

MINERALIZACIONES PSEUDOMÓRFICAS EN EL CRETÁCICO SUPERIOR DEL PORT DE BENIFALLIM (ALICANTE, ESPAÑA).

Francisco Javier Molina Hernández

Juan Carlos Cardenal Domenech

Resumen: Se estudian ciertas mineralizaciones pseudomórficas del Cenomaniense-Turonense de la formación Jaén en el Norte de la Provincia de Alicante. Estas mineralizaciones se han formado en un medio de sedimentación marino de cierta profundidad, en condiciones anaeróbicas y presencia de materia orgánica. La pseudomorfosis se ha producido por alteración de minerales preexistentes que, en los casos estudiados, corresponden a pirita o marcasita, sustituidas por minerales férricos. La transformación ha sido química, no afectando a la estructura mineralógica, por lo que se mantiene la cristalización original. La estructura cristalina es cubica u ortorrómbica y de morfología variada, formando piñas, amorfa u ovalada.

Resum: S'estudien certes mineralitzacions pseudomòrfiques del Cenomanien-Turonian de la formació Jaén al Nord de la Província d'Alacant. Aquestes mineralitzacions s'han format en un mitjà de sedimentació marí de certa profunditat, en condicions anaeròbiques i presència de matèria orgànica. La pseudomorfosi s'ha produït per alteració de minerals preexistents que, en els casos estudiats, corresponen a pirita i marcasita, substituïdes per minerals fèrrics. La transformació ha estat química i no ha afectat l'estructura mineralògica, per la qual cosa es manté la cristal·lització original. L'estructura cristal·lina és cubica o ortorròmbica i de morfologia variada, formant pinyes, amorfa o ovalada.

Abstract: Certain pseudomorphic mineralizations from the Cenomanian-Turonian of the Jaén formation in the North of the Province of Alicante are studied. These mineralizations have been formed in a marine sedimentation medium of a certain depth, under anaerobic conditions and in the presence of organic matter. The pseudomorphosis has been produced by alteration of pre-existing minerals which, in the cases studied, correspond to pyrite and Marcasite, replaced by ferrous minerals. The transformation has been chemical, not affecting the mineralogical structure, so the original crystallization is maintained. The crystalline structure is cubic or orthorhombic and of varied morphology, forming pine cones, amorphous or oval.

Palabras clave: Pseudomorfosis, Pirita, Marcasita, Prebético de Alicante, Port de Benifallim, Cenomaniense-Turonense.

Paraules Clau: Pseudomorfosi, Pirita, Marcasita, Prebètic d'Alacant, Port de Benifallim, Cenomanien-Turonense.

Keywords: Pseudomorphosis, Pyrite, Marcasite, Prebetic of Alicante, Port de Benifallim, Cenomanian-Turonian.

1. Introducción

El término pseudomorfosis (*pseudo*= falso, *morfi*= forma) se utiliza en mineralogía para designar a un mineral que ha experimentado un profundo proceso de alteración provocando cambios estructurales, sustitución química o disolución de cristales y posterior relleno del hueco (Rodrigo y Calco, 2017). El término *pseudomorphoses* fue utilizado inicialmente por Haüy para designar aquellas sustancias o fósiles mineralizados en calcita o pirita, y que daban al mineral una forma cristalina engañosa (Haüy, 1801).

La pseudomorfosis puede ser debida a diversos procesos: cambio de la estructura química, alteración química, exolución, infiltración-relleno, reemplazamiento o incrustación. Entre estos procesos el más común es el debido al de la alteración o cambio de la composición química por deshidratación, alteración atmosférica, oxidación, hidratación, carbonatación o una combinación de varios de estos.

Una de las mineralizaciones pseudomórficas más comunes en las colecciones de minerales españoles es el reemplazamiento de pirita por óxido y/o hidróxido de Fe, es decir la oxidación del sulfuro (Lozano *et al.*, 2011). Los yacimientos más conocidos son los de la Cuenca de Cameros (Piritas de Cornago, La Rioja) o los de Carratraca (Málaga).

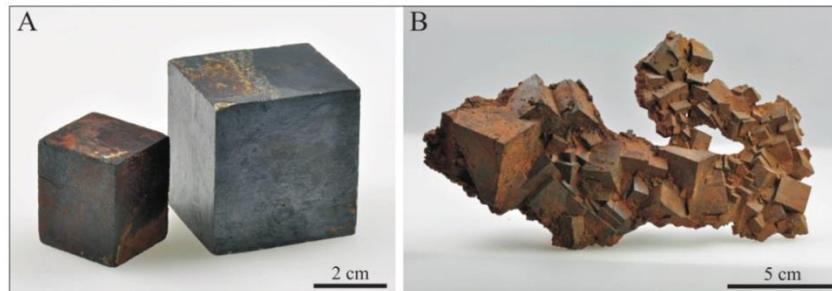


Figura 1: Ejemplos de oxidación de la pirita. A: cristales cúbicos oxidados de superficie (Cornago, La Rioja). B: conjunto de cubos completamente reemplazados (Carratraca, Málaga). Según Lozano *et al.*, 2011, fig. 8, pp. 60.

