

Definició i caracterització de la Formació ses Olles (Lago Mare, Messinià terminal) a l'Illa de Mallorca (Illes Balears, Mediterrània occidental)

Guillem MAS

SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA
NATURAL DE LES BALEARS

Mas, G. 2013. Definició i caracterització de la Formació ses Olles (*Lago Mare*, Messinià terminal) a l'Illa de Mallorca (Illes Balears, Mediterrània occidental). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 56: 209-231. ISSN 0212-260X. Palma de Mallorca.

Es defineix, caracteritza i descriu una nova unitat estratigràfica formal denominada Formació ses Olles integrada per lutites, margues i margues arenoses amb fauna salobre i/o d'aigua dolça. Aquestes contenen restes de plantes caràcies, abundant fauna de mol·luscs caracteritzada per la presència de bivalves del tàxon *Lymnocardiinae* i *Dreissenidae* d'origen paratethià i gasteròpodes d'aigua dolça-salobre i pulmonats, així com una abundant però poc diversificada fauna d'ostràcodes d'afinitat paratethyana, propis d'aigües oligo-mesohalines poc profundes. La seva posició estratigràfica, entre la deposició del Complex Carbonàtic Terminal i l'inici del Pliocè, així com el seu contingut paleontològic ens permeten situar aquesta formació en una edat Messinià superior. La situació i les condicions paleoambientals observades ens permeten correlacionar aquests depòsits amb l'episodi *Lago Mare* que va tenir lloc a la Mediterrània al final de la Crisi de Salinitat Messiniana just abans de la reinundació marina de principis del Pliocè.

Paraules clau: *Lago Mare, Messinià final, Crisi de Salinitat Messiniana, Mediterrània occidental.*

DEFINITION AND CHARACTERIZATION OF THE *SES OLLES* FORMATION (*LAGO MARE*, UPPER MESSINIAN) ON THE ISLAND OF MALLORCA (BALEARIC ISLANDS, WESTERN MEDITERRANEAN). A new formally stratigraphic unit named Ses Olles Formation located at top of the upper Messinian and at base of the Pliocene marine succession in the island of Mallorca has been distinguished, defined and characterized. This unit is made up of lutites, marls and sandy marls containing charofites, rich mollusc faunas characterized by bivalves *Lymnocardiinae* and *Dreissenidae* of Paratethyan origin and non-marine gastropods, and low diversified ostracod faunas of Paratethyan affinity, typical of oligo-low mesohaline shallow waters. The stratigraphical position and the paleontological data restrict the age of the former to the late Messinian. The age and environmental conditions correlate these deposits with the Lago-Mare event occurring throughout the Mediterranean before the marine flooding at the beginning of the Pliocene.

Keywords: *Lago Mare, Upper Messinian, Messinian Salinity Crisis, Western Mediterranean.*

Guillem MAS, Museu Balear de Ciències Naturals, Apartat de Correus n° 55, 07100 Sóller (Mallorca), Illes Balears, Espanya. e-mail: masgornals@gmail.com

Recepció del manuscrit: 10-des-13; revisió acceptada: 30-des-13

Introducció

La crisi de salinitat messiniana és un esdeveniment major dins l'evolució de la Mediterrània que es caracteritza per la formació d'importants dipòsits de sals i guixos (evaporites) tant a la seva zona abissal profunda com en les conques marginals, una deposició sota unes condicions d'extrema evaporació. Arran de la troballa d'evaporites a les planes abissals es va derivar la hipòtesi de conca profunda dessecada, segons la qual durant el Messinià a la Mediterrània s'hauria produït una caiguda del nivell del mar de més de 1500 m (Cita, 1973; Hsü *et al.*, 1973, 1978). Com a conseqüència de tal descens del nivell de la mar a la Mediterrània es van excavar profunds canons erosius en els seus marges, en coincidència amb els principals sistemes de drenatge (rius Roine i Nil).

La crisi de salinitat va tenir el seu origen pel tancament de les vies marines (passadissos Bètic i Rifeny) que comunicaven la Mediterrània i l'Atlàntic. L'edat d'inici de la crisi, quan comença la precipitació de les evaporites, s'ha establert al voltant als -5.9 Ma (Krijgsman *et al.*, 1999; Manzi *et al.*, 2013). La crisi acaba definitivament amb la reinundació de la Mediterrània a la base del Pliocè (-5,3 Ma, Krijgsman *et al.*, 1999), la causa va ser l'obertura d'una nova via marina (l'estret de Gibraltar) que no existia ni durant ni anteriorment a la crisi de salinitat.

A finals del Messinià, després de la sedimentació evaporítica que caracteritza la crisi de salinitat i just abans de la definitiva reinundació marina de la Mediterrània al Pliocè inferior produïda com a conseqüència de l'obertura de l'estret de Gibraltar (5,33 Ma), la sedimentació es va caracteritzar per diversos tipus de litologies i un ambient deposicional d'aigües salobres (eurihalines) i/o aigua dolça. Aquest episodi sedimentari que coincideix amb una etapa de dilució entre la crisi de salinitat i la inundació pliocena, ha estat denominat sota el nom de *Lago Mare* (Ruggieri, 1962; Hsü *et al.*, 1977).

Inicialment, els dipòsits *Lago Mare* van ésser reconeguts sobre les evaporites de la zona abissal de la Mediterrània oriental i foren interpretats com a resultat d'una sobtada reinundació de la Mediterrània dessecada amb aigües procedents del Paratethys (Hsü *et al.*, 1977; 1978). La presència de dipòsits tipus *Lago Mare* ha estat també documentada tant en altres sectors abissals de la Mediterrània (Benson, 1973; Iacarino i Bossio, 1999) així com en nombroses conques perimediterrànies, des de Màlaga fins a Xipre (Clauzon *et al.*, 2005; Orszag-Sperber, 2006; Soria *et al.*, 2007; Guerra-Merchán *et al.*, 2010). Aquesta ubiqüitat ha induït a considerar l'episodi *Lago Mare* com un esdeveniment major, que caracteritza el dispositiu paleogeogràfic postevaporític de tota la Mediterrània a finals del Messinià.

Finalment, existeix un consens generalitzat en que, després d'aquest episodi Lago Mare, a inicis del Pliocè la Mediterrània va quedar completament reomplerta d'aigua marina procedent de l'Atlàntic, a causa de l'obertura de l'estret de Gibraltar (CIESM, 2008).

L'objectiu d'aquest treball és definir i caracteritzar formalment els dipòsits de caràcter lacunar salobre (*Lago Mare*) que es van formar a la fi del Messinià a l'illa de Mallorca, ateses les recomanacions formals de la *International Stratigraphic Guide*, elaborada conjuntament per la *International Subcommission on Stratigraphic Classification* (ISSC) de la *International Union of Geological Sciences* (IUGS) i la *Geological Society of America* (Salvador, 1994; Murphy i Salvador, 1999; 2001).

Per tot això es proposa definir una nova unitat estratigràfica formal, per a la qual cosa cal establir:

- Una descripció, caracterització i definició clares i completes de la unitat, de manera que els investigadors posteriors puguin identificar-la.
- La proposició del tipus, nom i rang de la unitat.
- La designació d'una secció i localitat tipus on la unitat ha estat definida i on pugui ésser usada com a referència pels científics.
- La publicació en un mitjà científic reconegut, amb regularitat periòdica de publicació i accessibilitat per a la consulta.

Antecedents

El geòleg francès Henri Hermite, a la seva tesi doctoral sobre la geologia de Mallorca i Menorca (Hermite, 1879) cita al Miocè superior dels voltants de Can Crespí a Lluçmajor (actualment NW de la

urbanització Puigderrós-Maioris Decima), un petit aflorament corresponent a una formació salobre formada per calcàries toves amb motlles de *Cardium* i *Melanopsis*, que recorden la fauna de les capes amb *Congerina* (“*couches à congéries*”) dels dipòsits aralocaspians i que compara amb els d'Alèria (Còrsega). Posteriorment, Fallot (1922) atribueix erròniament la cita d'Hermite (1879) a la zona de Manacor.

Oliveros *et al.* (1960) i Colom (1967; 1975) citen ambients lacustres tortonians – pliocens amb restes d'arrels i presència de l'ostràcode *Cyprideis torosa* (Jones) al subsòl (sondeig 5.1) de la conca d'Inca. Aquests estudis inicials estan afectats per una falta de definició diferencial entre el Miocè i el Pliocè, tenint en compte que: i) es basen en sondejos que perforen una seqüència molt continua amb força influència continental lateral (Complex Terrigen Marginal) amb falta de diferenciació estratigràfica de fàcies; ii) el Pliocè marí era inclòs dintre del comodí molasses Helvetecia-Tortonia (Morey i Mas, 2009). La interpretació d'aquests dipòsits realitzada per Oliveros *et al.* (1960) i Colom (1967; 1975) és confusa i incorrecta segons manifesta posteriorment el propi Colom (1985).

Esteban (1979; 1996) defineix, a partir dels afloraments de Mallorca, el Complex Carbonàtic Terminal (CCT), com a una unitat deposicional lateralment equivalent (o lleugerament posterior) a la Unitat Evaporítica superior, indica que inclou, entre d'altres, calcàries d'aigües salobres i/o aigua dolça.

Mateu (1982) i Mateu *et al.* (1997), a partir de les dades paleobiològiques proporcionades per un sondeig (S-31) a l'Albufera d'Alcúdia (Mallorca), determinen un nivell evaporític messinià d'uns 45 m de potència, que correlacionen amb

l'Evaporita Superior finimiocènica descrita en els sondejos submarins del DSDP.

En el límit superior d'aquest nivell evaporític quasi estèril (que s'atribueix a l'erosió localitzada al llarg del marge continental de la Mediterrània en vies de dessecació) identifiquen un tram d'uns 5 m (entre -190 i -185 m) de margues ocres piritoses lacustres evaporítiques amb cristalls de guix singenètic, restes de caràcies oligohalines (*Chara*) i ostràcodes polihalins (*Cyprideis*), que recobreixen directament el Messinià evaporític i que recorden les fàcies *Lago Mare* (Cita, 1973; Selli, 1973). Aquest tram atribuït inicialment, amb reserves, a la base del

Pliocè (Mateu, 1982) és posteriorment adscrit clarament al Messinià (Mateu *et al.*, 1997). Als nivells lacustres-evaporítics segueixen, de forma sobtada, les fàcies marines transgressives-regressives del Pliocè.

