

# El registro Mioceno postectónico (Serravaliense y Tortoniense) de la isla de Mallorca (Mediterráneo occidental): ordenación estratigráfica y paleoambientes

Bernat MOREY

## SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA  
NATURAL DE LES BALEARS

Morey, B. 2021. El registro Mioceno postectónico (Serravaliense y Tortoniense) de la isla de Mallorca (Mediterráneo occidental): ordenación estratigráfica y paleoambientes. In: Pons, G.X., Vicens D. i del Valle, L. (edit.). La Història Natural de les Balears i Andreu Muntaner Darder. *Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 33: 213-238. ISBN 978-84-09-33509-1. Palma (Illes Balears).

Los trabajos de catalogación y caracterización del patrimonio paleontológico de Mallorca aportan significativos registros inéditos para interpretar el conjunto Mioceno postectónico de la isla. El registro serravaliense continental-lagunar se observa posterior al orógeno alpino estructurado. La transgresión marina Tortoniense (entrada de *Neogloboquadrina acostaensis*) se manifiesta en superficie con conglomerados con *Crasostrea* sp. y calcilitutas con *Heterostegina* sp. (Sintema T1) según situación respecto del relieve emergido. Tras discontinuidad estratigráfica evidente y generalizada se documenta un segundo ciclo tortoniense o T2. Este se significa con margas con ostreidos y calcarenitas con *Borelis melo* en zonas con más influencia del orógeno emergido y con un potente complejo carbonato-arrecifal en aguas más limpias. Este ciclo finaliza con nuevo registro lagunar-restringido y nueva superficie erosiva en respuesta a un nuevo enfriamiento climático a nivel global-mediterráneo (finitortoniense. Tránsito Tortoniense/Messiniense). Los paleoambientes documentados refuerzan la ordenación estratigráfica propuesta con dos registros sedimentarios restringidos/lagunares (Serravaliense, fini Tortoniense) seguidos de sendos episodios marinos (Tortoniense y Messiniense) y dos ciclos infralitorales intermedios (Tortoniense I y Tortoniense II).

**Palabras clave:** *Serravaliense, Tortoniense, Mallorca, estratigrafía secuencial, paleoambientes.*

EL REGISTRE MIOCÈ POSTECTÒNIC (SERRAVAL-LIÀ I TORTONIÀ) DE L'ILLA DE MALLORCA (MEDITERRÀNIA OCCIDENTAL): ORDENACIÓ ESTRATIGRÀFICA I PALEOAMBIENTS. Els treballs de catalogació i caracterització del patrimoni paleontològic de Mallorca aporten significatius registres estratigràfics inèdits per a interpretar el registre Mioce postectònic de l'illa. El registre serraval-lià continental-llacunar se considera postectònic respecte de l'orogen alpí estructurat. La posterior transgressió marina tortoniana (entrada de *Neogloboquadrina acostaensis*) es manifesta en superfície amb conglomerats amb *Crasostrea* sp. i calcilitutes amb *Heterostegina* sp. (Sintema T1) segons situació respecte del relleu emergit. Rera discontinuïtat estratigràfica clara i generalitzada es documenta un segon cicle Tortonià -T2 (Sintema T2). Aquest comprèn margues amb ostrèids i calcarenites amb *Borelis melo* en les zones amb més influència de l'orogen emergit i un important Complex Carbonat-arrecifal en aigües més netes. El Tortonià finalitza amb un nou registre llacunar i una nova superfície erosiva (T/M) en resposta a un nou refredament climàtic a nivell global/mediterrani. Els paleoambients documentats reforcen l'ordenació estratigràfica proposta amb dos registres sedimentaris restringits/llacunars (Serraval-lià, fini Tortonià) seguits de respectius episodis marins (Tortonià, Messinià) i dos cicles infralitorals intermitjans (Tortonià I

i Tortonià II).

**Paraules clau:** *Serraval·lià, Tortonià, Mallorca, estratigrafia seqüencial, paleoambients.*

THE POST-TECTONIC MIOCENE (SERRAVALLIAN AND TORTONIAN) OF MALLORCA ISLAND (WESTERN MEDITERRANEAN): STRATIGRAPHIC ORDERED AND PALAEOENVIRONMENTS. The cataloguing and characterization of the Paleontological heritage of Mallorca island contribute to unpublished stratigraphical record are useful to interpret and to order the post orogenic miocene registry. The documented serravallian record (continental and lagoon) is considered not being implied in the Alpine structure of the island (post tectonic record). A late Tortonian marine transgression (*Neogloboquadrina acostaensis* entry. TI Synthem) is registred on surface with conglomerates with *Crasostrea* sp. and limestone with *Heterostegina* sp according localization respect emerged relief. After stratigraphic unconformity a new coastal tortonian marine cycle (TII Synthem) is documented. These new littoral sedimentation comprise marls and oyster, limestone with *Borelis melo* and Carbonate-Arrecifal Complex according emerged relief. The end of Tortonian periode (Tortonian/Messinian global climatic cooling) it manifested with a restricted lagoon record and erosive surface. The resulting paleoenvironmental diversity reinforces the stratigraphic ordering, signifying two restricted records (Serravallian, end Tortonian) followed by respective marine cycles (Tortonian, Messinian) and infralittoral tortonian Synthems (Tortonian I and Tortonian II).

**Key words:** *Serravallian, Tortonian, Mallorca, sequential stratigraphy, paleoenvironments.*

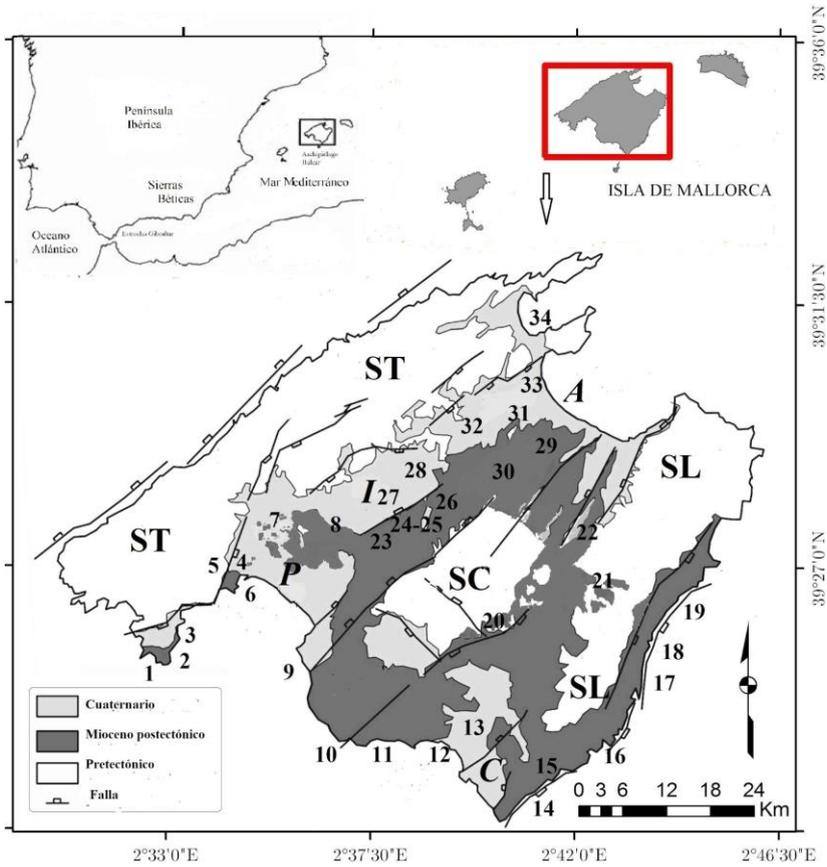
*Bernat MOREY Colomar. Departament de Geografia (UIB); Societat d'Història Natural de les Balears (SHNB); Associació de Geòlegs de les Illes Balears. E-mail: bernatmoreycolomar@yahoo.es*

## Introducción

La isla de Mallorca es la mayor zona emergida del archipiélago balear, prolongación Este de las Sierra Béticas hacia el centro del Mediterráneo occidental (Fallot, 1922; Fornós y Gelabert, 2004) (Fig. 1). La isla es una combinación de horsts y grabens estructurados por la orogenia alpina (25-13 Ma) (Gelabert, 1997). El periodo distensivo actual se inicia en el Serravalliense (13.82-11.63 Ma) (Mourik, 2010) y se manifiesta con fallas que afectan al orógeno alpino y a las plataformas carbonato-arrecifales miocenas adosadas a los relieves emergidos (Álvaro *et al.*, 1984; Pomar *et al.*, 1983; Benedicto, 1994).

El registro mioceno de Mallorca es conocido desde el siglo XIX (Haime, 1855; Hermite, 1879; Fallot, 1922) si bien sus registros serravalliense y tortoniense no se definen hasta con los estudios micropaleontológicos de Colom (1966, 1967) y Bizon *et al.* (1967). Mateu (1982) en sondeo en la Albufera de Mallorca (Fig. 1) diferencia la transgresión marina tortoniense con *Globorotalia acostaensis* (actual *Neobloboquadrina acostaensis*) del posterior Messiniense marino con *Globorotalia mediterranea*.

Colom (1985), también en sondeos y para la cuenca de Palma, documenta un episodio litoral con *Borelis melo* seguido de registro lagunar restringido anterior a la entrada de *Globorotalia mediterranea*. El conjunto se observa superado por la transgresión marina pliocena y fosilizado por sistemas dunares y aluviones Plio-Pleistocenos (Fornós *et al.*, 1991; Morey *et al.*, 2009; Morey, 2016).



**Fig. 1.** Mapa geológico de Mallorca (Gelabert, 1997) y principales localidades estudiadas (Nº en Tabla 2).

**Fig. 1.** Geologic map of Majorca (Gelabert, 1997) and main studied localities (numeration in Table 2).

Edad/estudios	Pomar <i>et al.</i> (1983)	Álvaro <i>et al.</i> (1984)	Simó y Ramon (1984)	Otros
Messiniense Tortomessiniense	Calizas Pont d'Inca Calizas Santanyí. Margas Bonanova. Margas grises	Complejo Terminal	Calizas Santanyí. Margas de la Bonanova. Diatomitas blancas	U. García Yagüe y Margas ocreas (García Yagüe y Muntaner, 1968).
Tortoniense. Torto-messiniense	U. Arrecifal. Calizas con <i>Heterostegina</i> sp.	Complejo arrecifal. Capa con <i>Heterostegina</i> sp.	U. Arrecifal de Cap Blanc. U. Carbonática de Cala Pi. Capa con <i>Heterostegina</i> sp.	Calcilititas y <i>Heterostegina</i> sp. (García Yagüe y Muntaner, 1968).
Serravaliense	Calizas Sa Verdera. Margas de Pina. Limos de Manacor	Unitat Carbonàtica. Margas con yesos	Calizas Sa Verdera. Margas con yeso. Conglomerados Sta Margalida. U. Carbonatada. Manacor.	Burdigaliense superior lacustre. Colom (1967).

**Tabla 1.** Familias sedimentarias en el Serravaliense y Mioceno postectónico de Mallorca según Pomar *et al.* (1983), Álvaro *et al.* (1984), Simó y Ramón (1986) y otros autores.

**Table 1.** Sedimentary families for the postectonic Miocene of Majorca (Serravallian and Tortonia-Messinian) according Pomar *et al.* (1983), Álvaro *et al.* (1984), Simó and Ramón (1986) and other.

