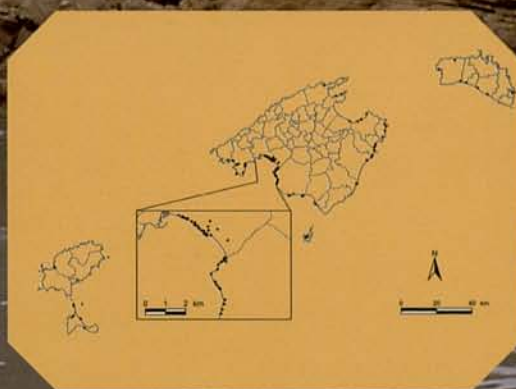


SOCIETAT D'HISTÒRIA  
NATURAL DE LES BALEARS

# Geomorfologia Litoral i Quaternari

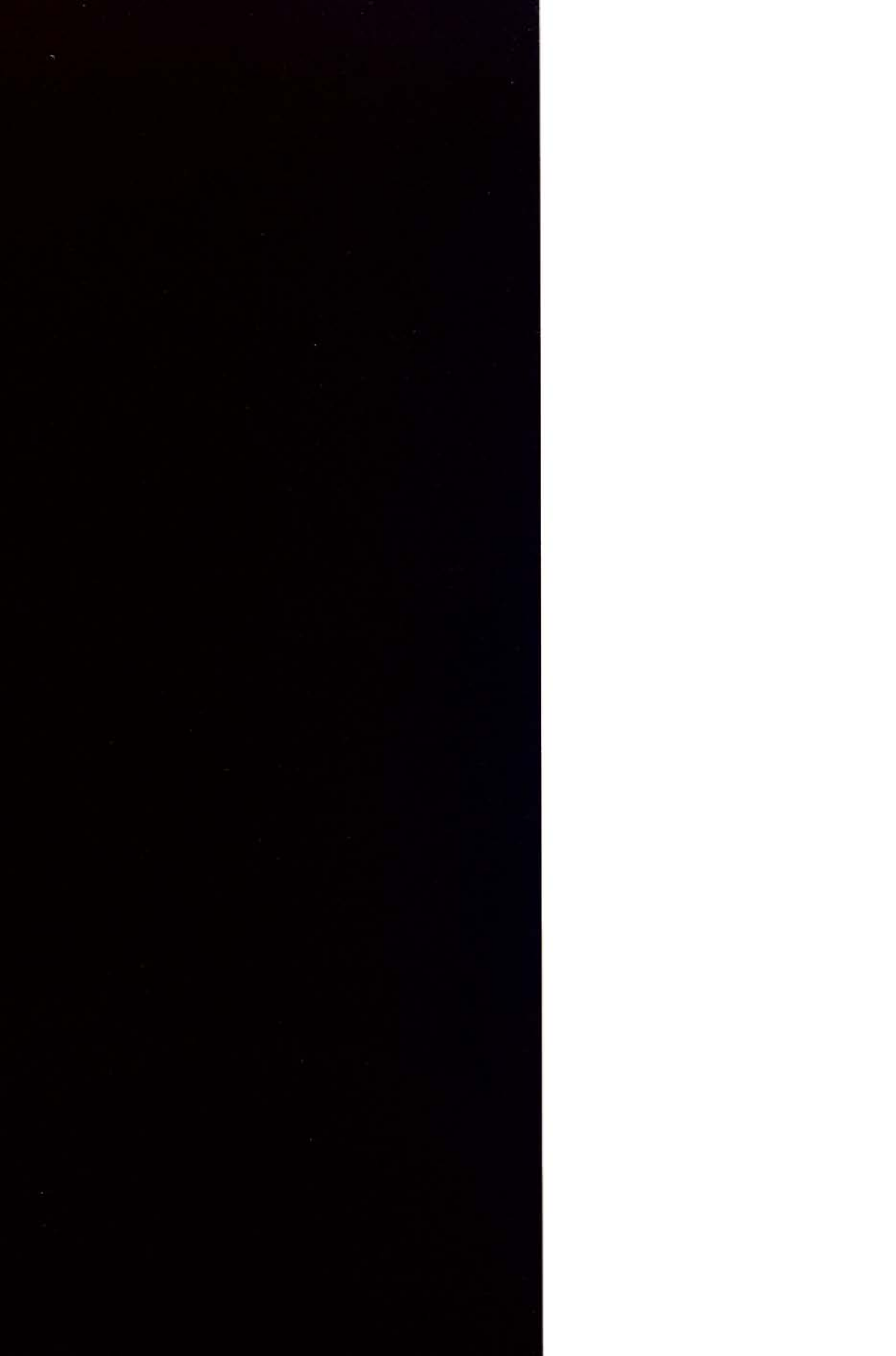
Homenatge a  
Joan Cuerda Barceló



Guillem X. Pons  
Damià Vicens  
(Edits.)

 **Obra Social**  
SA NOSTRA Caixa de Balears

  
**Govern de les Illes Balears**  
Conselleria d'Economia, Hisenda i Innovació  
Direcció General de Recerca, Desenvolupament Tecnològic i Innovació









# **Geomorfologia Litoral i Quaternari**

Homenatge a Joan Cuerda Barceló



Aquesta publicació ha comptat amb la subvenció de:



G. X. Pons i D. Vicens (eds.)

---

# Geomorfologia Litoral i Quaternari

Homenatge a Joan Cuerda Barceló



---

Monografies de la Societat d'Història Natural de les Balears  
núm. 14

Pons, G.X. i Vicens, D. 2007. Geomorfologia litoral i Quaternari. Homenatge a Joan Cuerda Barceló. Monografies de la Societat d'Història Natural de les Balears, 14, 380 pp.

Portada: Foto de fons de portada es Coll Baix (Alcúdia) (Foto Guillem X. Pons). Al centre mapa de les Balears amb la situació dels jaciments del Quaternari marí estudiats al llarg de la seva vida per Joan Cuerda.

© del text: els autors

© de l'edició: Societat d'Història Natural de les Balears

Carrer Margarida Xirgu 16, baixos

07011 Palma de Mallorca

Tel. / Fax. 971733345

e-mail: [publicacions@shnb.org](mailto:publicacions@shnb.org)

[www.shnb.org](http://www.shnb.org)

Depòsit Legal, P.M. 1998 - 2007

ISBN: 978-84-96376-13-3

Impressió: Gràfiques Mallorca

C/ Ferrers 2

Polígon Industrial Inca

07300 Inca (Mallorca)



## Index

<b>Presentació dels editors</b>	9
<b>Aguirre, E.</b> Cuaternario no, o Cuaternario sí <i>Quaternary not, or Quaternary yes.</i>	21
<b>Butzer, K.W.</b> Personal recollections of Juan Cuerda: friend, colleague and mentor. <i>Vivències personals amb Juan Cuerda: amic, col·lega i mentor.</i>	25