Colom (1985), a partir de l'anàlisi micropaleontològica de sondejos realitzats sobre materials post-orogènics de Mallorca i Menorca, detecta l'existència d'una fàcies evaporítica - erosiva que separa un conjunt inferior de dipòsits del Miocè superior (Messinià) d'un altre conjunt superior de dipòsits del Pliocè inferior. Indica que en els nivells de pas del Messinià superior evaporític al Pliocè inferior marí,

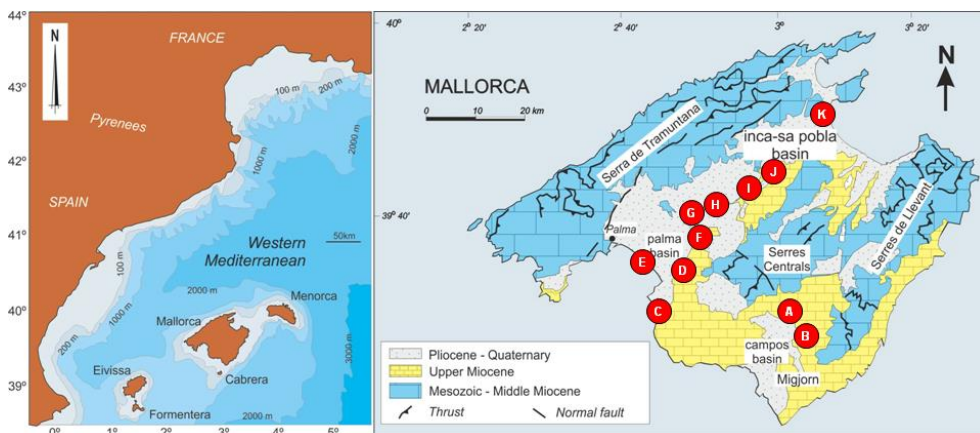


Fig. 1. Situació de les Illes Balears en el promontori Balear i mapa geològic de Mallorca amb la situació dels afloraments i sondejos *Lago Mare* (Formació ses Olles): A.- Pedrera des Monjos (Porreres); B.- Cova des Fum (Campos); C.- Penya-segat de ses Olles (Llucmajor), localitat tipus; D.- Pedrera Can Ramis (Llucmajor); E.- Sondeig S-13 Aeroport (Palma); F.- Sondeig LLP-31 (Palma); G.- Puig de Son Seguí (Sta. Maria); H.- Comellar des Rafal (Santa Eugènia); I.- Camí des Terrer Blanc (Sencelles); J.- Llubí nucli urbà (Llubí); K.- Sondeig S-31 s'Albufera (Alcúdia).

Fig. 1. Situation of the Balearic Islands on the Balear Promontory and geological map of Mallorca with the situation of the *ses Olles* Formation (*Lago Mare*) outcrops and boreholes: A.- es Monjos quarry (Porreres); B.- Cova des Fum cave (Campos); C.- ses Olles cliff (Llucmajor), type locality; D.- Can Ramis quarry (Llucmajor); E.- S-13 Airport borehole (Palma); F.- LLP-31 borehole (Palma); G.- Son Seguí hill (Sta. Maria); H.- es Rafal dip (Santa Eugènia); I.- es Terrer Blanc road (Sencelles); J.- Llubí urban nucleus (Llubí); K.- S-31 Albufera borehole (Alcúdia).

apareixen, moltes vegades, nivells lacustres amb fauna pròpia d'ambients salobres o d'aigua dolça, que correlaciona amb l'esdeveniment *Lago Mare* de Hsü (1978). Aquests nivells presenten sedimentació piritosa – hematítica i guixos, amb presència de l'ostràcode *Cyprideis torosa* (Jones), abundància de restes d'arrels, oogonis de caràcies, petits gasteròpodes lacustres, restes òssies de peixos, resquills de conquilla lacustre i foraminífers litorals eurihalins (*Ammonia*, *Elphidium*, *Nonion*).

Sobre aquests nivells de base lacustres segueixen nivells marins de salinitat normal amb una abundant i variada població de foraminífers bentònics i planctònics (entre aquets darrers *Globorotalia margaritae*), que representen l'arribada de la transgressió pliocena. Segons Colom (1985) el Miocè superior de Mallorca no acaba amb nivells marins de salinitat normal, sinó que entre el Miocè superior i el Pliocè inferior s'interposa una zona evaporítica, pertanyent a la fase de dessecació de la Mediterrània, amb una emersió parcial de les conques de l'illa compaginant llacunes i pantans amb sectors totalment emergits. L'arribada de la transgressió pliocènica aporta novament aigües de salinitat normal i associacions amb foraminífers abundants.

Alvaro *et al.* (1984) citen una superfície d'erosió intramessiniana sobre la que es situà de forma expansiva el Complex Carbonàtic Terminal (Esteban, 1979) format per una unitat inferior carbonàtica hipersalina i una unitat superior argilosa amb fauna d'aigua dolça truncada a la part superior per una altra superfície càrstica i erosiva. A l'est de la conca de Palma i a la conca d'Alcúdia, la unitat d'aigua dolça es situa per sobre la unitat inferior carbonàtica o en contacte directe amb els sediments de talús del Complex d'Esculls Messinià, en forma d'unitat cíclica caracteritzada per varies discontinuïtats internes (alternança

de margues sapropèliques laminades, diatomites, argiles verdes i *wackestones* bioclàstics).

La relació entre unitats és erosiva i el cicle s'inicia amb una superfície irregular que bretxifica la unitat inferior. La unitat superior d'aigua dolça es caracteritza per l'absència de foraminífers i la presència d'ostràcodes (*Cyprideis* i altres), caràcies (*Chara*, *Nitellopsis*) i petits gasteròpodes (*Hydrobia*).

Mentre que Alvaro *et al.* (1984) consideren aquesta unitat d'aigua dolça post-evaporítica i la fan coincidir amb la reconeguda a la Mediterrània per Rouchy (1982) entre el Miocè terminal enrarit (Complex Carbonàtic Terminal aberrant d'Esteban, 1979) i el Pliocè marí normal; Simó i Ramón (1986) identifiquen aquests mateixos nivells amb la formació Trípoli descrita a Itàlia com una unitat pre-evaporítica marina.

Barnolas (1991) es refereixen a unes fàcies de margues i diatomites, incloses dins del "Complex Terminal", descrites per Simó (1982) que només han estat localitzades en sondejos a la part central de la conca de Palma i que consisteixen amb margues sapropèliques obscures amb peixos, margues verdes amb lumaquel·les de *Cardium* i *Cerithium* i diatomites blanques amb otòlits. A les columnes estratigràfiques corresponents als sondejos SO-01 (S-13 Palma SGOP): Son Sant Joan i SO-03 (S-16' Palma SGOP): Son Ferriol, adjuntades com a informació complementària del full 698/723(IV) (Palma) del MAGNA50, apareixen entre els 120/130 – 135/145 m de profunditat uns 15 m de potència de margo-calcàries lacustres amb restes vegetals i lumaquel·les de *Cardium* i *Cerithium* (que en realitat correpondrien a *Lymnocardiinae* i *Melanopsis* sp.), situades immediatament per sobre el nivell de guixos selenítics messinians i just per baix

dels primers nivells de margues marines zoògenes amb *Amusium* del Pliocè.

Fornós i Pomar (1983) i Pomar *et al.* (1983) descriuen els dipòsits margosos amb estromatòlits de caràcter evaporític, bretxes de col·lapse dolomítiques i nòduls de sílex, que afloren a l'E de la Badia de Palma (NW del Pas des Verro) i els inclouen dins de la Unitat de Calcàries de Santanyí (Complex Terminal), al trobar-se disposats sobre les fàcies de talús distal de la Unitat d'Esculls i per sota de les fàcies de plataforma i de platja atribuïdes al Pliocè.

Posteriorment, Pomar *et al.* (1990; 1996) es refereixen a aquests mateixos dipòsits, sota la denominació d'Unitat de Guixos i Margues Grises, amb una potència de 10 m en aflorament i formada per dolomies i margues grises i gipsíferes, amb estromatòlits i restes de peixos, que consideren correlacionables amb els dipòsits de guixos massius perforats per sondejos al centre de la conca de Palma. Aquesta unitat recobreix de forma concordant les fàcies de plataforma oberta de la Unitat d'Esculls (Pomar *et al.*, 1983) i a la vegada es recoberta pels dipòsits del Pliocè que rebleixen parcialment la conca de Palma. S'interpreta com una subunitat o litofàcies correlativa amb la unitat de Calcàries de Santanyí (Fornós, 1983; Fornós i Pomar, 1983).

Segons Pomar *et al.* (1996), la relació estratigràfica de la Unitat de Guixos i Margues Grises amb les Calcàries de Santanyí i les Margues de la Bonanova és incerta, degut a la manca de dades cronostatigràfiques que les relacionen amb les Margues de la Bonanova i les Calcàries Santanyí del W de la conca de Palma i amb les Calcàries de Santanyí a la costa SE de Mallorca. Segons aquests autors, la unitat de Guixos i Margues Grises representa dipòsits corresponents a un ambient restringit d'aigües marines molt somes o

d'aigua dolça (amb reserves), que recobreixen de forma concordant els dipòsits marins més profunds de la Unitat d'Esculls i, per tant, registren una disminució relativa del nivell del mar després de la deposició de la Unitat d'Esculls, que probablement estigui relacionada amb una important reducció del nivell del mar durant la Crisi de Salinitat Messiniana. Aleshores, la Unitat de Guixos i Margues Grises podria ser equivalent en temps a la part superior al·luvial de les Margues de la Bonanova regressives, però es desconeix si la Unitat de Guixos i Margues Grises es va dipositar durant aquesta important reducció del nivell del mar o durant el posterior augment. La superfície d'erosió existent a la part superior de la Unitat d'Esculls, sobre la que es dipositen les Calcàries de Santanyí, podria representar l'erosió existent durant la caiguda relativa del nivell del mar quan la Unitat de Guixos i Margues Grises i, possiblement, la part superior de les Margues de la Bonanova foren dipositades. Si aquesta disconformitat és equivalent en temps al principal *lowstand* del nivell del mar messinià, llavors les roques de plataforma soma carbonatada de les Calcàries de Santanyí probablement es van dipositar per sobre d'aquesta superfície després del moment de l'àmplia deposició d'evaporites a la Mediterrània occidental. Finalment indiquen que tanmateix, resta per conèixer la plataforma més profunda i els equivalents de la conca profunda de les Calcàries de Santanyí, el que fa qualsevol correlació difícil de justificar.

