonioideos usada en la CVC, fue propuesta por López-Horgue et al. (1999) y Owen (1999) y finalmente usada en Owen y Mutterlose (2006) (Tabla 1). En la parte sureste de la cuenca, en el área de Estella-Lizarra (Navarra, margen sur de la CVC), López-Horgue et al. (1999) describieron la existencia de las Zonas de los ammonioideos *Hysterocheras varicosum*, *Mortoniceras inflatum* y *Stoliczkaia dispar*. Agirrezabala et al. (1992) identificaron una fauna de ammonioideos asimilable a las Zonas de *Hysterocheras varicosum* y *Mortoniceras inflatum* en secciones entre las localidades de Gernika y Deba en el norte de la CVC. En la zona oeste del margen sur de la CVC (desde Karrantza a Turtzioz), Aranburu (1998) y López-Horgue (2000), observaron faunas asimilables a las Zonas de *Hysterocheras varicosum*, *Mortoniceras inflatum* y *Stoliczkaia dispar*. Finalmente, López-Horgue et al. (2009) describieron por

| López-Horgue (1999) y Owen (1999) | | Wiedmann & Kaufmann (1978) | |
|-----------------------------------|---|------------------------------|--|
| Zona | Subzona | Zona | Subzona |
| <i>Stoliczkaia (S.) dispar</i> | <i>Arrhaphoceras (Praeschloenbachia) briacensis</i> | <i>Stoliczkaia dispar</i> | <i>Paraturrilites quadrituberculatus</i> |
| | <i>Mortoniceras (Durnovarites) perinflatum</i> | | <i>Pervinquieria fallax</i> |
| | <i>Mortoniceras (Mortoniceras) rostratum</i> | | |
| <i>Mortoniceras (M.) inflatum</i> | <i>sensu stricto</i> | <i>Pervinquieria inflata</i> | <i>sensu stricto</i> |
| <i>Hysterocheras varicosum</i> | <i>Hysterocheras choffati</i> | <i>Hysterocheras orbigny</i> | <i>sensu stricto</i> |
| | <i>Hysterocheras binum</i> | | |
| | <i>Hysterocheras orbigny</i> | | |

Tabla 1. Zonaciones de ammonioideos usadas para el Albiense superior en la CVC. A la derecha, primeras biozonas reconocidas por Wiedmann y Kaufmann (1978). A la izquierda, biozonas modificadas a partir de una mayor colecta de ammonioideos, propuestas por López-Horgue (1999) y Owen (1999).

primera vez en la CVC y en la Península Ibérica, una sucesión sedimentaria en la que se precisaban las Zonas de *Hysterocheras varicosum*, *Mortoniceras inflatum* y la base de la Biozona de *Stoliczkaia dispar*.

Recientemente, Agirrezabala y López-Horgue (2017) interpretaron que la asociación de ammonioideos del margen norte de la cuenca para el Albiense superior podía considerarse autóctona, con cero o poco transporte lateral. Estos autores propusieron un modelo conceptual para los hábitats de los ammonioideos, en el cual, las formas adultas y grandes dominaban los altos epipelágicos limitados por fallas, en cambio, los ejemplares juveniles y pequeños habitaban en las subcuencas mesopelágicas más profundas. Por otra parte, distinguieron en los ammonioideos estudiados hasta diez bioeventos de tres tipos: cambios evolutivos, cambios paleobiogeográficos, y cambios en la abundancia y diversidad en los ammonioideos.

Adicionalmente, Burgos-Iglesias (2017), estableció una distribución de ecomorfotipos en ammonioideos del Albiense superior de la zona oeste de la CVC. Este autor, propuso que en las facies de *offshore* poco profundas, localizadas al sur-suroeste de la cuenca, dominaban las formas con modos de vida demersales, en cambio, al noroeste de la cuenca, con ambientes *offshore* mucho más profundos, la mayoría de formas tenían modos de vida de migrante vertical. Este trabajo, permitió entender la afinidad ecológica de los morfotipos estudiados, debido a que se correlacionaba de manera bastante precisa con los datos sedimentológicos.

Objetivos

Las sucesiones del Albiense superior de la CVC presentan espesores de alrededor de 300 metros en altos paleogeográficos con medios de mar somero y hasta 5000 metros en surcos correlativos siliciclásticos con mayor subsidencia, aflorando extensamente en varias áreas. Los ammonioideos no son raros en estas series, pero ocurren en muy baja concentración excepto en ciertos niveles, por lo que las colecciones han sido realizadas a lo largo de muchos años para obtener una muestra significativa; este hecho no ha permitido estudios rigurosos hasta hace poco. Sin embargo, la mayoría de estos trabajos son principalmente de índole taxonómica y bioestratigráfica sin contemplar la tafonomía en profundidad.

El objetivo principal de este trabajo, consiste en la realización del primer estudio tafonómico de detalle con ammonioideos del Albiense superior de la CVC. Se estudiarán diferentes niveles y tramos estratigráficos localizados en distintas partes de la cuenca. Se incluirá la sedimentología de dichos niveles y se estudiarán los procesos alterativos de ellos con el objetivo de determinar el grado de aloctonía o autoctonía. Por otra parte, se estudiarán las asociaciones registradas y se propondrán tipos de tafofacies, relacionando así la tafonomía con el ambiente deposicional y los procesos condicionantes de cada tramo estratigráfico. Este análisis ayudará en la discusión sobre posibles bioeventos de ammonioideos a nivel de cuenca y sobre los diferentes hábitats ocupados por estos cefalópodos.

La integración de los datos sedimentológicos y paleontológicos será la base para la construcción de un modelo conceptual de los hábitats ammonioideos que se comparará con modelos ya establecidos, para proporcionar una mejor comprensión de los entornos en los que prosperaron y de los cambios ambientales acaecidos en la CVC durante el Albiense superior.

Material y métodos

Se han estudiado 184 ammonioideos procedentes de los diferentes niveles y tramos estratigráficos del Albiense superior de la CVC, correspondiente a las Zonas de *Hysterocheras varicosum*, *Mortoniceras inflatum* y *Stoliczkaia dispar*. Una parte de este material, había sido estudiado previamente por López-Horgue et al. (1999, 2009), o se

encuentra actualmente en estudio (López-Horgue y Owen, en prep.). El resto del material ha sido obtenido en diferentes salidas de campo para poder realizar este estudio con una mayor cantidad de ejemplares. La colección se encuentra depositada en el Departamento de Estratigrafía y Paleontología de la Universidad del País Vasco (UPV / EHU, Leioa) y en el Museo de Ciencias Naturales de Álava (MCNA).

Por una parte, en el trabajo de campo se elaboraron columnas de detalle, se realizó un muestreo detallado para conseguir parte del material fósil a estudiar y se tomaron datos tafonómicos y sedimentológicos. Finalmente, se realizó una documentación fotográfica de los afloramientos y se tomaron muestras de roca para realizar un estudio de microfacies en lámina delgada.

Por otra parte, en el laboratorio, para poder realizar la toma de algunos datos tafonómicos en los ejemplares, se realizaron observaciones directas. En algunos casos fue necesario observar los ejemplares en la lupa binocular, ya que se pueden detectar alteraciones y modificaciones invisibles al ojo humano. Gran parte de los ammonoideos estaban previamente limpios y preparados; algunos de ellos y el nuevo material encontrado, fueron preparados y restaurados, ya que se encontraban en varios fragmentos o se hallaban parcialmente tapados por la matriz rocosa.

Contexto geográfico y geológico

La CVC, actualmente una cuenca invertida, se sitúa en el límite septentrional de la actual Península Ibérica. Comprende el oeste de Navarra, el País Vasco, el norte de las provincias de Burgos y Palencia, y gran parte de Cantabria. Su límite oriental se sitúa en la falla de Pamplona, mientras que el límite occidental corresponde al contacto con los materiales del Macizo Asturiano. Los límites septentrional y meridional corresponden actualmente a sendos frentes de cabalgamiento, el primero se encuentra entre la actual plataforma y talud continentales, en pleno Golfo de Bizkaia, y el segundo sobre las cuencas cenozoicas del Duero y su enlace con la cuenca del Ebro.

Dentro de esta área, se estudiarán 5 tramos estratigráficos pertenecientes al Albiense superior (Figura 1). Los dos situados más al norte, se encuentran en los acantilados de Armintza y en la playa de Meñakoz (Bizkaia, País Vasco). Al suroeste de ellos se estudiará un nivel localizado en Karrantza (Bizkaia, País Vasco). Los dos últimos tramos

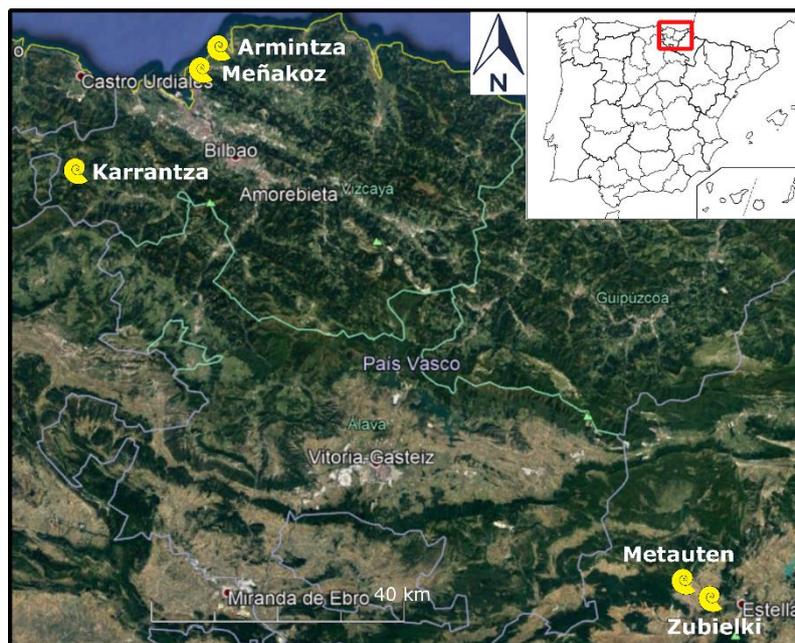


Figura 1. Ubicación geográfica de los niveles y tramos estratigráficos a estudio. De norte a sur, los localizados en el País Vasco, Armintza, Metauten y Karrantza; en Navarra, Metauten y Zubieltki.

estratigráficos a estudio, se localizan en el Valle de Allin (Navarra), cerca de las localidades de Zubieltki y Metauten (región de Estella-Lizarra).

Aptiense-Albiense de la Cuenca Vasco-Cantábrica

La CVC evolucionó desde un rift intracontinental a un rift pericratónico ligado a la apertura del Golfo de Bizkaia durante el Triásico-Cretácico. Durante el Aptiense-Albiense los movimientos de apertura del Golfo de Vizcaya derivan en un episodio mayor de rift que conlleva el desarrollo de altos y surcos muy pronunciados, limitados por fallas de zócalo. Además, la fuerte subsidencia provocó la invasión marina de los márgenes de cuenca, así como la implantación de sistemas arrecifales y pararrecifales que se disponían en altos, separados por sistemas terrígenos en surcos. Los pisos Aptiense y Albiense representan la mayor parte del registro Mesozoico de la cuenca con más de 7.000 metros de espesor (e. g., Cámara, 1997).

En el Albiense inferior existieron sistemas de plataforma con resaltes y taludes deposicionales con pendientes promedio de 20°. Se reconocen cinturones de facies de plataforma interna (micritas con rudistas), margen de plataforma bioconstruido (microbioalitas y rudistas), talud superior (corales autóctonos y bioconstrucciones), talud inferior (megabrechas de calizas, calcarenitas, margas y margocalizas), y, por último,

Las series de Meñakoz y Armintza presentan facies siliciclásticas y vulcaniclásticas de rampa marina distal (*offshore*). Al suroeste, con facies deltaicas se sitúa Karrantza y finalmente en la parte más al sureste de la cuenca, con facies de plataforma marina somera fangosa, se localiza Estella-Lizarra; en esta última se han estudiado dos secciones, cerca de las localidades de Zubielki y de Metauten. En las últimas décadas, la recolección de una importante muestra de ammonioideos del Albiense superior ha hecho posible la datación precisa de estas sucesiones (e. g., López-Horgue et al., 1999, 2009; López-Horgue y Owen, en prep.).

A continuación, se describirá brevemente la estratigrafía y sedimentología de las series con los niveles estudiados, y posteriormente se definirán las tafofacies diferenciadas en cada sección.

Meñakoz

La serie estudiada aflora en los acantilados de Meñakoz en Sopela (Bizkaia). Está constituida por abundantes areniscas turbidíticas silíceas alternantes con lutitas, ambas con abundante lignito detrítico, pertenecientes al denominado Flysch Negro (Albiense superior-Cenomaniense inferior). Afloran en posición invertida en una zona plegada con fallas inversas. Las areniscas presentan espesores de entre 5 y 50 centímetros, estando intercaladas entre lutitas en tramos de 5-20 centímetros de espesor (Figura 3). El ammonioideo objeto de estudio es un molde externo muy bien conservado en la base de una capa de arenisca.

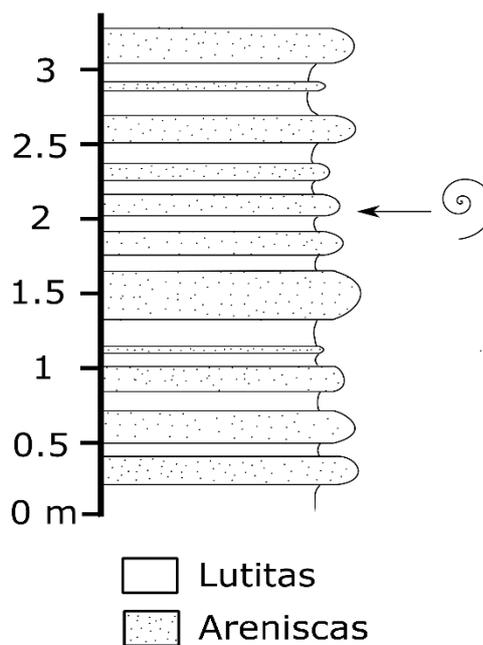


Figura 3. Columna parcial de la serie del Albiense superior de Meñakoz; compuesta de areniscas turbidíticas silíceas alternantes en lutitas con abundante lignito detrítico. El ammonioideo se localiza en la base de una arenisca.

Armintza

En Armintza, una sucesión de *flysch* siliciclástico se apoya mediante una discontinuidad estratigráfica sobre el *fan-delta* siliciclástico de la Formación Monte Grande de edad

Albiense inferior (Pujalte et al., 1986). Estos materiales se correlacionan con la mitad inferior de la Formación Valmaseda (García-Mondéjar, 1982), informalmente denominada unidad La Escrita (localizada en el área de Karrantza; e. g., López-Horgue, 2000); la cual, al no estar formalmente definida, se seguirá usando con el término “unidad”.

Los sedimentos del *flysch*, muestran una secuencia granodecreciente, indicando una progresiva profundización en líneas generales. El ambiente sedimentario progresa desde una parte de talud superior con canales turbidíticos a la parte baja de talud con lóbulos turbidíticos y canales en transición a un talud de menor pendiente con finas turbiditas (Pujalte et al., 1986). Ambos tramos principales están separados por basaltos (Badillo et al., 1983). El tramo superior presenta capas vulcanoclásticas de grano fino intercaladas (e. g., López-Horgue et al., 2009).

La serie a estudio de aproximadamente 150 metros de espesor (Figura 4), está compuesta por una sucesión siliciclástica en la cual los materiales principales son margas, limolitas, areniscas turbidíticas de grano muy fino a limo, y en menor medida materiales volcánicos (basaltos y vulcanoclásticas) (e. g., López-Horgue et al., 2009). Estos se interpretan como depósitos de ambiente marino profundo. Se han localizado ammonoideos en diferentes modos de conservación que se encuentran en sedimentos de las Subzonas de *Hysterocheras binum*, *Hysterocheras choffati* y de la Zona de *Mortoniceras inflatum* (López-Horgue et al., 2009).

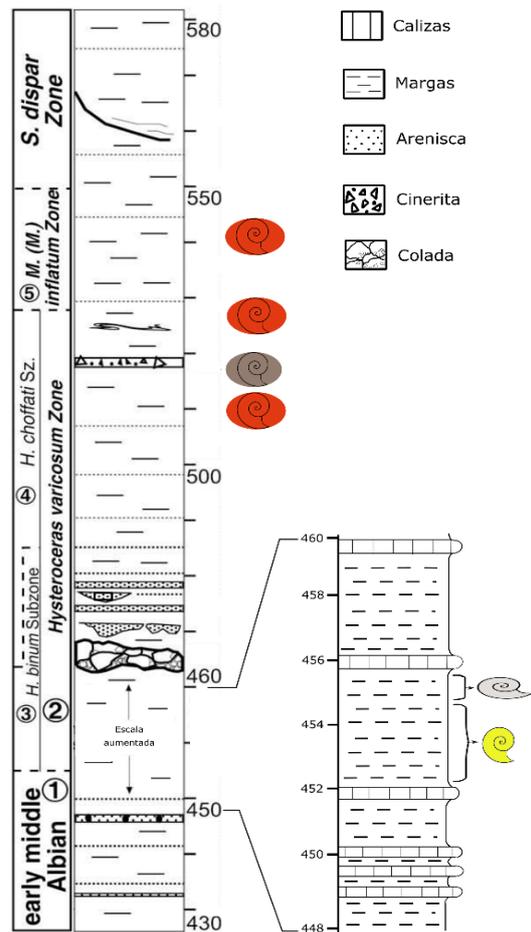


Figura 4. Columna estratigráfica de Armintza, en la cual, se sitúan las posiciones donde aparecen diferentes modos de conservación en ammonoideos. En amarillo, ammonoideos piritizados; gris clarito, ammonoideos deformados; rojo, en nódulos sideríticos; gris, en nódulos carbonatados. Modificado de López-Horgue et al. (2009).