<b>Meco, J., Ballester, J., Soler, E. y Betancort, J.F.</b> Los fósiles del Pleistoceno marino de Las Palmas (Gran Canaria) y de La Guirra (Fuerteventura). <i>The fossils from marine Pleistocene of Las Palmas (Gran Canaria) and La Guirra (Fuerteventura) (Canary Islands).</i>	37
<b>Soibelzon, L. y Prevosti, F.J.</b> Los carnívoros (Carnivora, Mammalia) terrestres del Cuaternario de América del Sur. <i>The terrestrial quaternarian Carnivora (Carnivora, Mammalia) of South America.</i>	49
<b>Tambussi, C.P., Acosta Hospitaleche, C.I. y Horlent, N.</b> La avifauna del Cuaternario de Argentina: inferencias paleoambientales a partir del registro de los Psittacidae. <i>Quaternary avifauna from Argentina: palaeoenvironmental inferences based on the Psittacidae.</i>	69
<b>Aguirre, M.L., Richiano, S. y Negro Sirch, Y.</b> Moluscos de terrazas marinas cuaternarias del área de Camarones (Patagonia; Argentina). <i>The molluscan fauna of marine terraces of Camarones (Patagonia, Argentina).</i>	81
<b>Tuccimei, P., Fornós, J.J., Ginés, A., Ginés, J., Gràcia, F. and Mucedda, M.</b> Sea level change at Capo Caccia (NW Sardinia) and Mallorca (Balearic Islands) during oxygen isotope substage 5e, based on Th/U datings of phreatic overgrowths on speleothems. <i>Canvis del nivell de la mar a Capo Caccia (NW Sardenya) i a Mallorca (Illes Balears) durant el subestadi isotòpic 5e, basat en les datacions Th/U d'espeleotemes freàtics.</i>	121
<b>Mateu, G.</b> Aportaciones al conocimiento de la Biología, Ultraestructura y Micropaleontología del <i>Corallium rubrum</i> (L.) y de algunas otras variedades ( <i>C. konojoi</i> , <i>C. elatius</i> y “coral fósil”) en uso en la industria coralígena. <i>Contributions to knowledge of the biology, ultrastructure and micropaleontology of the Corallium rubrum (L.) and some others species (C. konojoi, C. elatius and “fossil coral”) in use on the coraligen industry.</i>	137