Mas i Fornós (2006) descriuen al S de la conca de Campos la relació estratigràfica entre el Pliocè i el bassament Miocè sobre el qual es disposa. La seqüència pliocena és de tipus transgressiu-regressiu i està formada per dues unitats que corresponen a dipòsits litorals i somes a la base i dunars a

sostre, que es disposen de forma extensiva sobre una superfície irregular formada per calcàries estromatolítiques que mostren unes característiques diagenètiques molt particulars, amb neomorfismes i abundant dolomitització. Des de la perspectiva paleoambiental reforcen l'existència d'un model d'evolució postorogènica que inclou des d'un ambient finimiocènic restringit d'aigües somes hipersalines (tipus *Lago Mare – Sabkha*) amb esculls estromatolítics de caràcter tropical – subtropical, que es segueix, després d'un breu episodi continental de condicions diagenètiques molt especials (probablement híper-salinitat), i després amb l'establiment d'un ambient marí inicialment molt litoral (Pliocè inicial) evolucionant a un ambient més temperat de tipus deltaic amb bancs d'ostrèids i platges, evolucionant finalment a un sistema dunar (Pliocè mitjà – superior).

Morey i Mas (2009), en un estudi sobre el neogen de la zona de Sta. Eugènia-Sencelles, constaten la presència de nivells miocens terminals de tipus salobre-lacunar, formats per lutites, margues i gresos amb fauna salobre i d'aigua dolça. Contenen restes de petits vertebrats indeterminats, tiges i oogonis de caràcies (*Chara*), motlles d'hidròbids i planòrbids, potamidids i petits Limnocardinae, ostràcodes (*Cyprideis*) i rars foraminífers bentònics (*Elphidium*, *Ammonia*). Aquest nivells es troben normalment per sobre dels nivells estromatolítics-oolítics, a la vegada que són recoberts per les margues profundes de la transgressió pliocena (calcsiltites amb *Amusium*). Afloren als nivells superiors del puig de Son Seguí, al comellar d'es Rafal (Sta. Eugènia) i al camí del Terror Blanc (Sencelles).

Arenas i Pomar (2010) afirmen que la unitat de Calcàries de Santanyí són fàcies diferents però cronostatigràficament

equivalent a la Unitat d'Esculls (Pomar *et al.*, 1983) i que possiblement no ha d'ésser inclosa dins del Complex Carbonàtic Terminal, tenint en compte que: a) els nivells de Calcàries de Santanyí estan afectats per col·lapses càrstics que se suposen sincrònics a les mateixes oscil·lacions de nivell del mar que van controlar l'estructura deposicional de la Unitat d'Esculls (Robledo *et al.*, 2004; Robledo, 2005); b) no han estat reconegudes a Mallorca, ni fàcies de plataforma profunda, ni fàcies més profundes equivalents a la unitat de Calcàries de Santanyí. La unitat de Guixos i Margues Grises (Pomar *et al.*, 1990; 1996) seria el resultat de la posterior acumulació d'evaporites i dolomies, durant la principal caiguda del nivell del mar, directament sobre las fàcies profundes de la Unitat d'Esculls anterior.

Mas (2011) estudia els afloraments de la pedrera des Monjos (Porreres) on descriu per primera vegada un important aflorament amb una clara i rica fauna *Lago Mare*, centrant-se en l'estudi de la sedimentació durant la transició Messinià-Pliocè i la posterior transgressió-regressió de la mar pliocena a la conca sedimentària de Campos. Els principals objectius que es persegueixen són: i) mostrar evidències d'una important fase erosiva intrames-siniana, ii) mostrar i caracteritzar els dipòsits de caràcter continental-lacunar (*Lago Mare*) que es van formar a la fi del Messinià; iii) documentar evidències de l'existència d'una important discontinuïtat entre els dipòsits del Messinià terminal i del Pliocè i, iv) descriure els dipòsits del Pliocè que es disposen sobre aquesta discontinuïtat.

Recentment, Mas i Fornós (2011; 2012; 2013) realitzen una anàlisi del registre de la MSC a la conca de Palma, definint les diferents discontinuïtats i unitats que inter-

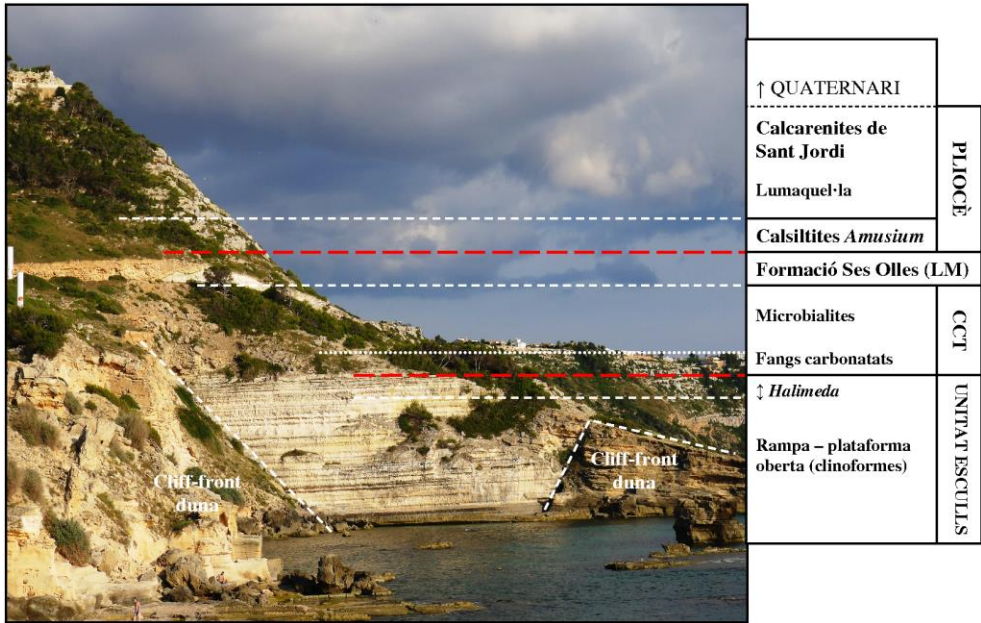


Fig. 2. Vista general i estratigrafia del penya-segat de ses Olles amb indicació de les diferents unitats. CCT: Complex Carbonàtic Terminal. LM: Lago Mare (Formació ses Olles).

Fig. 2. Overview and stratigraphy of the different units of ses Olles cliff. CCT: Terminal Carbonate Complex. LM: Lago Mare (ses Olles Formation).

venen, així com la seva presumible relació amb els principals esdeveniments de la MSC. Aquests autors fan una primera referència específica a l'existència de dipòsits *Lago Mare* a la conca de Palma, formats per margues arenoses, amb fauna salobre i d'aigua dolça, amb restes vegetals (oogonis de caràcies), bivalves d'afinitat paratethyana (*Dreissena*, Limnocardiiinae), gasteròpodes prosobranquis i pulmonats, ostràcodes d'afinitat paratethyana (*Cypri-deis*, *Tyrrhenocythere*, *Loxoconcha*, *Ilyocypris*), traces d'insectes, restes de peixos i escassos foraminífers bentònics resedimentats, situats entre els dipòsits evaporítics-CCT messinians i les unitats pliocenes.

Fauna salobre, atribuïda a ambients *Lago Mare*, ha estat també descrita en

diferents perforacions marines DSDP-ODP realitzades a llocs propers a les Illes Balears; concretament als emplaçaments 975 (2415 mbsl, 305,42 mbsf) dins de la Conca Baleàrica (Iacarino i Bossio, 1999) i 372 a l'escarpament de Menorca (Benson, 1978).

Definició, caracterització i descripció

a) Nom/Denominació

Formació ses Olles

Per a la ubicació de la localitat tipus a la zona litoral denominada ses Olles (Fig. 2).

b) Localitat tipus

Localització geogràfica (coordenades UTM datum WGS84):

Fus: 31S

X: 478024

Y: 4366480

Z (cota): 32 m s.n.m.

Topònim: Sa punta de ses Olles [sector 38W(B-9) in Mascaró (1987); epígraf 386(4.5.2) in Aguiló (1996)].

Situació: a la costa SE de la Badia de Palma, entre el Cap Enderrocat i el Cap de Regana (Fig. 1C), als penya-segats de la urbanització Puigderrós (també denominada Maioris Decima-sa Moreria), al municipi de Lluçmajor, de l'illa de Mallorca (Illes Balears).

Accessibilitat: s'hi accedeix per la carretera del Cap Blanc (MA-6014), sortida urbanització Puigderrós-Maioris Decima (km 6,4), per una camí asfaltat que surt des del carrer Oronella de la urbanització i que baixa pel penya-segat cap al l'hotel *Mhars Sea Club*, per acabar en una mena d'aparcament improvisat en un replà de les antigues pedreres de marès de ses Olles. Aquest camí continua cap el S en forma de pista de terra bordejant el penya-segat en direcció a la costa des Pas des Verro-Badia Gran.

L'aflorament es troba en el desmunt de la pista de terra, situat a uns 250 m de l'aparcament just al davant sa punta de ses Olles, coincidint amb les fites (cilindres blancs) que marquen el punt d'enfilada més meridional de la Zona de Protecció Especial (ZPE) de la reserva marina de la badia de Palma (Cap Enderrocat).

c) *Descripció de la unitat a la localitat tipus*

Litologia:

Litològicament la unitat està constituïda per un conjunt de margues i margues arenoses de colors clars, blancs, grisos i marrons, amb intercalació de capes centimètriques d'argiles verdes i una capa

decimètrica de margocalcàries, corresponent a una lumaquella de motlles de mol·luscs.