Las margas y limolitas de los metros 452-455 presentan ammonoideos piritizados. A continuación, en las mismas facies, en los metros 455-456, los ammonoideos se preservan completamente aplastados lateralmente y no están piritizados. Por otra parte, en un nivel margoso, a escasos centímetros por debajo de la capa cinerítica, en el metro 517, encontramos un ammonoideo en un nódulo carbonatado. Finalmente, ammonoideos preservados en nódulos sideríticos ocurren en margas y limolitas desde el metro 510 al metro 540. Este último tramo es interpretado como originado en un sistema turbidítico de tipo 3 de Mutti (1985) según Robles et al. (1988), formado esencialmente de facies D2 con intercalaciones de turbidita de arena fina más o menos abundantes de las facies C2.3. Estas intercalaciones se encuentran parcialmente sideritizadas, normalmente reemplazando la unidad D-E de Bouma (Ábalos y Elorza, 2012). Algunas de las escasas areniscas turbidíticas de grano grueso pueden contener guijarros de siderita, lo que sugiere que la formación de esta siderita sucedió poco después de la sedimentación (Ábalos y Elorza, 2012).

Karrantza

En la zona de Karrantza, se ha estudiado únicamente un nivel de caliza arenosa perteneciente a la Subzona de *Hysteroceeras choffati* (López-Horgue et al., 2009). Este nivel se localiza dentro de la unidad de La Escrita (Aranburu, 1998; López-Horgue, 2000), correlacionada con el flysch siliciclástico de Armintza (*early Late Albian* en Figura 5). La unidad de La Escrita está compuesta principalmente por lutitas y areniscas. Sus sedimentos fueron depositados en una plataforma marina somera abierta, afectada por la acción de las mareas y las olas de buen tiempo y de tormenta (*shoreface-offshore*) (López-Horgue et al., 1993). Las areniscas indican depósitos más cercanos a costa en momentos regresivos y en cambio las lutitas indicarían una sedimentación de *offshore* en momentos de transgresión (López-Horgue et al., 1998). La capa objeto de estudio es una caliza arenosa de aproximadamente 40 centímetros de espesor dispuesta a techo de un tramo de areniscas intercaladas entre lutitas. La extracción de los ejemplares ha sido posible solo en las zonas con roca alterada, ya que en esta zona las conchas se encuentran disueltas permitiendo una fracturación a favor de esas debilidades, consiguiéndose buenos moldes externos e internos.

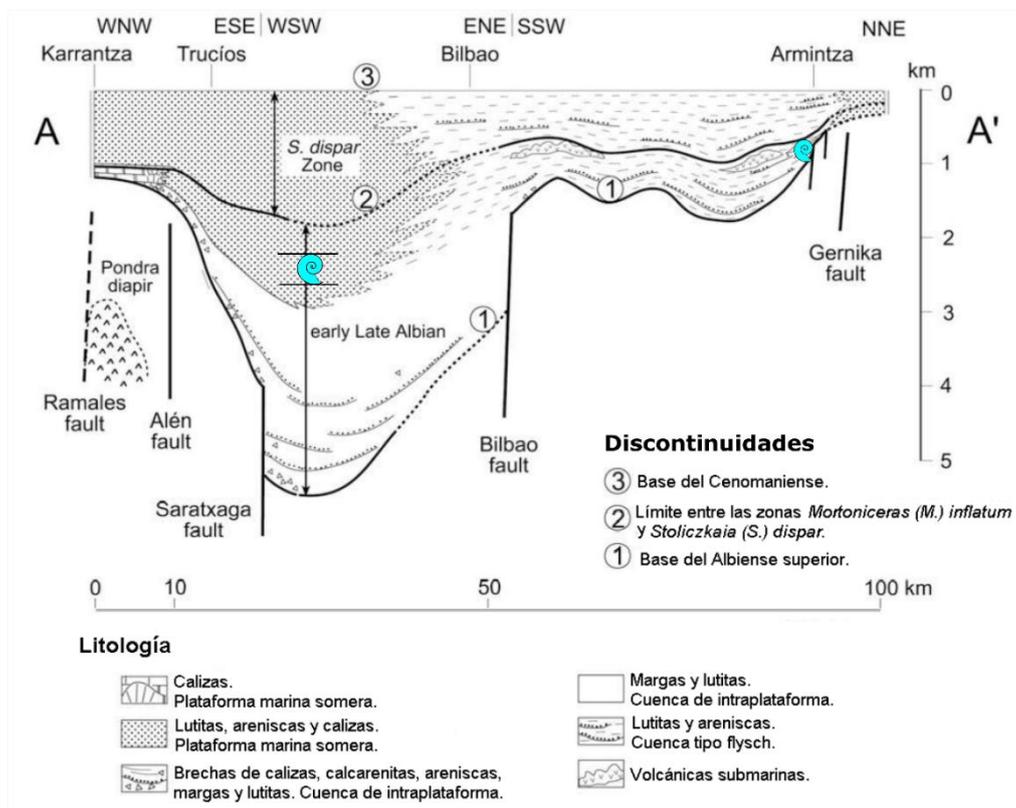


Figura 5. Corte estratigráfico entre Karrantza y Armitza. Los ammonoideos azules posicionan los tramos estratigráficos a estudio en Karrantza y Armitza. Modificado de López-Horgue et al. (2009).

Estella-Lizarra

Las series objeto de estudio se incluyen en la Formación Zufia (García-Mondéjar, 1982), cuyos afloramientos bordean el diapiro con materiales salinos del Triásico Keuper de Estella-lizarra en el margen sureste de la CVC. Los sedimentos de la Formación Zufia están compuestos principalmente de materiales terrígenos de grano muy fino (limos y arcillas) y en menor medida por materiales terrígenos de grano más grueso (arenas). Estos se depositaron en una plataforma marina abierta poco profunda afectada por oleaje de tormenta y de buen tiempo (López-Horgue et al., 1999). Esta formación está cubierta por la Formación Ollogoyen (Amiot, 1982), una sucesión de margas y lutitas margosas del Cenomaniense Medio. El estudio bioestratigráfico y sedimentológico de la Formación Zufia fue realizado por López-Horgue et al. (1999); estos autores describen tres unidades principales, de base a techo, areniscas (unidad 1); limolitas con ocasionales calizas y areniscas (unidad 2); finalmente, margas y calizas (unidad 3). Las unidades 1 y 2 son del Albiense superior y la unidad 3 pertenece al Cenomaniense inferior. Los ammonoideos a estudio se localizan en la unidad 2 (Figura 6). El yacimiento de Zubiarki se encuentra dentro de la Subzona de ammonoideos *Mortoniceras rostratum* y *Mortoniceras*

perinflatum y el de Metauten, dentro de la Subzona del ammonoideo *Arrhaphoceras briacensis* (López-Horgue et al., 1999).

La unidad 2, básicamente es una gran unidad de limolita calcárea fisible. Esta muy poco bioturbada y el contenido de macrofósiles es escaso; sólo algunos pequeños horizontes son ricos en braquiópodos, pequeños corales solitarios, equinodermos y ammonites. Aparecen también nódulos mayoritariamente sideríticos (<0.4 metros) que pueden tener restos de invertebrados. Las areniscas son muy minoritarias en esta unidad, pero de gran

valor sedimentológico, paleontológico y paleogeográfico. Una de estas areniscas se estudia en este trabajo: el nivel 2c de López-Horgue et al. (1999). Éste consiste en un lecho delgado (<0,4 metros de espesor) con abundantes granos glauconíticos que sugieren una tasa de

sedimentación muy baja, incluso cero, durante un largo período de tiempo (Odin y Matter, 1981). Esta visión está respaldada por el alto grado de bioturbación del lecho, la acumulación de conchas en su parte superior y el enriquecimiento hacia techo de glauconita detrítica, incluso, hasta 0,3 metros en las limolitas suprayacentes. Esta arenisca glauconítica sugiere un rápido aumento en el nivel del mar, después de que una fase regresiva erosionara el lecho marino, interpretándose como un depósito de *lag* transgresivo (e. g., Loutit et al., 1988).

En la base de la serie de Zubieli, este nivel de arenisca con granos de glauconita (2c de López-Horgue et al., 1999) contiene abundantes ammonoideos. Estratigráficamente por

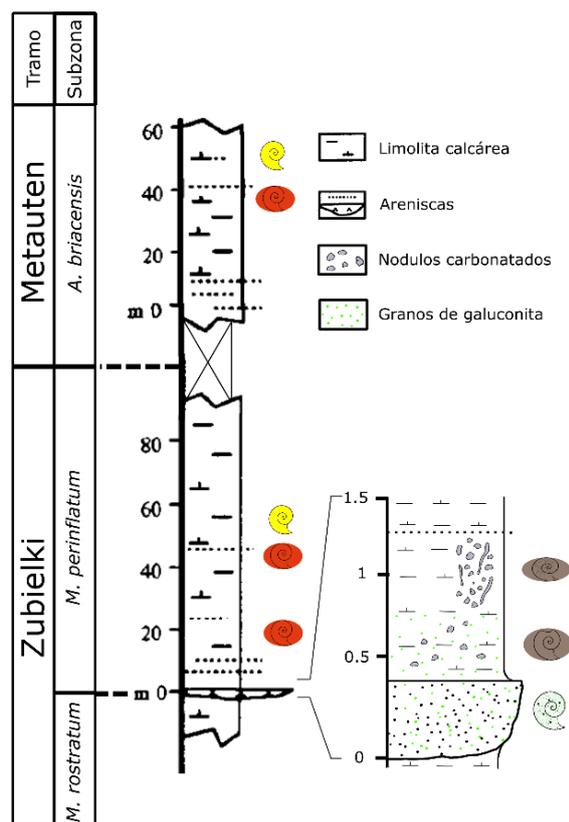


Figura 6. Columna estratigráfica de Zubieli-Metauten. El límite entre las Subzonas de *M. rostratum* y *M. perinflatum* se da en el intervalo de la capa glauconítica; el límite *M. perinflatum* y *A. briacensis* se localiza fuera del tramo estratigráfico a estudio. Los ammonoideos indican los niveles en los que se encuentran los ejemplares a estudio. Con puntos en verde, los localizados en la capa glauconítica; en gris los conservados en nódulos carbonatados; en rojo, en nódulos sideríticos; en amarillo, los piritizados. Modificado de López-

encima de este nivel 2c, la serie limolítica presenta varios niveles areniscosos sideritizados, algunas tempestitas y gran cantidad de nódulos carbonatados (calcínicos y sideríticos). Justo a techo de la arenisca 2c se disponen 30 centímetros de limolitas calcáreas con glauconita que contienen nódulos carbonatados con ammonites. En los 40 centímetros suprayacentes a este último intervalo, las lutitas presentan nódulos carbonatados con ammonoideos. El resto de la serie de Zubielski, está compuesto por lutitas con abundantes niveles sideríticos (< 0.1 metros), capas tempestíticas (<2 centímetros) y nódulos sideríticos dispersos con ammonites en su interior. En el tramo de los metros 55-58 (Figura 6), encontramos ammonoideos piritizados y pirita idiomorfa, ambos alineados verticalmente formando un corredor de menos de un metro de extensión lateral atravesando la estratificación.

En cambio, en Metauten, la serie limolítica incluye cuatro capas areniscosas sideritizadas y dos niveles de nódulos sideríticos, en los que se ha encontrado un ejemplar de ammonoideo sideritizado. Asimismo, se preservan ammonoideos piritizados en un nivel de aproximadamente un metro de espesor a techo de la serie (Figura 6).

Aspectos tafonómicos

Según Fernández-López, 2000: “La Tafonomía se ocupa del estudio de los procesos de fosilización y de la formación de los yacimientos de fósiles. La Tafonomía es un subsistema conceptual de la Paleontología que aspira a explicar cómo ha sido producido y qué modificaciones ha experimentado el registro fósil”.

Aceptando esta definición, los elementos fósiles en cualquiera de sus tres estados tafonómicos (acumulado, resedimentado y reelaborado) reflejan los procesos dinámicos naturales de un sistema, por tanto, la información obtenida de un análisis de este tipo, puede ser fundamental para implementar el estudio estratigráfico y sedimentológico de un yacimiento y conocer en definitiva todos los acontecimientos experimentados por las diferentes entidades fósiles tras su producción, así como para comprender la evolución de una cuenca sedimentaria.

El término aloctonía tafonómica suele usarse para expresar que los fósiles han experimentado transporte lateral fuera del lugar o región donde se han producido, de tal manera que la resedimentación o el desplazamiento rápido de un organismo fósil no

implica su aloctonía. El término parautoctono ha sido empleado para denotar ejemplares autóctonos removilizados en algún grado, pero no transportados fuera del lugar de producción (Kidwell et al., 1986), y aproximadamente contemporáneos con el sedimento encajante (Seilacher, 1981). La parautoctonía puede ser entendida como un caso particular de autoctonía o bien como una situación intermedia entre autoctonía y aloctonía; es decir, el carácter resedimentado o reelaborado de un fósil no implica su aloctonía (Fernández-López, 1990).

La realización del análisis tafonómico de los ejemplares resulta esencial, ya que no estudiar los caracteres adquiridos en evolución tafonómica no solo daría lugar a unas conclusiones biogeográficas erróneas, sino que limitaría la posibilidad de conocer la información paleoambiental reflejada en las asociaciones conservadas (Fernández-López, 1995), y la implicación que ha tenido la evolución y dinámica de la cuenca. Para ello, se seguirán los criterios de análisis tafonómico recopilados por Fernández-López (2000), en el que se incluyen los diferentes mecanismos de alteración tafonómica.

Tafofacies

Las tafofacies son conjuntos de roca sedimentaria caracterizadas por los atributos preservados de los fósiles que contienen (Brett y Baird, 1986). No se definen por el análisis taxonómico de los fósiles, sino por las características preservadas en ellos. Los procesos que controlan estos diversos atributos son potencialmente únicos y, por lo tanto, característicos de un entorno particular (Brett y Baird, 1986). Los modelos de tafofacies han demostrado ser una herramienta importante y útil tanto para reconstrucciones paleoambientales como para interpretaciones paleoecológicas (e. g., Speyer y Brett, 1988, 1991).

En este trabajo se establecen diferentes tafofacies a partir de los datos tafonómicos y sedimentológicos. Para proporcionar una interpretación más precisa, estos datos han sido completados con la información obtenida en el análisis de microfacies en lámina delgada.

Los procesos de biodegradación-descomposición en los ammonoideos han sido excluidos en las interpretaciones, ya que, en toda la CVC, no se encuentra ningún resto de las partes blandas y, por ende, desconocemos su importancia en la generación de las tafofacies. Del mismo modo, la conservación de la concha aragonítica de los ammonoideos no ha sido

posible en ninguna de las series y tramos estratigráficos a estudio (aparecen con la concha reemplazada por calcita o completamente disuelta); por lo tanto, no ha sido tenido en cuenta a la hora de establecer las tafofacies.

Se han determinado los estadios ontogénicos en los ammonoideos a estudio, distinguiendo los estadios juveniles o adultos, basándonos en las morfogénesis de las conchas de ammonoideos del Mesozoico (Westermann, 1996). Los ejemplares juveniles presentan características inmaduras en las conchas, por ejemplo, ornamentaciones no completas para la especie, un número pequeño de vueltas y cámaras, cámaras con altas tasas de crecimiento etc. En cambio, los ejemplares adultos tienen todos los rasgos distintivos de la especie bien formados, tales como, la ornamentación y las tasas de crecimiento reducidas. Los rasgos de dimorfismo sexual, no se pueden utilizar para diferenciar estados ontogénicos en ammonoideos, ya que las características sexuales solamente se observables en ejemplares adultos. El dimorfismo sexual, apreciable solamente en el estadio ontogénico adulto, no se ha tenido en cuenta en este estudio, ya que no se dispone de muestras suficientes para ello.

El análisis realizado ha permitido establecer un total de 13 tafofacies resumidas en la siguiente tabla (Tabla 2). Estas han permitido estimar de forma cualitativa el grado de transporte de la fauna ammonoidea identificada, el grado de mezcla temporal y la historia diagenética sufrida.

Tafofacies 1. Arenisca turbidítica

Ammonoideos encontrados: ejemplar adulto de *Mortoniceras* sp. (18 centímetros) (Figura 7. A).