- Moyà-Solà, S., Köhler, M., Alba, D.M. y Pons-Moyà, J.** El significado de *Myotragus. batei* y *M. binigausensis* en la evolucion del género *Myotragus* (Bovidae, Mammalia) en las islas Baleares. 155  
*The significance of Myotragus batei and M. binigausensis on the evolution of the genus Myotragus (Bovidae, Mammalia) in the Balearic Islands.*
- Gómez-Pujol, Ll., Balaguer, P. i Fornós, J.J.** Freqüència magnitud i escala en la morfodinàmica de les costes rocoses: observacions a s'Alavern (S de Mallorca, Mediterrània occidental). 181  
*Frequency, magnitude and scale in rock coast morphodynamics: observations at s'Alavern sea cliffs (Southern Mallorca, western Mediterranean).*
- Balaguer, P.** Inventari quantitatiu de les costes rocoses de Mallorca. 201  
*Quantitative inventory of rocky coast of Mallorca.*
- Vicens, D. i Pons, G.X.** Els mol.luscs continentals del Pleistocè superior a jaciments costaners de la zona septentrional de Mallorca. 231  
*The continental Mollusca from the upper Pleistocene of the coastal sites from north of Mallorca.*
- Fornós, J.J., Ginés, J., Gómez-Pujol, Ll., Riquelme, J. i Rosselló i Verger, V.M.** Descripció geomòrfica des Màrmols fins as Balç (Santanyí): un segment modèlic del litoral marinenc a Mallorca. 259  
*Geomorfic description of Màrmols to as Balç (Santanyí): a littoral mod-elic segment of Mallorca.*
- Rosselló i Verger, V.M.<sup>a</sup>.** Cales, torrents, fractures i carst a Mondragó (com a pretext). 287  
*Cales, streams, fractures and karst of Mondragó (with a pretext).*
- Gràcia, F., Fornós, J.J. i Clamor, B.** Cavitats costaneres de les Balears generades a la zona de mescla, amb importants continuacions subaquàtiques. 299  
*Mixing zone coastal caves of the Balearic Islands with important under-water passages.*
- Servera, J. i Pons, G.X.** Trets mineralògics i textural de la seqüència dunar holocena de la depressió de Campos (Mallorca). 353  
*Mineralogical and textural aspects of the holocene dunar sequence from Campos depression (Mallorca).*
- Vicens, D. i Pons, G.X.** Un llistat bibliogràfic. 375

# Presentació

## **JOAN CUERDA BARCELÓ (1912-2003), President d'honor de la Societat d'Història Natural de les Balears**

El 7 de gener de 2003 morí a Palma, Joan Cuerda Barceló, membre fundador i President d'Honor de la *Societat d'Història Natural de les Balears*. Immediatament, la Junta Directiva de la Societat acordà editar una monografia homenatge a la seva persona recollint el sentiment de molts dels seus amics. Com no podia esser d'altra manera, la monografia està centrada en temes de Geomorfologia litoral i, com no, del Quaternari. Entre el conjunt dels articles trobam des de revisions, estats de la qüestió, descripcions de nous jaciments, estudis locals, estudis paleontològics de vertebrats o de mol·luscs quaternaris, etc.