Estratigrafia:

La seqüència observable a l'aflorament de la localitat tipus de ses Olles, mostra, de base a sostre (Fig. 4B):

- 1) 0,05 m d'argiles verdes.
- 2) 0,40 m de margocalcàries (*wackestone*). Contenen fauna salobre i d'aigua dolça. Presenten fracturació subvertical amb infiltracions d'argiles verdes del nivell (3) superior.
- 3) 0,10 m argiles verdes. Contenen còdols d'ordre centimètric i infiltren el nivell (2) inferior.
- 4) 0,90 m de margues grises fines amb restes de mol·luscs (gasteròpodes, bivalves i ostràcodes) salobres i d'aigua dolça i restes de caràcies.
- 5) 0,20 m de margocalcàries (*wackestone*) amb fauna salobre i d'aigua dolça i restes de caràcies. Nivells arenosos amb un nivellet d'acumulació de motlles de mol·luscs a sostre. Infiltracions d'argiles verdes del nivells superiors.
- 6) 0,20 m d'argiles verdes, que s'infiltren als nivells inferiors. Contenen restes de mol·luscs i abundants ostràcodes en posició de vida ferruginitzats.
- 7) 0,30 m de margues grises que passen a blanques a sostre.
- 8) 0,05 m d'argiles verdes.
- 9) 3,00 m margues blanques fines amb escassa fauna.

Potència màxima observable en aflorament: 5 m

La formació s'inicia amb un contacte (normal) sobre la unitat anterior de microbialites del Complex Carbonàtic Terminal (Esteban, 1979; 1996) i acaba en una superfície d'erosió mitjançant la qual s'hi sobreposa la unitat de Calcisiltites de Son Mir (Pomar *et al.*, 1983) corresponents









Estratigrafia penya-segat ses Olles	Registre paleontològic	
<p>PLIOCÈ Marí obert Calcisilites i calcarenites amb <i>Amusium</i>, mol·luscs, equinoïdeus i foraminífers planctònics i bentònics</p>		
<p>DISCONFORMITAT FINI-MESSINIANA Erosió Límit Mio/Pliocè Pliocè en <i>onlap</i> sobre dipòsits <i>Lago Mare</i> mitjançant un Lag transgressiu</p>		<p style="text-align: center;">Hiatus</p>
<p>FORMACIÓ SES OLLES Lago-Mare Oligo-mesohalí Margues i margues arenoses amb ostracodes i fauna salobre i d'aigua dolça, amb afinitat paratethyana</p>		
<p>COMPLEX TERMINAL Hipersalí (?) Microbialites (estromatòlits) i oolites amb marques de corrents Restes de peixos</p>		
<p>DISCONTINUITAT INTRA-MESSINIANA No deposició - Erosió Complex Terminal en <i>onlap</i> sobre les capes d'<i>Halimeda</i> de la Unitat d'Esculls truncada</p>		<p style="text-align: center;">Hiatus</p>
<p>UNITAT D'ESCULLS Marí obert Plataforma oberta (Clinofomes) Capes d'<i>Halimeda</i> <i>Neopycnodonte</i>, equinoïdeus detritívors</p>		

Fig. 3. Estratigrafia i registre fòssil de les diferents unitats del penya-segat de ses Olles.
Fig. 3. Stratigraphy and fossil record of the different units of the ses Olles cliff.

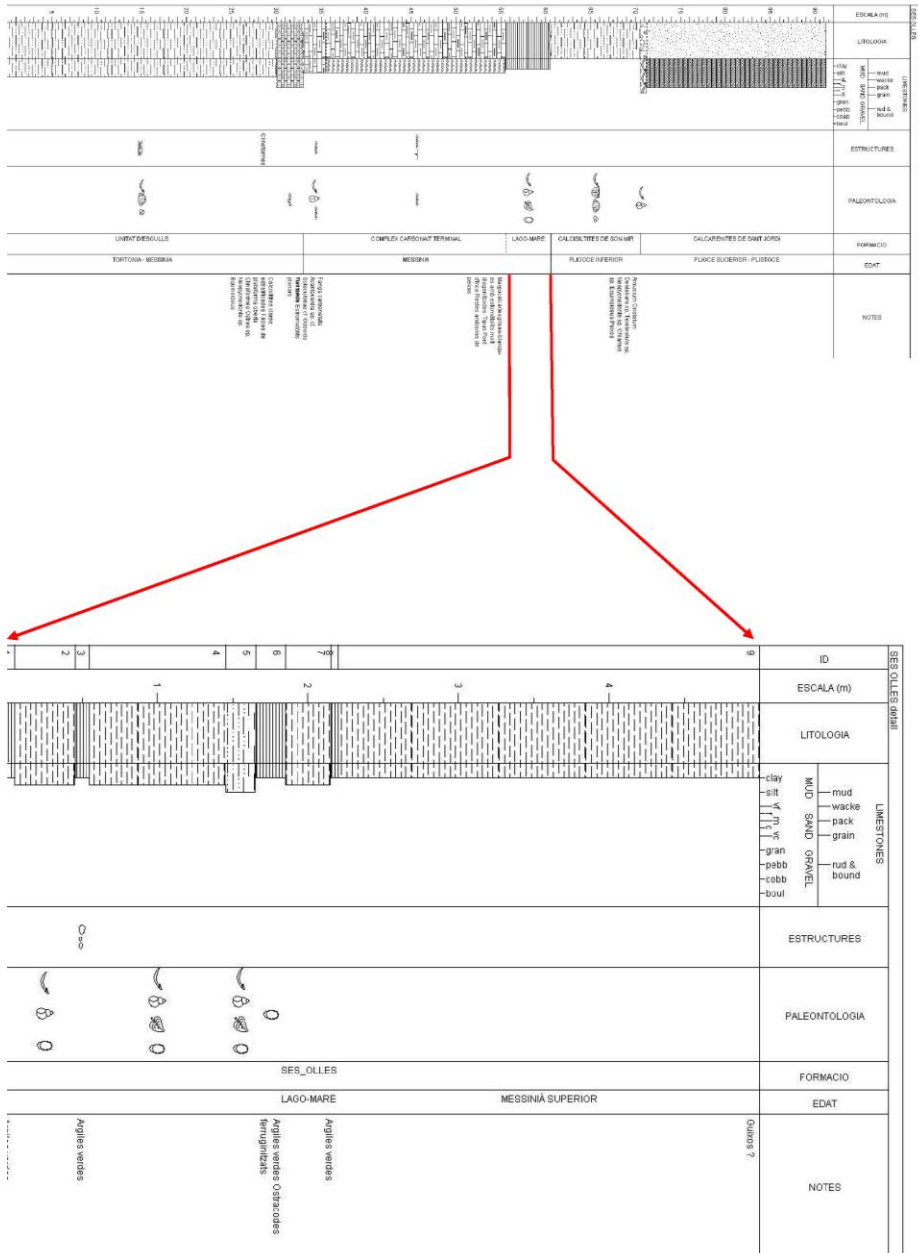


Fig. 4. Columnes estratigràfiques sintètiques: A.- Conjunt del penya-segat de ses Olles, B.- Detall de la Formació ses Olles (Lago Mare).

Fig. 4. Synthetic stratigraphic column: A.- Complete of the ses Olles cliff, B.-Detail of the ses Olles Formation (Lago Mare).

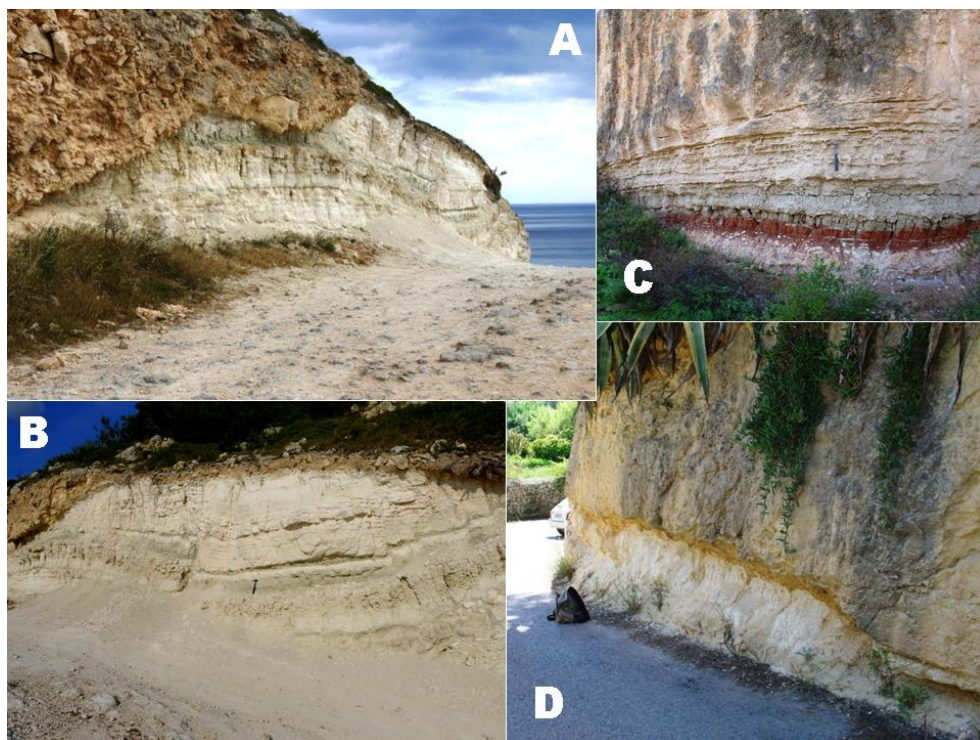


Fig. 5. Vistes general de diferents afloraments de la unitat *Lago Mare* (Formació ses Olles): A,B.- Penya-segat de ses Olles a la conca de Palma (localitat tipus); C.- Pedrera des Monjos a la conca de Campos, límit mio-pliocè situat en el contacte de la Formació ses Olles (*Lago Mare*, Messinià) amb la Unitat Calcarenites de Sant Jordi (Pliocè), destaca el paleosòl vermell a base de la unitat *Lago Mare*; D.- Camí des Terrer Blanc a la conca d'Inca, contacte Formació ses Olles (*Lago Mare*, Messinià) amb Unitat Calcisiltites de Son Mir (Pliocè).