**Tabla 2.** Numeración de Fig. 1, perfiles estudiados y coordenadas UTM.

	LIPS Miocenos	Coord. UTM	Estudio
1	Banc d'Eivissa	455328-4369217	Butzer (1975)
1	<b>Rafaubeix</b>	457106-4372072	Morey y Ripoll (2009)
2	Portals Vells	458938-4369421	Pomar <i>et al.</i> (1983). P.
3	Cala Falcó	460222-4371680.	Morey y Ripoll (2009)
6	Portopí	467453-4377520	Pomar <i>et al.</i> (1983).
5	Bellver	467336-4374596	Morey <i>et al.</i> (2009)
4	Ardiaca	468838-4382368	Morey <i>et al.</i> (2009). Mas (2015)
7	Es Figueral-Caülls	476800-4386753	Fallot (1922). Morey <i>et al.</i> (2009)
7	<b>Sant Marçal</b>	478000-4386300	Barnolas <i>et al.</i> (1991). P.
8	<b>Mina Carolina</b>	479930-3888000	
9	Morería	477800-4728200	Simó y Ramón (1986). Mas (2015)
10	Cap Blanc	480500-4359350	Pomar (1988; 1991)
11	Cala Pi	488000-4357200	Pomar (1988; 1991)
12	Sa Ràpita	495785-4357045	Morey (2011). Mas (2015)
13	Serralt	436300-4999500	Morey (2011). Mas (2015)
14	Cala Llombards	512263-4352997	Fornós (1983)
14	Es Pontàs.	512300-4353000	Fornós (1983)
15	Cala Santanyí	512900-4353500	Fornós (1983)
15	Cala Figuera.	513100-4353250	Fornós (1983)
16	<b>Cala Sa Nau</b>	521500-4360600	
16	<b>Cala Bràfia</b>	522010-4361400	
17	<b>Cala Murada</b>	523900-4365373	
17	Cala Antena	524000-4367700	Robledo (2005)
18	<b>Cala Magraner</b>	524900-4370950	
18	<b>Cala Varques</b>	525600-4372400	
18	<b>Cala Falcó</b>	525906-4372935	
19	Cala Murta	527330-4375500	Fornós (1983)
19	<b>Porto Cristo</b>	529193-4377066	
19	<b>Cala Morlanda</b>	532324-4377928	
20	Porreres	508500-4326050	Morey (2010)
21	<b>Manacor</b>	512060-4386000	Pomar <i>et al.</i> (1983)
22	<b>Sa Vall</b>	511500-4383380	
23	<b>Costes Son Palou</b>	493500-4386000	Morey (2013)
24	<b>Ruberts</b>	494500-4386300	
25	<b>Pina</b>	494900-4383600	Bauzá (1978)
26	<b>Sineu</b>	500300-4388200	
27	<b>Son Seguí</b>	485300-4389200	Morey y Mas (2009)
28	<b>Costitx</b>	495500-4389600	
28	<b>Son Corró-Costitx</b>	494500-4389600	
29	<b>Sta. Margarida</b>	572111-4395450	Colom (1975)
29	<b>Teulada</b>	572111-4395450.	Bauzá (1978)
30	<b>Ariany arrecifal</b>	510000-4389900	Barnolas <i>et al.</i> (1991)
31	<b>Muro</b>	505000-4398000	Barnolas <i>et al.</i> (1991). P.
32	<b>Llubí, Sa Verdera</b>	500100-4394500.	Mas (2015)
33	Albufera	572111-4395450.	Mateu (1982)
34	La Victòria	513147-44137880	Bizon <i>et al.</i> (1967)

La escasez de datos cronoestratigráficos y de bioindicadores planctónicos dificulta la interpretación del registro mioceno postectónico estudiado y su correlación con el registro mediterráneo coetáneo (Mateu, 1982; Alvaro *et al.*, 1984). Sin embargo los estudios de Pomar (1988, 1991) y de Pomar y Ward (1991, 1994) en el Complejo Carbonato-arrecifal

Torto-messiniense de Lluçmajor (Fig. 1) permiten adaptar las secuencias acrecionales miocenas a los cambios relativos del nivel del mar (Haq *et al.*, 1987). Estos estudios identifican un ciclo TB 3.1 (*Calcsiltitas con Heterostegina*. Tortoniense), un ciclo TB 3.2 (*Arrecifal*. Tortomessiniense) y un último ciclo TB 3.3 (*Complejo Terminal*. Messiniense).

Los estudios de Robledo (2005), Mateu Vicens (2007), Arenas y Pomar (2010) o Mas (2015) siguen las propuestas de Pomar *et al.* (1983) o Simó y Ramón (1986) contemplando la sedimentación Serravaliense como sintectónica y el registro mioceno posterior con 6 familias sedimentarias no siempre coincidentes (Tabla 1).

Los trabajos de catalogación y caracterización del patrimonio paleontológico de Mallorca llevados a cabo en estos últimos años (Morey *et al.*, 2009; Morey y Ripoll, 2009; Morey, 2010; 2011; 2013) abarcan todas las plataformas y cuencas miocenas de la isla. Se documenta un registro bastante continuo pero irregular que no se manifiesta por igual en todas las cuencas y plataformas estudiadas (Morey, 2013; 2016). Observando todo este registro catalogado en este estudio se pretenden alcanzar estos objetivos:

- Ordenar el registro estratigráfico mioceno postorogénico de la isla de Mallorca en base a la deposición cíclica de carbonatos y construcciones arrecifales (clima cálido) y registro lagunar/restringido (regresión marina/enfriamiento climático).

- Diferenciar los registros correspondientes a las regresiones marinas serravaliense y finitortoniense de los respectivos ciclos marinos anteriores y posteriores.

- Superar la diferenciación paleogeográfica propia de un registro sujeto a tectónica extensional.

- Adaptar en lo posible la ordenación estratigráfica propuesta al registro mediterráneo coetáneo.

- Realizar una primera interpretación paleoambiental del registro estudiado que refuerce la ordenación estratigráfica propuesta.

## Materiales y métodos

Los trabajos llevados a cabo en el patrimonio paleontológico de Mallorca han supuesto la prospección sistemática de los 3.600 km<sup>2</sup> de la isla (5 recorridos por km<sup>2</sup>. 2006-2016. Map. Top. Nacional 1: 25000; Mapas geológicos-Proyecto Magna). Se ha trabajado con el sistema de coordenadas UTM (GPS Garmin eTrex Summit HC, cartografía digital Topo España V.3.0, BCN 1:25.0000 modelo MDT25-Datum Eur. 1950), con el Sistema Geodésico Mundial 1984-programa *Google Earth* y con el visualizador de les Illes Balears (*IDEIB*. <http://ideib.Caib.es/visualitzador.jsp>).

Para el conjunto mioceno estudiado y en las plataformas litorales (Lluçmajor, Llevant, etc.) (Fig. 1) se han catalogado como mínimo un LIP o perfil por cada kilómetro de litoral. En las plataformas interiores (Sineu, Porreres) (Fig. 1) se seleccionan los perfiles más relevantes a nivel estratigráfico o faunístico. Se seleccionan también los mejores contactos estratigráficos

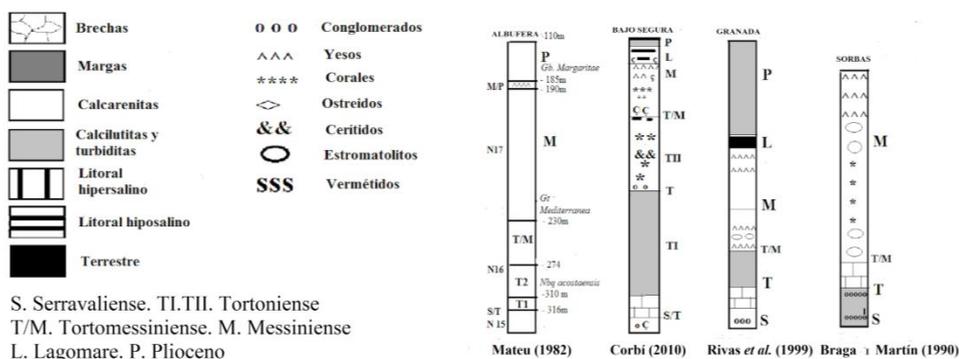
Los perfiles estratigráficos se describen o resumen de forma sintética y ordenada, de base a techo, observando paleofacies, potencia, tipo de material, fauna. etc. (Fig. 2). La identificación de las distintas unidades estratigráficas se realiza a partir de los estudios de Pomar *et al.* (1983); Fornós (1983); Álvaro *et al.* (1984) o Simó y Ramón (1986).

La correlación entre paleofacias y medios sedimentarios se aborda desde su integración en secuencias de depósito donde cada Sintema o ciclo estratigráfico se entiende como un cuerpo rocoso limitado por discontinuidades significativas a nivel regional (Chang, 1981; Salvador, 1984; Tent Manclús, 2003; Corbí *et al.*, 2016). Este sistema de correlación se considera adecuado para el registro estudiado al haberse aplicado con éxito en registros equivalentes del entorno mediterráneo cercano (Roveri *et al.*, 1998-Mioplíoceno italiano; Tent Manclús, 2003; Soria *et al.*, 2008a; 2008b; Corbí y Soria, 2016; Corbí *et al.*, 2016-Mioceno del Bajo Segura; Corbí *et al.*, 2012-Mioceno de Granada).

La ordenación estratigráfica propuesta se adapta al registro mediterráneo coetáneo a partir de las propuestas de Haq *et al.* (1987) o Krijgsman *et al.* (1994; 1999) para la isla de Creta, de van Dam *et al.* (2006), Hilgen *et al.* (2000; 2005) en Monte dei Corvi (Italia) o de Brandano *et al.* (2016) para Menorca. Los datos en superficie se han comparado con los datos en sondeos de Mateu (1982) para la albufera de Mallorca y los también en sondeos de Colom (1985), Simó y Ramón (1986), Benedicto (1993) y Pomar *et al.* (1983) para las cuencas de Palma, Inca o Manacor (Fig. 2).

La interpretación ambiental (que justifica también la ordenación estratigráfica) se basa en los estudios micropaleontológicos de Mateu (1982), Bagkley (2000), Sierro *et al.* (1993), Corbí (2010), Corbí y Soria (2016), Colom (1985) o Barnolas *et al.* (1991), en el estudio de las acumulaciones de moluscos infralitorales (ostréidos y cerítidos) (Gómez llueca, 1919; Anadón, 1954; Bauzá, 1978; Aguirre 2003; Rivas *et al.*, 1999; Jiménez *et al.*, 1991) y de las construcciones arrecifales (tanto locales como del entorno mediterráneo cercano) según los estudios de Esteban (1979), Mankiewicz (1988), Pomar (1988; 1991), Montenat (1990), Pomar y Ward (1991), Braga *et al.* (1996; 2009), Mateu-Vicens (2007), Arenas y Pomar (2010) o Bosellini *et al.* (2001).

La descripción y ordenación de los perfiles se realiza de manera esquemática, para poder abarcar la mayoría del registro de la isla. Se pretende así proporcionar una visión global del conjunto, fundamental para interpretar un registro tan distendido como es el registro postectónico de Mallorca (Morey, 2013).



**Fig. 2.** Lectura de los perfiles. Albufera de Alcúdia por Mateu (1982) y perfiles coetáneos en el mioceno del Levante mediterráneo de la Península Ibérica

**Fig. 2.** Interpretation of Alcúdia lagoon profile (Mateu, 1982) and contemporary Miocene record of mediterranean of Iberian Peninsula

## Discusión y resultados

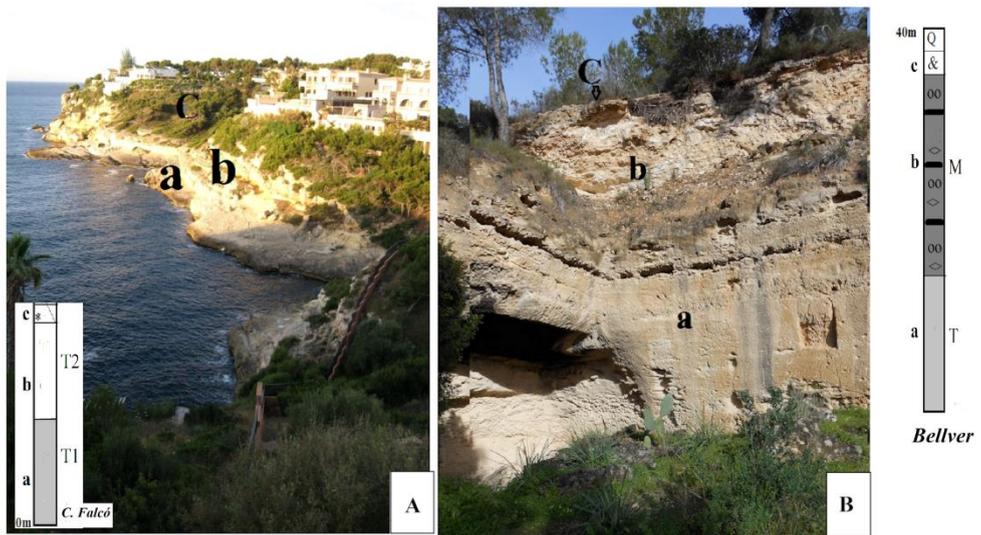
### Descripción esquemática de los perfiles estratigráficos estudiados

*Plataforma del Rafaubeix.* (0-25m). SW de Mallorca (Figs. 1 y 3A).

Descrita y trabajada a partir los estudios de B-Banc d'Eivissa (Rosselló y Cuerda, 1973; Butzer, 1975); P-Portals Vells (Fig. 3a) (Pomar *et al.*, 1983; Bauzá, 1978) y propios Rf-Rafaubeix (Fig. 4A); F: Cala Falcó-F (Morey y Ripoll, 2009; Morey, 2013).

De base a techo se observan:

- a) 10 m. Calcisiltitas y calcilitas blanco amarillas bioturbadas con *Heterostegina* sp. P. F
- b) 7 m. Calcarenitas blancas con rodófitos, equínidos (*Amphiope bioculata*) y dientes de peces. P.
- c) 5 m. Calizas micríticas y calcarenitas-*framestone* de corales (*Porites* sp.). F.
- d) 4 m. Calizas duras con moldes de gasterópodos y cardítidos. B.
- e) 4-7 m. Margas ocres con intercalaciones de limos, arcillas rosadas y *Ostrea* sp. B.
- f) 90 m. Calcarenitas y playas fósiles pliocenas y cuaternarias (5 hemisiclos). B.