Roca asociada: ejemplar preservado en la base de una arenisca turbidítica silíceo (Figura 7. B). Esta arenisca, está formada mayoritariamente por fragmentos de cuarzo monocristalino moderadamente ordenados, de formas angulosas-subangulosas y esfericidad media (0.79-0.6); presenta varios tamaños medios (desde 150 μm a 50 μm) con una limitada matriz arcillosa, con escaso cemento de calcita espática (Elorza & Aparicio, 2015) y abundantes fragmentos de lignito detrítico (< 1 mm). Tiene una laminación paralela ondulada en la base acomodando al ejemplar, en el techo se ve laminación cruzada de tipo *hummocky* (HCS-like), formada en un ambiente marino

| Conservación | Tafofacies | Carac. importante | Energía del medio | Interpretación | Loc. | N.º ejemplares | Adultos | Juveniles |
|----------------------|------------|---|---|----------------|-----------|----------------|---------|-----------|
| Arenisca turbidítica | T. 1 | <i>Rostrum</i> conservado | Muy poco energético alternando con energético | Parautóctono | Meñakoz | 1 | 1 | - |
| Materiales finos | T. 2 | Muy aplastados | Poco energético | Parautóctonos | Armintza | 4 | 3 | 1 |
| Caliza arenosa | T. 3 | Sin signos de erosión | Poco energético | Parautóctonos | Karrantza | 36 | 27 | 9 |
| Arenisca | T. 4 | Nivel de condensación, algo erosionados | Algo energético | Parautóctonos | Zubielki | 27 | 18 | 9 |
| Piritizados | T. 5A | Completo sin deformar | Poco energético | Parautóctonos | Armintza | 15 | 3 | 12 |
| | T. 5B | Sin deformar, agrupados en un corredor ortogonal a la estratificación | Poco energético | Parautóctonos | Zubielki | 48 | - | 48 |
| | T. 5C | Colapsados | Poco energético | Parautóctonos | Metauten | 18 | - | 18 |
| Nódulos carbonatados | T. 6A | Completo, sin deformar | Poco energético | Parautóctono | Armintza | 1 | 1 | - |
| | T. 6B | Con signos de erosión, reelaborados | Energético | Alóctonos | Zubielki | 4 | 4 | - |
| | T. 6C | Colapsados agrupados en un corredor ortogonal a la estratificación | Poco energético | Parautóctonos | Zubielki | 5 | 4 | 1 |
| Nódulos sideríticos | T. 7A | Completo, bien dimensionados | Muy poco energético alternando con energético | Parautóctonos | Armintza | 3 | 3 | - |
| | T. 7B | Completo, cámaras más internas colapsadas | Poco energético | Parautóctonos | Zubielki | 13 | 13 | - |
| | T. 7C | Molde interno con gasterópodos sobre el | Ocasionalmente energético | Alóctono | Metauten | 1 | 1 | - |

Tabla 2. Breve resumen de las diferentes tafofacies propuestas para el Albiense superior de la CVC.

profundo (e. g., Prave y Duke, 1990).

Características tafonómicas: molde externo de un ammonoideo que incluye el *rostrum* (Figura 7.A). Este molde se encuentra algo deformado (aplastado), pero mantiene bastante bien el volumen de las costillas. En algunas de ellas se observan marcas de erosión y podemos ver algo de sedimento arenoso que percoló entrando en el interior de la concha. Aparecen algunos serpulidos en el molde externo, pero estos se incrustaron a la concha del ammonoideo por la parte externa, es decir, son colonizadores extratalámicos (Tintant, 1984), ya que la parte plana del tubo se localiza en la parte donde estuvo la concha y la parte cóncava dentro de la arenisca. Cuanto más competente es la matriz rocosa, más probable es que los colonizadores extratalámicos queden incluidos en el molde externo al extraer mecánicamente la roca y no en el molde interno o la concha (Fernández-López, 1987).

Localización estratigráfica: tramo perteneciente al Flysch Negro de Meñakoz (Figura 3), Albiense superior parte inferior (según indica el ammonoideo, comunicación personal de López-Horgue).

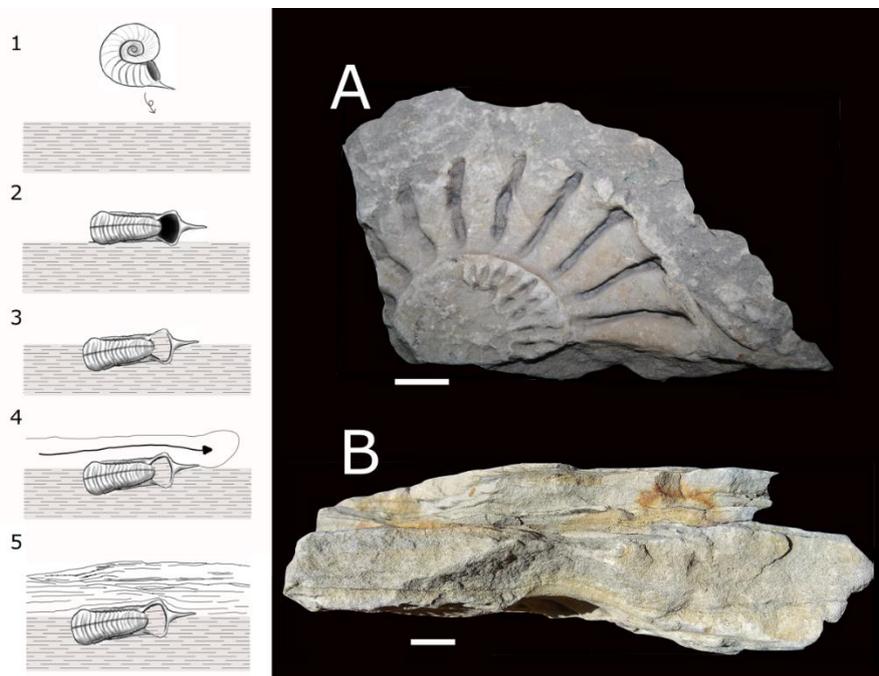


Figura 7. Izquierda: evolución tafonómica del ammonoideo de la tafofacies 1; 1, la concha llega a la zona; 2, se deposita en el fondo; 3, se rellena y se entierra parcialmente; 4, pasa la corriente de turbidez por encima; 5, queda sepultado bajo el sedimento (se muestran las laminaciones producidas). Derecha: concha del ammonoideo perteneciente a la tafofacies 1: A, *Mortoniceras sp.* localizado en la base de una arenisca turbidítica; B, sección lateral de la arenisca con el molde externo del ammonoideo en su base. El trazo blanco de cada fotografía equivale a 3 centímetros.

Interpretación: La concha del ammonoideo se depositó completa sobre un fondo lodoso en un ambiente de decantación muy poco energético (Figura 7.1-2). Se relleno parcialmente, ya que la deformación que tiene no es importante. Algunos serpúlidos se situaron sobre la concha ya que aparecen en el molde externo. Fue parcialmente enterrado en un sedimento cohesivo, pero con el *rostrum* y uno de los lados umbilicales expuestos (Figura 7.3). Posteriormente, una corriente de turbidez pasa sobre el ammonoideo, acomodándose a él sin producir una erosión importante, ya que solamente erosiona algunas de las costillas expuestas más prominentes y deja intacto el frágil *rostrum* (Figura 7.4-5). Asimismo, la arenisca no presenta clastos blandos por erosión de los limos cohesivos. Por lo tanto, esta corriente de turbidez llegaba a esta zona con poca energía, produciendo una mínima erosión del fondo. Las características tafonómicas de este ejemplar indican que el organismo es parautóctono y se encuentra en su posición estratigráfica original, referido al registro geológico.

Tafofacies 2. Limolitas con ammonoideos aplastados

Ammonoideos encontrados: Conchas de ammonoideos entre 3 y 10 centímetros. El 75% de la asociación son ejemplares adultos (Figura 8). Corresponden a los géneros: *Hysterocheras varicosum* (J. Sowerby), *Hysterocheras binum* (J. Sowerby), *Puzosia* (*Anapuzosia*) *tucuyensis* (Von Buch), *Kosmatella* sp. (López-Horgue et al., 2009).

Roca asociada: Margas limosas bioturbadas. Sus sedimentos se depositaron en la zona inferior de talud (López-Horgue et al., 2009). Ocasionalmente aparecen lignito, equinodermos, braquiópodos y bivalvos aplastados. En lámina delgada podemos observar que estas margas están compuestas por micrita y arcillas (Figura 9). Se observan bioclastos de equinodermos y foraminíferos. Cabe destacar que los foraminíferos tienen abundante pirita framboidal dentro de sus cámaras.

Características tafonómicas: Se estudian los moldes internos y externos de ammonoideos muy aplastados preservados en margas, ya que la concha está completamente disuelta. En ocasiones, estos moldes aparecen agrupados, pero por lo general están dispersos. El relleno es el mismo que la matriz de la roca. Los moldes de las conchas se encuentran completos incluyendo la cámara de habitación y las costillas

principales y secundarias. Los ejemplares de mayor tamaño tienen impresiones de fracturas más o menos radiales en el fragmocono, en cambio los ejemplares pequeños parecen no tenerlas. Otros ejemplares aplastados, conservan algo más de volumen en la cámara de habitación. En las vueltas internas algunos de los ejemplares tienen varios cristales de pirita framboidal.

Localización estratigráfica: Tramo entre los metros 455-456 del Flysch Negro de Armintza (Figura 4, símbolo de ammonite gris claro), Subzona de *H. binum* (López-Horgue et al., 2009).

Interpretación: Las conchas de los ammonoideos se depositaron completas en un fondo margoso. Posiblemente algunas corrientes de fondo agruparan algunos de estas conchas, pero por lo general no se encuentran juntas. Se rellenaron parcialmente de sedimento, ya que solamente la cámara de habitación se encuentra en algunos casos menos colapsada. Posteriormente, el sedimento los enterró, llegando a colapsar la concha completa por la carga sedimentaria y la compactación. En la superficie de los moldes internos son frecuentes las impresiones de fracturas más o menos radiales, especialmente en el fragmocono, debido a deformación por fractura de la concha a favor de líneas de

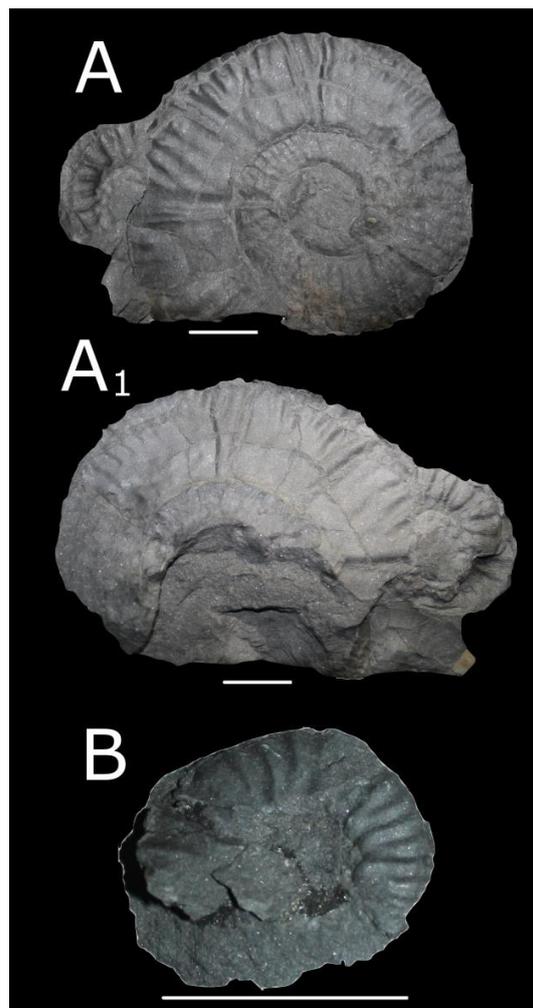


Figura 8. Conchas de ammonoideos muy aplastadas pertenecientes a la tafofacies 2: A y A1 *Puzosia (Anapuzosia) tucuyensis* (ejemplar de mayor tamaño) y *Kossmatella* sp. (moldes internos y externos respectivamente); B *Hysterocheras binum* (molde interno). El trazo blanco de cada fotografía equivale a 3 centímetros.

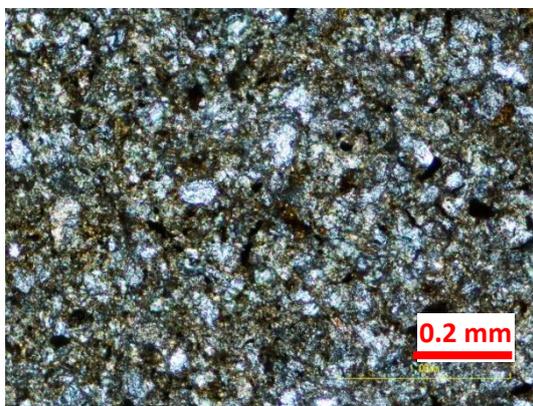


Figura 9. Margas limosas de la tafofacies 2 vistas a microscopio óptico. Descripción realizada en el texto.

máxima tensión durante la diagénesis temprana; por tanto, el relleno fue sometido a compactación diagenética gravitacional antes de que las conchas estuvieran totalmente disueltas. Los ejemplares con algo de piritita framboidal en las cámaras internas sufrieron esta piritización con posterioridad al aplastamiento. En la diagénesis estas conchas se disolvieron completamente, observándose hoy en día solamente los moldes internos y externos. El medio tenía una tasa de sedimentación muy alta que podría impedir que estas conchas tuvieran tiempo necesario para rellenarse completamente, favoreciendo que colapsaran por la carga sedimentaria y se compactaran a la par que el sedimento. Estos ammonoideos se interpretan como parautóctonos.

Tafofacies 3. Caliza arenosa

Ammonoideos encontrados: Conchas de ejemplares adultos y juveniles (el 75% de la asociación es adulta) entre 0.2-10 centímetros y un ejemplar de 30 centímetros. Corresponden a los géneros: *Hysterocheras choffati* (Spath), *Hysterocheras bucklandi* (Spath), *Mortoniceras neokentroides* (Wiedmann and Dieni), *Prohysterocheras sp.*, *Mortoniceras (Deiradoceras) cunningtoni* (Spath), *Kossmatella romana* (Wiedmann), *Kossmatella muhlenbecki* (Fallot) y *Desmoceras latidorsatum* (Michelin) (López-Horgue et al., 2009).

Roca asociada: Caliza arenosa bioturbada localizada entre materiales finos de carácter lutítico-limolítico. Esta caliza arenosa contiene abundantes equinodermos, bivalvos, braquiópodos, corales solitarios, gasterópodos y restos de lignito. Los equinodermos aparecen siempre completos y los bivalvos y braquiópodos casi siempre manteniendo las dos valvas juntas (articulados). Se relaciona su origen con la disminución de los aportes siliciclásticos permitiendo la colonización por faunas bentónicas de un lecho que deja de ser móvil, con muy poca energía de corrientes y menor profundidad batimétrica (López-Horgue et al., 1998). El muro y techo de esta capa areniscosa es neto, indicando un brusco cambio sedimentario.

En microscopio óptico observamos que la caliza arenosa (Figura 10) tiene una buena selección de granos y está compuesta por clastos de cuarzo y bioclastos (70% y 30% respectivamente) flotantes en una matriz micrítica (60%). Los clastos de cuarzo son subredondeados y subprismáticos, en cambio los bioclásticos pertenecen a fragmentos angulosos y discoides, pero también encontramos organismos completos sin fracturar.

Estos fósiles completos se encuentran rellenos por una matriz más micrítica con algunos clastos de cuarzo en su interior. Finalmente, cabe destacar que las zonas bioturbadas son más micríticas que el resto de la lámina.

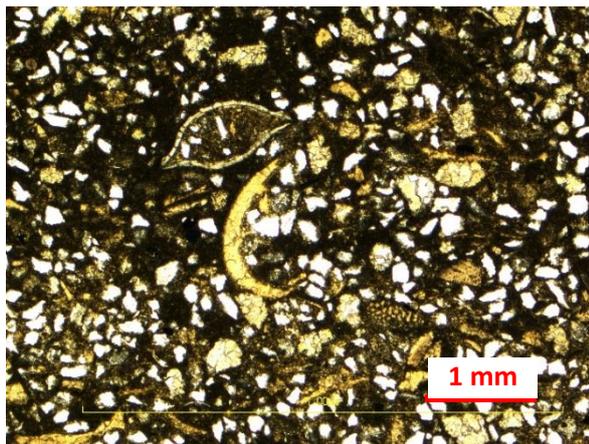


Figura 10. Caliza arenosa de la tafofacies 3 vista a microscopio óptico. Descripción en el texto.

Características tafonómicas: Los ammonoideos de esta tafofacies (Figura 11), mantienen la concha aragonítica reemplazada por calcita, pero los

ejemplares estudiados la tienen disuelta por alteración actual ya que se localizan en la zona de roca meteorizada. Debido a la difícil extracción de los ejemplares que mantienen la concha calcítica, solamente se estudiarán los moldes internos y externos de los ammonoideos extraídos en la zona meteorizada. Casi la totalidad de las conchas de los ammonoideos se encuentran completas preservando sus tres dimensiones, conservando la cámara de habitación. Tienen las costillas y la carena bien marcadas, sin ningún signo de abrasión. La orientación espacial de estos ejemplares es aleatoria. El molde interno está compuesto por el mismo material que la matriz que lo rodea. Algunos sufren un pequeño aplastamiento en las vueltas más internas.

El ejemplar de mayor tamaño, tiene serpúlidos intratalámicos y extratalámicos (Tintant, 1984) en la cámara de habitación. Solamente encontramos dos serpúlidos intratalámicos en los ammonoideos de menor tamaño, que se localizan dentro de la cámara de habitación. Solamente encontramos dos ammonoideos completamente aplastados, uno de ellos fragmentado conservando solamente media vuelta exterior. En cambio, el otro ejemplar, tiene un mayor aplastamiento hacia las vueltas internas y se encuentra completo con el final de la cámara de habitación algo fracturada.

Localización estratigráfica: Nivel de caliza arenosa localizado en Karrantza, Subzona de *H. choffati* (López-Horgue et al., 2009).