Fig. 5. *Overviews of different Lago Mare (ses Olles Formation): A,B.- ses Olles cliff in the Palma Basin (type locality); C.- es Monjos quarry in the Campos Basin, Mio/Pliocene boundary located between the ses Olles Formation (Lago Mare, Messinian) and the Sant Jordi Calcarenites Unit (Pliocene), note the reddish paleosol in the Lago Mare unit; D.- es Terrer Blanc road in the Inca Basin, Mio/Pliocene boundary between the ses Olles Formation (Lago Mare, Messinian) and the Son Mir Calcisiltites Unit (Pliocene).*

al del Pliocè inferior marí (Fig. 3 i 4A).

Estructuralment els sediments d'aquesta formació juntament amb els de la unitat inferior (Complex Carbonàtic Terminal), presenten una disposició subhoritzontal, havent sofert únicament una lleugera inclinació i flexió, podent presentar petites falles sinsedimentàries normals de salt d'ordre submètric (Fig. 5A i 5B),

possiblement associades als efectes de dissolució de la unitat de guixos situada a centre de conca, o a l'efecte disharmònic degut a que el conjunt es troba embegut entre dues unitats calcàries (Unitat d'Esculls i Unitats Pliocenes).

Contingut fòssil:

El conjunt fòssil es caracteritza per una

fauna salobre i d'aigua dolça i restes vegetals:

- Foraminífers:

Rars foraminífers bentolitorals retreballats (*Ammonia* sp., *Nonion* sp.)

- Vegetals:

Oogonis i tiges de caràcies (*Chara* sp.)

Rizoconcrecions (restes d'arrels)

- Ostràcodes:

Cyprideis agrigentina Decima, 1964

Tyrrhenocythere pontica (Livental in Agalarova *et al.*, 1961)

- Gasteròpodes:

Hydrobiidae (cf. *Saccoia* sp.)

- Bivalves:

Dreissena (*Pontodreissena*) ex gr. *D. (P.) rostriformis* (Deshayes, 1838)

Euxinocardium subodessae (Sibzov, 1877)

Pseudocatillus cf. *P. pseudocatillus* (Barbot de Marny, 1869)

Prosodacnomya sp.

Lymnocardiinae (indeterminats)

- Insectes:

Traces fòssils corresponents a càmeres o nius d'insectes indeterminats.

A part del conjunt citat a l'estratotip. A altres aflorament de la mateixa unitat també s'han pogut determinar (Morey i Mas, 2009; Mas, 2011; Mas i Fornós, 2011; 2012; 2013 i dades inèdites):

- Foraminífers:

Miliòlids

- Vegetals:

Microcodium

- Ostràcodes:

Loxoconcha sp., *Ilyocypris* sp. (Fig. 6D, E i F)

- Bivalves:

Lymnocardium adriaticum Gillet, 1969,

- Gasteròpodes:

Melanopsis sp.,

Melanoides sp.,

Theodoxus sp.,

Gasteròpodes pulmonats (Planorbidae

cf. *Hippeutis* sp., Helicidae-

Hygromiidae indeterminats)

- Peixos (espines i escates)

Dels mol·luscs, excepte els ostràcodes, normalment només es conserven els motlles. L'associació de mol·luscs fòssils lacustres recuperats es caracteritza per ésser la típica associació de tàxons tipus *Lago Mare*, que pràcticament no varia la seva composició al llarg de la seva distribució en conjunt de la Mediterrània, amb presència de petits bivalves de Lymnocardiinae, Dreissenidae (musclos d'aigua dolça) i gasteròpodes pulmonats prosobranquis de caràcter hipo-oligohalí. *Dreissena* ex gr. *rostriformis* és una espècie d'inequívoc origen paratethià (Archambault-Guezou, 1976) que va tenir una àmplia distribució a la Mediterrània durant el Messinià final, i que apareixen la majoria de conjunts de mol·luscs de les fàcies *Lago Mare*. Els immigrants paratethians van desaparèixer de la Mediterrània fa 5,33 Ma (Nevesskaja *et al.*, 2001), quan es van restablir les condicions marines obertes al principi del Pliocè (Esu, 2007; Soria *et al.*, 2007; Esu i Girotti, 2008; Guerra-Merchán *et al.*, 2010).

Atesa la classificació de biofàcies marginolitorals (Mateu *et al.*, 1997), la presència de mol·luscs oligohalins i caràcies, juntament amb una mínima presència de foraminífers de naturalesa esquizoalina, ens indiquen que els dipòsits de la Formació ses Olles (*Lago Mare*) són més de tipus filocontinental que de tipus paràlic-salobros (vegeu Apèndix 3).

La presència d'ostràcodes del gènere *Tyrrhenocythere*, en combinació amb espècies del gènere *Cyprideis* i de la família Loxoconchidae ("Cyprideis-Loxoconchidae-Tyrrhenocythere assemblage", Grossi

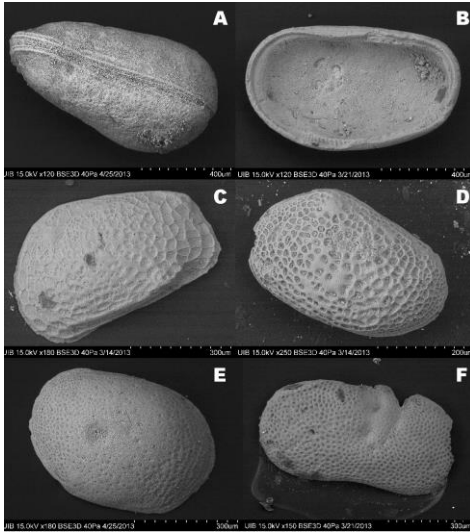


Fig. 6. Ostràcodes d'afinitat paratethyana abundants a la Formació ses Olles: A, B.- *Cyprideis agrigentina* Decima, 1964; C.- *Tyrrhenocythere pontica* (Liventhal in Agalarova *et al.*, 1961); D,E.- *Loxoconcha* spp.; F. *Ilyocypris* sp.

Fig. 6. Ostracodes with Paratethyan affinity, abundant in the ses Olles Formation: A, B.- *Cyprideis agrigentina* Decima, 1964; C.- *Tyrrhenocythere pontica* (Liventhal in Agalarova *et al.*, 1961); D,E.- *Loxoconcha* spp.; F. *Ilyocypris* sp.

et al., 2008) ens indica un cos d'aigües oligohalines poc profundes (alguns metres de profunditat, probablement de no més de 10-15 m).

A la zona del Puig de Son Seguí, Son Tano i comellar des Rafal (Sta. Eugènia), coincidint amb el tram superior del Complex Carbonàtic Terminal i la base dels dipòsits *Lago-Mare*, apareixen uns dipòsits margosos i calcaris amb fauna marina d'un ambient restringit que contenen restes vegetals (fulles), foraminífers litorals força abundants (*Elphidium* sp., *Ammonia* sp.), ostràcodes (*Aurila* sp., *Cyprideis* sp.), pues d'equinoïdeus, bivalves (*Anadara* sp.,

Lucinidae, Cardiidae), gasteròpodes (Potamididae cf. *Timpanotonus* sp.) i peixos (espines i escates), que corresponen a una fase inicial de les condicions restringides (fàcies pre *Lago Mare*).

d) *Aspectes regionals*

La Formació ses Olles no és exclusiva de la conca sedimentària de Palma, també ha estat localitzada a altres conques sedimentàries de Mallorca (vegeu Apèndix I i Fig. 1):

1) Conca de Palma: localitat tipus de ses Olles (Urb. Puigderrós-Maioris Decima, Llucmajor), na Caretes (Urb. sa Torre, Llucmajor), pedrera Can Ramis (s'Aranjassa, Llucmajor) i sondejos Aeroport Son Sant Joan¹, Son Ferriol² i Xorrigo³ (Palma) (Hermite, 1879; Mas i Fornós, 2011; 2012; 2013; R. Bourillot, com. personal).

2) Conca de Campos: Pedrera des Monjos (Porreres) (Fig. 5C) i Cova des Fum (Campos) (Mas, 2011, Mas i Fornós, 2013).

3) Conca d'Inca: Comellar des Rafal-Can Sineu (Sta. Eugènia), Ermita-Puig de Son Seguí (Sta. Maria del Camí-Sta. Eugènia, Camí des Terrer Blanc (Biniali, Sencelles) (Fig. 5D) (Morey i Mas, 2009; Mas i Fornós, 2013) i Tirasset (Inca) (G. Mas i D. Perelló, dades inèdites).

4) Conca de sa Pobla-Alcúdia: Llubí (nucli urbà) (Mas i Fornós, 2013; G. Mas i D. Perelló, dades inèdites) i sondeig de s'Albufera⁴ (S-31) (Alcúdia) (Mateu, 1982; Colom, 1985; Mateu *et al.*, 1997).

¹ Sondeig S-13 del SGOP, equivalent al SO-01 del full 38-27 (Palma) del MAGNA.

² Sondeig S-16' del SGOP, equivalent al SO-03 del full 38-27 (Palma) del MAGNA.

³ Sondeig LLP-31 de la DGOH.

⁴ Sondeig S-31 del SGOP, equivalent al SO-04 de full 39-26 (Inca) del MAGNA.

La formació aflora als marges de conca i coincidint amb les zones d'acció d'algunes falles de direcció. A les conques d'Inca i sa Pobla els afloraments coincideixen exactament amb la zona d'acció direccional de la falla de Sencelles-Vinagrella que ha contribuït a posar al descobert els afloraments (Mas, 2013).

A la part marginal de la conca de Campos (es Monjos) la formació presenta la particularitat de presentar paleosòls (fig. 5C) a la base (Mas, 2011).

En alguns casos, coincidint amb les zones obertes de les conques, els sediments *Lago Mare* poden haver estat totalment erosionats per una superfície d'erosió finimessiniana que també pot arribar a afectar als dipòsits del Complex Carbonàtic Terminal (Mas i Fornós, 2011; 2012; 2013).

La formació es troba normalment afectada a sostre per una superfície d'erosió que la separa del Pliocè (Fig. 3 i 5D), que pot presentar carstificació i perforacions degudes a litòfags.

e) Edat geològica (geocronologia)

Per a la seva ubicació entre el Complex Carbonàtic Terminal (Esteban, 1979; 1996; Fornós i Pomar, 1983) i el Pliocè es pot situar aquesta unitat dins del Messinià superior.