**Fig. 3.** A) Cala Falcó (Tortonense). B) Bellver. Tortonense (a), aluviones con *Crassostrea* sp (b-tránsito T/M) y unidad de cerítidos (c).

**Fig. 3.** A). *Cala Falcó.* (Tortonian). B). *Bellver.* Tortonian (a), alluvium with *Crassostrea* sp. (b-T/M boundary) and *Turritella/Cerithium* sp. unity (c).

### Cuenca de Palma

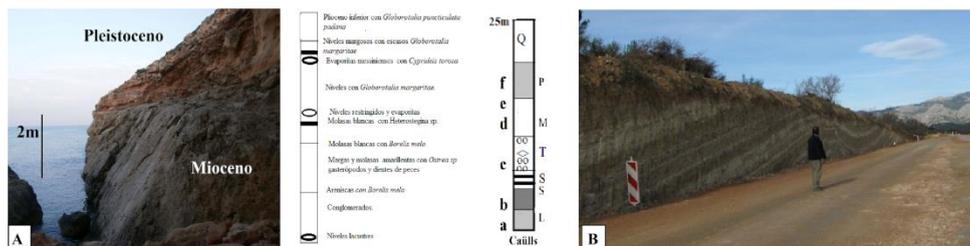
Estudiada en sondeos por García Yagüe y Muntaner (1968) o Colom (1985) y en superficie en Be-Bellver-Bonanova (Fig. 3B), A-Ardiaca-Porto Pi (Morey *et al.*, 2009; Mas, 2015) y Cü-Cañills-CA-Mina Carolina (Barnolas *et al.*, 1991) (Fig. 4B). Descripción resumida a partir de los perfiles comentados y ordenación propia.

*Perfil de Bellver.* 100-145 m. (Fig. 3B).

- a). 30-40 m. Limolitas beigeas bioturbadas con *Globigerinoides obliqua*.
- b). 6-10 m. Ritmitas de margas ocreas con ostréidos (*Crassostrea* sp.) y niveles decimétricos de conglomerados con aluviones rosados.
- c). 0.7 m. Lumaquela/ *pakhestone* de gasterópodos (*Turritella* sp.) de matriz calcarenítica.

*Perfiles de A-Ardiaca (A. 25 m) y Pp-Porto Pi-Marivent (P. 0-17 m).*

- a). Bioconstrucción arrecifal. Calcáreas de corales y rodófitos. 9 m en el començament de la unitat a- calcàries arrecifals. Calizas arrecifales-*framestone* de *Porites* sp. y *Tarberastraea* sp. A.
- b). Estromatolitos/superficie erosiva. A. Pp.
- c). 2-7 m de margas blancas-ocreas (*Fm. Margas Bonanova*. Fornós *et al.*, 1991). Ritmitas de limos, calcilutitas y margas amarillas con grandes pectínidos. A. Pp
- d). 2-3 m. Calcarenitas, arrecifes de vermétidos y oolitas y moldes de cardítidos. A. Pp
- e). 2 m de calizas oscuras y densas diagnizadas, recrystalizadas y estratificadas. A. Pp
- f). Margas beige masivas planctónicas bioturbadas. Transgresión marina pliocena. A.



**Fig. 4.** A). Falla en el Mioceno de Rafabeitx. B). Perfil de la cuenca de Palma según Colom (1985) y Barnolas *et al.* (1991). C). Margas serravallienses plegadas y falladas des Caülls bajo aluviones con *Crassostrea* sp.

**Fig. 4.** A). *Rafaubeitx* (Miocene fault. B) *Palma basin* survey according to Colom (1985) and Barnolas *et al.* (1991). C). *Es Caülls*. Serravallian marls folded and faulted under alluvium with *Crassostrea* sp.

*Perfiles de Caülls-St. Marçal (Cü. Fig. 4B) y Mina Carolina (Ca. 100 m).*

A partir de del perfil de Barnolas *et al.* (1991) en sondeo y perfil propio en superficie.

- a). Margas blancas bioturbadas con fauna planctónica. Langhiense. Cü. Ca.
- b). 10-15 m. Margas arenosas grises y verdes con yeso plegadas y falladas. Cü. Ca.
- c). 10-12 m. Areniscas calcáreas, margas y lutitas blanco-grises con finas capas de carbón, restos de *Chara* sp. y gasterópodos lagunares (*Planorbis* sp.). Ca.
- d). 2 m. Calizas algales laminadas con restos de *Chara* sp. y *Rabdochara* sp. Ca.
- e). 5-7 m. Aluviones. Cantos calcáreos centimétricos y substrato margoarcilloso ocre con grandes *Crassostrea* sp. Cü. Ca.
- f). 0.8 m. Calcarenitas duras con moldes de cerítidos y turritélidos. Cü.

### **Cuenca de Inca**

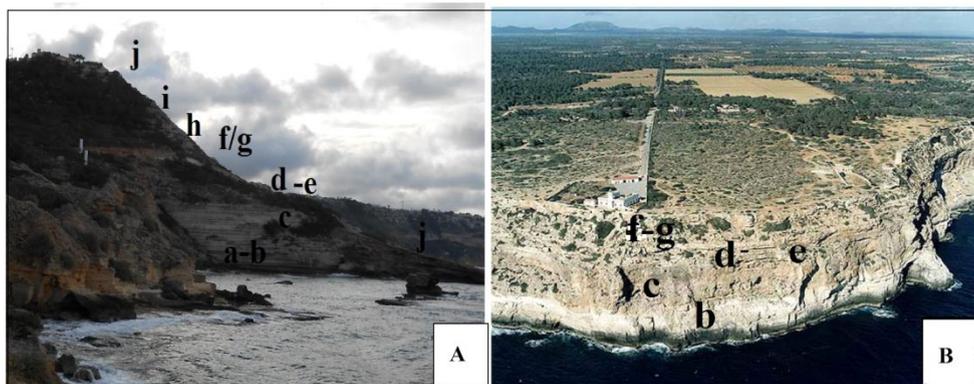
Registro de final de cuenca (Benedicto, 1993) con Serravalliense y Tortoniense escaso, nunca en superficie. Registro relevante para el Messiniense y Plioceno (Morey y Mas, 2009; Morey, 2013).

*Plataforma de Llucmajor* (0-100 m). SW de la isla. (Fig. 1).

Importante plataforma arrecifal tortomessiniense fósil interpretada a partir de los perfiles y estudios de CpB-Cap Blanc (Pomar, 1988, 1991, 2012) (Fig. 5B) o Pomar y Ward (1991; 1994) y M-Morería-Ses Olles (Simó y Ramón, 1986; Mas, 2015) (Fig. 5A).

De base a techo se observan:

- a) 15-20 m. Calcilutitas y margas con *Heterostegina* sp. y *Amusium* sp. CpB. M.
- b) 15 m. Caliza algales con rodofitos y *Halimeda* sp. CpB. M
- c) 20 m. Calizas arrecifales (facies de plataforma, talud, frente arrecifal y *lagoon*). CpB.
- d) 1 m. Lutitas y margas blancas con moldes de cerítidos y cardítidos. M.
- e) 7 m. Caliza algales con rodofitos y *Halimeda* sp. (¿Messiniense?. En estudio) M.
- f) 5-10 m. Lagoon y superficie erosiva. Estromatolitos. *Calizas Pont d'Inca*. M.
- g) 50 cm. Margas blanco grises con *Limnocardium* sp. M.
- h) 10 m. Margas con formaminíferos planctónicos y *Amusium* sp. Calcilutitas amarillas con pectínidos, y equínidos. M.
- i y j). 15-20 m. Playas y dunas pliocuaternarias. M. CpB.



**Fig. 5.** Morería-Ses Olles (A. en texto). B. Los acantilados de Cap Blanc muestran ciclo T2 muy completo (Complejo Arrecifal) sobre ciclo T1 (a, b) y bajo Messiniense (d, e) y Plio-Pleistoceno (f, g).  
**Fig. 5.** Morería-Ses Olles (A. in text). B. Cap Blanc cliffs show complete cycle T2 (Reef complex) between T1 cycle (a, b), Messinian (d, e) and Plio-Pleistocene (f, g).

### **Cuenca de Campos**

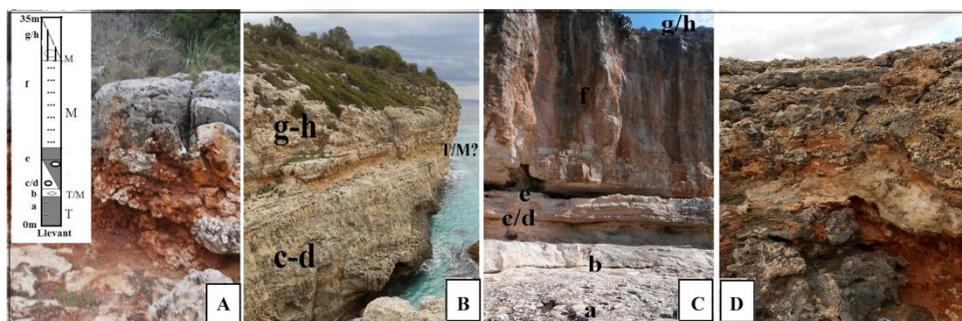
En los perfiles de Sa Ràpita y Serralt (Fig. 1; Tabla 1) se observa un registro Tortoniense poco relevante bajo registro messiniense oolítico-mareal y finimessiniense claros (Morey, 2011; Mas, 2015).

### **Plataforma de Llevant** (0-35 m).

Plataforma carbonato-arrecifal que ocupa buena parte del litoral levantino de la isla (Fig. 1). Se describe de manera sintética a partir de los estudios de Simó y Ramón (1986), Fornós (1983), Arenas y Pomar (2010) o Robledo (2005) y de significativos registros inéditos (Cala Nao-Fig. 6A, Cala Murada, Porto Cristo).

De base a techo se observan:

- a). 2 m. Conglomerados o brechas de matriz calcarenítica y *rudstone* de moluscos, ostreoides, equinodernos (*Scutella* sp.) y *Borelis melo*.
- . 2-11 m. Facies arrecifales (talud y frente arrecifal. con *Porites* sp. y rodofíceas. Fig. 6A
- b). 3-4 m. Calcsiltitas bioturbadas con grandes ostreoides (Fig. 6B).
- . Superficie erosiva T/M. Concentraciones de pequeños ostreoides y cerítidos (30 cm).
- c). 10-15 m. Limos y arcillas verdes (d), estromatolitos tubulares y calcarenitas con rizoconcreciones y *Saccostrea* sp. (manglar). Fig. 6C
- f). 20-30 m. Grainstone oolítico (*sand shoal*-litoral mareal; Fornós, 1983). Fig. 6C.
- g. h. i). 3-5 m. Calcarenitas *rudstones* de moluscos mesolitorales (*Conus mercatii*; *Anadara diluvii*). Limos rojos en diversas posiciones (Fig. 6D).



**Fig. 6.** Plataforma de Llevant. Facies de arrecife coralino (A. Corales. Cala Sa Nau y C-c/d-lagoon. Cala Antena) alternando con el Complejo Terminal (C. Manglar.-Cala Santanyí). D. Unidad superior de Cala Morlanda con *Myotragus* sp. no datada. (¿finitortonienenses o messinienses?).

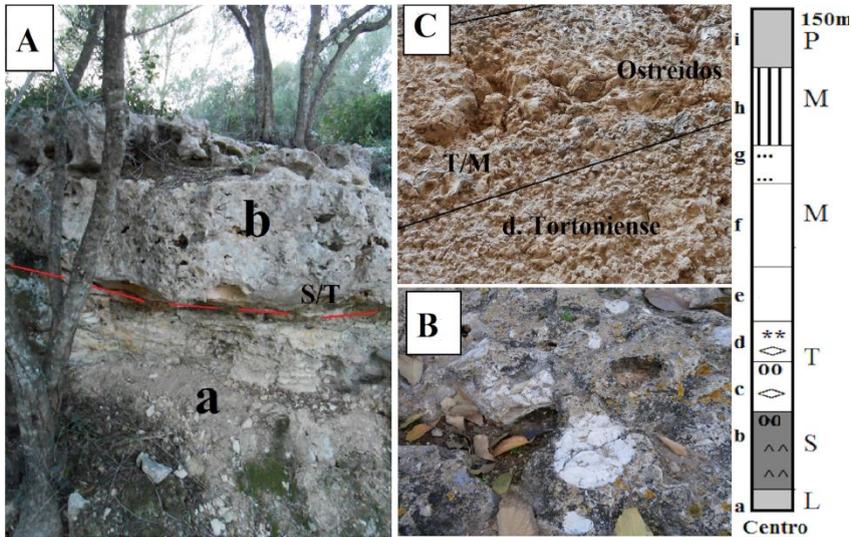
**Fig. 6.** Llevant miocene platform. Coralline reef facies (A. Cala Sa Nau and C c/d-Cala Antena lagoon) alternating with Terminal Messinian Complex (C. Manglar. Cala Santanyí). D. Higher facies (Cala Morlanda) with *Myotragus* sp. never dated (Last Tortonian-Messinian?).