Els editors d'aquesta monografia fa més de prop d'uns vint anys que vàrem conèixer a Joan Cuerda. En aquells moments érem dos estudiants de biologia que havíem llegit alguns dels treballs d'un especialista en el Quaternari de les Balears i ens fèrem socis de la Societat d'Història Natural de les Balears, de la qual n'era el president. Els dilluns, dia de reunió, a la Societat era tot un plaer consultar i escoltar a la gent que tenia allà el seu punt de reunió. Allà vàrem conèixer una persona excepcional: Joan Cuerda.

Joan Cuerda va néixer a Barcelona el dia 14 de juny de 1912. L'any 1936 es va establir a Mallorca. Fou devers l'any 1947 quan J. Cuerda es va iniciar en les ciències de la natura i va tenir contacte amb un grup de naturalistes que es reunien en el Col·legi Oficial de Farmacèutics de Balears. Entre els assistents hi havia entre d'altres, Guillem Colom, Joan Bauzà, Joan Cañigüeral, Miquel Massutí, Pere Palau i el seu fill Josep Maria Palau, Llorenç Garcias Font, Andreu Muntaner, Josep Rosselló Ordines. Ben aviat J. Cuerda prengué part activa en el grup i el dia 1 d'octubre de 1948 es varen constituir com a Secció de Balears de la "Real Sociedad Española de Historia Natural", amb seu a Madrid. L'any 1952 es decideix deixar de ser una secció i es va fundar la Societat d'Història de les Balears, de la què J. Cuerda fou soci fundador, i va succeir a J. Cañigüeral que era el secretari i el responsable del Bolletí, si bé la Societat va néixer oficialment el 4 de setembre de 1954 on J. Cuerda era elegit secretari, càrrec que ocupà fins a 1957. Abans havia ocupat els càrrecs de bibliotecari i vicetresorer. J. Cuerda com a secretari va redactar els estatuts de la nova Societat i va gestionar la seva legalització, a més d'aconseguir una nova ubicació per a la biblioteca a la seu de l'Estudi General Lul·lià.

Els inicis de la seva afició per la paleontologia hi ha que cercar-los en primer lloc, quan el seu cosí Bartomeu Barceló li va mostrar la seva col·lecció de fòssils i més tard feren algunes sortides de camp a les platges quaternàries del Coll d'En Rabassa. La tasca de recerca, la continuà personalment J. Cuerda, donada la proximitat de la seva residència d'estiu, Son Morlà. La seva afició per la paleontologia la va donar a conèixer des del primer moment que va entrar en contacte amb els naturalistes de la Societat i així el 5 de juny de 1952 va donar una conferència al Col·legi de Farmacèutics, la seu de la Societat en aquells temps, que va tractar de les espècies característiques del Quaternari mallorquí.





Imatges de la primera exposició de la Societat d'Història Natural de les Balears (1954), al centre cultural de "La Caixa" del carrer Colon de Palma, en la qual el Quaternari (*Myotragus balearicus* i mol·luscs marins) va tenir una important rellevància, així com altres aspectes naturalístics com fou una col·lecció d'insectes. Fotos arxIU A. Muntaner.

Des dels inicis de la seva recerca devers l'any 1947 fins al 1957, Cuerda va dur un treball d'inventari, recollint molts de fòssils a les platges quaternàries de la Badia de Palma, amb una estreta col·laboració amb Andreu Muntaner. Els coneixements assolits, les publicacions que realitzà al Bolletí de la Societat d'Història Natural i la magnífica col·lecció paleontològica que D. J. Cuerda anava formant determinaren, en certa manera, que quan es celebrà a Espanya el *V congrés de l'INQUA (International Quaternary Congress)*, el setembre de 1957, es planificàs una visita a Mallorca. J. Cuerda va formar part del comitè local, i va planificar conjuntament amb Andreu Muntaner (actual president d'Honor de la Societat) la visita a les formacions quaternàries de la Badia de Palma.