En la zona del prebético de Alicante se cita con frecuencia la presencia de nódulos férricos en diferentes formaciones calizas del Cretácico (Vera *et al.*, 2004; Almela *et al.*, 1973; Colodrón y Ruiz, 1980). Tanto es así que una de las primeras referencias a minerales en la zona Alicante se debe a la presencia de Marcasita indicada por J.A. Cavanilles en la Font de l'Or de Planes, la cual recibió este nombre dado que la gente del pueblo encontraba en la zona minerales dorados (Cavanilles, 1797, vol. 2 p. 155)

(figura 2). Igualmente se refiere J.A. Cavanilles al referirse al Cabezo d'Or, indicando que el topónimo de esta sierra se debe a la presencia de minerales de pitita en su cumbre¹. No obstante los minerales de pirita o, en ocasiones, marcasita pseudomórfica se documentan especialmente en ciertos ambientes de sedimentación que se generalizaron en el Cretácico superior.



Figura 2: Font de l'Or (Planes). Uno de los primeros afloramientos de minerales citados en Alicante por J.A. Cavanilles en 1779. En la imagen muestra precedente de este afloramiento perteneciente al Barremiense.

¹ Localmente existe un topónimo probablemente relacionado con la existencia de estas mineralizaciones metálicas, es el caso de la Font d'Ors, paraje entre los términos de Torremanzanas y Benifallim donde se documentan estas mineralizaciones. No obstante, al estar en plural, también podría referirse a un antropónimo.

Estas mineralizaciones presentan de forma homogénea un intenso proceso de alteración por reemplazamiento que, en determinados afloramientos como en el del Port de Benifallim, conservan la estructura mineralógica original. Asimismo es frecuente la presencia de fósiles piritizados que han sufrido procesos de sustitución en otras formaciones geológicas de la región, caso de las margas del Barremiense de la Sierra Mariola muy conocidas por los ammonites piritizados que se han alterado en limonita (Nicklés, 1892; Company, Sandoval y Tavera, 2010).

2. El Cretácico superior del Port de Benifallim

2.1 Marco geográfico y primeros estudios geológicos

El Port de Benifallim se localiza al sur del mencionado municipio, lindando con los términos municipales de Penàguila y La Torre de les Maçanes. Dicho puerto separa la Sierra de Els Plans de las llamadas Sierras de Penàguila, siendo una vía de comunicación importante entre la costa y las zonas interiores de las comarcas de l'Alcoià i El Comtat.

Pertenece al denominado Sector Prebético Interno (o Prebético de Alicante) de la Cordillera Bética, que correspondió a un área proximal de los ambientes marinos relativamente profundos de la margen continental meridional de Iberia durante el Mesozoico (figura 3).

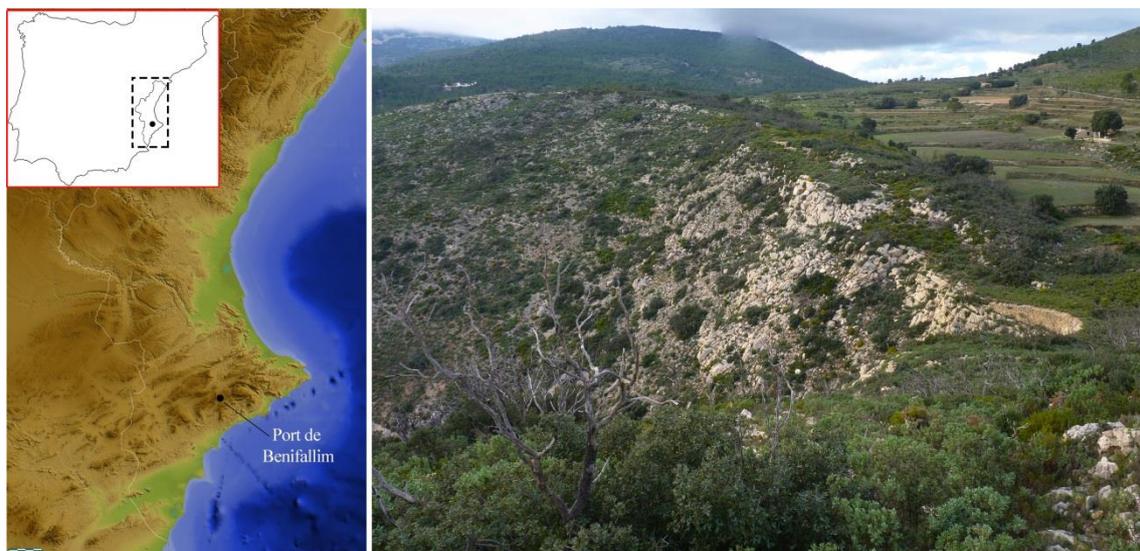


Figura 3: Ubicación del área de estudio, norte de la provincia de Alicante. A la derecha imagen de la formación caliza del Cenomaniense-Turonense del Port de Benifallim.