### **Mioceno central**

Perfiles inéditos o poco estudiados de Pi-Pina (150 m) (Pomar *et al.*, 1983); Si-Sineu (145m). (Fig. 7) mostrando en este orden:

- a) Margas blancas bioturbadas (Fm. *Turbidita de Banyalbufar*) (Rodríguez Perea, 1984)
- b) 15 m. Margas arenosas masivas con yeso que pasan lateralmente a aluviones y conglomerados (Fm. *Margas de Pina*. Serravallense) (Pomar *et al.*, 1983). Pi, Si.
- . Discontinuidad estratigráfica. Pi. (Figs. 7A y 7B)
- c) 1 m. Conglomerados de matriz micrítica-calcarenítica y *rudstones* de ostreoides. Pi.
- d) 2 m. Calizas y calcarenitas micríticas. *Rudstone* de moluscos mesoinfralitorales (*Conus* sp., Turritélidos etc.), equínidos (*Scutella* sp.) y *Borelis melo*. Pi. Ru. Si.
- f) 50 cm. Calizas duras algales (*Lithothamnium* sp.). Pi. Ru.
- g) 2-3 m. Margas y arcillas blancas y rosadas (Ru). Niveles de ostreoides (SI. *Ostrea edulis*) de matriz calcarenítica brechada y margosa blanco amarillenta con *Borelis melo*.
- h) 2 m. Calcarenitas duras cimentadas con moldes de moluscos, balánidos, tellínidos, cerítidos y escasos *Conus* sp. y *Turritella* sp. Ru. SI. Fig. 7C
- i). 1-2 m. Margas y arcillas ocre y blancas con cardiums y cerítidos. Se.

j). 2 m. Domos estromatolíticas métricas. Calcárea oolítica. Se. G. Superficie erosiva.



**Fig. 7.** El Mioceno del centro de la isla proporciona excelentes contactos estratigráficos. A. Cementerio de Pina. Serravaliense/ Tortonian. B. Conglomerados con ostreidos (Font de Pina) sobre serravaliense (transgresión marina Tortonian). C. Margas con ostreidos en Sineu (Palau Rei Sañç) separando molasas T2 del Messiniense litoral.

**Fig. 7.** The Miocene of the center of the island provides excellent stratigraphic contacts. A. Pina Cemetery. Serravallian/Tortonian contact. B. Conglomerates with oysters (Font de Pina) on serravallian (Tortonian marine transgression). C. Marls with oysters in Sineu (King Sañç palace)-T2/Messinian contact.

### Cuenca de Manacor-Porreres

Serravaliense citado por Pomar *et al.* (1983) y Simó y Ramón (1986) en Ta-Manacor/Sa Tafal (Fig. 8D).

El Tortonian aparece en Po-Porreres (100m) y Va-Sa Vall (110m). (Morey, 2010). Todo se ordena con dos perfiles sintéticos:

- *Manacor -Sa Tafal.* (100 m) (Pomar *et al.*, 1983) (Fig. 8D).

a). 10-12 m. Aluviones (conglomerados, limos y regolitas).

b). 3-5 m. Margas grises y verdes yesíferas y arenosas bioturbadas plegadas y falladas con *Amphistegina lessoni* y *Operculina complanata*.

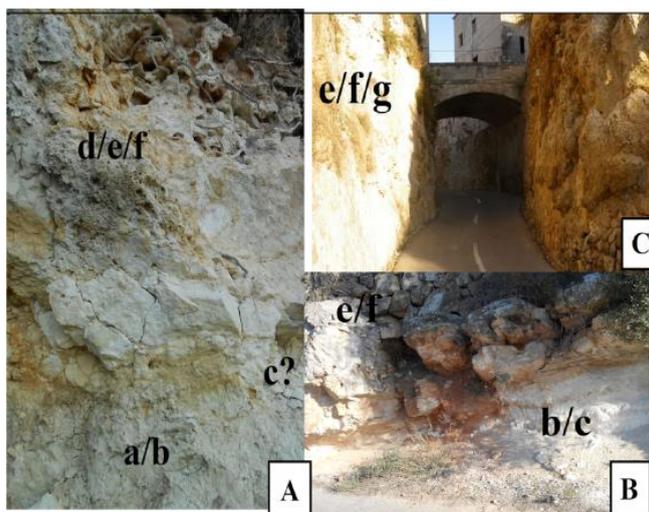
c). 2-3 m. Calizas micríticas oscuras con sílex (diatomitas), niveles centimétricos de carbón y fauna lagunar *brakish* (*Chara* sp., ostrácodos, hidróbidos y *Planorbis* sp.).

**Sa Vall y Porreres** (100-60 m). Sobre margas blancas-ocres bioturbadas (Langhiense) y margas grises de los niveles b se observan (Morey, 2010):

a). Margas y conglomerados con grandes ostreidos (*Crassostrea* sp.).

b) 1 m. Calcáreas y margas blancas y verdes con fragmentos de corales (*Porites* sp.) foraminíferos bentónicos (*Ammonia* sp.) y ostrácodos.

- c) 1 m. Biohermos de *Ostrea edulis*.
- d) 1-2 m. Calcarenitas duras micríticas y lumaquela de moluscos (*Tellina* sp., *Cardita* sp., *Turritella* sp., *Conus* sp.), dientes de peces y *Borelis melo*.
- e) 1 m. Calcáreas y margas ocre con fauna de moluscos bivalvos y ostreidos, foraminíferos bentónicos (*Ammonia tepida*) miliólidos y rizoconcreciones.
- f) 1-2 m. Calcáreas y oolitas duras con estratificación cruzada.



**Fig. 8.** Colina-villa de Muro. Plataforma arrecifal (d, e, f, g) sobre Serravalliense (b, c) y Langhiense (a). Las conocidas molasas blancas (f/g) se inician sobre Tortoniense.

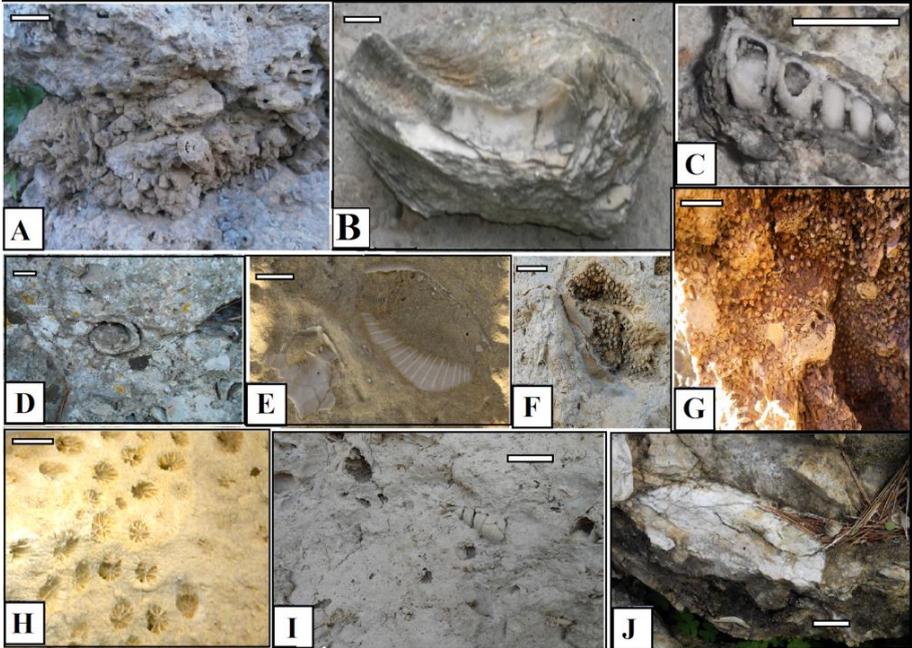
**Fig. 8.** Hill-Muro village. Arrecifal platform (d, and, f, g) on Serravallian (b, c) and Langhian (a). Known white limestone (f/g) begins on last Tortonian cycle.

### Norte de Mallorca

Restos de plataforma miocena descrita a partir de los perfiles de Mu-Muro (25 m) (Figs. 8A, 8B y 8C); Ma-Sta. Margalida (70 m); Ar-Ariany (120 m); Vi-La Victòria (0 m) (Fig. 8E); Llu-Llubí-Sa Verdèra (40-60 m). (Gómez Lluèca, 1919; Bizon *et al.*, 1967; Colom, 1966; 1967; Barnolas *et al.*, 1991). La interpretación del conjunto se complementa con el sondeo de Mateu (1982) en la Albufera de Alcúdia.

Sobre margas langhienses blancas bioturbadas se disponen:

- a) 5-7 m. Conglomerados, arcillas rojas y margas. Aluviones terrestres. Mu. Ma.
- b) 3-5 m. Margas grises y verdes arenosas masivas bioturbadas con yeso. Ma. Vi.
- c) 3 m. Calizas micríticas (estromatolitos-diatomitas-sílex) y fauna lagunar *brakish* con algas (*Chara* sp.), ostrácodos (*Cyprideis torosa*), hidróbidos y *Planorbis* sp. V. Ma.
- d) 5-10 m. Caliza micrítica dura (50% matriz). Conglomerados con ostreidos, turritélidos, *Conus* sp., balánidos rodofitos y rodoficeas ramosas. Mu. Vi.
- e) 5 m. *Framestone* de corales en domos de 25-30 cm con *Borelis melo*, miliólidos, rotálidos, gasterópodos y ostrácodos. Mu. Ma. A.
- f) 5-10 m. Calcarenitas y margas blancas con *Borelis melo*, *Strombus* sp., *Conus* sp., turritélidos y cardítidos. Marino meso infralitoral. Mu. Ma.



**Fig. 9a.** Restos fósiles miocenos significativos (referencia 1 cm). Serravaliense. A) Oncolitos. Sa Vall. Tránsito S/T. B) *Crassostrea* sp. Caülls (x 0.1); C) Turritélido. La Victòria. Tortoniense I. D) *Strombus* sp. Pina. E) *Amusium* sp. de Portals. Tortoniense II. F) Corales de Muro. G) de Cala Llobards; H) de Cala Falcó; I) Molasas. Muro. J) Ostreidos. Bellver.

**Fig. 9a.** Significant miocene fossil shells (reference 1 cm.) Serravallian. A. Oncolits. Sa Vall: Serravallian /Tortonian boundary . B. *Crassostrea* sp. Caülls (x 0,1); C. *Turritella* sp. LaVictòria. Tortonian Sytem I. D. *Strombus* sp.-Pina. E. *Amusium* sp. Portals Vells. Tortonian Sytem II. Corals rests: F) Muro village; G) Cala Llobards; H) Cala Falcó; I) Muro limestone. J) *Crassostrea* sp. Bellver.

g) 2-3 m. Calcarenita dura con escasos moldes de cardítidos y gasterópodos. Mu. Ma.

h) En los llanos colindantes de Sa Pobla (Sa Marjal) y bajo una capa de aluviones pleistocenos se observan registros finimesinenses inéditos con calcáreas duras oscuras, grises-azuladas-unidad *Calcáreas Pont d'Inca*.

**Sondeo de s'Albufera de Mallorca** (Sondeo. Mateu, 1982) (Fig. 2). Mioceno a -300m.

a). De -316 a -312 m. Marino transgresivo. Sedimentación hemipelágica con *Neogloboquadrina acostaensis*.

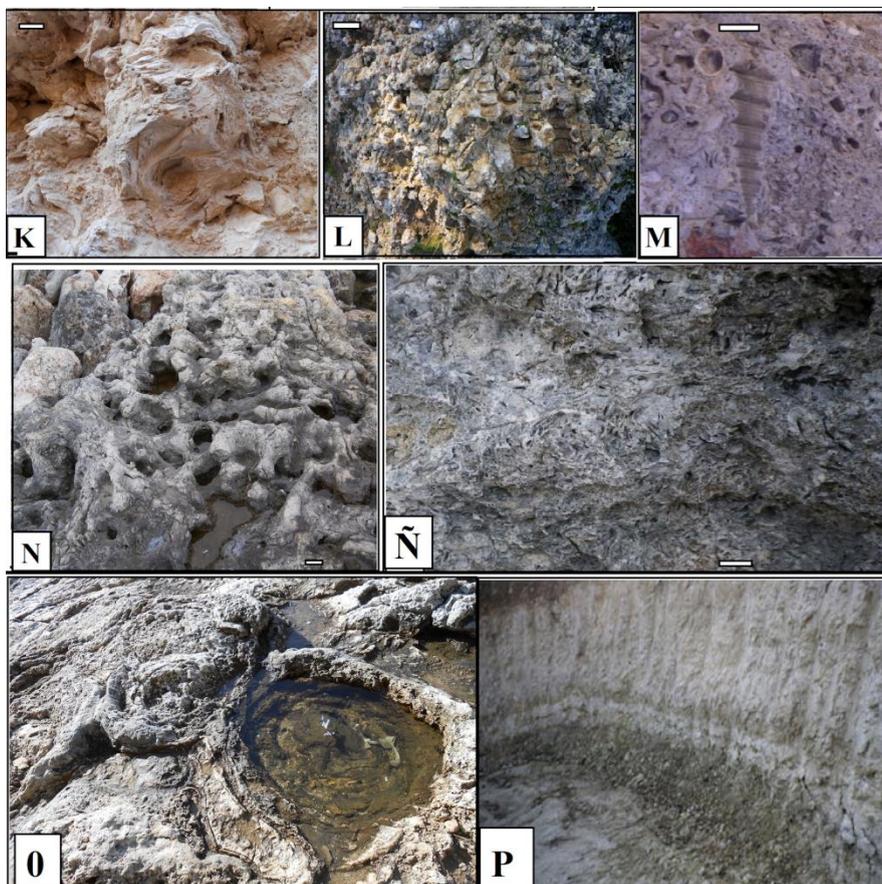
-310. Destrogrirismo en *Neogloboquadrina acostaensis*. (Fig. 2)

b). De -302 a -274 m. Margas lacustres con *Ammonia beccarii* y fauna "revoked" piritizada.

c). - 236 m. Ambiente hemipelágico. Retorno al sinistrogismo en *N. acostaensis*.