Interpretación: Las conchas encontradas en estas tafofacies, de ejemplares adultos y juveniles, se depositaron en un lecho con abundantes organismos bentónicos en él y con

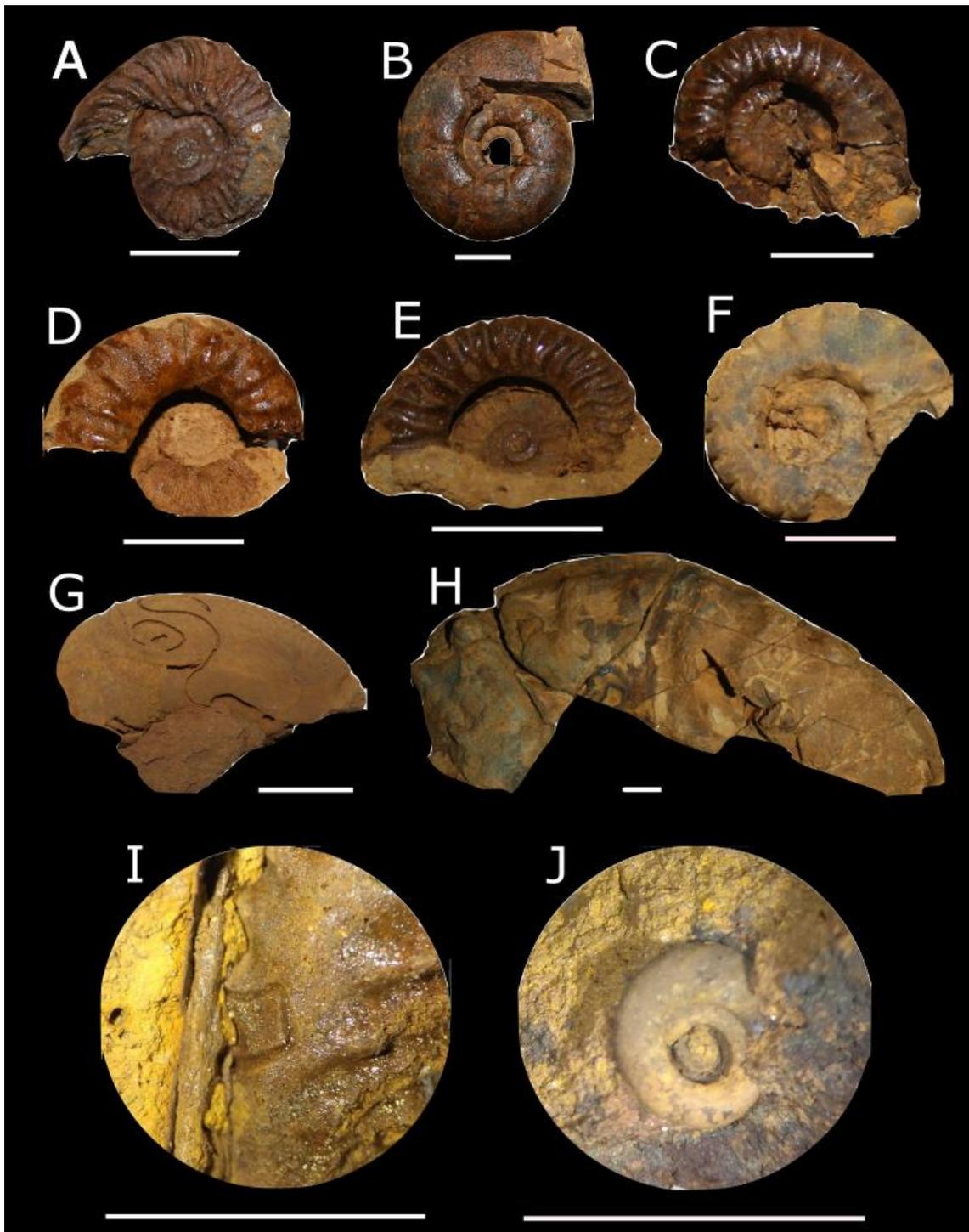


Figura 11. Ammonoideos pertenecientes a la tafofacies 3. Ejemplares A, *Hysterocheras* sp.; B, *Puzosia provincialis*; C, *Hysterocheras orbigny*; D, *Kosmatella* sp.; E, *Hysterocheras* sp.; F, *Mortoniceras* sp.; G, *Puzosia* sp., las líneas curvadas son el molde externo de serpúlidos en el molde interno de la cámara de habitación del ejemplar, indicativo de que el serpúlido incrustó el ammonoideo en la pared interna de la concha; H, *Deiradoceras cunningtoni*, cámara de habitación; I, zona ventral de un ammonoideo con el molde externo de un serpúlido (forma romboidal) en su molde interno; J, embrión de ammonite. El trazo blanco de cada fotografía equivale a 1 centímetro.

un alto grado de bioturbación. Los serpúlidos colonizan la mayoría de sustratos duros disponibles (e. g., ammonoideos); la mayor proporción de serpúlidos en los ejemplares de mayor tamaño puede ser debida a la mayor estabilidad mecánica sobre el fondo marino de las conchas más grandes. La bioturbación producida por organismos excavadores, reorienta continuamente la posición de las conchas de los ammonoideos. La mayoría de ellos se rellenan completamente de sedimento, aunque en algunos solamente se rellena la cámara de habitación. La presencia mínima de ejemplares con la cámara de habitación fracturada indica un medio muy poco energético. Los bioclastos encontrados serían posiblemente clastos depositados junto con la arena muy fina-limo por corrientes previamente a la formación del nivel calizo, es decir, forman parte del sustrato sobre el que se depositaron los organismos que se encuentran enteros. Finalmente, acaban enterrándose totalmente y los que no han sido rellenos por el sedimento acaban colapsando parcialmente por compactación por carga sedimentaria. La disolución de la concha se produce en la alteración meteórica actual.

La abundancia de invertebrados no fracturados y de organismos que mantienen las dos valvas son indicio para excluir los procesos de selección por transporte. Por lo tanto, con los datos tafonómicos obtenidos por los ammonoideos y el resto de organismos, podemos interpretar que los ammonoideos son parautóctonos. Posiblemente el ejemplar de mayor tamaño, anómalo para estas facies, podría haber sufrido una dispersión *post-mortem* desde zonas más profundas, depositándose en esta caliza arenosa y continuando con los mismos procesos tafonómicos que el resto de ammonoideos de menor tamaño. Por lo tanto, este sedimento carbonatado se originó en un medio poco energético, permitiendo que organismos como los ammonoideos, bivalvos, gasterópodos y equinodermos no se fragmentasen.

Tafofacies 4. Arenisca con glauconita

Ammonoideos encontrados: Ejemplares adultos y juveniles de ammonoideos planoespirales y heteromorfos (0.3-20 centímetros), el 67% de la asociación corresponde a conchas adultas. Corresponden a los géneros: *Stoliczkaia* (*Stoliczkaia*) sp., *Stoliczkaia* (*S.*) aff. *dispar*, *Stoliczkaia* (*S.*) *clavigera*, *Stoliczkaia* (*S.*) *dorsetensis*, *Stoliczkaia* (*S.*)

notha, *Desmoceras* sp., *Anisoceras* cf. *pseudoelegans* (Pictet & Campiche), *Mariella* (*Mariella*) *crassituberculata* (Spath) (López-Horgue et al., 1999).

Roca asociada: Arenisca silíceea con abundantes granos de glauconita y matriz limosa. Es una única capa de 0,4 metros de espesor que se acuña lateralmente en una distancia de 50 metros. Son areniscas de cuarzo de grano fino con numerosos granos de glauconita de tamaño fino a mediano. Su base es plana y erosiva, descansando sobre limolitas calcáreas (Figura 12, izquierda). La parte superior de este banco arenoso está claramente delimitado por las limolitas suprayacentes. Esta arenisca corresponde al depósito de una zona canalizada, por la acción del oleaje en un momento transgresivo (López-Horgue et al., 1999). El nivel contiene abundantes fósiles, la mayoría concentrados en su parte superior, tales como belemnites, braquiópodos, equinodermos, gasterópodos, bivalvos, ostreidos, corales solitarios, serpúlidos y restos de plantas lignificadas. En la parte superior de la capa, aparece un clasto de filita, plano y muy redondeado (6x3 centímetros), procedente de la erosión del material extruido por el diapiro de Estella. Este clasto tiene serpúlidos pegados a su superficie.

La capa presenta un alto grado de bioturbación, mostrando trazas de locomoción atribuibles a equinodermos, ya que algunos se observan en el interior de las mismas (Figura 12, derecha). Cabe destacar que algunos de los braquiópodos encontrados se encuentran totalmente aplastados conservando las dos valvas. La bioturbación está mucho más extendida sobre todo en su parte superior, donde las *Chondrites* y *Thalassinoides* son abundantes. Estas tienen morfologías tubulares, ramificadas y en ocasiones entrelazadas. Además de estos y los rastros de equinodermos, algunas madrigueras



Figura 12. Fotografías de la capa de arenisca con granos de glauconita. Izquierda, sección vertical de la capa muy bioturbada, en la que se observa los límites netos de la base y el techo. Derecha, galería de bioturbación producida por el equinodermo localizado in situ dentro de la galería.

oblicuas la perforan completamente. Se observan tres etapas de bioturbación entrelazadas, la primera en un sedimento grisáceo con abundante glauconita, la segunda con un sedimento más rojizo con mucha menos glauconita y finalmente, la última etapa, sin glauconita, compuesta mayoritariamente por *Chondrites*. En algunos sitios, esta última fase rellena algunas bioturbaciones previas huecas, ya que las paredes si contienen glauconita.

En lámina delgada, observamos que la arenisca con granos de glauconita está compuesta principalmente por granos de cuarzo y granos de glauconita envueltos en una matriz micrítica (Figura 13). Los clastos de cuarzo son subredondeados y subprismáticos y la granoselección es baja. Se observan abundantes fragmentos de bivalvos, braquiópodos, serpúlidos,

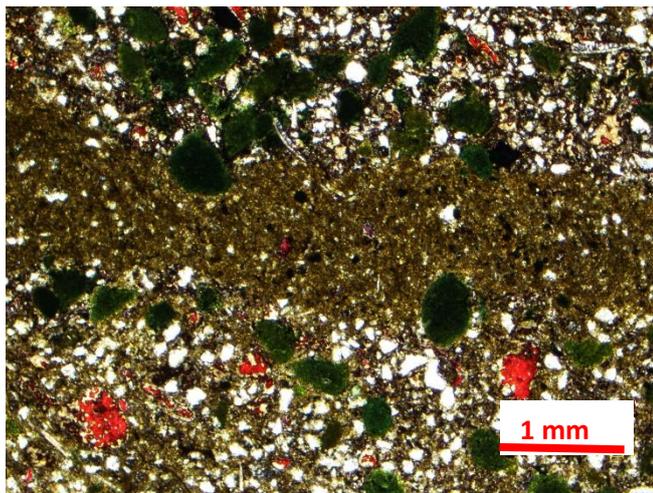


Figura 13. Arenisca con granos de glauconita de la tafofacies 4 vista a microscopio óptico. Descripción en el texto.

equinodermos y algunos foraminíferos. En las bioturbaciones de segunda generación, se observa que la cantidad de glauconita contenida es muy inferior al primer sedimento grisáceo.

Características tafonómicas: Solamente se estudiarán los moldes internos de las conchas de los ammonoideos (Figura 14). La mayoría de los ejemplares tienen la concha completa disuelta, aunque algunos, mantienen pequeñas partes de la concha o alguna vuelta interna sin disolver. Las partes de concha sin disolver están compuestas de calcita, reemplazando a la concha aragonítica original.

Prácticamente todos se encuentran completos y conservan la cámara de habitación, aunque algunos pocos (<10%) aparecen fragmentados y no se encuentran completos. Gran parte de ellos tienen serpúlidos extratalámicos. Están rellenos con el mismo material que la matriz rocosa, que está asimismo bioturbado. La mayoría de los ammonoideos, sufren una fuerte abrasión, ya que la mayoría de costillas no mantienen su volumen real.

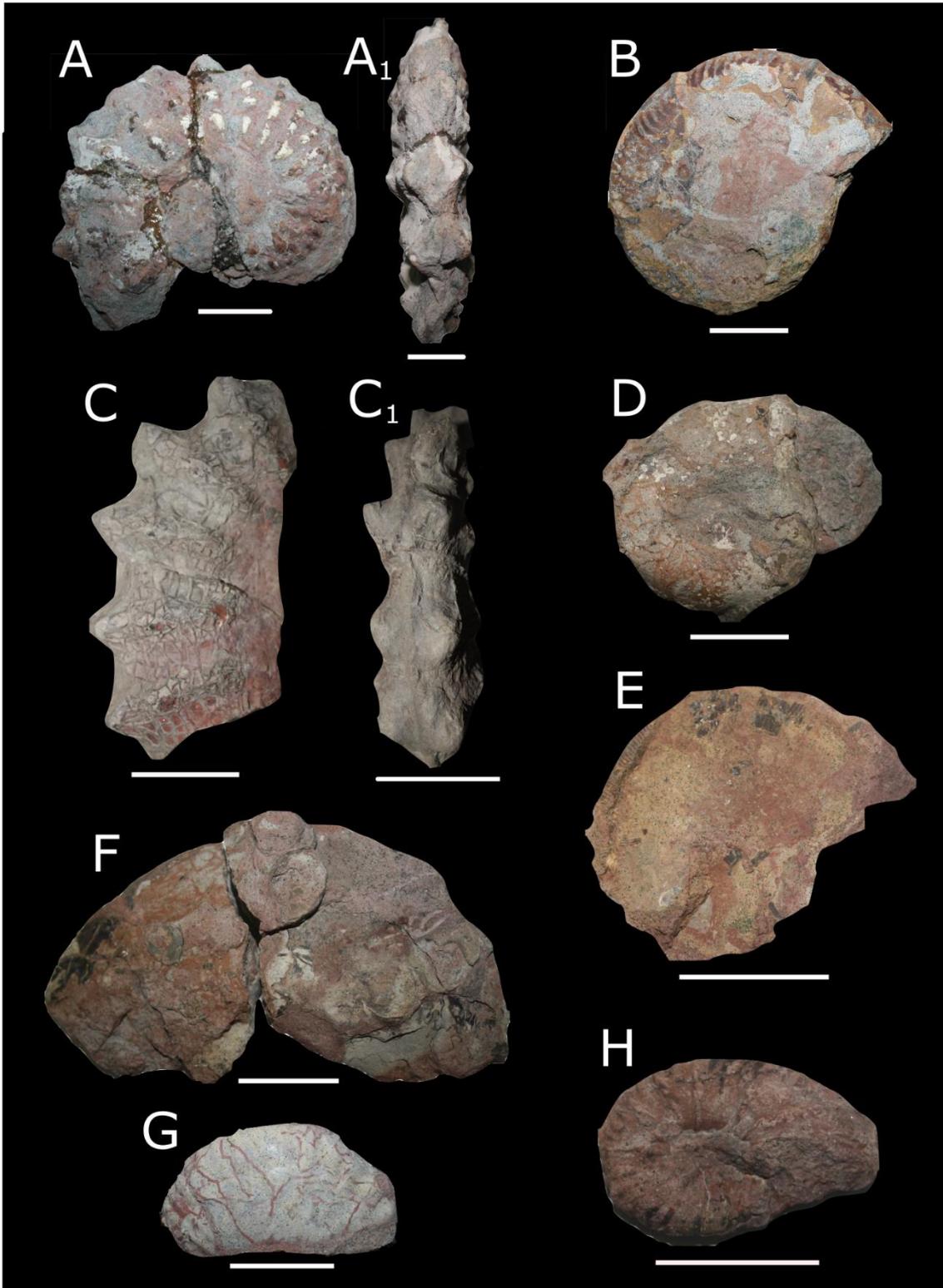


Figura 14. Ammonoideos pertenecientes a la tafofacies 4. Ejemplares A-A1, *Mortonicerias* sp. (lado umbilical y ventral respectivamente); B, *Puzosia* sp.; C-C1, *Mortonicerias* sp. (lado umbilical y ventral respectivamente); D, *Desmoceras* sp.; E, indet.; F, indet.; G, indet.; H, *Stoliczkaia* sp.. El trazo blanco de cada fotografía equivale a 3 centímetros.

En cambio, algunos pocos parecen no haberla sufrido, ya mantienen las costillas con sus dimensiones originales.

Localización estratigráfica: En el nivel de areniscas con granos de glauconita de Zubielqui (metro 0 en Figura 6). Se interpreta como un límite de secuencia datado entre el límite de las Biozonas de *M. rostratum*-*M. perinflatum* (nivel 2c; López-Horgue et al., 1999).

Interpretación: Las conchas de los ammonoideos se depositaron en una zona deprimida con abundante bioturbación, en la cual, la tasa de sedimentación era muy pequeña. Esto, dio tiempo suficiente para que los organismos bentónicos colonizaran y removieran las conchas de los ammonoideos, a la par que bioturbaban el fondo. Todos los moldes internos encontrados tienen estructuras de bioturbación paralelas a la superficie interna de la concha, indicativas de actividad biológica en el interior de las conchas después de haber sido rellenadas con esta arenisca y antes de su litificación. Finalmente, con el peso de la carga sedimentaria los ammonoideos acaban colapsando y en la mayoría de casos la concha se disuelve completamente.

La intensa bioturbación del nivel y la presencia de abundante glauconita, indicaría condiciones medioambientales muy estables con escasa tasa de sedimentación. La presencia del clasto de filita sobre el nivel, indica que posteriormente a la formación de esta capa el medio gana la energía suficiente como para transportar partículas de tamaño grava, lo que podría producir una abrasión en las costillas de los ammonoideos a techo del sedimento glauconítico. La presencia de serpúlidos en la superficie del estrato y las diferentes etapas de bioturbación bien diferenciados indican que este sedimento ya era lo bastante cohesivo. Debido a las bajas tasas de sedimentación y la falta de signos de transporte en las conchas de los ammonoideos, podemos decir que los restos son parautóctonos.

Tafofacies 5A. Limolita con ammonoideos piritizados con cámara de habitación

Ammonoideos encontrados: Ejemplares adultos y juveniles de entre 0.5 - 5 centímetros (Figura 15). El 20% de la asociación corresponde a adultos. Los ejemplares corresponden a los géneros: *Labeceras* sp., *Hamites* sp., *Hysterocheras* sp., *Kossmatella oosteri*, *Hypophylloceras* sp., *Bhimaites* cf. *aontzyensis* (Collignon), *Puzosia* (*Anapuzosia*) cf.