Tenint en compte que, a la Mediterrània occidental, el Complex Carbonàtic Terminal ha estat atribuït a una edat estimada entre els 5,6-5,45 Ma (Bourillot *et al.*, 2010) i que existeix un acord quasi unànime en que Pliocè s'inicia als 5,33 (Krijgsman *et al.*, 1999), llavors la Formació ses Olles (*Lago Mare*), al situar-se entre el Complex Carbonàtic Terminal i l'inici del Pliocè, ha d'esser datada entre els 5,45 i els 5,33 Ma.

Altres autors (Cornée *et al.*, 2004) situen el Complex Carbonàtic Terminal entre els 5,94-5,77 Ma, per a la qual cosa,

en aquest cas, la Formació ses Olles (*Lago Mare*) es podria situar entre els 5,77-5,33 Ma.

Alguns autors (Clauzon *et al.*, 2005) han proposat la possible existència de tres episodis *Lago Mare*: LM-1 (5,52 Ma, estatge isotòpic TG-11), LM-2 (5,40-5,33 Ma), LM-3 (5,33 Ma, estatge isotòpic TG-5). LM-1 i LM-3 correspondrien a intercanvis d'aigües entre la Mediterrània i Paratethys en períodes de màxim nivell de la mar (*highstands*) just abans i després de la gran dessecació messiniana, mentre que LM-2 resultaria de l'abocament d'aigües del Paratethys dins la Mediterrània al final de l'episodi de dessecació màxima.

Així doncs, tenint en compte la seva posició estratigràfica, situada immediatament sobre el Complex Carbonàtic Terminal i immediatament sota els dipòsits marins del principi del Pliocè, la Formació ses Olles s'ha de situar al Messinià terminal en una edat entre els 5,44-5,33 Ma, sense poder descartar completament una edat un poc més antiga que el situaria als entorn dels 5,52 Ma (LM-1).

f) Correlació amb altres unitats

La Formació ses Olles, aquí definida, es correspon, en part, al Complex Carbonàtic Terminal (Esteban, 1979; 1996), part de les Calcàries de Santanyí (Pomar i Fornós, 1983; Fornós, 1983), a la unitat superior argilosa amb fauna d'aigua dolça del Complex Carbonàtic Messinià d'Alvaro *et al.* (1984) i a la part superior de la Unitat de Guixos i Margues Grises (Pomar, 1990; 1996).

g) Gènesi

Aquesta unitat s'hauria dipositat en un ambient sedimentari propi d'un cos d'aigües oligo-mesohalines poc profundes. Això ens indica que abans de l'inici de la gran transgressió pliocena hi va haver un període

amb forta aportació d'aigües dolces, possiblement relacionades amb aspectes de canvi climàtic (augment de les precipitacions, reactivació de caudals fluvials, ...) i/o intercanvis d'aigües amb el Paratethys.

Mentre algunes hipòtesis sostenen una vessament d'aigües del Paratethys dins la conca Mediterrània dessecada (Hsü *et al.*, 1973; Cita *et al.*, 1978a; 1978b; Clauzon *et al.*, 2005) altres aposten per un increment de les aportacions fluvials per reactivació de les pluges (Rouchy, 1982; Krijgsman *et al.*, 1999; Riding *et al.*, 1998) (vegeu Apèndix 2).

Per contra la postura majoritàriament acceptada, alguns treballs mantenen que els dipòsits *Lago Mare* de les conques marginals no formen part de la unitat general de la Mediterrània, sinó que han d'ésser considerats com a facies locals (Aguirre i Sánchez-Almazo, 2004) o que realment són part integrant d'un episodi marí normal (Braga *et al.*, 2006).

Conclusió

La Formació ses Olles de l'illa de Mallorca es concebuda com una nova unitat formal definida dins dels següents tipus de categories:

- i) com unitat litostratigràfica, basada en les propietats litològiques de la roca,
- ii) com unitat limitada per discontinuïtats significatives, dins de la successió estratigràfica, i
- iii) com unitat biostratigràfica, basada en el contingut fòssil de la roca.

Aquesta unitat està integrada per lutites, margues i margues arenoses amb restes de caràcies i fauna salobre i/o d'aigua dolça, d'afinitat paratethyana, propis d'aigües oligo-mesohalines poc profundes.

La seva posició estratigràfica, entre la deposició del Complex Carbonàtic Terminal i l'inici del Pliocè, així com el seu contingut paleontològic ens permeten situar aquesta formació en una edat Messinià superior. La situació i les condicions paleoambientals observades ens permeten correlacionar aquests depòsits amb l'episodi *Lago Mare* que va tenir lloc a la Mediterrània durant la Crisi de Salinitat Messiniana abans de la reinundació marina de principis del Pliocè.

Agraïments

A la Dra. Elsa Gliozzi del *Dipartimento di Scienze Geologiche* de la *Università degli Studi Roma Tre* (Itàlia) per la revisió de la fauna d'ostràcodes i a la Dra. Daniela Esu del *Dipartimento di Scienze della Terra* de la *Università "La Sapienza"* de Roma (Itàlia) pels seus comentaris sobre la fauna de mol·luscs i la bibliografia facilitada. Al Dr. Joan J. Fornós del Departament de Ciències de la Terra de la Universitat de les Illes Balears, que amb els seus consells i supervisió a fet millorar considerablement la qualitat del present treball.

Bibliografia

- Aguiló, C. 1996. *La toponímia de la costa de Lluçmajor*. Institut d'Estudis Catalans. Treballs de l'Oficina d'Onomàstica, 2. 184 p. Barcelona.
- Aguirre, J. i Sánchez-Almazo, I.M. 2004. The Messinian post-evaporitic deposits of the Gafares area (Almería – Níjar basin, SE Spain). A new view of the "Lago-Mare" facies. *Sedimentary Geology*, 168(1-2): 71-95.
- Alvaro, M., Barnolas, A., Del Olmo, P., Ramírez del Pozo, J. i Simó, A. 1984. El Neógeno de

- Mallorca: Caracterización sedimentológica y bioestratigráfica. *Bol. Geol. Miner.*, 95(1): 3-25.
- Archambault-Guezu, J. 1976. Étude des Dreissenidae du Néogène européen et revue stratigraphique des niveaux correspondants de la Paratéthys. *Trav. Lab. Paleontol. Univ. Paris*, 11: 1-359.
- Arenas, C. i Pomar, L. 2010. Microbial deposits in upper Miocene carbonates, Mallorca, Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 297: 465-485.
- Barnolas, A. (dir.) 1991. *Mapa Geològic de España. Escala 1:50:000. Hoja 698 (38-27): Palma*. ITGE. Madrid. 64 pp.
- Benson, R.H. 1978. The paleoecology of the ostracodes of DSDP Leg 42A. In: Ryan, W.B.F. [et al.] (eds.). *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, vol. 42. U.S. Government Printing Office, Washington, part 1, 777-787.
- Bertini, A., Corradini, D. i Suc, J.P., 1995. On *Galeacysta etrusca* and the connections between the Mediterranean and the Paratethys. *Rom. J. Stratigr.*, 76 (7): 141-142.
- Bourillot, R., Vennin, E., Rouchy, J.M., Blanc-Valleron, M.M., Caruso, A. i Durllet, C. 2010. The end of the Messinian Crisis in the western Mediterranean: Insights from the carbonate platforms of south-eastern Spain. *Sedimentary Geology*, 229: 224-253.
- Braga, J.C., Martín, J.M., Riding, R., Aguirre, J., Sánchez-Almazo, I.M. i Dinarès-Turell, J. 2006. Testing models for the Messinian salinity crisis: The Messinian record in Almería, SE Spain. *Sedimentary Geology*, 188-189: 131-154.
- CIESM. 2008. The Messinian Salinity Crisis from mega-deposits to microbiology – A consensus report. Executive Summary. Almería (Spain), 7-10 November 2007.
- Briand, F. (ed.). *CIESM Workshop Monographs*, 33: 7-28.
- Cita, M.B. 1973. Mediterranean evaporite: Paleontological arguments for a deep-bassin desiccation model. In: Drooguer, C.W (ed.). *Messinian events in the Mediterranean : colloquium held in Utrecht, March 2-4, 1973*; North-Holland Publishing Co. , Amsterdam.
- Cita, M.B., Ryan, W.B.F. i Kidd, R.B. 1978a. Sedimentation rates in Neogene deep sea sediments from the Mediterranean and geodynamic implications of their changes. In: Hsu, K. J., Montadert, L., et al. (Eds.) *Init. Repts. DSDP, 42A*: Washington (U.S. Govt. Printing Office), 42 (2): 991-1002.
- Cita, M.B., Wright, R.C., Ryan, W.B.F. i Longinelli, A. 1978b. Messinian Paleoenvironments. In: Hsu, K. J., Montadert, L., et al. (Eds.) *Init. Repts. DSDP, 42A*: Washington (U.S. Govt. Printing Office), 42 (2): 1003-1035.
- Clauzon, G., Suc, J.P., Popescu, S.M., Marunteanu, M., Rubino, J.L., Marinescu, F. i Melinte, M.C. 2005. Influence of the Mediterranean sea-level changes over the Dacic Basin (Eastern Paratethys) in the Late Neogene. The Mediterranean Lago Mare facies deciphered. *Bas. Res.*, 17: 437-462.
- Colom, G. 1967. Sobre la existencia de una zona de hundimientos, plioceno-cuaternarios, situados al pie meridional de la sierra Norte de Mallorca. *Acta Geol. Hisp.*, 2 (3): 60-64.
- Colom, G. 1975. *Geologia de Mallorca*. Diput. Prov. Bal. Inst. Estudios Baleáricos. Patronato "J. M^a Quadrado". CSIC. 2 vols. Palma de Mallorca. 519 pp.
- Colom, G. 1985. Estratigrafía y Paleontología del Andalucense y del Plioceno de Mallorca (Balears). *Bol. Geol. y Min*, 96 (3): 235-302.
- Cornée, J.J., Saint Martin, J.P., Conesa, G., Münch, P., André, J.P., Saint Martin, S. i Roger, S. 2004. Correlations and sequence stratigraphic model for Messinian carbonate platforms of the western and central Mediterranean. *International Journal of Earth Sciences*, 93: 621-633.
- Esteban, M. 1979. Significance of the upper Miocene coral reefs of the Western Mediterranean. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 29: 169-188.
- Esteban, M. 1996. An overview of Miocene reefs from Mediterranean areas: general trends and facies models. In: Franseen, E.K., Esteban, M., Ward, W.C., Rouchy, J.M.