En las proximidades se localiza el Collado del Maigmó, que junto al Port de Benifallim y Mas del Baló, fueron las primeras localidades en la provincia donde se identificó, en el primer cuarto del siglo XX, el Cretácico superior a partir de la presencia del equinodermo *Stegaster Altus* (Visedo, 1922). Sobre los sedimentos de este periodo y en discordancia se describieron las margas verdes y calizas del Eoceno, donde C. Visedo recogió equinodermos del género *Conoclipus* muy bien preservados (Montoya y Sánchez, 2000: 250; Molina y Molina, 2021: 32; Peñalver y Segura, 2023). Estas investigaciones fueron retomadas décadas después por Bartolomé Darder Pericas, quien a través de C. Visedo visitó la zona e incorporó el Cretácico en el mapa geológico de la provincia de Alicante (Darder, 1945).

Si bien existen estudios desde inicios del siglo XX, las últimas investigaciones se han centrado en zonas periféricas como, por ejemplo, en la Torre de les Maçanes, Busot, la serra de Aitana o Alcoi, permitiendo una subdivisión estratigráfica de mayor detalle en determinadas formaciones geológicas del Cretácico superior (e.g. Company et al, 1982; Leret *et al.*, 1982; Martínez del Olmo *et al.*, 1982; Rodríguez Estrella, 1982; Vilas *et al.*, 1998; Martín-Chivelet, 1994; Vera, 2004; Chacón, 2002; Martín-Chivelet y Chacón, 2007). Esta subdivisión ha sido posible a partir de la identificación de discontinuidades sedimentarias y hardgrounds que permiten establecer cambios importantes en la configuración de la cuenca marina y, por tanto, ordenar la secuencia sedimentaria bajo criterios uniformes. En un reciente trabajo se ha aplicado estas subdivisiones al Collado del Maigmó, del cual forma parte el bloque del Port de Benifallim, por lo que remitimos al lector a este trabajo para profundizar en la compleja geología de la zona (Molina y Cardenal, 2022).

2.2 El Cretácico superior del Port de Benifallim

La evolución regional del Cretácico superior en el Prebético interno se caracterizó por una rápida transgresión marina en su parte inicial, así como por la elevada inestabilidad del fondo marino. Esta se debió a una fase distensiva que conllevó la reactivación de fallas lítricas que ocasionaron el levantamiento y hundimiento de determinados bloques, dando lugar a una sedimentación heterogénea tanto en los espesores como en la composición litológica (De Ruig, 1992). En efecto, la zona del Norte de Alicante manifiesta gran variabilidad de facies sedimentarias, sucediéndose áreas submarinas

elevadas en las que las secuencias sedimentarias, generalmente calizas, están incompletas o condensadas, junto a otras zonas hundidas en las que se depositaron espesores considerables de margas y margocalizas.