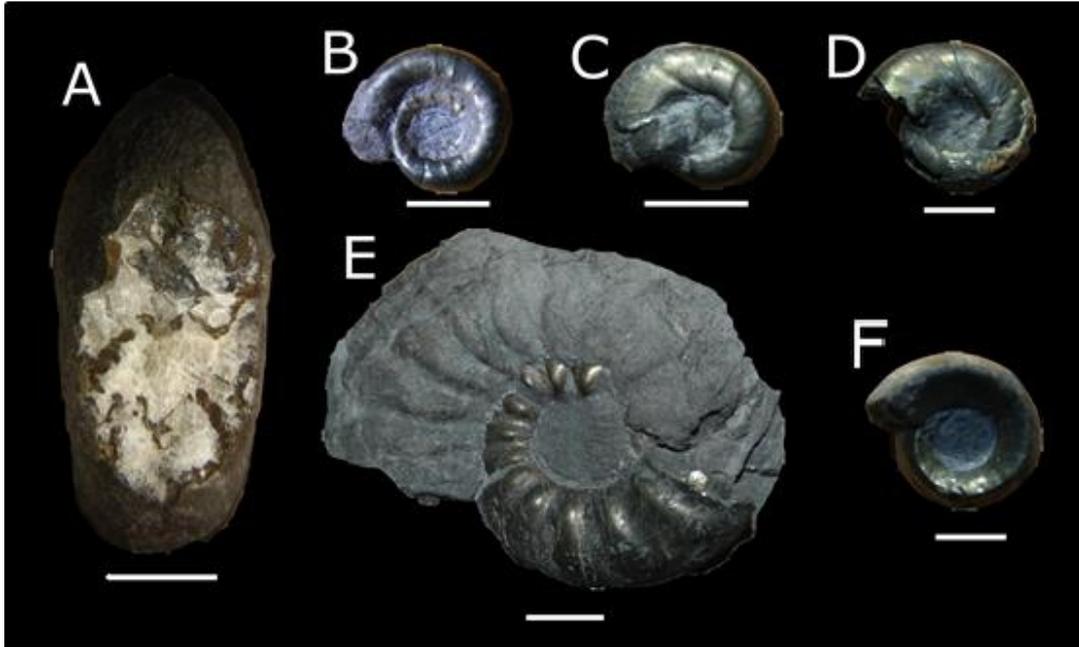


Figura 15. Ammonoideos pertenecientes a la tafofacies 5A: Ejemplares A, indet. (lado ventral en el que se observa el cemento calcítico de las cámaras); B, indet.; C, *Hypophylloceras* sp.; D, *Desmoceras* sp.; E, *Kossmatella romana*, tiene la cámara de habitación aplastada, pero el fragmocono está bien dimensionado; F, *Jauberticeras jaubertianum*. El trazo blanco de cada fotografía equivale a 0.5 centímetros.

tucuyensis (Von Buch), *Kossmatella romana*, *Kossmatella* sp., *Tetragonites* sp., *Jauberticeras jaubertianum* (d'Orbigny) y *Desmoceras latidorsatum* (López-Horgue et al., 2009).

Roca asociada: Similar a la tafofacies 2 pero con algunas galerías de bioturbación piritizadas.

Características tafonómicas: En la mayoría de las conchas de ammonoideos piritizadas, la cámara de habitación esta rellena por el material margoso de la roca y normalmente se encuentra muy poco piritizada; en cambio, la concha del fragmocono se encuentra piritizada y en ocasiones, las cámaras están rellenas por un cemento calcítico. La cámara de habitación rellena y poco o nada piritizada, se encuentra aplastada en algunos ammonoideos, y en otros aparece parcialmente erosionada, posiblemente por su fragilidad frente a la erosión actual. El fragmocono de estos ammonoideos no se encuentra aplastado, conservando muy bien el volumen real y las costillas de la concha.

Localización estratigráfica: Tramo entre los metros 454.4-458,6 (Figura 4, ammonite amarillo) del Flysch Negro de Armintza, Subzona de *H. binum* (López-Horgue et al., 2009).

Interpretación: Las conchas de los ammonoideos se depositaron en un fondo margoso donde se producía bioturbación. Se rellenan las cámaras de habitación con el sedimento y en ocasiones parte del fragmocono. Después del enterramiento, en la diagénesis temprana, con nula o muy escasa compactación, se piritizan, ya que mantienen el volumen real del fragmocono. Seguido, por el peso de la carga sedimentaria, las cámaras de habitación poco o no piritizadas colapsan. Estos ammonoideos se interpretan como parautóctonos, ya que no se observan signos de transporte en ellos y por lo tanto estas facies se interpretan como no energéticas.

Tafofacies 5B. Limolitas con ammonoideos piritizados no deformados

Ammonoideos encontrados: Ammonoideos planoespirales y heteromorfos juveniles piritizados (<1.5 centímetros) (Figura 16). Especies sin determinar.

Roca asociada: Limolitas con pirita framboidal milimétrica dispersada formando un corredor ortogonal a la estratificación. El sedimento limolítico se depositó en una plataforma marina poco profunda (*offshore*) (López-Horgue et al., 1999).

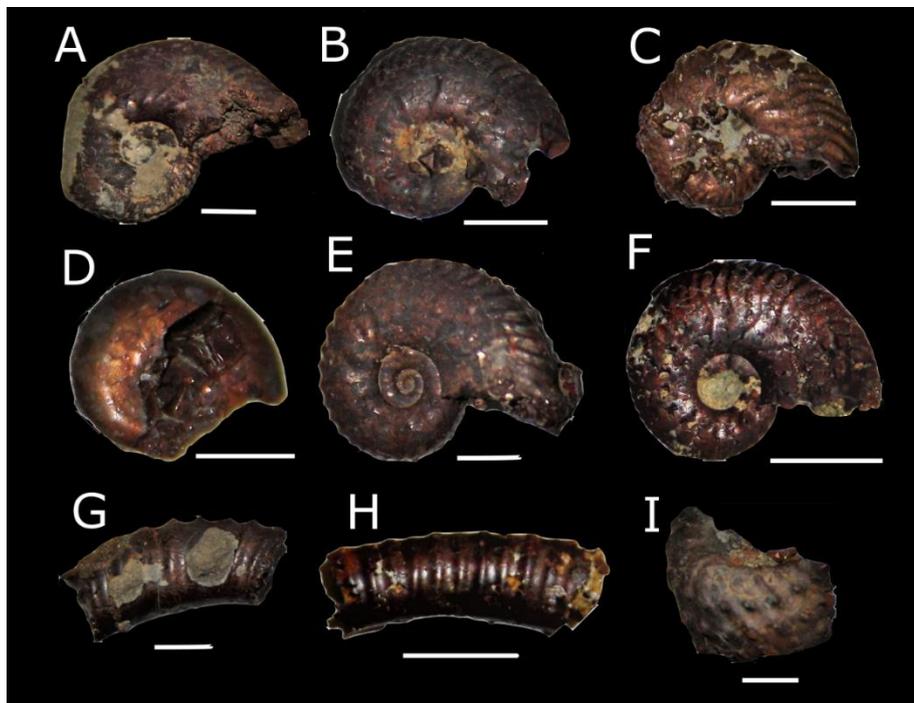


Figura 16. Ammonoideos pertenecientes a la tafofacies 5B: Ejemplares A, B, C, D, E y F ammonoideos planiespirales (especies indet.); G, H y I ammonoideos heteromorfos (especies indet.). El trazo blanco de cada fotografía equivale a 0.5 centímetros.

Características tafonómicas: Conchas de ammonoideos completamente piritizadas. Estas preservan sus tres dimensiones, pero no mantienen la cámara de habitación, observándose las superficies de desarticulación. Todos los heteromorfos se encuentran como cámaras aisladas, con las dos superficies de desarticulación. Fuera del corredor de pirita, no encontramos ningún resto de ammonites.

Localización estratigráfica: En la parte superior de la serie de Zubielqui, los ammonoideos estudiados se localizan en un tramo de 4 metros de ancho que atraviesa transversalmente la estratificación entre los metros 55 a 58 (Figura 6, símbolo de ammonite amarillo). Zona bioestratigráfica de *Mortoniceras perinflatum* (López-Horgue et al., 1999).

Interpretación: Las conchas de los ammonoideos se depositaron en un fondo limoso, es decir, en una zona de sedimentación muy poco energética. El fragmocono no se llega a rellenar de sedimento y acaban siendo enterrados. El corredor ortogonal a la estratificación se observa gracias a la presencia de las conchas piritizadas y a la pirita framboidal; esta disposición en la serie estratigráfica podría indicar que la piritización sucedió en una zona de ascenso de fluidos a través del sedimento. Las conchas que se depositaban en la zona con este fluido ascendente sufrieron una piritización previa a la compactación, ya que no se encuentran deformados. Por lo tanto, el análisis tafonómico de estos ejemplares indica que son parautóctonos.

Tafofacies 5C. Limolitas con ammonoideos piritizados deformados

Ammonoideos encontrados: Ejemplares planoespirales y heteromorfos juveniles de entre 0.2 a 1 centímetros (Figura 17). Corresponden a los géneros: *Mariella* (*Mariella*) cf. *taeniata* (Pictet & Campiche), *Mariella* (*Mariella*) cf. *bergeri* (Brongniart), *Mariella* (*Mariella*) cf. *miliaris* (Pictet & Campiche), *Scaphites* (*Scaphites*) sp., *Idiohamites* sp., *Anisoceras* sp., *Lechites* sp., *Hypohoplites* sp., (López-Horgue et al., 1999).

Roca asociada: Limolitas. Los limos se depositaron en una plataforma marina abierta poco profunda (*offshore*) (López-Horgue et al., 1999).

Características tafonómicas: Conchas de ammonoideos piritizados. Los ejemplares mayores a medio centímetro se encuentran deformados (aplastados y/o cizallados), en cambio los más pequeños no. Se observan superficies de desarticulación en la última

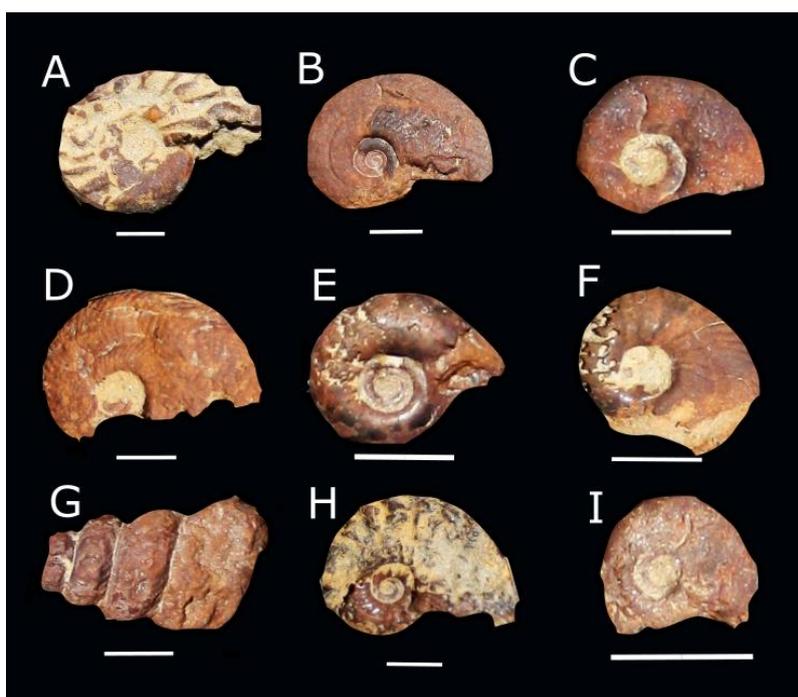


Figura 17. Ammonoideos pertenecientes a la tafofacies 5C. Ejemplares A, B, C, D, E y F planoespirales indet.; G, *Mariella (Mariella) cf. taeniata*; H y I, planoespirales indet.. El trazo blanco de cada fotografía equivale a 0.3 centímetros.

cámara conservada y en algunas ocasiones aparecen vueltas sueltas completamente piritizadas con las dos superficies de desarticulación.

Localización estratigráfica: Tramo de los metros 45-50 de Metauten (Figura 6, ammonite amarillo), perteneciente a la unidad 2 de la Formación Zufia. Pertenecen a la Subzona de *Arrhaphoceras briacensis* (López-Horgue et al., 1999), última biozona de ammonoideos del Albiense.

Interpretación: Las conchas de los ammonoideos se depositaron en un fondo limoso. Posiblemente la cámara de habitación se rellenó de sedimento, pero el fragmocono no. Estas sufrieron un enterramiento suficiente para que las de mayor tamaño colapsaran. En etapas diagenéticas posteriores se piritizaron. Los ejemplares sufren una disolución en la diagénesis y, posiblemente, acaban perdiendo la cámara de habitación rellena que no había sido piritizada. Por lo tanto, y al no observarse signos de transporte, se sugiere la interpretación de estos ammonoideos como parautóctonos.

Tafofacies 6A. Nódulos carbonatados con señales de disolución

Ammonoideos encontrados: Un solo ejemplar adulto de 16 centímetros del género *Puzosia* sp. (Figura 18).

Roca asociada: Lutitas. Los limos se depositaron en la zona inferior de un talud submarino (López-Horgue et al., 2009).

Características tafonómicas: Molde interno de un ammonoideo nodulizado, sin cámara de habitación y manteniendo sus dimensiones originales. El nódulo es prácticamente el propio ammonoideo, con escasa nodulización en las zonas umbilicales. Debido a la disolución apenas se aprecian las finas costillas, pero sí las constricciones. El lado umbilical superior (a techo según la estratificación) presenta una disolución mayor que el inferior. El fragmocono está o bien reemplazado por calcita, siendo visibles las líneas de sutura, o bien se encuentra relleno por la limolita del encajante.

Localización estratigráfica: A pocos centímetros por debajo de la capa cinerítica de Armintza (Figura 4, símbolo de ammonite gris oscuro). Subzona de *Hysterocheras choffati* (López-Horgue et al., 2009)

Interpretación: La concha del ammonoideo se depositó en un fondo limoso. En la diagénesis temprana, sufre una nodulización carbonatada ya que el ejemplar mantiene las dimensiones originales. Poco después, antes de que el sedimento acabe litificándose por

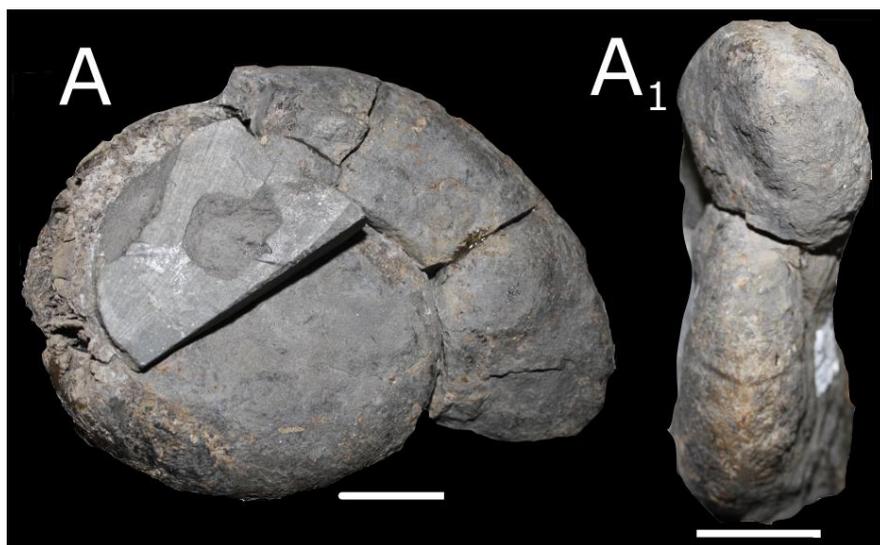


Figura 18. Ammonoideo perteneciente a la tafofacies 6A: A y A1 ejemplar de *Puzosia* sp., lado umbilical y ventral respectivamente. El trazo más próximo a cada fotografía equivale a 3 centímetros.

completo, el ammonite sufre disolución, con lo que algunas partes de la concha se pierden (cámara de habitación y algo del fragmocono). Finalmente, el sedimento acaba envolviendo por completo el molde interno nodulizado. Ciertas partes de la concha presentan asimismo disolución que es atribuible a la meteorización actual.

Tafofacies 6B. Nódulos carbonatados con señales de erosión

Ammonoideos encontrados: Ammonoideos adultos (5-8 centímetros) (Figura 19.A-C). Especies sin determinar.

Roca asociada: Limolita con abundantes granos de glauconita. Los nódulos carbonatados están dispersos en la limolita. El sedimento se depositó en una plataforma marina poco profunda (*offshore*) (López-Horgue et al., 1999).