- (Eds.), *Models for Carbonate Stratigraphy from Miocene Reef Complexes of Mediterranean Regions. Concepts in Sedimentology and Paleontology*. SEPM, Tulsa, Oklahoma, USA, pp. 3-53.
- Esu, D. 2007. Latest Messinian 'Lago-Mare' Lymnocardinae from Italy: Close relations with the Pontian fauna from the Dacic Basin. *Geobios*, 40 (3): 291-302.
- Esu, D. i Girotti, O. 2008. The late Messinian Lago-Mare molluscan assemblage from the Trave Horizon (Colombacci Fm) at Pietralacroce (Ancona, Central Italy). *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, 47 (2): 123-129.
- Fallot, P. 1922. *Étude géologique de la Sierra de Majorque*. Thèse. Libr. Polyt.. Béranger. Paris-Liège. 480 pp.
- Fornós, J.J. 1983. Estudi sedimentològic del Miocè terminal a l'illa de Mallorca. *Tesi de Llicenciatura*. Universitat de Barcelona. 228 pp.
- Fornós, J.J. i Pomar, L. 1983. Mioceno superior de Mallorca: Unidad calizas de Santanyí ("Complejo terminal"). In: Pomar, L.; Obrador, A., Fornós, J.J. i Rodríguez-Perea, A. (eds.). *El Terciario de las Baleares (Mallorca - Menorca). Guía de las excursiones. X Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca 1983*. Grupo Español de Sedimentología. pp 177-206.
- Guerra-Merchán, A., Serrano, F., Garcés, M., Gofas, S., Esu, D., Gliozzi, E. i Grossi, F. 2010. Messinian Lago-Mare deposits near the Strait of Gibraltar (Malaga Basin, S Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 285: 264-276.
- Grossi, F., Cosentino, D. i Gliozzi, E., 2008. Late Messinian Lago-Mare ostracods and palaeoenvironments of the central and eastern Mediterranean Basin. *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, 47 (2): 131-146.
- Hermite, H. 1879. *Études géologiques sur les Îles Baléares: première partie Majorque et Minorque*. Thèse. Ed. F. Pichon. Paris. 362 pp.
- Hsu, K. J., Cita, M. B. i Ryan, W.B.F. 1973. The Origin of the Mediterranean Evaporites. In: Ryan, W.B.F, Hsu, K. J., et al., *Init. Repts. DSDP*, 13, Pt. 2: Washington (U.S. Govt. Printing Office), 1203-1231.
- Hsü, K.J., Montadert, L., Bernoulli, D., Cita, M.B., Garrison, R.E., Kidd R.B., Meleries, F., Muller, C. i Wright, R. 1977. History of the Mediterranean Salinity Crisis. *Nature*, 267: 399-403.
- Hsü, K.J. [et al.] 1978. *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, 42A, US Govt. Printing Office, Washington. 1249 p.
- Iaccarino, S. i Bossio, A., 1999. Paleoenvironment of the uppermost Messinian sequences in the western Mediterranean (Sites 974, 975 and 978). In: Zahn, R., Comas, M.C., Klaus, A. (eds.), *Proc. ODP, Sci. Res.*, vol. 161. Ocean Drilling Program, College Station, TX, pp. 529-540.
- Krijgsman, W., Hilgen, F.J., Raffi, I., Sierro, F.J. i Wilson, D.S. 1999. Chronology, causes and progression of the Messinian salinity crisis. *Nature*, 400: 652-655.
- Manzi, V., Gennari, R., Hilgen, F., Krijgsman, W., Lugli, S., Roveri, M. i Sierro, F.J. 2013. Age refinement of the Messinian salinity crisis onset in the Mediterranean. *Terra Nova*, 25(4): 315-322.
- Mas, G. 2000. Ictiofauna del Pliocè mitja-superior de la conca sedimentària de Palma (Illes Balears, Mediterrània Occidental). Implicacions paleoambientals. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 43: 39-61.
- Mas, G. 2011. La pedrera des Monjos: 4 milions d'anys d'història geològica de Mallorca i la Mediterrània. De la crisi de salinitat messiniana a les platges i dunes del Pliocè-Quaternari. *Actes de les III Jornades d'Estudis Locals de Porreres, 2010. Col·lecció Patrimoni de Porreres*, 12. Ajuntament de Porreres. pp 51-60.
- Mas, G. 2013. Evidències de desplaçament direccional de la falla de Sencelles (Mallorca). In: Pons, G.X., Ginard, A. i Vicens, D. (edit.). *VI Jornades de Medi Ambient de les Illes Balears. Ponències i Resums*. Soc. Hist. Nat. Balears. pp 50-52.
- Mas, G. i Fornós, J.J. 2006. Aportacions al coneixement del Neogen postorogènic de la cubeta sedimentària de Campos (Mallorca,

- Illes Balears, Mediterrània occidental). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 49: 67-81.
- Mas, G. i Fornós, J.J. 2011. The Messinian Salinity Crisis Record in the Palma basin (Mallorca, Balearic Islands, Western Mediterranean). *In: F.J. Sierro & J.A. González-Delgado (eds.): Joint RCMNS - RCANS Interim Colloquium. Climate changes, bioevents and geochronology in the Atlantic and Mediterranean over the last 23 Myr, Salamanca. September 21st to 23rd, 2011. Abstracts Book*, 171-172.
- Mas, G. i Fornós, J.J. 2012. La Crisis de Salinidad del Messiniense en la cuenca sedimentaria de Palma (Mallorca, Islas Baleares). *Geogaceta*, 52: 57-60.
- Mas, G. i Fornós, J.J. 2013. Late Messinian Lago-Mare deposits of the island of Mallorca (Western Mediterranean). Implications on the MSC events. *14th RCMNS Congress. Neogene to Quaternary geological evolution of Mediterranean, Paratethys and Black Sea*. 8-12 September 2013, Istanbul, Turkey. Abstracts book, p. 210.
- Mascaró, J. 1987. *Mapa General de Mallorca*. 2a ed. V. Colom R. Editor. Palma de Mallorca.
- Mateu, G. 1982. El Neógeno-Pleistoceno de Mallorca: Biocronoestratigrafía y Paleocronografía en base a los Foraminíferos Planctónicos. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 26: 75-133.
- Mateu, G., Viñals, M.J. i Moreira, M. 1997. Biofacies marginolitorales del Mediterráneo Occidental (Baleares, Valencia, Alicante y Murcia). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 40: 123-134.
- Morey, B. i Mas, G. 2009. Aproximació al Neogen de Santa Eugènia (Mallorca, Illes Balears, Mediterrània occidental). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 52: 99-122.
- Murphy, M.A. i Salvador, A. (eds.). 1998. International Stratigraphic Guide. An abridged version International International Subcommission on Stratigraphic Classification of IUGS - International Commission on Stratigraphy. *Episodes*, 22 (4): 255-271.
- Murphy, M.A. i Salvador, A. (eds.). 2010. *Guia estratigràfica internacional. Versió abreujada*. Institut d'Estudis Catalans. Secció de Ciències i Tecnologia. Barcelona. 81 p.
- Neveeskaja, L.A., Paramonova, N.P. i Popov, S.V. 2001. History of Lymnocardinae (Bivalvia, Cardiidae). *Paleontol. J.*, 35 (3): 147-217.
- Oliveros, J.M., Escandell, B. i Colom, G. 1968. Estudio de los terrenos postburdigalienses en el llano central de la Isla de Mallorca. *Mem. del Inst. Geolog. y Min. de España*, 61: 349-394.
- Orszag-Sperber, F. 2006. Changing perspectives in the concept of "Lago-Mare" in Mediterranean Late Miocene evolution. *Sedimentary Geology*, 188-189: 259-277.
- Orszag-Sperber, F., Rouchy, J.M. i Blanc-Valleron, M.M., 2000. La transition Messinien-Pliocène en Méditerranée orientale (Chypre): la période du Lago-Mare et sa signification. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 331: 483-490.
- Pierre, C., Caruso, A., Blanc-Valleron, M.M., Rouchy, J.M. i Orszag-Sperber, F. 2006. Reconstruction of the paleoenvironmental changes around the Miocene-Pliocene boundary along a West-East transect across the Mediterranean. *Sedimentary Geology*, 188-189: 319-340.
- Pomar, L., Marzo, M. i Barón, A. 1983. El Terciario de Mallorca. *In: Pomar, L., Obrador, A., Fornós, J.J., Rodríguez-Perea, A. (eds.). El Terciario de las Baleares (Mallorca - Menorca). Guía de las excursiones. X Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca 1983*. Grupo Español de Sedimentología. pp 21-44.
- Pomar, L., Rodríguez-Perea, A., Sàbat, F. i Fornós, J.J. 1990. Neogene stratigraphic of Mallorca island. *In: Iberian Neogene Basins (IXth Congress R.C.M.N.S.O). Paleontologia i Evolució*, Mem. Esp., 2: 269-320.
- Pomar, L., Ward, W.C. i Green, D.G. 1996. Upper Miocene Reef Complex of the Lluçmajor area, Mallorca, Spain. *In: Franseen, E., Esteban, M., Ward, W.C. i*