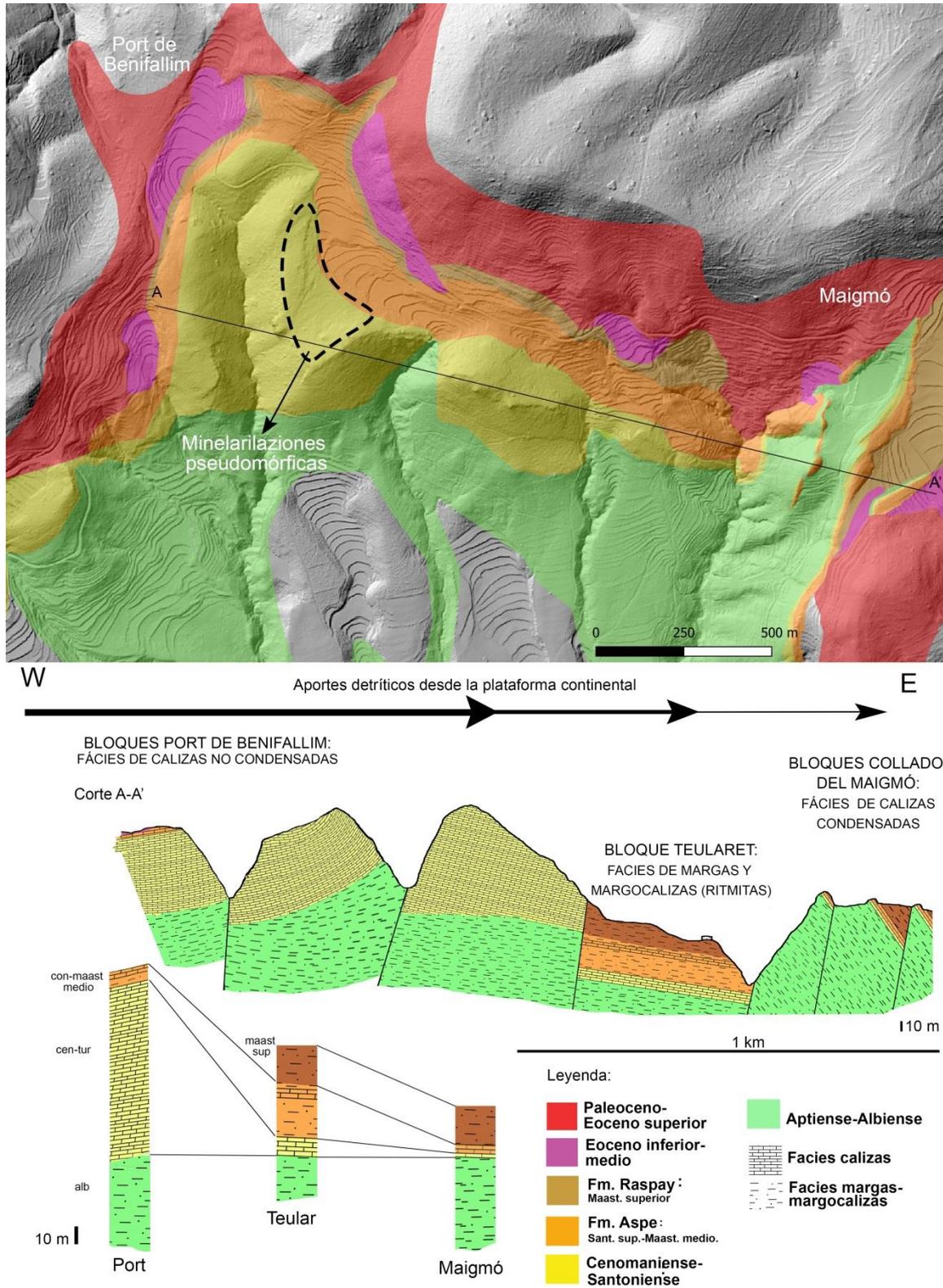


Figura 4: Corte geológico del Port de Benifallim-Maigmo.

Un claro ejemplo de estas facies heterogéneas es la comprendida entre el Port de Benifallim y El Collado del Maigmó (figura 4), donde se suceden una serie de bloques que durante el Cretácico superior estuvieron a diversas profundidades, determinando de esta forma la tasa de sedimentación, el contenido paleontológico y las litologías que se fueron formando. En efecto en la zona del Port de Benifallim hacia La Aitana pueden observarse un extenso y potente afloramiento de calizas del Cenomaniense-Maastrichtiense medio y margas con bancos de margocalizas del Maastrichtiense superior (figura 4). Estas dan paso hacia el Este (Teularet) a unos cambios en las facies sedimentarias tanto litológicas como en espesor que señalan la presencia de un bloque elevado. La principal consecuencia es que en este bloque durante el Cenomaniense-Turonense la tasa de sedimentación fue muy inferior, pasando de unos 60 m de potencia en el bloque de El Port a apenas 2 m en el bloque elevado de El Maigmó. Entre estos bloques elevados y hundidos se instaló un canal submarino (actual Barranc del Teularet) documentado a partir de la conservación de una potente serie de margas y margocalizas de la Formaciones Naveta y Aspe (Molina y Cardenal, 2023).

Centrándonos en el Port de Benifallim, interpretamos que la potente formación caliza del Cenomaniense-Turonense (Fm. Jaén) se constituyó en un ambiente que, aunque de cierta profundidad (aproximadamente 150 m según De Ruig, 1992:75), se caracterizó durante todo este periodo por un aporte constante de sedimentos desde la plataforma continental. La Fm Jaén se inicia en El Port con calizas grises con abundantes microfósiles (radiolarios) y ocasionalmente cefalópodos (figura 5). El resto de la formación está constituida igualmente por calizas de grano fino (micrita y esparita), aunque no contienen apenas restos fósiles y, en la zona del Port, están bastante karstificadas. Asimismo los hardgrounds descritos en la zona de El Maigmó, así como en otros afloramientos cercanos caso del de la Torre de les Maçanes (Chacón, 2002), no tienen tanto desarrollo en el Port de Benifallim, manifestándose con tenues y discontinuos niveles centimétricos de óxidos. Estas calizas dan paso a margocalizas y margas de la Fm Naveta, Aspe y Raspay, abarcando desde el Coniaciense al Maastrichtiense. Sobre este y en contacto discordante se presentan las margas verdes del Eoceno con *Conoclypus* y macroforaminíferos.