En - 230 m. BPA de *Globorotalia mediterranea* (afin a *Glb. conomiozea*). Messiniense.

d). De -185 a -190 m. Evaporitas azoicas con yeso, esquirlas de moluscos, rizoconcreciones y oogonios de *Chara* sp. Desaparece *Globorotalia mediterranea*.



**Fig. 9b.** *T/M-Messiniense*. K. Ostreidos Sineu (Palau del Rei Saç); L. Turrítelidos Bellver; M. Muro Cerca de la unidad superior-molasas; N. Rodofíceas. Bancals-Cap Blanc; Ñ. *Halimeda* sp. Morería; O. Estromatolitos-Superficie erosiva. Porto Pi; P. Margas grises de Son Seguí.

**Fig. 9b.** *Tortonian-Messinian boundary*: K. *Oyster Sineu* (Palau Rei Saç); L. *Turritella* sp. limestone Bellver; M. Muro upper limestone unity; N. Red algae fossils rest. Bancals; Ñ. *Halimeda* sp. Morería; O. *Stromatolites-erosive surface*. Porto Pi; P. Grey marls of Son Seguí.

e y f). De -183 a -158 m. Registro marino planctónico. Entrada de *Globorotalia margaritae*. Plioceno.

#### **Paleoambientes documentados y ordenados de mayor a menor profundidad:**

a) Registros plantónicos hemipelágicos de salinidad normal con foraminíferos (*Gb. nephentes*, *N. acostaensis*, *Heterostegina* sp. Bizón *et al.*, 1967; Alvaro *et al.*, 1984; Mateu, 1982) y moluscos infra y circalitorales (*Amusium* sp. Portals-Cala Falcó -Fig. 9E, Morería).

Las concentraciones de cerítidos y turrítelidos (La Victòria. Fig. 9C; Bellver-Fig. 9B) y de pequeños ostreidos (*Ostrea* sp., *Neopicnodonte navicularis*) (Fig. 9K) entre calcilutitas o margas se observan también propias de ambientes circalitorales.

b) Registros mesoínfralitorales de salinidad normal con foraminíferos bentónicos (*Amphistegina* sp., *Borelis melo*) (Mateu, 1982; Colom, 1985). Registros con vermétidos, algas constructoras de arrecifes (*Halimeda* sp.) (Figs. 9N y 9Ñ), equínidos (*Amphiope bioculata*; *Scutella* sp.), antozoos (*Porites* sp., *Tarbellastraea* sp., *Siderastraea* sp.) (Figs. 9F, 9G y 9H), moluscos (Figs. 9I y 9L) o dientes de peces (Bauzá, 1978; Pomar *et al.*, 1983).

c) Registros de costa baja litoral o llanura mareal. Facies de manglar internas al arrecife con rizoconcreciones y concentraciones de cardítidos y tellínidos y *Saccostrea mangle*. Porto Pi (Fig. 9O) y Marina de Llevant (Fig. 6). También se consideran propias de ambientes mesoínfralitorales los grandes ostreidos entre margas o conglomerados (*Crassostrea* sp., Caülls) (Fig. 9B) de Bellver (Fig. 9J) o de Pina (Fig. 7).

d) Registros continentales. Aluviones, limos rojos, margas y conglomerados sin fauna marina. Ambientes fluvio-lacustre con lutitas y margas con materia orgánica, carófitas gasterópodos lagunares y carbón o niveles de sílex (diatomitas, oncolitos). Serravaliense de Sa Tafal-S'Avall (Fig. 9A) o Sa Verdera (Colom, 1966; 1967).

## Ordenación estratigráfica

### Sintema Serravaliense

El registro serravaliense documentado descansa siempre sobre margas planctónicas y calcarenitas marinas con pectínidos (*Fm. Turbidita de Banyalbufar*. *Fm. Calcarenitas de Randa*) es Caülls (Fig. 4B), Muro (Fig. 8A), Pina (Fig. 7) (Rodríguez Perea, 1984). Estas han sido datadas en el resto del Mediterráneo y centro Europa entre los 15 y 14 ma (Langhiense) (Mourik, 2010).

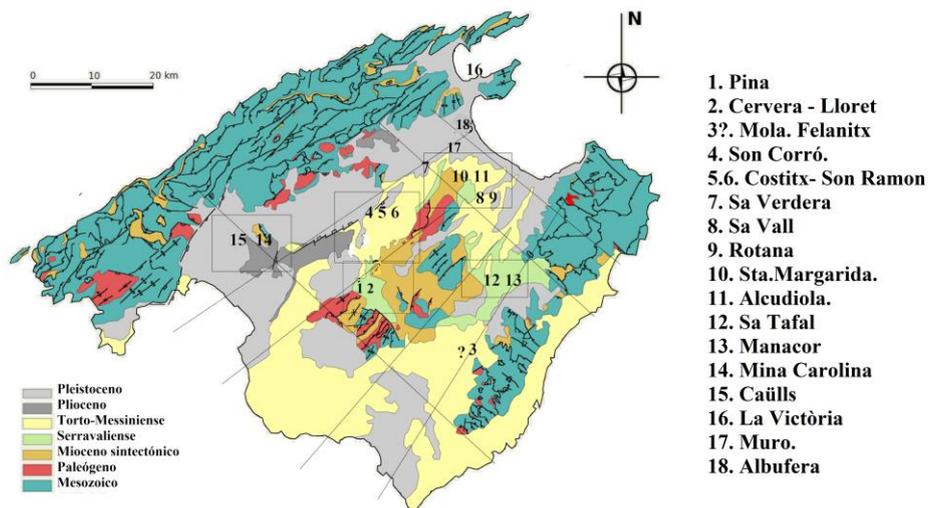
El ciclo continental lagunar posterior y común en todo el registro mediterráneo parece responder a un enfriamiento climático a nivel global (efecto Himalaya/glaciación antártica. (Mateu, 1982; Haq *et al.*, 1987; van Dam *et al.*, 2006; Kringsman *et al.*, 1999. Mourik, 2010). En Mallorca la edad de estos terrenos se ha datado a partir de los micromamíferos presentes en sus lignitos y coincide con la edad establecida para otros registros mediterráneos similares (Adrover *et al.*, 1984; Mein y Adrover, 1982). Así el registro considerado Serravaliense comprende (Fig. 10):

-Aluviones procedentes de los relieves emergidos (*Fm. Limos de Manacor*) tanto sobre Langhiense (Muro), bien como facies laterales de la *Fm. Margas de Pina* o bien sobre estas (*Fm. Calizas de Sa Verdera*) en la Mina Carolina.

-Facies salobres someras. *Fm. Margas de Pina*. Pina, Caülls, Porreres, Sa Vall.

-Facies o registros de agua dulce. *Fm. Calizas de Sa Verdera*. Sa Vall, Son Talent (Fig. 8D).

Todo el registro restringido-lagunar documentado se observa como postectónico en este estudio y así se propone frente a las observaciones de Pomar *et al.* (1983) o Simo y Ramón (1986) que lo consideran aún sintectónico. Se trata de un registro depositado sólo en los grabens y nunca implicado en los horts (Fallot, 1922; Gelabert, 1997) (Fig. 10). La existencia de otros materiales postorogénicos con evidencias de plegamiento (Plioceno de Sta. Eugènia) (Morey y Mas, 2009; Morey, 2016) nos lleva a plantear que para la clasificación de estos terrenos ha de prevalecer su disposición respecto del orógeno alpino independientemente de su estructura interna tal y como se había considerado hasta ahora (Pomar *et al.*, 1983; Álvaro *et al.*, 1984; Simo y Ramón, 1986; Fornós *et al.*, 1991).



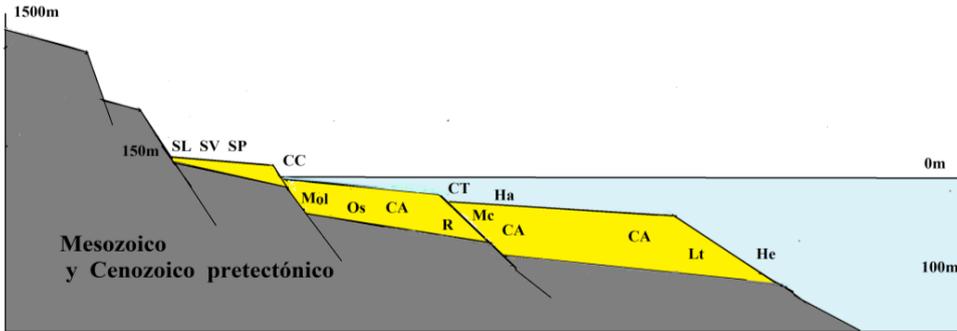
**Fig. 10.** Distribución del registro paleontológico Serravalliense sobre mapa de Gelabert, 1997/1998).  
**Fig. 10.** *Serravallian Palaeontological Sites in map of Gelabert, 1997/1998).*

### *Sintema Tortoniense I (TI) y discontinuidad S/T*

El Tortoniense a nivel global/ mediterráneo se inicia con una transgresión marina y con la aparición de *Globigerionides subquadratus* (11.6 Ma. Hilgen *et al.*, 2005. GSSP. *Global boundary Stratotype Section and Point* de Monte o Corvi, Italia). En la península Ibérica esta transgresión marina se detecta con la entrada de *Neogloboquadrina acostaensis destrosa* (Montenat, 1990; Corbí, 2010; Corbí y Soria, 2016), episodio detectado también por Mateu (1982) en el sondeo de Alcúdia a -310 m (Fig. 2).

En superficie el paso de sedimentación margosa-lagunar serravalliense a sedimentación marina se documenta en La Victòria (conglomerados con *Lepydociolina* sp. y turritélidos) (Bizón *et al.*, 1967) (Figs. 8E y 9C) y en Es Caülls (Fig. 4), Porreres, Sa Vall o Pina (Figs. 7A y 7B) aquí con margas ocreas y conglomerados con *Crassostrea* sp. (Fig. 9B).

En las plataformas del Sur de Mallorca más alejadas del relieve emergido (Figs. 5 y 6), la transgresión marina tortoniense se inicia con arenas gruesas y estructuras de oleaje (Simó y Ramón, 1986) que evolucionan a margas y calcisiltitas bioturbadas con *Heterostegina* sp. (Pomar *et al.*, 1983; Pomar, 1988; 1991) (Fig. 9E). Este registro evoluciona a facies de plataforma litoral con calcarenitas con *Conus* sp., rodofitos, equínidos y dientes de peces (Bauzá, 1978; Fornós *et al.*, 1991) (Fig. 9D). Este tránsito se observa tanto sobre los conglomerados con ostreoides (Pina y Muro) (Bauzá, 1978) (Figs. 7 y 8) como sobre las facies de margas y calcilutitas (Portals Vells. Bauzá, 1978; Pomar *et al.*, 1983; Morey y Ripoll, 2009) (Figs. 3A y 9E; Tabla 4).



**Fig. 11.** Paleoambientes, unidades sedimentarias y situación en el registro. **Serravallense:** aluvial (SL), lagunar (SV) y lagoon litoral (SP). **Tortoniense-Messiniense:** He-Margas con *Heterostegina* sp., Ha-*Halimeda* sp., R-Rodófitos, Lt.-*Lithothamnium*, CC.-Conglomerados con *Crassostrea* sp., Os-Pequeños ostreidos, Mol-Molasas blancas, Mc-Margas con ceritidos y turritélidos, CA-Complejo Arrecifal, CT-Complejo Terminal.