Una de les fites científiques més important d'aquesta dècada fou l'excursió que es celebrà a Mallorca durant el Congrés Internacional per a l'estudi del Quaternari (INQUA) de 1957.

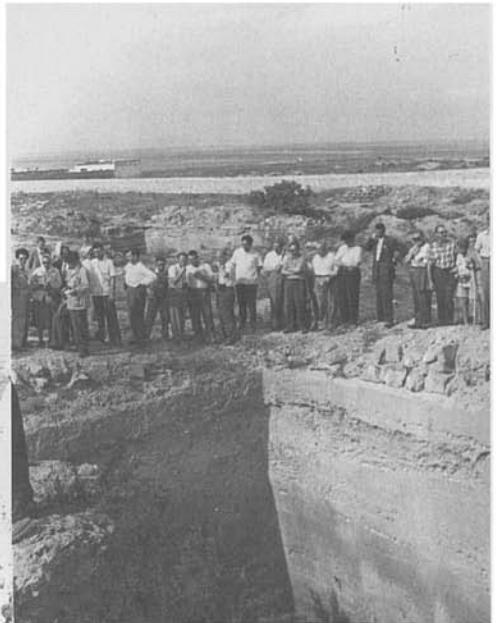
El congrés fou itinerant, la primera part del congrés tingué lloc a Madrid, a on s'inaugurà el 2 de setembre, dedicant 6 dies a sessions de treball i excursions curtes per les rodalies de Madrid (Sierra de Gredos, Terrasses del Manzanares, Sierra de Guadarrama, Manzanares i Toledo, Escorial i Sierra de Guadarrama). El dia 8 se realitzà un viatge col·lectiu, de sis dies de duració, que va concloure a Barcelona, passant per Alacant, València i Mallorca. La segona part del congrés es celebrà a Barcelona o fou clausurat el 16 de setembre (INQUA, 1957a). A més a més, dins l'extens programa hi havia excursions facultatives prèvies al congrés: al Pirineu oriental i central, a la zona cantàbrica, a Villarroya (Logroño); o posteriors com per exemple: a rodalies de Barcelona i Motserrat, Moia.

Però el més interessant per a l'estudi del Quaternari de Mallorca fou la relació entre els congressistes i uns joves socis fundadors de la Societat d'Història Natural de les Balears: Joan Cuerda i un altre dels importants protagonistes de que també posar la llevor dins nosaltres en l'estudi del Quaternari (Andreu Muntaner). Aquestes dues persones junt amb altres membres de l'organització del congrés de l'itinerari del llevant ibèric i Mallorca (L. Solé Sabarís, L. Pericot, Francisco Jordà, Domingo Fletcher i F. Hernández-Pacheco) tinguéren un paper importantíssim per a donar a conèixer els valors del Quaternari de Mallorca amb dues esgotadores jornades de camp (11 i 12 de setembre). La primera fou la visita de les formacions del Tirrenià des Carnatge i la visita a les coves d'Artà. La segona fou una excursió a Sóller i la costa septentrional de Mallorca.

També es va inaugurar una exposició monogràfica del Quaternari balear a l'estudi General Lul·lià, que va despertar l'interès dels congressistes que assistiren a l'acte. Amb motiu d'aquest congrés, J. Cuerda va publicar una primera síntesi dels resultats dels seus treballs i, el que va ser més important per a ell, va iniciar una sèrie de contactes amb altres investigadors del Quaternari de nivell internacional.

Cal destacar les relacions que va mantenir amb el Professor Karl W. Butzer, de la Universitat de Chicago, amb el que realitzà una sèrie de treballs que publicaren entre 1960 i 1962. K. Butzer, prestigiós quaternarista, sempre ha tingut en compta els jaciments mallorquins estudiats conjuntament amb en J. Cuerda a treballs que parlen del Quaternari a escala mediterrània o mundial.