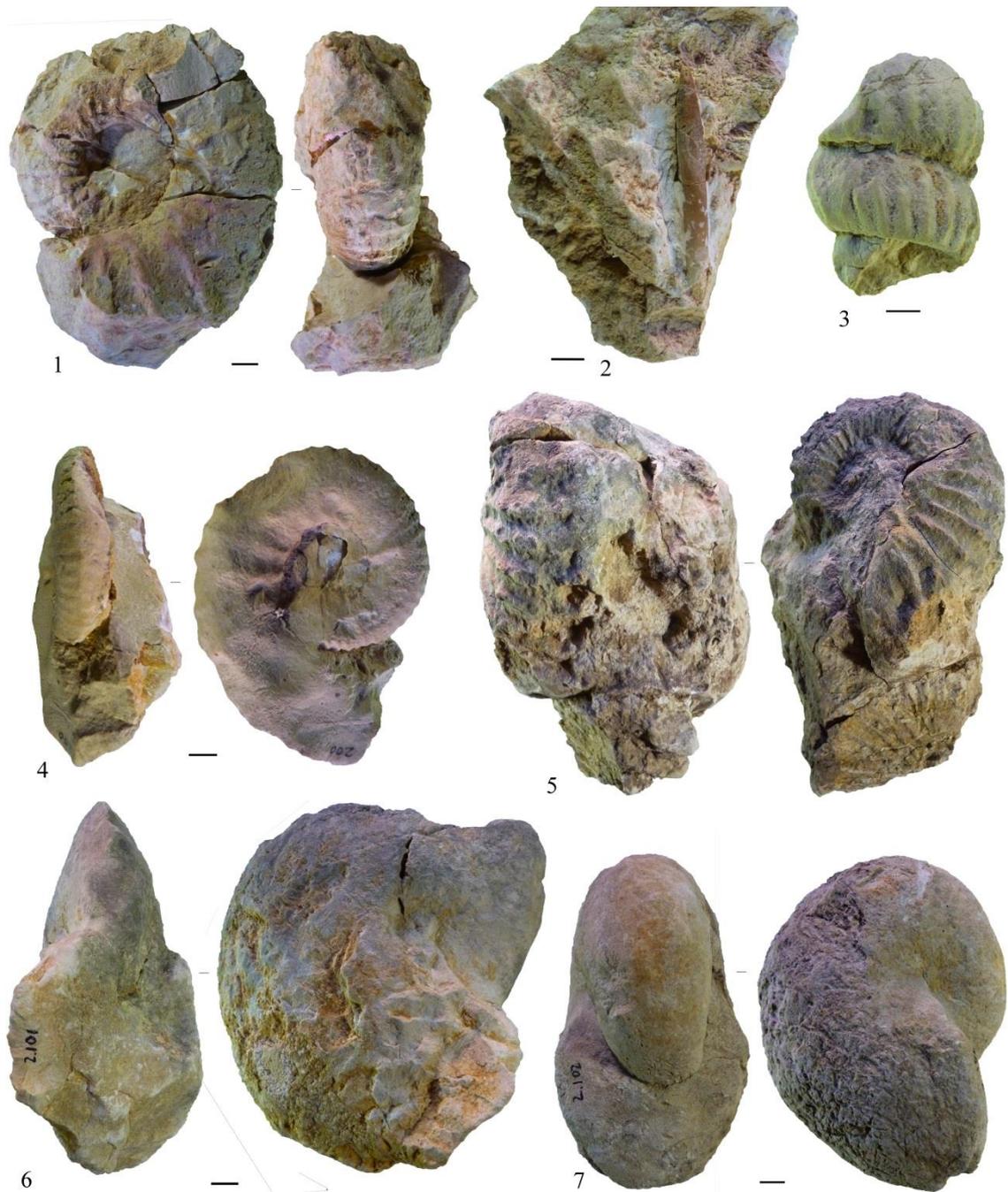


Figura 5: Ammonites del Cenomaniense inferior-Medio del Port de Benifallim: 1 y 5: *Acanthoceras sp*; 2.- *Hibolites sp*; 3.- *Turrilites Costatus*; 4.- ¿?; 6.- ¿?; 7.-¿?

Las concreciones o nodulizaciones de óxidos son frecuentes en los suelos endurecidos del Cretácico superior, aunque la presencia de minerales pseudomórficos no es tan común y se limitan en la zona de estudio a la parte superior de la Fm Jaén, es decir la secuencia de calizas blancas del final del Cenomaniense y Turoniense. Estas mineralizaciones se presentan como concreciones de diversa morfología, generalmente

esférica, aunque en ocasiones también de forma tubular o aplanada. Suelen estar huecas por dentro o presentar una zona interno menos mineralizada o porosa. Muchas de ellas no presentan cristalización, sino una superficie plana o irregular. Las que están cristalizadas presentan morfología de tipo cúbica, ocasionalmente formando maclas, u ortogonal (figura 6).