**Fig. 11.** Palaeoenvironments, sedimentary units on the miocene record studied. **Serravallian:** Alluvial (SL); lagoon (SV) and coastal lagoon (SP). **Tortonian-Messinian:** He-marls with *Heterostegina* sp., Ha-*Halimeda* sp., R-Rhodophytes, Lt- *Lithothamnium*, CC-Conglomerate with *Crassostrea* sp., OS-small oysters, Mol-Muro white limestone, Mc-Cerithium sp. and *Turritella* sp. marls, CA-Arrecifal complex, CT-Terminal messinian complex.

### **Discontinuidad sedimentaria intratortoniense (T)**

En la cuenca del Bajo Segura el Tortoniense se divide según la mayoría de estudios en dos ciclos marinos litorales (T1 y TM) separados por discontinuidad sedimentaria (episodio con *N. acostaensis sinistrosa* (Sierro *et al.*, 1993; Hilden *et al.*, 2000; Tent Manclús, 2003; Corbí, 2010; Corbí y Soria, 2016) (9.54 Ma). En el registro mallorquín este episodio ligado a la discontinuidad es detectado por Mateu (1982) en el sondeo de Alcudia a -300m (Fig. 2).

En superficie y en Cap Blanc (Fig. 5B), las facies inferiores de la plataforma carbonato-arrecifal se datan entre los 9 y 8 Ma (Oswald, 1992). Esta datación junto con la discontinuidad sedimentaria cercana lleva a Pomar (1991) y Pomar y Ward (1991; 1994) a situar las facies *Fm. Calcisiltitas con Heterostegina*-base del complejo arrecifal como T1 y las facies superiores mesoinfralitorales o complejo arrecifal propiamente dicho como TII (Ciclos CB1 y CB2 de Haq *et al.*, 1987). Esta interpretación concuerda con las observaciones de Tent Manclus (2003, 2008), García *et al.* (2006), Corbí (2010) o Corbí y Soria (2016) en los registros del Bajo Segura (Fig. 2) y de Brandano *et al.* (2016) en la plataforma miocena de Menorca. Así se observa también en este estudio.

### **Sintema TII. Tortoniense II-Tortomessiniense**

Los estudios de García *et al.* (2006) o Corbí (2010) en el registro neógeno de la península Ibérica definen el ciclo TII -Tortomessiniense con la presencia del foraminífero *Neogloboquadrina humerosa*. Esta especie no es detectada en el registro de Mallorca. Mateu (1982), sin embargo, sitúa este nuevo ciclo marino transgresivo tras episodio con *Nq. acostaensis sinistrosa* (Fig. 2) y anterior a la entrada de *Globorotalia mediterranea*.

Colom (1985) define estas facies mesolitorales anteriores a la entrada de *Glb mediterranea* (Messiniense) como facies típicas del macroforaminífero *Borelis melo*. En superficie, y para este segundo ciclo litoral anterior a la discontinuidad finitortoniense se observan dos conjuntos de facies de naturaleza distinta dependiendo de su situación respecto al relieve emergido (Tabla 4; Figs. 11 i 12):

a) Complejo Arrecifal. Tortoniense superior-Messiniense (Biocronozona 17 de Blow. Bizon *et al.*, 1967; Álvaro *et al.*, 1984; Pomar *et al.*, 1983). Este está más desarrollado en el Sur de Mallorca lejos de las deposiciones aluviales procedentes del relieve emergido (Pomar y Ward, 1991; 1994). Otros restos arrecifales menos potentes se observan en el norte de Mallorca (Muro, Sta. Margalida) (Figs. 9F y 9G) bien sobre Serravalliense bien sobre ciclo T1.

b) Moladas (calcarenitas) blancas con *Borelis melo* depositadas sobre registro Serravalliense o T1 (Colom, 1985), Muro, Sineu /Ruberts, Porreres (Figs. 7C y 9I). Estos registros no muestran con claridad su contacto superior. El foraminífero *Borelis melo* se cita también messiniense (Barnolas *et al.*, 1991; Betzler y Schmitz, 1997).

### ***Enfriamiento climático finitortoniense***

El Tortoniense finaliza a nivel global/mediterráneo con nuevo enfriamiento climático y regresión marina asociada (Haq *et al.*, 1987; Aguirre, 1993; van Dam *et al.*, 2006; Corbí, 2010). Esta se manifiesta en el Mediterráneo Occidental con una nueva bentonización del registro e incluso con precipitación salina y euxínica local (Mateu, 1982; Colom, 1985; Bagkey, 2000; Aguirre, 2003) (Fig. 2). A ello se suma la reactivación tectónica en Gibraltar con vulcanismo asociado (Martín *et al.*, 1999; Aguirre, 2003) con la consecuente degradación de los arrecifes coralinos (disminución de biodiversidad y competencia de algas rodfíceas (Esteban, 1979; Esteban y Giner, 1980; Aguirre, 2003; Braga *et al.*, 1996; 2009; Corbí, 2010).

En los registros mediterráneos el tránsito del Tortoniense al Messiniense se detecta con la presencia de nuevos foraminíferos planctónicos como *Globorotalia miotumida* (Jenkins, 1960), *Gbt. mediterranea* o *Gbt. conomiozea* (Corbí, 2010. Corbí y Soria, 2016) (Fig. 2) y con la llegada de nuevas especies de mamíferos euroasiáticos en el registro continental (Aguirre, 2003; Garcés *et al.*, 1998; Agustí *et al.*, 2006).

Mateu (1982) documenta en el sondeo de Alcúdia la entrada de *Gbt. mediterranea* sobre los -230 m (Fig. 2). Colom (1985) para la cuenca de Palma situa este episodio sobre moladas con *Borelis melo* y margas grises con yesos todo bajo oolitas mareales y nuevas evaporitas finimessinienses (Pomar *et al.*, 1983; Colom, 1985. Sondeos 22 y 40. Fig. 4). Estas margas grises con yeso anteriores a la entrada de *Gbt. mediterranea* suponen un claro registro regresivo entre dos facies marinas (Tortoniense y oolitas litorales mareales messinienses. Fornós, 1983; Fornós *et al.*, 1991; Mas, 2015) que por posición pueden ser correlacionadas con el episodio "carbón shift"-T/M (Aguirre, 2003), con el ciclo *Gea* (Soria *et al.*, 2007) y/o a la unidad inferior de yesos Fortuna, estos bajo complejo arrecifal messiniense (Garcés *et al.*, 1998).

En el registro de Mallorca y en superficie (Porto Pi, Son Seguí) (Fig. 9) este episodio se situa cercano a la superficie de erosión (Fig. 9P) que separa el Complejo Arrecifal del Complejo Terminal messiniense (Pomar *et al.*, 1996; Robledo, 2005; Morey, 2016) (Fig. 9O) si bien su interpretación es aún controvertida.

Pomar *et al.* (1983) o Fornós *et al.* (1991) sitúan gran parte del complejo arrecifal como Tortoniense y el Ciclo CB3 o Complejo Terminal como probable messiniense. Sin embargo no pueden establecer una separación clara entre los dos ciclos al no poder relacionar las margas grises de los sondeos con la superficie erosiva que separa el Complejo Arrecifal del Terminal en superficie (Mateu, 1982; Colom, 1985) (Figs. 2 i 4). Estos estudios todavía no contemplan el registro fini-Messiniense restringido ni su relación con el cierre del corredor atlántico/mediterráneo (Morey y Mas, 2009).

Los estudios de Mas y Fornós (2012) y Mas (2015) sitúan el grueso del Complejo Terminal como fini-Messiniense (posterior al cierre de la comunicación atlántica) al igual que las unidades de margas grises. Esta interpretación no explica las evidencias de la transgresión marina messiniense (Bellver, Fig. 3; Fig. 9L; Plataforma de Llevant, Fig. 7; Son Seguí, Fig. 9b) ni la sedimentación mareal posterior a la superficie erosiva que separa el Complejo Arrecifal del Terminal (Esteban, 1979; Fornós, 1983; Morey, 2016) (Figs. 6A y 6C). Resulta pues incoherente con un hipotético cierre de la comunicación atlántico-mediterránea (Morey, 2018).

En este estudio se proponen como tortonienses los registros encuadrados entre el registro serravalliense restringido y las margas grises/ superficie erosiva finitortoniense anteriores a la entrada de *Glb. mediterranea*. Luego el registro litoral con *Glb. mediterranea* y la aún sedimentación mareal anterior al registro lagunar restringido-MS (Morey y Mas, 2009) serían ya messinienses (Figs. 9K, 9L y 9M; Tabla 3).

Así el grueso de la plataforma arrecifal de la isla se observaría tortoniense bajo superficie erosiva T/M sin que se puedan descartar en algunos registros del Norte y Levante de la isla (Figs. 6A y 9) algunas construcciones de corales messinienses coetáneos a los de Salento (Bosellini *et al.*, 2001) o de la Península Ibérica (Esteban y Giner, 1980; Dabrió *et al.*, 1981; Santiesteban *et al.*, 1992; Martín *et al.*, 1999; Martínez del Olmo, 2012).

La confusión entre los ciclos TII-Tortoniense y M (Transgresión marina messiniense-registro litoral-mareal) sobreviene (según lo observado en este estudio) al no observarse con claridad en muchos sondeos los registros de margas grises fini tortonienses y finimessinienses (solapamiento, erosión o no deposición.) como ocurre en algunos de los sondeos de la cuenca de Palma (Colom, 1985).

### **Interpretación paleoambiental**

Los registros continentales lagunares o de transición a condiciones litorales se observan propios del Serravalliense (estromatolitos, sílex-diatomitas, carbón y fauna y flora de agua dulce (Fig. 9A) o de finales del ciclo marino tortoniense (margas grises con materia orgánica) (Fig. 9P). Las concentraciones de grandes ostreidos (ambientes restringidos con poca paleodiversidad e influencia continental y concentración de nutrientes (Jiménez *et al.*, 1991) también se observan cercanas al límite S/T (Caülls, Mina Carolina, Porreres, Sa Vall, Fig. 9B) o del tránsito tortomessiniense (Bellver, Fig. 9J, Tabla 3, Tabla 4).

Los registros mesoinfralitorales de salinidad normal son propios de los óptimos climáticos (estabilización marina) lejos de deposiciones aluviales (arrecifes de coral o de algas tipo *Halimeda* sp.) (Fig. 9Ñ). Las facies algales litorales sobre registros de cierta profundidad significarían una estabilización del nivel del mar (facies de rodófitos -Fig. 9N-, *Halimeda* sp. tras margas con *Heterostegina* sp. de Portals o Cap Blanc-TI -Figs. 5B y 9Ñ-

). Estas mismas facies o equivalentes sobre registros más litorales (Pina-Ruberts) (Fig. 7A) significan nueva transgresión marina (TII o Messiniense).

Turbiditas y margas langhienses		Cü. Ta. Va. Po. Pi. Si. Ma. Mu.
Calcarenitas con pectínidos		Ta –Manacor. Felanitx
Limos y conglomerados	S	Cü.Ta. Pi. Ma. Mu
Margas grises con yesos y carbón	S	Cü.Ca. Ta. Va. Po. Pi. Si. Co. Llu. Vi. Ma. Mu
Calizas algales. Laminación estromatolítica. Sílex.	S	Ca.Ta. Va. Llu. Ma.
Margas y conglomerados con ostreidos	S/T	Cü. Ca. Ta. Va.Pi. Mu.
Calizas y conglomerados con cerítidos y turritélidos	TI	Cü. Vi. Mu
Margas y calcisiltitas con <i>Heterostegina</i> sp.	TI	P.F. Be. M. CpB.
Calcarenitas con rodofitos ( <i>Halimeda</i> sp.) y equínidos.	T	Rb. P. F. M. Lle. Pi. Co. Mu
Calcarenitas (moladas) blancas con <i>Borelis melo</i>	TII	M. Va. Po. Pi. Si. Mu
Complejo Arrecifal. Facies plataforma. <i>Halimeda</i> sp.	TII	F. Pp. M. CpB. Po. Pi. Co. Mu.
CA. Facies de talud	TII	CpB.
CA. Facies de frente arrecifal.	TII	CpB. Va.Ar.
CA. Facies de manglar	TII	B. Lle.
Calcarenitas y margas con ostreidos y <i>Borelis melo</i>	T-M	Be. Lle. Va. Po. Si. Co?. Ru. Mu.
Margas grises/margas verdes	T/M	Pp. Lle. Po.
Superficie erosiva. Estromatolitos	T/M	Be.A. Pp.
Margas con <i>Crasostrea</i> sp.		B. Be. A. Pp. Po.
Transgresión marina messiniense y Messiniense Cerítidos y turritélidos. <i>Conus</i> sp. Vermétidos. Oolitas	M	Be. A. Pp. M?.CpB. Lle. Va?. Po. Si. Csp. Se. Ru. Llu. Mu?.
Estromatolitos MSC y facies Lagomare		Pp. A. M. Lle. Po.Csp. Se. Csp. Llu.
Margas con <i>Amusium</i> sp. Pliocenos	P	A .M. Se. Csp. Llu.