Características tafonómicas: Moldes internos de ammonoideos nodulizados. Todos los ejemplares encontrados están completos incluyendo la cámara de habitación y manteniendo sus dimensiones originales. Estos ammonoideos tienen signos de abrasión

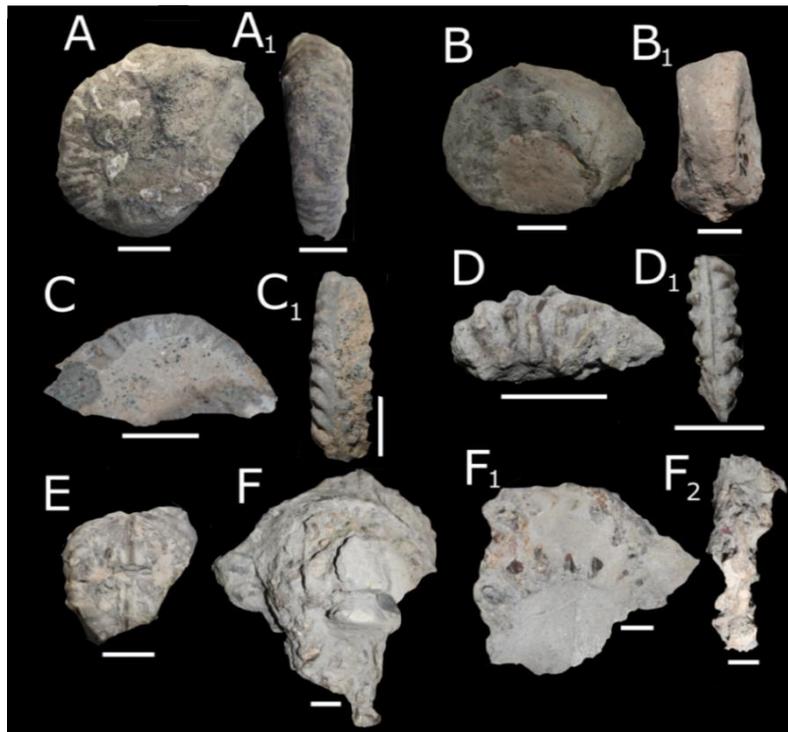


Figura 19. A-C, conchas de ammonoideos en nódulos carbonatados manteniendo sus tres dimensiones originales pertenecientes a la tafofacies 6B: A, A1, ammonoideo con una fractura en la zona ventral al final de la cámara de habitación en el molde interno (lados umbilical y ventral respectivamente); B, B1, ammonoideo con surco anular de desgaste en el molde interno (lados umbilical y ventral respectivamente); C, C1 lados umbilical y ventral respectivamente. D, E, F y D1, E1, F1, ammonoideos colapsados pertenecientes a la tafofacies 6C (lados umbilical y ventral respectivamente). El trazo más próximo a cada fotografía equivale a 1 centímetro.

muy importantes, sobre todo dos de ellos; uno tiene un surco anular de desgaste en el parte de la vuelta externa (Figura 19.B-B1) y el otro, una superficie de fracturación en la zona ventral, localizada al inicio de la cámara de habitación, cerca del ultimo tabique (Figura 19.A-A1). Por otra parte, este último, tiene serpúlidos en una de sus caras umbilicales. Todos estos ejemplares, están rellenos por un material limolítico más blanquecino que no tiene prácticamente glauconita, por lo tanto, se observa una discontinuidad estructural entre el relleno y la matriz rocosa.

Localización estratigráfica: Unidad 2 de la Formación Zufia. Se localizan en Zubiarki, en el tramo de 30 centímetros de espesor suprayacente a la capa de arenisca glauconítica, entre los metros 0.3 y 0.6 (Figura 6). Pertenecen a la Zona de *Mortoniceras perinflatum* (López-Horgue et al., 1999).

Interpretación tafonómica: Estas conchas se depositaron en un fondo arcilloso, ya que el relleno que presentan es de grano más fino que el encajante limolítico con glauconita (Figura 20.1). Se rellenaron de ese sedimento y sufrieron una nodulización temprana (Figura 20.2), ya que están preservados manteniendo las tres dimensiones originales.

Después de la nodulización, sufrieron un desenterramiento por erosión del sedimento (Figura 20.3) con un posterior desplazamiento hasta la zona donde hoy se encuentran,

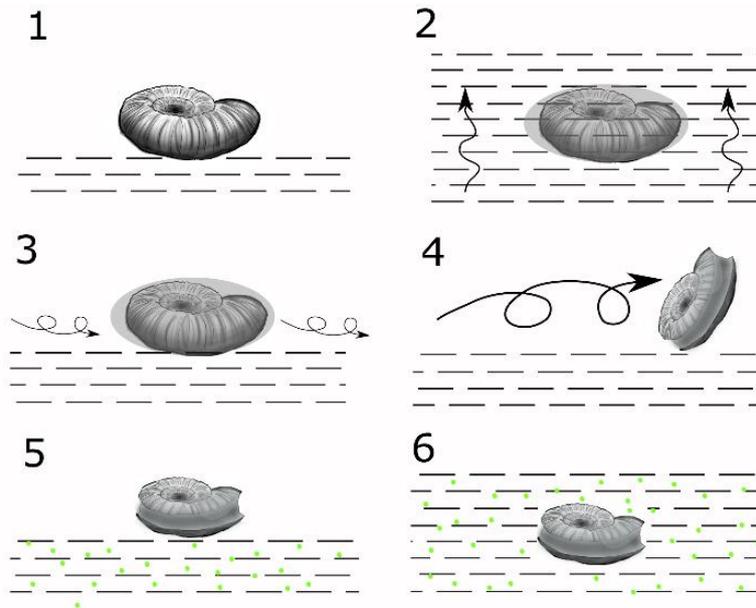


Figura 20. Evolución tafonómica de la tafofacies 6B. 1, se depositan en un fondo arcilloso; 2, se rellenan y se nodulizan; 3, se exponen de nuevo en el fondo; 4, sufren un transporte que deja marcas erosivas en su molde interno; 5 se depositan en un fondo limoso; 6 acaban enterrándose por sedimento limoso con granos de glauconita.

observándose en la mayoría de ellos claras marcas de transporte: como la superficie de fracturación del molde interno (Figura 19A) o el surco anular de desgaste (Figura 19B; Figura 20.4-6). Las características tafonómicas estudiadas en estos ammonoideos indican que han sufrido una reelaboración. Cabe destacar que la zona donde se encuentran contiene glauconita detrítica, indicativa de bajas tasas de sedimentación. Por lo tanto, gracias a la tafonomía de estos ammonoideos podemos decir que proceden de zonas más energéticas con menor profundidad y este sedimento se reelaboraba a zonas algo más profundas de menor energía.

Tafofacies 6C. Nódulos carbonatados con ammonoideos aplastados

Ammonoideos encontrados: Ammonoideos juveniles y adultos (2-6 centímetros). El 80% de la asociación pertenece a ejemplares adultos (Figura 19.D-F). Especies sin determinar.

Roca asociada: Limolitas con abundantes nódulos carbonatados a veces concentrados en la vertical transversalmente a la estratificación. La mayoría de ellos corresponden a estructuras de bioturbación.

Características tafonómicas: Moldes internos de ammonoideos en nódulos carbonatados que se encuentran bastante deformados. Estos ejemplares están rellenos del mismo material que la matriz que los rodea y algunas partes reemplazadas por calcita. Solamente se noduliza completamente el fragmocono, pero no toda la cámara de habitación; el nódulo no engloba completamente el ammonoideo.

Localización estratigráfica: Unidad 2 de la Formación Zufia. Se localizan en Zubiarki, en el tramo de los metros 0.6-1 (Figura 6). Pertenecen a la Zona de *Mortoniceras perinflatum* (López-Horgue et al., 1999).

Interpretación: Las conchas de estos ejemplares se depositaron en un fondo limoso (Figura 21.1). Este sedimento tenía abundante bioturbación, por eso los ammonoideos eran reorientados aleatoriamente. Se rellenan de sedimento (Figura 21.2) y colapsaron por compactación (Figura 21.3). Este colapso es diferente en las conchas de los ammonoideos depositadas con el lado umbilical paralelo al sustrato o perpendicularmente (por la zona ventral). Después de este colapso, sufrieron una nodulización carbonatada provocada posiblemente por fluidos derivados de la compactación (Figura 21.4). La

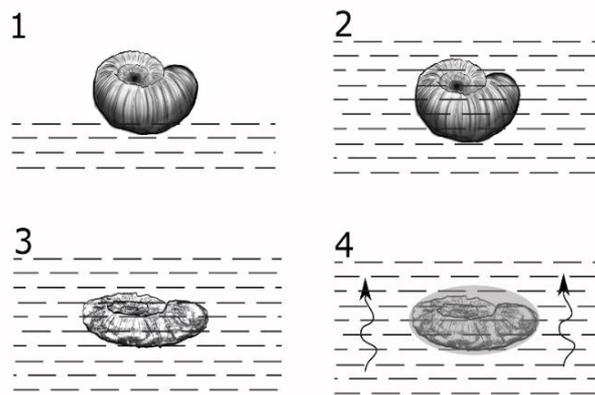


Figura 21. Evolución tafonómica de la tafofacies 6C: 1, se depositan en un fondo limoso; 2, se rellenan del sedimento; 3, acaban colapsando por la carga sedimentaria; 4, un fluido ascendente los noduliza.

distribución de los nódulos en zonas atravesando la estratificación puede estar ligada a flujos por zonas preferentes del sedimento. Por lo tanto, y al no observarse signos de reelaboración o resedimentación en ninguno de los ejemplares, podemos considerar que son para autóctonos.

Tafofacies 7A. Nódulos de siderita con ammonoideos en 3D

Ammonoideos encontrados: Ammonoideos adultos (13-35 centímetros) (Figura 22).

Pertenecen a los géneros *Mortoniceras* sp. y *Puzosia* sp.

Roca asociada: Lutitas ricas en materia orgánica y areniscas turbidíticas silíceas alternantes (Badillo et al., 1983). Las areniscas suelen presentar cementaciones de siderita que afectan a casi toda la capa arenosa, incluyendo la parte superior limolítica de la turbidita, por lo que presentan un aspecto nodulizado. Incluso se observan micropliegues y fallas que afectan a estas capas sideritizadas, y que son cubiertos por las lutitas suprayacentes. Los nódulos con ammonoideos se preservan en las zonas lutíticas. Badillo et al. (1983) describieron estas facies como depósitos de zona inferior de talud.

Características tafonómicas: Conchas de ammonoideos completamente sideritizadas. Estas preservan bien sus dimensiones originales preservándose muy bien sus caracteres morfológicos. Todos los ejemplares conservan la cámara de habitación. Están rellenos por la lutita sideritizada que los rodea. La mayoría de ellos tienen signos de abrasión. Estos ejemplares tienen erosionada la mitad superior del lado umbilical expuesto; se les denomina *half ammonites* (Seilacher et al., 1976). La nodulización engloba parcialmente a estos ammonoideos.

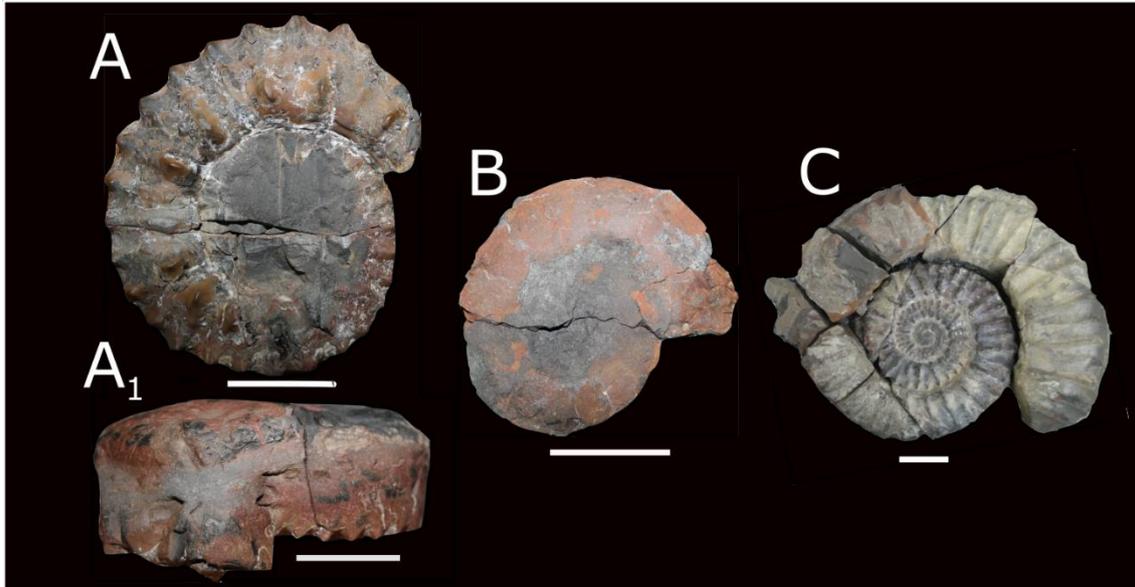


Figura 22. Ammonoideos pertenecientes a la tafofacies 7A: Ejemplares A-A1, *Mortoniceras* sp., B *Puzosia* (?), C, *Mortoniceras* sp.. El trazo más próximo a cada fotografía equivale a 5 centímetros.

Localización estratigráfica: En la Subzona de *H. choffati* y la Zona de *M. inflatum* (Figura 4) de la serie del acantilado de Armintza (López-Horgue et al., 2009).

Interpretación: Las capas de areniscas con cemento de siderita indican que la sideritización fue muy temprana, sucediendo antes de que éstas fueran deformadas, se compactaran y perdieran el agua intersticial (Ábalos y Elorza, 2012). Las conchas de los ammonoideos se rellenaron completamente de sedimento y estuvieron posiblemente poco enterradas cuando ocurrió la nodulización. Procesos de suave erosión del fondo, podían exponer parcialmente y erosionar las partes expuestas de algunos ammonoideos ya sideritizados. Los *half ammonite* de esta tafofacies (Figura 22.A-A1-B) experimentaron una importante erosión en uno de los lados umbilicales expuestos. La erosión pudo ser localmente importante debido a procesos de resedimentación acaecidos en la zona inferior del talud de 1.5 grados de inclinación (Ábalos y Elorza, 2012). Por lo tanto, los ammonoideos de estas tafofacies los consideramos parautóctonos, ya que esta erosión no permitió un transporte por el fondo, pero sí una erosión parcial.

Tafofacies 7B. Nódulos de siderita con ammonoideos deformados

Ammonoideos encontrados: Ammonoideos planoespirales adultos de entre 5 y 15 centímetros (Figura 23). Especies sin determinar.

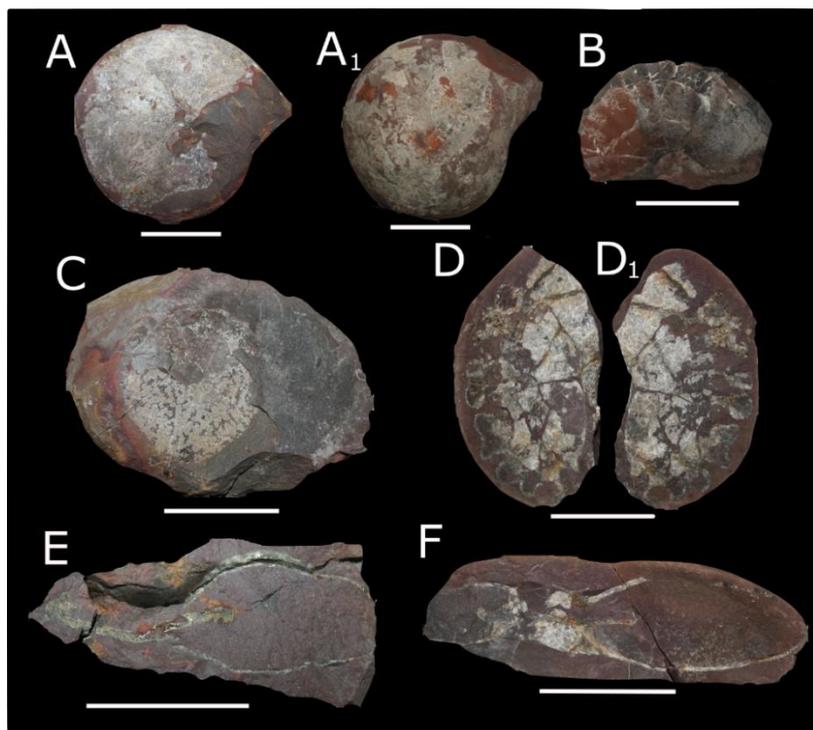


Figura 23. Ammonoideos pertenecientes a la tafofacies 7B: Ejemplares A-A1, indet. (lado umbilical y ventral respectivamente); B, indet.; C, indet.; D-D1, indet. (lado umbilical y ventral respectivamente); E y F, indet.. El trazo blanco de cada fotografía equivale a 5 centímetros.

Roca asociada: Limolita con ocasionales equinodermos, bivalvos, braquiópodos, corales solitarios, gasterópodos y restos de lignito. López-Horgue et al. (1999) describieron estas facies como de plataforma marina poco profunda (*offshore*).

En lámina delgada observamos que la limolita está compuesta por cuarzo flotante en una matriz arcillosa y micrítica con algunos bioclastos dispersos (Figura 24). Por una parte, esta limolita se encuentra muy bioturba y las galerías se encuentran rellenas de micrita. Por otra parte, se observan granos de glauconita autigénica muy dispersos en el sedimento.

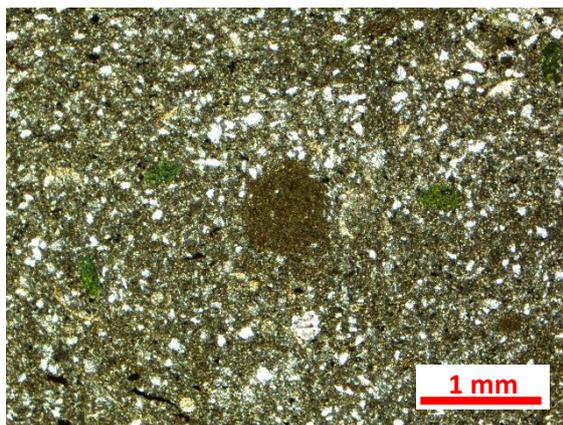


Figura 24. Limolita de la tafofacies 7B vista a microscopio óptico. Descripción en el texto.

Características tafonómicas: Nódulos sideríticos con conchas de ammonoideos en su interior. No conservan su concha aragonítica original ya que han sufrido un remplazamiento por calcita. El relleno de estas conchas es el mismo que el material del nódulo. La mayoría son ejemplares completos, manteniendo la cámara de habitación. La

mayoría se presentan colapsados, tanto el fragmocono como la cámara de habitación. Los ejemplares tienen signos de abrasión, ya que las costillas no mantienen sus dimensiones originales.