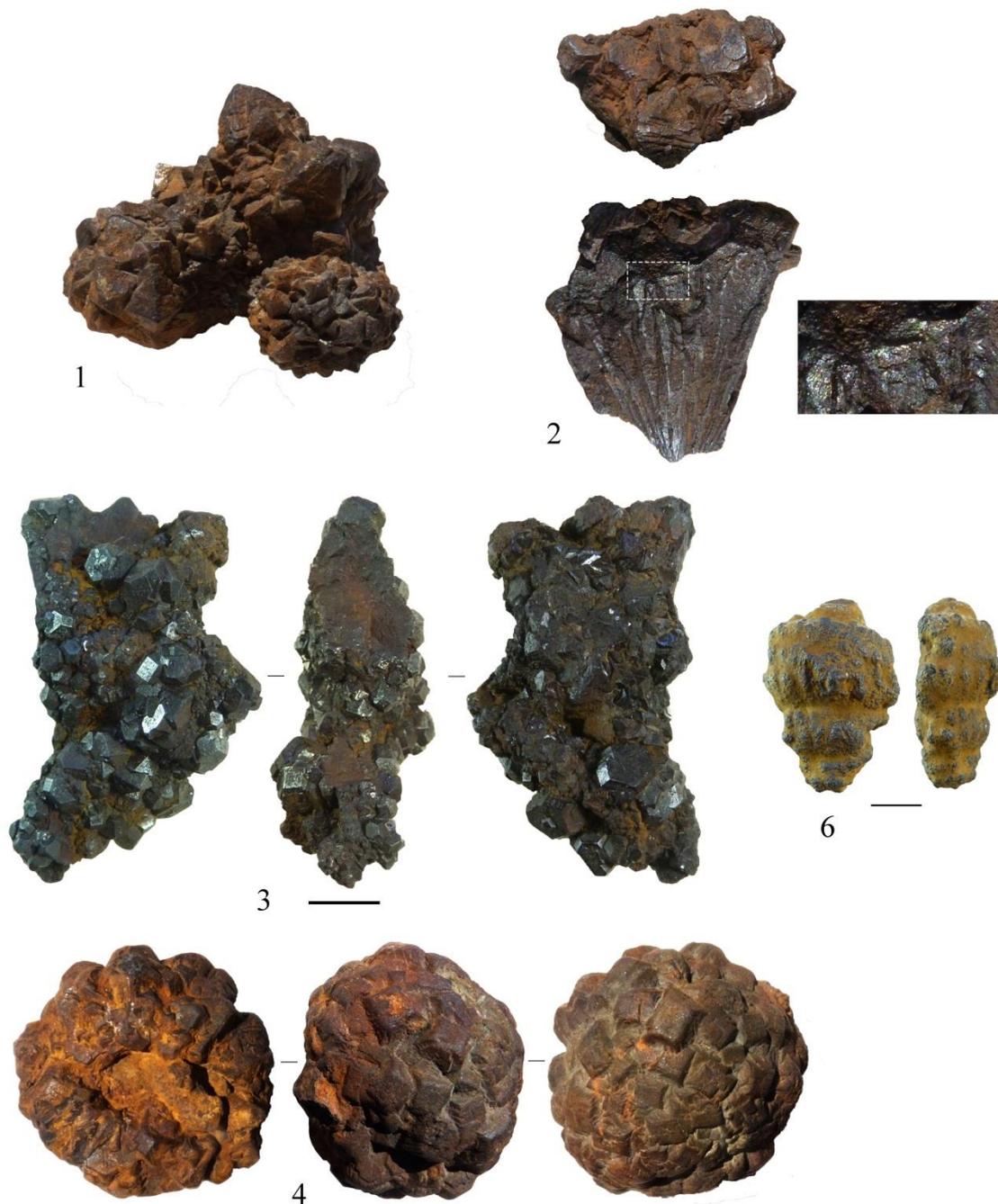


Figura 6: Mineralizaciones pseudomórficas del Port de Benifallim (Alicante). 1-6: Cristales idiomorfos pentagonododecaédricos de pirita o marcasita alterados en óxidos de hierro. 7: *Turrilites costatus* con sustitución y alteración pseudomórfica.

3. Conclusiones

La presencia de cristales idiomorfos pentagonododecaédricos de pirita o de marcasita es habitual en diferentes formaciones geológicas del Prebético interno de Alicante. Por lo común se hallan en superficie como consecuencia de la meteorización de la roca que los contiene. Este proceso provoca la rápida oxidación de la pirita, reemplazándola por óxido y/o hidróxido de Fe, es decir la oxidación del sulfuro que puede llegar a ser total. La pirita se forma en rocas sedimentarias en ambientes pobres en oxígeno, a través de la sulfuración de magnetita en presencia de fluidos que contienen azufre. Suelen ser entornos orgánicos, como el carbón, donde la materia orgánica en descomposición consume oxígeno y libera azufre. Por tanto, en determinados casos, son indicadores de un medio marino anaeróbico, que podría estar relacionado con la cada vez mayor profundidad del medio de sedimentación a lo largo de finales del Cenomaniense e inicios del Turoniense y la llegada a la zona de materia orgánica procedente de la plataforma continental que estaba a escasos kilómetros hacia el NW. En efecto, hacia finales del Cenomaniense se produjo una rápida transgresión marina debido a un evento distensivo que afectó al Prebético provocando el desarrollo de una plataforma marina cada vez más profunda (Chacón, 2002).