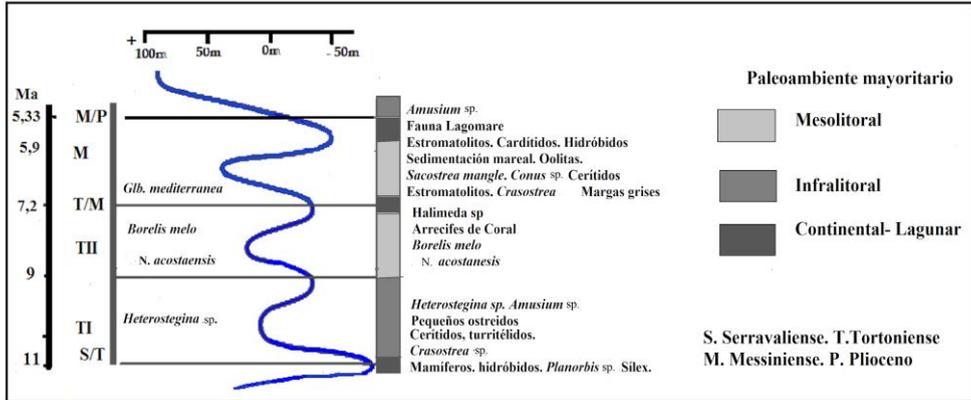
**Tabla. 3.** Paleofacies catalogadas (números-presencia en localidades de Fig.1) y ordenadas según situación y ciclo sedimentario (S. Serravaliense. T. Tortoniense1; T/M. Tortomessiniense; M. Messiniense. Gris oscuro. Facies lagunares-regresivas; Gris claro-facies planctónicas; Blanco. Sedimentación mesoínfralitoral. Se observa clara ciclicidad del registro (regresión/ transgresión marina-estabilización).

**Table. 3.** Paleofacies catalogued (numbers and presence in localities. Fig. 1) and ordered according to situation and sedimentary cycle (S. Serravallian. T. Tortoniann1; T/M. Tortomessinian; M. Messinian. Dark gray-lagoon; Clear gray planktonic record; White colour. Mesoínfralitoral sedimentation. On the studied registry, clear ciclicity is documented (regression and marine transgression and new stabilization).

Las concentraciones de cerítidos entre calcarenitas y margas marinas bioturbadas son propias de depósitos de abanico externo (ambientes infra-circolitorales arenosos) (Jiménez *et al.*, 1991). Por el contrario, los pequeños y medianos ostreidos y los restos algales de cierta profundidad (*Lithotanium* sp.) son más propios de plataformas rocosas infralitorales (23-25 m) (Anadón, 1989; Rivas *et al.*, 1999; Mankiewich, 1988; Braga *et al.*, 1996; 2009) (Figs. 10K, 10L y 10N). Estos paleoambientes se observan cercanos a las transgresiones marinas tortoniense (La Victòria) (Bizón *et al.*, 1967) (Fig. 8) o ya la transgresión marina

messiniense (sobre limos y conglomerados en Bellver o sobre superficie erosiva en Cala Santanyí y Porto Pi (Figs. 3, 6, 9J, 9K y 11; Tablas 3 y 4.)

Los registros planctónicos hemipelágicos y de salinidad normal se observan bien significando la transgresión marina tortoniense (Bizón *et al.*, 1967; Alvaro *et al.*, 1984; Mateu, 1982), o bien como facies de plataforma externa del complejo arrecifal con *N. acostaensis*, *Heterostegina* sp. y *Amusium* sp. (Pomar, 1991) (Fig. 3 y 9E).



**Fig. 12.** Extrapolación del registro mioceno estudiado sobre curva glacioeustática/ ciclos de Haq *et al.* (1987) y sedimentación mayoritaria para cada ciclo establecido.

**Fig. 12.** Miocene studied record according glacio-eustatic cycles (Haq *et al.*, 1987) and major sedimentary record according each cycle.

	Grabens. Mayor subsidencia	Centro-Norte. Importante Influencia del relieve.	Plataformas Sur y Este más lejana al relieve emergido	Plataformas subsidiadas 100m
S	Planctónico	Aluvial-lagunar	No en superficie	Aluvial-lagunar
S/T	Bentónico	Conglomerados. Ostreidos	No en superficie	Conglomerados. Ostreidos
T1	Planctónico-litoral	Conglomerados. Ostreidos	Planctónico	Planctónico
TM2	Litoral	Calcarenitas litorales	Litoral arrecifal	Infralitoral arrecifal
T/M	Lagunar restringido. Yeso	Margas, ostreidos, aluviones.	Superficie erosiva. Estromatolitos	Superficie erosiva. Estromatolitos. Ostreidos

**Tabla 4.** Ordenación del registro estudiado según proximidad al orógeno alpino en superficie

**Table 4.** Sedimentary record according to Majorcan alpine relief.

**Conclusiones finales**

Los trabajos de catalogación y revisión del patrimonio Paleontológico de Mallorca aportan un significativo registro para el Mioceno postectónico de la isla que permite diferenciar tres secuencias deposicionales marino/continentales o Sintemas para los periodos Serravaliense y Tortoniense separadas por respectivas discontinuidades sedimentarias:

- **Sintema Serravalliense.** Registro continental-lagunar propuesto y contemplado en este estudio como post-tectónico al observarse depositado sólo en los grabens de la isla y sin implicación en el orógeno alpino estructurado.

- **Sintema Tortoniense I.** Transgresión marina-Ciclo TI (entrada *N. acostaensis*) sobre el registro lagunar serravalliense con dos tipos de registros o paleoambientes principales según influencia del relieve emergido:

- Registros marinos de plataforma interna. Conglomerados con turrítelidos. Margas con *Crassostrea* sp.

- Facies marinas de plataforma externa. *Calcsiltitas* con *Heterostegina* sp.

La discontinuidad intratortoniense (episodio con *N. acostaensis sinistrosa*) separa el ciclo TI de un segundo ciclo infralitoral o Tortoniense-TII.

- **Sintema Tortoniense II.** Depósitos litorales de plataforma interna (calcarenitas y margas con *Borelis melo*) o más alejada del orógeno principal (Complejo Arrecifal).

**Tránsito Tortoniense-Messiniense (T/M).** Nueva continentalización del registro con superficie erosiva y margas lagunares en los grabens bajo nuevo ciclo litoral-mareal considerado ya messiniense (entrada de *Glb. mediterranea*).

Esta alternancia de ciclos marinos litorales separados por episodios regresivos implica la formación de un mosaico de ambientes sedimentarios en función de la distensión del orógeno alpino y de la proximidad al relieve emergido que resultan fundamentales para definir y ordenar cada uno de los Sintemas propuestos.

## Agradecimientos

Agradecemos este estudio al Dr. Guillem X. Pons en sus ánimos, confianza y correcciones y a Noemi, Noé y Sofia por su apoyo sentimental y logístico.

## Referencias

- Adrover, R., Agustí, J., Moyá, S. y Pons, J. 1984. Nueva localidad de micromamíferos insulares del Mioceno medio en las proximidades de San Lorenzo (Mallorca). *Paleontologia i evolució*, 18: 121-129.
- Aguirre, E. 2003. Messiniense: Compleja y grave crisis ecológica. *Estudios Geológicos*, 59: 205-212.
- Agustí, J., Garcés, M. y Krijgsman W. 2006. Evidence for African-Iberian exchanges during the Messinian in the Spanish mammalian record. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 238: 5-14.
- Álvaro, M., Barnolas, A., Del Olmo, P., Ramírez del Pozo, J. y Simó, A. 1984. El Neógeno de Mallorca: Caracterización sedimentológica y bioestratigráfica. *Boletín Geológico y Minero*, 95 (1): 3-25.
- Anadón, P. 1989. Los lagos salinos interiores (atalásicos) con faunas de afinidad marina del Cenozoico de la Península Ibérica. *Acta Geologica Hispanica*, 24 (2): 83-102.
- Arenas, C. y Pomar, L. 2010. Microbial deposits in Upper Miocene carbonates, Mallorca, Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 297: 465-485.
- Bagkley, K.A. 2000. The last Tortonian-early messinian foraminiferal of Abad member (Tune formation). Sorbas basin, Almería. SE Spain. *Palaeoecology*, 43: 1069-1112.
- Barnolas *et al.*, 1991. Memorias del mapa Geológico de Mallorca. *Instituto Geológico Minero*, Madrid.

- Bauzà, J. 1978. *Paleontología de Mallorca: 180 millones de años de la flora y fauna de Mallorca*. In Historia de Mallorca (Mascaró, J. Ed.). Gráficas Miralles, Palma, 331-430.
- Benedicto, A. 1994. Geología de la Cubeta de Inca (Mallorca): cartografía geológica e interpretación de los datos del subsuelo. *Bol. Societat d'Història Natural. Balears*, 37: 15-25.
- Betzler, C. y Schimtz, S. 1997. First record of *Borelis melo* and *Dentritina sp.* in the Messinian of SE Spain (Cabo de Gata, Province Almeria). *Paläotologische Zeitschrift*, 71 (3/4): 211-216.
- Bizon, G., Bizon, J. J. y Colom, G. 1967. Note préliminaire sur les microfaunes planctoniques du Miocène marin de l'Île de Mallorque (Iles Baléares). In: Committee Mediterranean Neogene Stratigraphy. Proc. IV Session, Bologna. *Giornale di Geologia*, 35 (2): 331-340.
- Bosellini, F. R., Russo, A. y Vescogni, A. 2001. Messinian reef-building assemblages of the Salento Peninsula (southern Italy): palaeobathymetric and paleoclimatic significance. *Palaeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 175:7-26.
- Braga, J., Martín, J.M. y Riding, R. 1996. Internal structure of segment reefs: *Halimeda* algal mounds in the Mediterranean Miocene. *Geology*, 24: 35-38.
- Braga, J. G., Vescogni, A. y Bosellini, F. R. 2009. Coralline algae (Corallinales, Rhodophyta) in western and central Mediterranean Messinian reefs. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 275 (1-4): 113-128.
- Brandano, M., Westphal, H., Mateu Vicens, G., Preton, N. y Obrador, A. 2016. Ancient upwelling record in a phosphate hardground (Tortonian of Menorca, Balearic Islands, Spain). *Marine and Petroleum Geology*, 1-14.
- Butzer, K.W. 1975. Pleistocene littoral-sedimentary cycles of the Mediterranean Basin. A Mallorquin view. In. *After the Australopithecines: stratigraphy, ecology and cultural change in the Middle Pleistocene*. Mouton press. The Hague, 25-71
- Chang, K. H. 1975. Unconformity-bounded stratigraphic units. *Geological Society American Bulletin*, 86: 1544-1552.
- Colom, G. 1966. Cantos rodados con *Lepidocyclinas* en los conglomerados de base de la transgresión helveciense en la región de Alcudia (Mallorca). *Acta Geológica Hispánica*, 2 (5): 121-122.
- Colom, G. 1967. Les lacs du Burdigalien Supérieur de l'île de Mallorque (Baléares) et le rôle des melosires (diatomées) dans la formation de leurs varves. *Bulletin Société Géologique Française*, 9 (7): 835-843.
- Colom, G. 1985. Estratigrafía y Paleontología del Andaluciense y del Plioceno de Mallorca (Balears). *Boletín Geológico y Minero*, 96 (3): 235-302.
- Corbí, H. A. 2010. *Los foraminíferos de la cuenca neógena del Bajo Segura*. Tesis Doctoral, Universidad de Alicante, 380 pp.
- Corbí, H., Lancis, F., García-García, F., Pina, J. A., Soria, J.M., Ten Manclús, J. E. y Viseras, C. 2012. Updating the marine biostratigraphy of the Granada Basin (central Betic Cordillera). Insight for the Late Miocene palaeogeographic evolution of the Atlantic-Mediterranean seaway. *Geobios*, 45 (3): 249-263.
- Corbí, H. y Soria J. M. 2016. Late Miocene early Pliocene planktonic foraminifer eventstratigraphy of the Bajo Segura basin: A complete record of the western Mediterranean. *Marine and Petroleum Geology*, 77: 1010-1027.
- Corbí, H., Soria, J.M., Lancis, C., Giannetti, A., Tent-Manclús, J. E. y Dinares-Turell, J. 2016. Sedimentological and paleoenvironmental scenario before, during, and after the Messinian Salinity Crisis: the San Miguel de Salinas composite section (western Mediterranean). *Marine Geology*, 379: 246-266.
- Dabrio, C. J., Esteban, M. y Martín, J. M. 1991. The Coral Reef of Nijar, Messinian (Uppermost Miocene), Almería Province. SE. Spain. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51 (2): 521-539.
- Esteban, M. 1979. Significance of the Upper Miocene coral reefs of the western Mediterranean. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 29: 169-188.