Localización estratigráfica: Tramo comprendido entre los metros 11 y 45 de la serie de Zubiarki (Figura 6). Pertenece a la unidad 2 de la Formación Zufia. Se localiza en la Subzona de *Mortoniceras perinflatum* (López-Horgue et al., 1999).

Interpretación: Las conchas se depositan completas en un fondo limoso. Los granos glauconíticos encontrados, indican bajas tasas de sedimentación, por lo que estos ejemplares estuvieron expuestos en el lecho sedimentario bastante tiempo, por lo que se puede explicar la leve abrasión en sus conchas. Se rellenaron de sedimento y con el peso de la carga sedimentaria acabaron colapsando. La cámara de habitación se relleno completamente de sedimento, pero el fragmocono no, ya que, con la carga sedimentaria, el colapso fue mayor en el fragmocono. Seguido de este colapso, estos ammonoideos sufrieron una nodulización siderítica que generalmente los engloba casi por completo. Por lo tanto, y al no observarse signos de reelaboración o resedimentación en ninguno de los ejemplares podemos considerar que se tratan de ejemplares parautóctonos.

Tafofacies 7C. Nódulos de siderita con ammonoideos con señales de disolución

Ammonoideos encontrados: Ejemplar adulto de 35 centímetros aproximadamente (Figura 25). Especie sin determinar.

Roca asociada: Limolitas. Ambiente de depósito de los limos, plataforma marina abierta poco profunda (*offshore*) (López-Horgue et al., 1999).

Características tafonómicas: Molde interno sideritizado de un ammonoideo de gran tamaño. Por una parte, el molde interno no se encuentra completo, le falta la cámara de habitación y algunas cámaras internas. Los límites de las cámaras conservadas se encuentran expuestas. Las vueltas más internas se encuentran colapsadas. Por otra parte, encontramos gran cantidad de gasterópodos con concha cónica y algunos serpúlidos sobre el molde interno; estos se llegan a disponer incluso en los relieves negativos de las líneas de sutura (Figura 25.C-D). Finalmente, cabe destacar que, en las depresiones producidas por la disolución en la zona de las suturas, se observa limolita litificada.

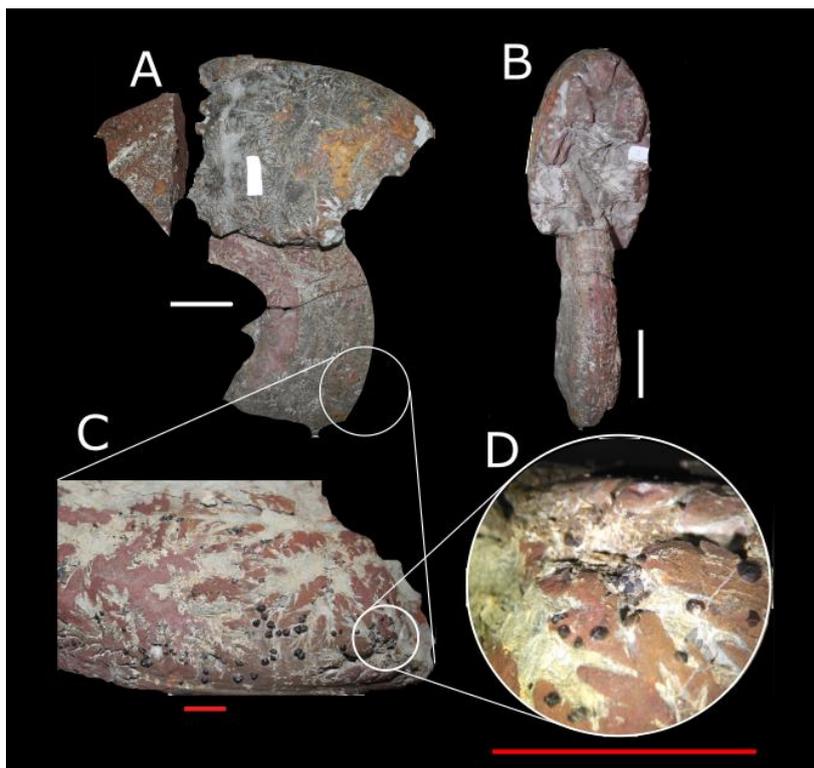


Figura 25. Molde interno perteneciente a la tafofacies 7B: Ejemplar indet.. A, lado umbilical; B, lado ventral; C, zona ventral aumentada donde se aprecia las suturas rellenas de limolita; D, organismos localizados sobre el molde interno y en los relieves negativos de las suturas. El trazo blanco equivale a 5 centímetros y el rojo 1 centímetros.

Localización estratigráfica: En el tramo del metro 38 de Metauten (Figura 6), perteneciente a la unidad 2 de la Formación Zufia (López-Horgue et al., 1999). Se localiza en la Subzona de *Arrhaphoceras briacensis*.

Interpretación: La concha del ammonoideo se deposita en un sedimento limoso (Figura 26.1-2). Las cámaras más internas no se rellenan completamente de sedimento, pero las más externas sí. Con una pequeña carga sedimentaria el ejemplar acaba colapsando las cámaras más internas que no se han relleno completamente de sedimento (Figura 26.3). En la diagénesis temprana, el ejemplar sufre una nodulización siderítica (Figura 26.4). Poco después, se disuelve toda la concha, menos las vueltas internas colapsadas (Figura 26.5). A continuación, el sedimento sufre una erosión permitiendo la exposición de este ejemplar en el fondo marino; la disolución acaecida provoca la desarticulación de algunas cámaras del ejemplar y la creación de depresiones en el molde interno. (Figura 26.6). Abundantes organismos bentónicos de concha cónica, colonizan el molde interno del ejemplar, incluso las zonas deprimidas de las suturas disueltas (Figura 26.7). Finalmente acaba siendo enterrado de nuevo (Figura 26.8).

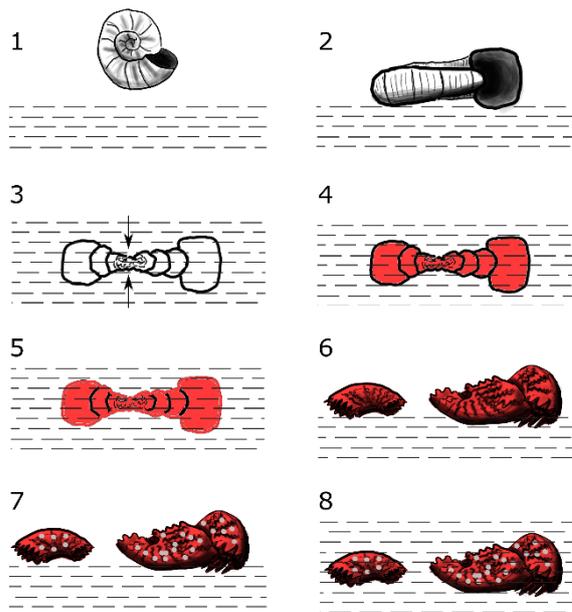


Figura 26. Evolución tafonómica del ammonoideo de la tafofacies 7C. 1,2. La concha acaba depositándose en un sedimento limoso; 3, se rellena parcialmente de sedimento, pero las cámaras más internas, menos rellenas, colapsan; 4, sufre una nodulización; 5, se disuelve gran parte de la concha; 6, se expone desarticulado en el fondo marino; 7, los organismos bentónicos lo colonizan; 8, el sedimento lo entierra por última vez.

Por una parte, el gran tamaño de este ammonoideo, es anómalo para la Formación Zufia y teniendo en cuenta que el efecto de la flotabilidad es mayor en especímenes de gran volumen, cabe esperar que los fenómenos de deriva necroplanctónica hayan influido de gran manera en el transporte de este ejemplar. Por otra parte, ha sufrido una resedimentación, ya que encontramos al ejemplar con algunas de las cámaras desarticuladas separadas pero muy próximas entre sí. Por lo tanto, podemos considerar que este organismo es alóctono.

Discusión

Diferencias en la diagénesis temprana

En el margen norte de la cuenca, donde se han estudiado series marinas más profundas que las del margen sur, la mayoría de ammonoideos que se preservan se encuentran nodulizados o piritizados (tafofacies 7A y 5A respectivamente), manteniendo sus dimensiones originales y conservando los rasgos morfológicos. La presencia de siderita y/o piritita en estos ammonoideos producida en una diagénesis muy temprana, permite su óptima conservación. Una minoría de ammonoideos se conservan aplastados entre los materiales finos y solamente conservan el molde interno muy deformado. Esto es muy interesante, ya que significa que las concreciones de esta zona son una especie de "ventana tafonómica", única forma de observar las características morfológicas reales en las conchas de los ammonoideos.

La preservación en siderita (sideritización de las conchas de los ammonoideos) en el margen norte de la cuenca pudo estar ligada a los aportes de hierro originados a partir de una importante actividad magmática (Mathey, 1987; Rossy, 1988). Procesos volcánicos submarinos, permitieron el desarrollo de rocas extrusivas (efusivas y explosivas) y de cuerpos intrusivos tipo *sill* principalmente. La alteración hidrotermal y submarina de estas rocas magmáticas pudo proporcionar un flujo de hierro importante al agua de mar. Este hecho ayuda a entender el origen del hierro en momentos muy tempranos de la diagénesis tal y como atestiguan los procesos de sideritización que se produjeron muy cerca del intervalo agua-sedimento, y como se puede observar en los diferentes ammonoideos encontrados. Por ello, en Armintza, en el tramo previo a la serie volcánica, no encontramos ammonoideos sideritizados, ya que la cantidad de hierro disuelto no era lo suficientemente importante para producir la sideritización.

Al contrario, en el margen sur de la cuenca, en Zubielki-Metauten, las nodulizaciones sideríticas suceden en una diagénesis algo más tardía que en el margen norte. En estos casos los ammonoideos se encuentran deformados y con las cámaras internas colapsadas. Aun así, la producción de nódulos sideríticos permite que los ammonoideos se conserven y no acaben disolviéndose completamente en la diagénesis. Por lo tanto, estas preservaciones nos permiten estimar una paleobiodiversidad más real.

En el caso de los ammonoideos piritizados de Metauten y Armintza, la diferencia principal en ellos es el momento en el que se produce la piritización. En Armintza esta es muy temprana, en cambio en Metauten es tardía; por ende, los ammonoideos de Armintza mantienen las dimensiones originales y los de Metauten no.

Por otra parte, la presencia de ammonoideos en nódulos carbonatados y piritizados, con una distribución transversal a la estratificación en Zubielki indica posiblemente la presencia de un fluido ascendente. Este fluido podría proceder de los sedimentos inferiores o incluso originarse en la cercanía del diapiro de Estella-Lizorra (éste elevó incluso el zócalo hasta la superficie). Gracias a los ammonoideos, podemos delimitar en el tiempo estos fluidos, viendo si estos se encuentran colapsados o no (Figura 27.A). La presencia de nódulos con ammonoideos sin deformar, indica que estos fluidos actuaron poco después de su sedimentación. En cambio, cuando los nódulos contienen ammonoideos deformados, el fluido nodulizante se da después del colapso de la concha.

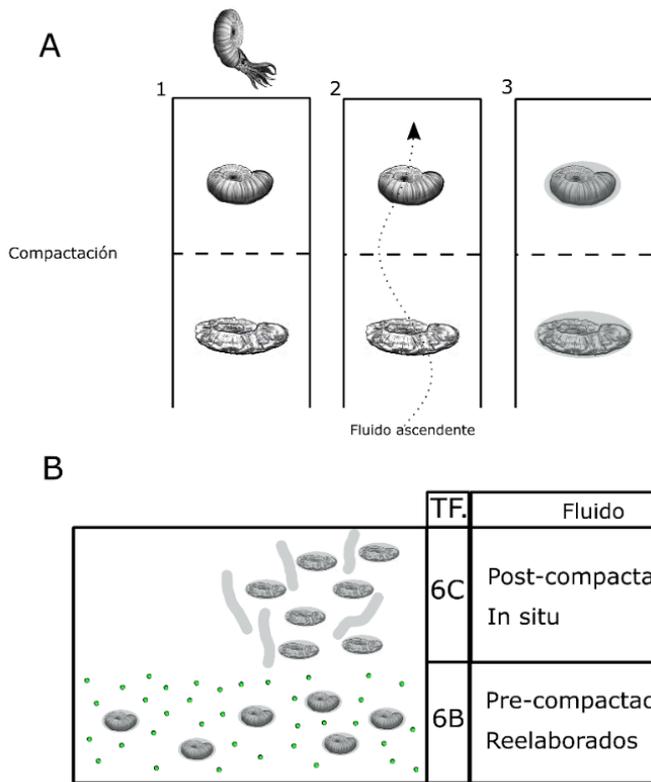


Figura 27. A, gracias a los ammonoideos en los nódulos carbonatados podemos saber si el fluido nodulizante ocurrió antes o después de su colapso. 1, los ammonoideos se van depositando, los que pasan el límite del colapso se aplastan. 2, el fluido atraviesa a todos los ammonoideos que se encuentran en la columna sedimentaria; 3, finalmente acaban nodulizándose. B, tafofacies 6C y 6B indican dos fluidos nodulizantes anacrónicos.

La presencia de este fluido permite a las conchas de los ammonoideos conservarse en la diagénesis, por lo tanto, las conservaciones en nódulos carbonatados y conchas piritizadas permite estimar una biodiversidad más real.

Las tafofacies 6B y 6C, continuas en el tiempo, indican un momento temporal en el cual se originaron estos fluidos. Gracias a las tafofacies, podemos dividir este evento en dos (Figura 27.B). El primero, relacionado con la tafofacies 6B, originó esta nodulación en un ambiente más margoso. Estos ammonoideos se encontraban cerca de la superficie ya que no sufrieron un colapso por la carga sedimentaria. Posteriormente fueron resedimentados sobre la capa de arenisca con glauconita. Después de un tiempo, las conchas de los ammonoideos de la tafofacies 6C se depositaron en la zona, se rellenaron parcialmente y sufrieron un posterior colapso. Seguido de este ocurrió el segundo evento nodulizante, que afecto a los ejemplares ya colapsados.

Relación entre el ambiente sedimentario y la tafonomía

En el margen norte de la cuenca, la sedimentación tranquila de las facies lutíticas/limolíticas en las profundidades marinas era interrumpida por flujos de diferentes concentraciones impulsados por la gravedad, aumentando temporalmente la energía, la

turbidez y la oxigenación de las aguas del fondo. Pero esta energía, en ocasiones no tenía suficiente fuerza para erosionar el fondo. Se produjo una continua acumulación de sedimento con la menor erosión posible. Por otra parte, en las zonas someras del margen suroeste de la cuenca (tafofacies 3), cuando los intervalos de alta energía se detenían, los organismos lo colonizaban. Esto, permitía a los ammonoideos establecerse en estas zonas de barras arenosas bien oxigenadas.

En cambio, en el margen sur de la cuenca, la sedimentación limolítica de baja energía, alternaba con sedimentación de alta energía (Figura 28) capaz de removilizar el sedimento en algunas áreas. En el caso de la capa de arenisca con glauconita, su depósito se produjo en una transgresión (López-Horgue et al., 1999), por depósito de material terrígeno con granos de glauconita. Gracias al estudio de las tafofacies sabemos que los siguientes 30 centímetros a la capa con glauconita, también fueron originados en un segundo pulso transgresivo. En ese nivel se encuentran ammonoideos procedentes de otros niveles que han sido re TRABAJADOS.

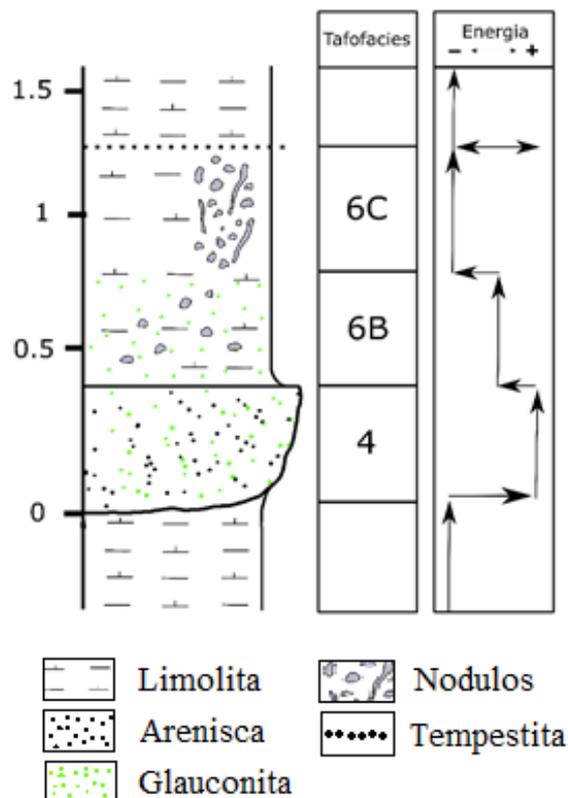


Figura 28. Cambios energéticos observados a partir del análisis de tafofacies. Explicación en el texto.

Por lo tanto, podemos observar un gran aumento de la energía en la capa con glauconita, una menor energía en los próximos 30 cm, seguido de 40 cm de un depósito limolítico de muy baja energía, y finalmente un nivel tempestítico muy fino originado por oleaje de mal tiempo.

Hábitats de los ammonoideos

En facies marinas, los intervalos energéticos pueden oxigenar el fondo marino, permitiendo que las faunas de ammonoideos colonizasen la parte de la columna de agua cercana al lecho sedimentario. En facies profundas, como en Armintza y Meñakoz, se

observan signos de cambios energéticos producidos por corrientes de turbidez, en las que dominan las formas con conchas de mayor tamaño. En cambio, en las facies poco profundas, Karrantza y Estella-Lizarra, los momentos energéticos eran seguidos por largos intervalos poco energéticos. A techo de estas facies energéticas, encontramos las conchas de tamaño medio, con ejemplares adultos y juveniles, lo que podría ser indicativo de que se reprodujeran en esas zonas. En estas facies poco profundas, la presencia mínima de ejemplares con morfologías grandes indica que estas posiblemente fueron transportadas por corrientes desde ambientes más profundas.