Los afloramientos de la provincia de Alicante de pirita o marcasita pseudomórfica son abundantes, sin embargo escasean las localidades en las que se encuentra sin alterar, es decir mostrando su color amarillo metálico típico (Casanova y Canseco, 2002). Estas se han localizado en determinadas canteras que explotan calizas del Cenomaniense-Turoniense, dada su reciente exposición a los agentes meteorológicos. Como ejemplos pueden citarse la Cantera Casablanca (San Vicente del Raspeig) o en El Cabeçonet (Cantera Holcim, en Busot). Pero lo normal, si no ha habido actividad de cantería reciente, es localizarlos como en el Port de Benifallim, caso de la Sierra de los Tajos (San Vicente del Raspeig). No obstante las características litológicas también deben haber influido en la conservación de estas mineralizaciones, ya que en el afloramiento de marcasita de El Alcavó (Agost) esta se conserva sin alteraciones debido probablemente a estar contenida en una roca muy compacta.

Como se ha referido, todas ellas se circunscriben a un momento geológico determinado entre el Cenomaniense-Turoniense y, probablemente, a unas condiciones ambientales y medio de sedimentación similar al descrito para el Port de Benifallim.

En definitiva las mineralizaciones pseudomórficas del Cenomaniense-Turonense del prebético interno de Alicante se formaron dado que se dieron ciertas condiciones favorables. En primer lugar la instalación de un medio marino profundo en la zona nerítica (uno 150 metros y próxima al litoral) a partir de finales del Cenomaniense. La proximidad al continente seguramente facilitó la llegada de abundante materia orgánica la cual se fue descomponiendo en un medio anaeróbico, dando así lugar a la formación de las mineralizaciones, influenciadas por los periodo de parada de llegada de sedimentos (formación de suelos endurecidos o *hardgrounds* y crecimiento de microorganismo estromatolíticos) y por la reactivación de la sedimentación. Esta fase de formación de mineralizaciones perduraría lo largo del Cretácico superior dependiendo de la profundidad y del aporte de sedimentos y de materia orgánica constatándose presencia de este tipo de mineralizaciones pseudomorfas hasta el Coniaciense, momento en que aumentaría más la profundidad y las calizas darían paso a las margocalizas y margas en un ambiente de sedimentación batial (superior a los 200 m de profundidad). Sin embargo, debido a la inestabilidad del fondo marino, existieron determinados bloques que mantuvieron las condiciones sedimentarias parecidas desde el Cenomaniense hasta el Maastrichtiense Medio, caso del Port de Benifallim, pudiendose documentar a lo largo de esta secuencia.

Bibliografía

ALMELA, A.; QUINTERO, I.; GÓMEZ, E.; MANSILLO, H.; CABAÑAS, I.; URALDE M^a. A. y MARTÍNEZ, W. (1973): *Mapa Geológico Nacional*, E: 1:50.000 (2^a Serie). Hoja nº 821 (Alcoy). IGME, Madrid.

Casanova, J. M. (2009): *La minería y mineralogía del Reino de Valencia a finales del periodo Ilustrado (17246-1908)*. Tesis Doctoral. Universidad de Valencia. Servicio de publicaciones, 748 páginas.

Casanova, J.M. y Canseco, M. (2002): *Minerales de la Comunidad Valenciana*. Caja de Anorros del Mediterraneo. Alicante.

CAVANILLES, J.A. (1795): *Observaciones sobre la Historia Natural, Geografía, Agricultura, Población y Frutos del Reyno de Valencia*. Imprenta Real, Madrid.

CHACÓN, B. (2002): *Las sucesiones hemipelágicas del final del Cretácico e inicio del Paleógeno en el SE de la Placa Ibérica: estratificación de eventos y evolución de la cuenca*. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid.

COLODRÓN, I. y RUIZ, V. (1980): *Mapa Geológico de España*, 1/50.000. Hoja núm. 847 (Villajoyosa). Ed. Ministerio de Industria y Energía. Madrid.

COMPANY, M.; GARCÍA-HERNÁNDEZ, M.; LÓPEZ-GARRIDO, A.C.; VERA, J.A. y WILKE, H. (1982): Análisis y distribución de facies del Cretácico inferior del prebético en la Provincia de Alicante. *Cuadernos de Geología Ibérica*, Vol. 8, pp. 563-578.

COMPANY, M.; SANDOVAL, J. y TAVERA, J. M. (2010): Revisión de las especies de ammonites del Barremiense de la Querola (Cocentaina, SE de España) descritas por R. Nicklès (1890-94). *Isurus*, nº 3, pp. 18-26.

DARDER, B. (1945): Estudio geológico del sur de la provincial de Valencia y norte de la de Alicante. *Bol. Inst. Geol. España*, Madrid, t. LVII, nº 1, pp.1-304; t. LVII, nº 2, pp. 307-775.