- Rouchy, J.M. (eds.). *Models for Carbonate Stratigraphy from Miocene Reef Complexes of the Mediterranean regions*. SEPM Concepts in Sedimentology and Paleontology Series, 5: 191-225.
- Riding, R., Braga, J.C., Martín, J.M. i Sánchez-Almazo, I.M. 1998. Mediterranean Messinian salinity crisis: constraints from a coeval marginal basin, Sorbas, southeastern Spain. *Mar. Geol.*, 146: 1-20.
- Robledo, P. 2005. *Los paleocolapsos cársticos de las plataformas carbonatadas del Mioceno superior de Mallorca: modelo geográfico, geológico, genético y evolutivo*. Tesis doctoral. Universitat de les Illes Balears. Palma de Mallorca. 543 pp.
- Robledo, P.A., Durán, J.J. i Pomar, L., 2004. Paleocollapse structures as geological record for reconstruction of past karst processes during the upper Miocene of Mallorca island. *International Journal of Speleology*, 33: 81-95.
- Rouchy, J.M. 1982. La genèse des évaporites Messiniennes de Méditerranée. *Mem. Mus. Nat. Hist. Nat.*, 50, Sciences de la Terre, 280 pp.
- Rouchy, J.M. i Saint Martin, J.P. 1992. Late Miocene events in the Mediterranean as recorded by carbonate-evaporite relations. *Geology*, 20: 629-632.
- Ruggieri, G. 1962. La serie marine pliocenica e quaternaria della Val Marecchia. *Atti Accad. Sci. Lett. Arti. Palermo*, 19: 1-169.
- Salvador, A. (ed.). 1994. *International Stratigraphic Guide. A guide to stratigraphic classification, terminology, and procedure*. International Subcommission on Stratigraphic Classification of IUGS - International Commission on Stratigraphy. Second edition. Geological Society of America. Boulder (Colorado, US). 214 p.
- Selli, R. 1973. An outline of the Italian Messinian. In: Drooguer, C.W (ed.). *Messinian events in the Mediterranean : colloquium held in Utrecht, March 2-4, 1973*; North-Holland Publishing Co., Amsterdam. pp 150-171.
- Simó, A. 1982. *El Mioceno de la Cuenca de Palma, St. Margarita, La Pobla y Campos, y la plataforma de Lluchmayor*. Estudio de sondeos. Informe interno del Instituto Geológico Minero de España (IGME).
- Simó, A. i Ramón, X. 1986. Análisis sedimentológico y descripción de las secuencias deposicionales del Neógeno postorogénico de Mallorca. *Bol. Geol. Miner*, 97(4): 445-472.
- Soria, J.M., Caracuel, J.E., Corbí, H. i 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.

Apèndix 1.- Localitats Lago Mare de l'illa de Mallorca

Conca	Localitat Tipus Municipi	UTM coordenades WGS84 31S (m) z= LM sostre = límit M/P P= LM potència (m)	Referències	Litofàcies	Registre paleontològic
Campos	Es Monjos pedrera Porreses	x: 502641 y: 4369072 z: 120 P: >3	Mas (2011) Mas i Fornós (2013)	Margues grises fines. Laminades, més gresoses i consolidades a sostre. Esquerdes de dessecació, motlles d'arrels i microcòdols rodats. Paleosòl a base.	<i>Dreissena</i> <i>Cyprideis</i> <i>agrigenina</i> <i>Tyrrhenocythere</i> <i>pontica</i> <i>Loxoconcha</i> sp. Charophytes (<i>Chara</i>) Lymnecardiinae Hydrobiidae (cf. <i>Saccoia</i> sp.) <i>Melanopsis</i> sp. <i>Melanoides</i> sp. cf. <i>Pisidium</i> sp. <i>Elphidium</i> sp. Pisces (escates)
	Cova des Fum cova Campos	x: 504772 y: 4367646 z: 65 P: >2	Mas i Fornós (2013)	Margues arenoses i argiles fines rosades. Pèl-lets.	<i>Cyprideis</i> <i>agrigenina</i> <i>Tyrrhenocythere</i> <i>pontica</i> <i>Loxoconcha</i> sp. Charophytes (<i>Chara</i>) Hydrobiidae (cf. <i>Saccoia</i> sp.)
Palma	Ses Olles penya-segats Llucmajor	x: 478024 y: 4366480 z: 40 P: 5	Hermite (1879) Fornós i Pomar (1983) Pomar <i>et al.</i> (1983, 1990, 1996) Alvaro <i>et al.</i> (1984) Simó i Ramon (1986) Mas i Fornós (2011, 2012, 2013)	Margocalcàries grises (<i>wackestone</i>). Nivells arenosos amb petita lumaquel·la de motlles consolidada a sostre. Inclusions d'argiles verdes. Pèl-lets. Rizoconcrecions.	<i>Dreissena</i> <i>Cyprideis</i> <i>Tyrrhenocythere</i> Charophytes (<i>Chara</i>) Lymnecardiinae Hydrobiidae (cf. <i>Saccoia</i> sp.) Foraminifera litorals Insectes (traces)
	Can Ramis pedrera Llucmajor	x: 482284 y: 4375366 z: 52 P: 5	Mas (2000) Mas i Fornós (2011, 2012, 2013)	Margocalcàries i margues gresoses. Nivells amb petita lumaquel·la de motlles consolidada a sostre. Pèl-lets	<i>Dreissena</i> <i>Cyprideis</i> <i>Tyrrhenocythere</i> Charophytes (<i>Chara</i>) Lymnecardiinae Hydrobiidae (cf. <i>Saccoia</i> sp.) <i>Melanopsis</i> sp. <i>Melanoides</i> sp. <i>Theodoxus</i> sp. Pulmonata Foraminifera litorals Insectes (traces) Pisces
	Aeroport	x: 477848	Colom (1985)	Margues grises i	cf.

	sondeig S-13 Palma	y: 4377531 z: - 118 P: 8-20	Barnolas <i>et al.</i> (1991) Mas i Fornós (2011, 2012, 2013)	blanques fines amb nivells de lumaquel·les i capetes d'argiles verdoses. Fragments de sflex a base.	Lymnocardiinae cf. <i>Melanopsis</i>
	Xorrijo sondeig LLP-31 Palma	x: 481968 y: 4380576 z: - 80 P: 6-30	DGRH (log inèdit) Mas i Fornós (2013)	Margues grises arenoses amb micròcodols rodats.	<i>Dreissena</i> <i>Cyprideis</i> <i>Tyrrhenocythere</i> <i>Loxoconcha</i> <i>Ilyocypris</i> Charophytes (<i>Chara</i>) Lymnocardiinae Hydrobiidae (cf. <i>Saccoia</i> sp.) Pisces (escates)
Inca	Son Seguí antiforme Sta. Maria	x: 483833 y: 4385521 z: 305 P: ?	Morey i Mas (2009) Mas i Fornós (2013)	Margocalcàries grises – verdes laminades consolidades.	<i>Dreissena</i> <i>Cyprideis</i> Charophytes (<i>Chara</i>) Lymnocardiinae Hydrobiidae (cf. <i>Saccoia</i> sp.) Potamididae Pisces
	Es Rafal comellar Santa Eugènia	x: 485386 y: 4385587 z: 196 P: ?	Morey i Mas (2009) Mas i Fornós (2013)	Margocalcàries grises dures i margues blanques arenoses.	<i>Dreissena</i> <i>Cyprideis</i> <i>Loxoconcha</i> Charophytes (<i>Chara</i>) Lymnocardiinae Hydrobiidae (cf. <i>Saccoia</i> sp.) <i>Melanopsis</i> sp. <i>Melanoides</i> sp. <i>Theodoxus</i> sp. Planorbidae (cf. <i>Hippeutis</i> sp.) <i>Anadara</i> sp. Lucinidae Foraminífers litorals <i>Microcodium</i> Insects (traces)
	Camí Terrer Blanc tall carretera Sencelles	x: 488701 y: 4387386 z: 112 P: >2	Morey i Mas (2009) Mas i Fornós (2013)	Margocalcàries fines blanques.	<i>Cyprideis</i> <i>Tyrrhenocythere</i> Lymnocardiinae Hydrobiidae (cf. <i>Saccoia</i> sp.)
Alcúdia	Llubí nucli urbà excavació Llubí	x: 500060 y: 4394216 z: 59 P: >3	Mas (2012) Mas i Fornós (2013)	Margocalcàries grises (<i>wackestone</i>). Nivells arenosos amb petita lumaquel·la de motlles consolidada a sostre. Margues verdes i marrons. Pèl·lets.	<i>Dreissena</i> <i>Cyprideis</i> Charophytes (<i>Chara</i>) Lymnocardiinae Hydrobiidae (cf. <i>Saccoia</i> sp.) <i>Melanopsis</i> sp. <i>Melanoides</i> sp. cf. <i>Pisidium</i> sp.
	Albufera sondeig S-31	x: 509220 y: 4405430	Colom (1975) Mateu (1982)	Margues ocre piritoses lacustres	<i>Cyprideis</i> cf. <i>Tyrrhenocythere</i>

	Alcúdia	z: - 311 P: 6	Barnolas <i>et al.</i> (1991) Mateu <i>et al.</i> (1997) DGRH (sondeig inèdit) Mas i Fornós (2013)	evaporítiques amb cristalls de guix singenètic.	Charophytes (<i>Chara</i>) Hydrobiidae
--	---------	------------------	---	---	---

Apèndix 2.- Principals models explicatius episodi *Lago Mare*

Hipòtesis	Fluxos hidrològics	Autors	Observacions
Dilució global d'aigua dolça a tota la Mediterrània	Drenatge del Paratethys dins la Mediterrània dessecada (inundació paratethyana)	Hsü <i>et al.</i> (1973) Archanbault-Guezou, (1976) Cita <i>et al.</i> (1978a i b)	
	Modificació balanç hidrològic: 1) Reducció de les entrades atlàntiques 2) increment de les descàrregues continentals	Rouchy (1982) Rouchy i Saint Marti, (1992) Orszag-Sperber <i>et al.</i> , (2000) Pierre <i>et al.</i> (2006) Krijgsman <i>et al.</i> (1999, 2001)	
Episodis de dilució d'aigua dolça localitzats a les conques marginals, conservant les condicions marines a la resta de la Mediterrània	Resultat de descàrregues continentals localitzades	Riding <i>et al.</i> (1998)	
Comunicacions episòdiques Paratethys - Mediterrània, coincidint amb els <i>highstands</i> (nivells alts del mar)	Intercanvis episòdics d'aigües entre el Paratethys i la Mediterrània	Bertini <i>et al.</i> (1995) Clauzon <i>et al.</i> (2005)	Clauzon <i>et al.</i> , 2005 3 episodis LM LM1-LM2-LM3

Apèndix 3.- Biofacies marginolitorals: Lago Mare vs paràlic-salobrés.

Depòsits	Taxons presents	Biofacies marginolitorals (Mateu <i>et al.</i> , 1997)
<i>Lago Mare</i>	Dreissenidae Limnocardiinae Gasteròpodes prosobranquis Gasteròpodes pulmonats Caràcies	Filocontinental
Pliocè restringit	Cardiidae Cerithidae Caràcies Foraminífers bentolitorals esquizohalins (<i>Ammonia</i> , <i>Elphidium</i>)	Paràlic-salobrés