- Esteban, M. y Giner, J. 1980. Messinian coral reef and erosional surface in Cabo de Gata (Almería, SE Spain). *Acta Geológica Hispánica*, 4 (5): 97-107.
- Fallot, P. 1922. *Étude géologique de la Sierra de Majorque (Îles Balears)*. Tesis, U. Paris-Lieja, 480 pp.
- Fornós, J.J. 1983. *Estudi sedimentològic del Miocè Terminal de Mallorca de l'illa de Mallorca*. Tesis de Licenciatura, Universidad de Barcelona, 228 pp.
- Fornós, J.J. y Gelabert, B. 2004. Balears. In: Vera, J. A. (ed.). *Geología de España. Sociedad Geológica de España. Instituto Geológico y Minero de España*, 450-464
- Fornós, J. J., Marzo, M., Pomar, L., Ramos-Guerrero, E. y Rodríguez-Perea, A. 1991. Evolución tectono-sedimentaria y análisis estratigráfico del Terciario de la isla de Mallorca. *Guía de Campo. I Congreso del Grupo Español del Terciario, Menorca*, 145 pp.
- Garcés, M., Krijgsman, W. y Agustí. 1998. Chronology of the late Turolian deposits of the Fortuna basin (SE. Spain): implications for the Messinian evolution of the eastern Betics. *Earth Planet. Sciences Letter*, 163: 69-81.
- García-García, F., Fernández, J., Viseras, C. y Soria, J. M. 2006. High frequency cyclicity in a vertical alternation of Gilbert-type deltas and carbonate bioconstructions in late the Tortonian, Tabernas Basin, Southern Spain. *Sedimentary Geology*, 192: 123-139.
- García Yagüe, A. y Muntaner, A. 1968. *Estudio hidrogeológico del llano de Palma*. MOPU, 3T. 1004 pp.
- Gelabert, B. 1997. *L'estructura geològica de la Serra de Tramuntana de Mallorca*. Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona, 180 pp
- Gómez Lluca, F. 1919. El Mioceno marino de Muro (Mallorca). *Trabajos del Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid, Serie Geológica*, 25, 91 pp.
- Haime, J. 1855. Notice sur la geologie de l'Ile de Majorque. *Bull. Soc. Geolog. de France, Paris*, 12: 734-752.
- Hermite, H. 1879. *Études géologiques sur les Îles Baleares: première partie Majorque et Minorque*. Tesis Doctoral, Paris, 362 pp.
- Hilgen, F. J., Bissoli, L., Iaccarino, S., Krijgsman, W., Negri, A. y Villa, G. 2000. Integrated stratigraphy and astrochronology of the Messinian GSSP at Oued Akrech (Atlantic Morocco). *Earth Planet. Sciences Letter*, 182: 237-251.
- Hilgen, F. J., Abdul Aziz, H., Bice, D., Iaccarino, S., Krijgsman, W., Kuiper, K., Montanari, A., Raffi, I., Turco, E. y Zachariasse, W. J. 2005. The Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) of the Tortonian Stage (Upper Miocene) at Monte dei Corvi. *Episodes*, 28 (1): 6-17.
- Haq, B. U., Hardenbol, J. y Vail, P. R. 1987. Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic (250 million years ago to present). *Science*, 235: 1156-1167.
- Jiménez, A. P., Braga, J. C. y Martin, J. M. 1991. Oyster distribution in the upper Tortonian of the Almanzora corridor (Almería, SE. Spain). *Geobios*, 24: 725-734.
- Krijgsman, F. J., Hilgen, C. G., Langereis, W. J. y Zachariasse, J. 1994. The age of the Tortonian/Messinian boundary. *Earth and Planetary Science Letters*, 121, (3-4): 533-547.
- Krijgsman, W., Hilgen, F. J., Raffi, I., Sierro, F. J. y Wilson, D. S. 1999. Chronology, causes and progression of the Messinian Salinity Crisis. *Nature*, 400: 652-655.
- Mankiewicz, C. 1988. Occurrence and paleoecologic significance of *Halimeda* in late Miocene reefs, southeastern Spain. *Coral reef*, 6 (3-4): 271-279.
- Martín, J. M., Braga, J.C. y Sánchez-Almanzo, I. 1999. The Messinian record of the outcropping marginal Alborán basin deposits: significance and implications. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 161: 543-551.
- Martínez del Olmo, W. 2012. El arrecife Messiniense del sondeo Torrevieja Marino C-1 desde las líneas sísmicas (SE de España). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 24 (3-4): 173-185.
- Mas, G. 2015. *El registre estratigràfic del Messinià Terminal i del Pliocè a l'illa de Mallorca. Relacions amb la crisi de salinitat de la Mediterrània*. Tesis Doctoral, UIB, 432pp.

- Mas, G. y Fornós, J. J. 2012. La Crisis de Salinidad del Messiniense en la cuenca sedimentaria de Palma (Mallorca, Islas Baleares). *Geogaceta*, 52: 57-60.
- Mateu, G. 1982. El Neógeno-Pleistoceno de Mallorca: biocronoestratigrafía y paleoceanografía en base a los foraminíferos planctónicos. *Bol. Soc. Hist. Nat. Balears*, 26: 75-133.
- Mateu Vicens, G. 2007. *Paleoecological and sedimentological analysis of Neogene carbonate platforms in the Western Mediterranean*. Doctoral Thesis, UIB, 372 pp.
- Mein, P. y Adrover, R. 1982. Une faunule de mammifères insulaires dans le Miocène moyen de Majorca (Iles Baléares). *Geobios*, 6: 451-463.
- Montenat, C. 1990. Les bassins néogènes du domaine bétique oriental (Espagne). *Documents et travaux, Paris*, 12-13: 392 pp.
- Morey, B. 2010. Primera aproximació al patrimoni paleontològic del terme de Porreres. *III Jornades d'Estudis Locals. Ajuntament de Porreres*, 12: 9-27.
- Morey, B. 2011. El Miopliocè i el Pliocuatnari en el litoral de Sa Ràpita (Campos, Mallorca, Mediterrània Occidental). *I Jornades d'Estudis Locals. Campos*, 26-38.
- Morey, B. 2013. La importància d'una catalogació i valoració de LIPs en el postectònic de Mallorca. *VI Jornades Medi Ambient, Societat Història Natural. Balears*, 80-84.
- Morey, B. 2016. Modelos geológicos en la catalogación, caracterización y valoración del patrimonio Paleontológico. El Mioceno postectónico de Mallorca. En Meléndez, G. Núñez, A. & Tomás, M. *Actas de las XXXII jornadas de la SEP. Publicaciones del IGME. Serie Cuadernos del Museo Geominero. Madrid*, 20: 225-233.
- Morey, B. 2018. El registro Messiniense de la isla de Mallorca (archipiélago Balear, Mediterráneo occidental). Revisión e interpretación. *Estudios Geológicos* 74. 2
- Morey, B. y Mas, G. 2009. Aproximació al Neogen de Santa Eugènia (Mallorca, Illes Balears, Mediterrània occidental). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 52: 99-123.
- Morey, B., Mas, G. y Ripoll, J. 2009. *El patrimoni Paleontològic de Palma (Mallorca, Balears). Catalogació, caracterització i valoració. Propostes de gestió i conservació*. Premi Ciutat de Palma d'Investigació 2009, 253 pp.
- Morey, B. y Ripoll, J. 2009. *El patrimoni Paleontològic de Calvià (Mallorca, Balears). Catalogació, caracterització i valoració. Propostes de gestió i conservació*. Premi Rei en Jaume d'Investigació 2009, 199 pp.
- Mourik, A. A. 2010. *The Middle Miocene climate transition in the central Mediterranean*. Geologica ultraiection. U. Utrecht, 326: 133 pp.
- Oswald, E. J. 1992. *Dolomitization of a Miocene reef complex, Mallorca, Spain*. Ph. D. Thesis, State University of New York at Stony Brook, 424 pp.
- Pomar, L. 1988. Upper Miocene reef complex of Mallorca, Balearic Islands, Spain. *Petroleum geologists. Abstracts*, 72 (2): 237.
- Pomar, L. 1991. Reef geometries, erosion surfaces and high-frequency sea-level changes, upper Miocene Reef Complex, Mallorca, Spain. *Sedimentology*, 38: 243-269.
- Pomar, L. 2012. The late Miocene Reef Complex, Mallorca. *XXVIII Jornades de la Sociedad Española de Paleontología, Valencia-Sóller*, 37.
- Pomar, L., Esteban, M., Calvet, F. y Barón, A. 1983. La Unidad Arrecifal del Mioceno superior de Mallorca. In: Pomar, L., Obrador, A., Fornós, J. J. y Rodríguez Perea, A. (eds). *El Terciario de las Baleares. Guía de las Excursiones del X Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca*, 139-175.
- Pomar, L. y Ward, W. C. 1991. Características de la secuencia deposicional de alta frecuencia en el sistema arrecifal del Mioceno Superior de Mallorca. *Acta Geológica Hispánica*, 76 (3-4): 181-199.
- Pomar, L. y Ward, W. C. 1994. Response of a late Miocene Mediterranean platform to high frequency eustasy. *Geology*, 22: 131-134.

- Rivas, P., Braga, J. y Sánchez-Almanzo, P. 1999. Arrecifes del Tortonense inferior de la Cuenca de Granada, Cordillera Bética, España. *Trabajos de Geología*, 21: 309-321.
- Robledo, P. A. 2005. *Los paleocolapsos cársticos de las plataformas carbonatadas del Mioceno superior de Mallorca: modelo geográfico, geológico, genético y evolutivo*. Tesis Doctoral, UIB, 352 pp.
- Rodríguez-Perea, A. 1984. *El Mioceno de la Serra de Tramuntana. Estratigrafía, Sedimentología e implicaciones estructurales*. Tesis Doctoral. UB. 533 pp.
- Roselló, V.M. y Cuerda, J. 1973. Nota sobre el Plioceno y el Cuaternario del Banc d'Eivissa (Mallorca). *Cuadernos de Geografía, Universidad de Valencia*, 13: 5-13.
- Roveri, M., Manzi, V., Bassetti, M. A., Merini, M. y Ricci Lucci, F. 1998. Stratigraphy of the Messinian post-evaporitic stage in estern-Romagna (northern Apennines, Italy). *Giornale di Geologia*, 60: 119-142.
- Salvador, A. 1994. *International Stratigraphic Guide. A classification, terminology, and procedure International Subcommission on Stratigraphic Classification of IUGS. Second edition*. Geological Society of America, 214 pp.
- Santisteban, C., Taberner, C. y Zamarreño, I. 1992. El arrecife Bía (Mioceno superior de la cuenca de Fortuna, Murcia). Bioconstrucción de *Tarbellastrea* sp. y *Porites* sp. compuesta de unidades menores. *Geogaceta*, 12: 109-110.
- Sierro, F. J., Flores, J. A., Civis, J., Delgado, J. A. G. y Frances, G. 1993. Late Miocene globorotaliid event-stratigraphy and biogeography in the Ne-Atlantic and Mediterranean. *Marine Micropaleontology*, 21: 143-168.
- Simó, A. y Ramon, X. 1986. Análisis sedimentológico y descripción de las secuencias deposicionales del Neógeno postorogénico de Mallorca. *Boletín Geológico Minero*, 97(4): 446-478.
- Soria, J. M., Caracuel, J. E., Corbí, H. y Yébenes, A. 2007. La sedimentación de afinidad *Lago Mare* (Messiniense) y la transgresión del Plioceno en Alicante (Cuenca del Bajo Segura). *Geogaceta*, 41: 219-222.
- Soria J. M., Caracuel, J. E., Corbí, H., Dinares-Turell, J., Lancis, C., Tent-Manclús, J. E., Viseras, C. y Yébenes, A. 2008a. The Messinian-early Pliocene stratigraphic record in the southern Bajo Segura Basin (Betic Cordillera, Spain). Implications for the Mediterranean salinity crisis. *Sedimentary Geology*, 203: 267-288.
- Soria, J. M., Caracuel, J. E., Corbí, H., Dinarés-Turell, J., Lancis, C., Tent-Manclús, J. y Yébenes, A. 2008b. The Bajo-Segura Basin (SE Spain): implications for the Messinian Salinity Crisis in the Mediterranean margins. *Stratigraphy*, 5: 259-265.
- Tent-Manclús, J. E. 2003. *Estructura y estratigrafía de la sierras de Crevillent, Albaïlla y Algayal. Su relación con la Falla de Crevillente*. Tesis Doctoral, U. Alicante, 969 pp.
- Tent-Manclús, J. E., Soria, J. M., Estévez, A., Lancis, C., Caracuel, J. E., Dinarès-Turell, J. y Yébenes, A. 2008. The Tortonian salinity crisis in the Fortuna Basin (southeastern Spain): Stratigraphic record, tectonic scenario and chronostratigraphy. *C. R. Geoscience*, 340: 474-481.
- van Dam, J. A., Abdul Aziz, H., Álvarez Sierra, M. A., Hilgen, F. J., Hoeck Ostende, L. W. Van den Lourens, L. J., Mein, P., Meulen, A. J. y Peláez-Campomanes, P. 2006. Long-period astronomical forcing of mammal turnover. *Nature*, 443: 687-691.