DE RUIG, M. J. (1992): *Tectonosedimentary evolution of the Prebetic fold belt of Alicante (SE Spain)*. Tesis doctoral, Univ. Libre de Ámsterdam, 207 p.

Fraile Rodrigo, J. y Calvo Rebollar, M. (2017): Pseudomorfosis: cuando los minerales ya no son lo que eran. *Revista de Minerales*, 6, (6), 8-30.

Haiüy, R.J. (1801). *Traité de Mineralogie*. Chez Louis. p. Vol. I, 140-145.

LERET, G.; CÁMARA, P. y LERET, I. (1982): Aportación al conocimiento Estratigráfico y sedimentológico Del Cretácico en la Zona Prebética oriental (transversal de Villena-Alicante). *Cuadernos de Geología Ibérica*, 8: 465-599.

Lozano, R. P.; Jiménez, R.; González R.; Paradas, A. y Baeza, E. (2011): Revisión de la terminología utilizada en la exposición pública de minerales españoles del Museo Geominero (IGME, Madrid). *Boletín Geológico y Minero*, 122 (1): 49-70.

MARTÍN-CHIVELET, J. (1994): Litoestratigrafía del Cretácico superior del Altiplano de Jumilla-Yecla (Zona Prebética). *Cuadernos de Geología Ibérica*, nº 18, pp. 117-173.

MARTÍN-CHIVELET, J. y CHACÓN, B. (2007): Event stratigraphi of the upper Cretaceous to lower Eocene hemipelagic sequences of the Prebetic Zone (SE Spain): record of the onset of tectonic convergence in a passive continental margin. *Sedimentary Geology*, nº 197, pp.141-163.

MARTÍNEZ DEL OLMO, W.; LERET, G. y MEGÍAS, A. G. (1982): El límite de la plataforma carbonatada del Cretácico Superior en la zona prebética. *Cuadernos de Geología Ibérica*, nº 8, pp. 597-614.

MOLINA, F. J. y MOLINA, M. (2021): *Benifallim. Historia Natural de un municipio de la montaña alicantina*. Ed. Serradals, 498 pp.

Molina, F.J. y Cardenal J.C. (2023): El Collado del Maigmó-Mas de Teularet (Penàguila, Alicante): Un canal submarino del Cretácico superior. *Isurus* nº 15, pp. 16-36.

MONTOYA, P. y SÁNCHEZ, E. J. (2000): Camilo Visado: Coleccionista e Investigador. En Aura J. E. y Segura J. M. (coords.): *Catálogo del Museu Arqueològic Municipal Camil Visado Moltó*. Alcoi, 275 p.

NICKLÉS, R. (1892): Recherches géologiques sur les terrains secondaires et tertiaries de la Province d'Alicante et du sud de la Province de Valence. *Ann. Hébert. Ann. Strat. Pal. Lab. Geol. Fac.Sc.*, tomo 1, 220 p., Paris

Peñalver, E. y Segura J. M.: (2023): La colección paleontológica Camilo Visado Moltó (Alcoi, Alicante) y la paleontología en Alcoi durante la primera mitad del siglo XX. *Recerques del Museu d'Alcoi*, 2022, Vol. 1, Núm. 31, p. 7-52.

RODRÍGUEZ ESTRELLA, T. (1982): Paleogeografía de la zona Prebética durante el Cretácico. *Cuadernos de Geología Ibérica*, nº 8, pp. 615-633.

VERA, J. A. (2004): Geología de la Cordillera Bética. En Alfaro, Andreu, Estévez, Tent Manclús y Yébenes (eds.): *Geología de Alicante*, pp. 15-36, Universidad de Alicante.

VERA, J.A.; ARIAS, C.; GARCÍA-HERNÁNDEZ, A.C.; LÓPEZ GARRIDO, A.C.; MARTÍN-ALGARRA, A.; MARTÍN-CHIVELET, J.; MOLINA, J.M.; RIVAS, P. RUIZ-ORTIZ, P.A.; SANZ DE GALDEANO, C. y VILAS, L. (2004): Las Zonas Externas Béticas. En Vera, J.A. (ed.): *Geología de España*. SGE-IGME, pp. 354-372, Madrid.

VILAS, L.; MARTÍN-CHIVELET, J.; ARIAS, C.; GIMÉNEZ, R.; RUIZ-ORTÍZ, P. A.; CASTRO, J. M.; MASSE, J. P. y ESTÉVEZ, A. (1998): Cretaceous carbonate platforms of the Spanish Levante. *Sedimentary evolution and sequence stratigraphy. 15th IAS International Congress of Sedimentology*. Alicante, Universidad de Alicante.

VISEDO, C. (1922): Notas geológicas, paleontológicas y orogénicas. En (R. Visado): *Historia de Alcoy y su región*. Alcoy, Imprenta El Serpis, pp. 36-64.