Las facies margosas de la Subzona de *H. binum* de Armintza (Tafofacies 2 y 5A), tienen abundante materia orgánica, sin signos energéticos. Posiblemente estas facies indican un ambiente hipóxico con concentraciones bajas de oxígeno en comparación con lo interpretado por Aguirrezabala y López-Horgue (2017), donde solamente los ejemplares juveniles y algunas especies de menor tamaño podían sobrevivir. Por otra parte, las facies limolíticas de baja energía de la Formación Zufia, ricas en materia orgánica, posiblemente no estaban bien oxigenadas (e. g., eventos sin fauna bentónica calcítica; López-Horgue et al., 1999). Hay ejemplos de asociaciones de pequeños heteromorfos en facies hipóxicas que se interpretan como adaptaciones a condiciones deficientes de oxígeno durante poco tiempo en momentos de alimentación o migración (e. g., Lukeneder, 2007), posiblemente parecido ocurriría en estas facies de la Formación Zufia, donde la presencia de ejemplares juveniles de heteromorfos y planiespirales piritizados es muy importante. Sin embargo, los momentos de mayor energía en el ambiente, con posible oxigenación de las aguas y el fondo, eran aprovechados por los ejemplares de mayor tamaño para colonizar el medio.

Conclusiones

En este trabajo, se han descrito e interpretado diferentes tafofacies propuestas para los niveles y tramos estratigráficos del Albiense superior de la CVC estudiados. En el margen norte de la cuenca, las series de Meñakoz y Armintza presentan facies siliciclásticas y vulcanoclásticas de rampa marina distal (*offshore*). Al suroeste, con facies deltaicas se sitúa Karrantza y finalmente en la parte más al sureste de la cuenca, con facies de plataforma marina somera fangosa, se localiza Estella-Lizarra.

En el margen norte, la alteración hidrotermal y submarina de rocas magmáticas pudo proporcionar un flujo de hierro importante al agua del mar. Este flujo permitió que los

ammonoideos se conservaran en nódulos sideríticos, manteniendo su dimensión original. En los intervalos sin este aporte de hierro, encontramos moldes internos de ammonoideos aplastados y con la concha disuelta. En el margen sur, las nodulizaciones sideríticas se dan en una diagénesis temprana pero más tardía que en el margen norte. Además, los nódulos carbonatados y piritizados, con una distribución vertical en Zubielki indica la presencia de fluidos ascendentes a través de la serie sedimentaria y delimitables en el tiempo.

Por una parte, en las facies profundas, localizadas en el margen norte de la cuenca, los ammonoideos han sido considerados parautóctonos. Las conchas de mayor tamaño aparecen en los intervalos energéticos (corrientes de turbidez, resedimentación); en cambio, las conchas de menor tamaño, con ejemplares adultos y juveniles, aparecen en largos intervalos no energéticos con abundante materia orgánica, indicativo de fondos más hipóxicos. Por otra parte, en las facies poco profundas, localizadas más al sur, los momentos energéticos eran seguidos por largos intervalos poco energéticos. En el margen suroeste, encontramos conchas de tamaño mediano y pequeño, consideradas parautóctonas, las cuales se localizan en intervalos posteriores a momentos energéticos. En cambio, en el margen sureste, los ammonoideos localizados en los intervalos energéticos han sido considerados parautóctonos; en ciertos intervalos eran removilizados a áreas cercanas. Los ammonoideos de mayor tamaño de las facies someras posiblemente fueron transportados por corrientes desde facies más profundas.

Gracias al análisis de tafofacies, se ha proporcionado una mejor comprensión de los entornos en los que prosperaron los ammonoideos y de los cambios ambientales en el medio sedimentario acaecidos en la CVC durante el Albiense superior.

Bibliografía

- Ábalos, B. y Elorza, J. (2012): Structural diagenesis of siderite layers in black shales (Albian Black Flysch, northern Spain). *The Journal of Geology*, 120: 405-429.
- Agirrezabala, L.M. y López-Horgue, M.A. (2017): Environmental and ammonoid faunal changes related to Albian Bay of Biscay opening: Insights from the northern margin of the Basque-Cantabrian Basin. *Journal of Sea Research*, 130: 36-48.

- Agirrezabala, L.M., Martínez, R. y García-Mondéjar, J. (1992): Fauna de Ammonites del tránsito complejo Urganiano-Flysch negro entre Gernika y Deba (Albiense medio y superior, región Vascocantábrica Septentrional). *Treballs del Museu de Geologia de Barcelona*, 2: 143-169.
- Amiot, M (1982): El Cretácico superior de la región Navarro-Cántabra. En: *El Cretácico de España* (A. García, ed.). Editorial Complutense, Madrid, 88-111.
- Aranburu, A. (1998): El Aptiense-Albiense de Trucíos-Güeñes (Oeste de Bizkaia). Tesis Doctoral, Univ. del País Vasco, 606 p.
- Badillo, J.M., García-Mondéjar, J. y Pujalte, V. (1983): Análisis del Flysch Negro (Albiense Sup.-Cenomaniense Inf.) en la Bahía de Arminza. En: *X Congreso Nacional de Sedimentología*. Grupo Español de Sedimentología, 1: 4-6.
- Bodego, A., Iriarte, E. y Agirrezabala, L.M. (2008): The deep-water Lasarte megabreccia (mid-Cretaceous, Basque-Cantabrian Basin): sedimentological evidences of a growth structure denudation. *Geo-Temas*, 10: 1201-1204.
- Brett, C.E. y Baird G.C. (1986): Comparative taphonomy: a key to paleoenvironmental interpretation based on fossil preservation. *Palaios*, 1: 207–227.
- Burgos-Iglesias, J. (2017): Morfotipos de ammonioideos del Albiense superior de Vizcaya: paleoecología y relación con las facies sedimentarias. Trabajo de Fin de Grado, Univ. del País Vasco, 51 p.
- Cámara, P. (1997): The Basque-Cantabrian basin's Mesozoic tectono-sedimentary evolution. *Mémoires de la Société géologique de France*, 171: 187-191.
- Delanoy, G. y Latil, J.L. (1988): Découverte d'un nouveau gisement albien dans les environs de Drap (Alpes-Maritimes, France) et description d'une riche ammonitofaune d'âge Albien terminal. *Geobios*, 21: 749-771.
- Elorza, J.J. y Aparicio, A. (2015): Formación de alvéolos sobre basaltos y areniscas en la zona costera de Meñakoz (Sopelana, Bizkaia): controles litológicos y ambientales. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 28: 43-63.

- Erben, H.K. (1964a): Die Evolution der ältesten Ammonoidea. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen, 120: 107-212.
- Fernández-López, S. (1987): Neocrocinesis y colonización posmortal en Bajociphinctes (Ammonoidea) de la Cuenca Ibérica: implicaciones paleoecológicas y paleobatimétricas. Real Sociedad Española de Historia Natural, 82: 151-184.
- Fernández-López, S. (1990): El significado de la autoctonía/alloctonía tafonómica. En: Comunicaciones de la reunión de tafonomía y fosilización. Tafonomía y Fosilización. Comunicaciones, 1: 115-124.
- Fernández-López, S. (1995): Taphonomie et interprétation des paléoenvironnements. Geobios, 28: 137-154.
- Fernández-López, S. (2000): Temas de tafonomía. Departamento de Paleontología, Universidad Complutense de Madrid, 167 p.
- Gale, A.S., Kennedy, W.J., Burnett, J.A., Caron, M. y Kidd, B.E. (1996): The Late Albian to Early Cenomanian succession at Mont Risou near Rosans (Drôme, SE France): an integrated study (ammonites, inoceramids, planktonic foraminifera, nannofossils, oxygen and carbon isotopes). Cretaceous Research, 17: 515-606.
- Gale, A.S., Bown, P., Caron, M., Crampton, J., Crowhurst, S.J., Kennedy, W.J., Petrizzo, M.R. y Wray, D.S. (2011): The uppermost Middle and Upper Albian succession at the col de Palluel, Hautes-Alpes, France: an integrated study (ammonites, inoceramid bivalves, planktonic foraminifera, nannofossils, geochemistry, stable oxygen and carbon isotopes, cyclostratigraphy). Cretaceous Research, 32: 59-130.
- García-Mondéjar, J. (1982): Aptiense y Albiense. En: El Cretácico de España (A. Garcia, ed.). Editorial Complutense, Madrid, 63-84.
- García-Mondéjar, J., Fernández-Mendiola, P.A., Agirrezabala, L.M., Aranburu, A., López-Horgue, M.A., Iriarte, E. y Martínez de Rituerto, S. (2004): El Aptiense-Albiense de la Cuenca Vasco-Cantábrica. En: Geología de España (J. A. Vera, ed.). SGE-IGME, Madrid, 291-296.

- Jacobs, D.K. y Chamberlain, J.A. (1996): Buoyancy and hydrodynamics in ammonoids. En: *Ammonoid paleobiology* (Landman N.H., Tanabe K. y Davis R.A., eds.). Springer, Boston, 169-224.
- Jammes, S., Manatschal, G., Lavier, L. y Masini, E. (2009): Tectonosedimentary evolution related to extreme crustal thinning ahead of a propagating ocean: Example of the western Pyrenees. *Tectonics*, 28: 1-24.
- Kennedy, W.J. y Bilotte, M. (2009): A revision of the cephalopod fauna of the 'niveau rouge' of the Selva de Bonansa, Huesca Province, northern Spain. *Bulletin of the Moscow Society of Naturalists*, 84: 39-70.
- Kennedy, W.J., Bilotte, M. y Hansotte, M. (1997): Albian ammonite faunas from Pech de Foix (Ariège, France). *Bulletin des centres de recherches exploration-production Elf-Aquitaine*, 21: 457-499.
- Kidwell, S.M., Fuersich, F.T. y Aigner, T. (1986): Conceptual framework for the analysis and classification of fossil concentrations. *Palaios*, 1: 228-238.
- López-Horgue, M.A. (2000): El Aptiense-Albiense de Karrantza-Lanestona (Bizkaia y Cantabria). Tesis Doctoral, Univ. del País Vasco, 264 p.
- López-Horgue, M.A. y Owen, H.G. (in prep.): *Mortoniceratinae from the Late Albian of the western Pyrenees: new species and implications for taxonomy and biostratigraphy.*
- López-Horgue, M.A., Aranburu-Artano, A., Fernández-Mendiola, P.Á. y García-Mondéjar, J. (1993): Existencia de una plataforma carbonatada del Albiense Superior entre materiales terrígenos de mar somero (Karrantza-Trucíos, Bizkaia). *Geogaceta*, 13: 65-68.
- López-Horgue, M.A., Aranburu, A., Gómez-Pérez, I., Fernández-Mendiola, P.A., García-Mondéjar, J. y Calzada, S. (1998): Fauna bentónica (pelecípodos, braquiópodos y gasterópodos) de ambientes siliciclásticos de mar somero (Albiense superior de Bizkaia y Araba). *Batalleria*, 8, 7-52.
- López-Horgue, M.A., Owen, H.G., Rodríguez-Lázaro, J., Fernández-Mendiola, P.A. y García-Mondéjar, J. (1999): Late Albian–Early Cenomanian stratigraphic succession

- near Estella-Lizarra (Navarra, central northern Spain) and its regional and interregional correlation. *Cretaceous Research*, 20: 369-402.
- López-Horgue, M.A., Owen, H.G., Aramburu, A., Fernández-Mendiola, P.A. y García-Mondéjar, J. (2009): Early late Albian (Cretaceous) of the central region of the Basque-Cantabrian Basin, northern Spain: biostratigraphy based on ammonites and orbitolinids. *Cretaceous Research*, 30: 385-400.
 - Loutit, T.S., Hardenbol, J., Vail, P.R. y Baum, G.R. (1988): Condensed sections: the key to age dating and correlation of continental margin sequences. En: *Sea-level changes: an integrated approach* (C.K. Wilgus, B.S. Hastings, C.G. Kendall, H.W. Posamentier, C.A. Ross y J.C. Van Wagoner, eds.). Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Oklahoma, 183-213.
 - Lukeneder, A. (2007): Cephalopod evolution: a new perspective-implications from two Early Cretaceous ammonoid suborders (Northern Calcareous Alps, Upper Austria). *Denisia*, 20: 395-404.
 - Mathey, B. (1987): Les flyschs crétacé supérieur des Pyrénées basques. *Mémoires Géologiques*, Université de Dijon, 399 pp.
 - Mongin, D., Peybernès, B., Souquet, P. y Thomel, G. (1983): Le gisement Vraconnien (Albien Supérieur) de la Selva de Bonansa (Pyrénées Espagnoles): intérêt stratigraphique, paléocéologique et paléobiogéographique. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 41: 45-63.
 - Mutti, E. (1985): Turbidite systems and their relations to depositional sequences. En: *Provenance of arenites* (G.G. Zuffa, ed.). Springer, Dordrecht, 65-93.
 - Odin, G.S. y Matter, A. (1981): De glauconiarium origine. *Sedimentology*, 28: 611-641.
 - Owen, H.G. (1999): Correlation of Albian European and Tethyan ammonite zonations and the boundaries of the Albian Stage and substages: some comments. *Scripta Geologica, Special Issue*, 3: 129-149.
 - Owen, H.G. y Mutterlose, J. (2006): Late Albian ammonites from offshore Suriname: implications for biostratigraphy and palaeobiogeography. *Cretaceous Research*, 27: 717-727.

- Prave, A.R. y Duke, W.L. (1990): Small-scale hummocky cross-stratification in turbidites: a form of antidune stratification?. *Sedimentology*, 37: 531-539.
- Pujalte, V., Robles, S. y García-Mondéjar, J. (1986): Características sedimentológicas y paleogeográficas del fan-delta Albiense de la Formación Monte Grande y sus relaciones con el Flysh Negro (Arminza-Górliz, Vizcaya). *Acta geológica hispánica*, 21-22: 141-150.
- Rat, P. (1988): The Basque-Cantabrian basin between the Iberian and European plates: Some facts but still many problems. *Revista de la Sociedad geológica de España*, 1: 327-348.
- Raup, D.M. (1973): Depth inferences from vertically imbedded cephalopods. *Lethaia*, 6: 217-225.
- Raup, D.M. y Chamberlain Jr., J.A. (1967): Equations for volume and center of gravity in ammonoid shells. *Journal of Paleontology*, 41: 566-574.
- Robles, S., Pujalte, V. y García-Mondéjar, J. (1988): Evolución de los sistemas sedimentarios del margen continental cantábrico durante el Albiense y Cenomaniense, en la transversal del litoral vizcaíno. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 1: 409-441.
- Rossy, M. (1988): Contribution à l'étude du magmatisme mésozoïque du domaine pyrénéen: I, le Trias dans l'ensemble du domaine, II le Crétacé dans les provinces basques d'Espagne. Tesis Doctoral, Université Besançon, 429 p.
- Santamaría, R. y López, G. (1996): Aspectos bioestratigráficos de los ammonites e inocerámidos (*Bivalvia*) del Albiense superior al Maastrichtiense de la provincia de Álava. *Revista Española de Paleontología*, (extraordinario. X jornadas de paleontología), 1: 148-159.
- Seilacher, A. (1976): Preservational history of compressed Jurassic ammonites from southern Germany. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen*, 152: 303-356.
- Seilacher, A. (1981): Towards an evolutionary stratigraphy. *Acta geológica hispánica*, 16: 39-44.

- Souquet, P., Debroas, E.J., Boirie, J.M., Pons, P., Fixari, G., Roux, J.C., Dol, J., Thieuloy, J.P., Bonnemaïson, M., Manivit, H. y Peybernes, B. (1985): Le groupe du Flysch noir (albo-cénomanién) dans les Pyrénées. Bulletin - Centres de Recherches Exploration-Production Elf-Aquitaine, 9: 183-252.
- Speyer, S.E. y Brett, C.E. (1988): Taphofacies models for epeiric sea environments: Middle Paleozoic examples. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 63: 225-262.
- Speyer, S.E. y Brett, C.E. (1991): Taphofacies controls. Background and episodic processes in fossil assemblage preservation. En: *Taphonomy: releasing the data locked in the fossil record* (Allison P. y Briggs E.G., eds.), Plenum Press, New York-London: 501-545.
- Tintant, H. (1984): Autochtonie ou allochtonie chez les Céphalopodes. *Mémoires de Géologie Université Dijon*, 7: 257-271.
- Westermann, G.E. (1996): Ammonoid life and habitat. En: *Ammonoid paleobiology* (N. Landman, K. Tanabe y R.A. Davis, eds.). Springer, Boston, 607-707.
- Wiedmann, J. (1962): Ammoniten aus der Vascogotischen Kreide (Nordspanien). I. Phylloceratine, Lytoceratina. *Palaeontographica, Abteilung A*, 118: 119-237.
- Wiedmann, J. (1979): Itinéraire géologique à travers le Crétacé moyen des chaînes Vascogotiques et Celtibériques (Espagne du Nord). *Journal of Iberian Geology*, 5: 127-214.
- Wiedmann, J. y Boess, J. (1984): Ammonitenfunde aus der Biskaya-Synkline (Nordspanien)—Kreidegliederung und Alter des kreide-Vulkanismus. *Eclogae geologicae helvetiae*, 77: 483-510.
- Wiedmann, J. y Kaufmann, E.G., (1978): Mid-Cretaceous biostratigraphy of northern Spain. *Annales du Museum d'Histoire Naturelle de Nice*, 4: 1-22.