Imatges de la reunió de l'INQUA (1957) a la zona d'es Carnatge (Palma de Mallorca) i d'una predrera de Son Mosson (Palma). Foto Arxiu Andreu Muntaner.





Imatges de l'INQUA (1957) es Carnatge (Palma de Mallorca). Foto arxiu Andreu Muntaner.



Imatges de l'INQUA (1957) a la zona d'es Jonquet (Palma de Mallorca). Foto arxiu Andreu Muntaner.





Distintes instantànies de l'exposició realitzada amb motiu de l'INQUA (setembre 1957) en la que els nostres socis Joan Cuerda i Andreu Muntaner tingueren un paper més que destacat. Fotos Arxiu A. Muntaner.

El 1962 va ser anomenat Ajudant Honorari de l'*Institut Lucas Mallada del CSIC*, per la qual cosa va rebre diferents grups de professors i estudiants de ciències geològiques de les Universitats de Barcelona i Madrid als quals acompanyà i orientà a les seves excursions pel Quaternari mallorquí.

L'any 1964, fou designat membre del *Comité des Milieux Insulaires de la Commission Internationale por l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée*, fet que constitueix un reconeixement de l'alt nivell del treball que Joan Cuerda estava realitzant.

El 1966 participà en el Symposium sobre el *Myotragus balearicus* que se celebrà a Deià i en 1969 entrà a formar part com a vocal de la *Subcomisión del Mapa del Cuaternario* en la *Comisión Nacional de Geología*.

L'any 1973 és nomenat membre del *Comité Español del Cuaternario* integrat dins l'*INQUA* i pocs anys després, el 1975, publica *Los Tiempos Cuaternarios en Baleares* en un volum de 300 pàgines, que va ser editat per l'*Institut d'Estudis Baleàrics*. Obra fonamental no sols per conèixer el Quaternari de les Illes, sinó també de tota la Mediterrània Occidental.

El 1975 treballà amb el Dr Lluís Pomar, d'aleshores Universitat de Palma de Mallorca, en la preparació de l'excursió a Cabrera que es va fer amb motiu de la reunió conjunta de naturalistes organitzada per la Societat Catalana de Biologia, la Institució Catalana d'Història Natural i la Societat d'Història Natural de les Balears. En aquesta ocasió, entre el 18 i 21 de març de 1976 es parlà a Mallorca i Cabrera sobre la problemàtica de la insularitat. Prèviament a l'excursió a Cabrera, Joan Cuerda feu una exhaustiva presentació de la geologia i del poblament animal i vegetal de Cabrera. Entre 1975 i 1980 col·laborà amb l'equip, que dirigit pel Dr Vicenç M. Rosselló, de la Universitat de València, estudiava el Plistocè de la costa alacantina.

El 1978 forma part del comitè organitzador de la reunió que la *Quaternary Research Association* celebrà a Mallorca, al costat del Professor Henry Osmasten de la Universitat de Bristol.

El 1979 participa, com a moderador, juntament amb el Dr. Butzer, a la taula rodona sobre nivells quaternaris que se celebrà durant el *VI Coloquio de Geógrafos Españoles*.

L'any 1983 va ser anomenat president de la Societat d'Història Natural de les Balears, càrrec que va ocupar fins 1987.

De l'acceptació de la tasca investigadora de J. Cuerda, tant a Espanya com a l'estranger, es publicà, l'any 1985, el llibre-homenatge *Pleistoceno y Geomorfología Litoral. Homenaje a Juan Cuerda* editat amb la col·laboració de la Universitat de València, la Universitat de Palma de Mallorca i l'Institut Politècnic de Zúrich. A les primeres planes hi ha una semblança biogràfica, escrita pel Dr. Bartomeu Barceló, molt detallada i escrita amb molta cura (la major part de dades fins 1985 d'aquesta nota provenen d'aquest article), per continuar amb articles de diferents quaternaristes de prestigi internacional que valoren molt positivament el treball de J. Cuerda.

La Conselleria de Cultura, Educació i Esports del Govern Balear coneixedora de la importància i transcendència de l'obra de Joan Cuerda, reedita l'any 1989 *Los Tiempos Cuaternarios en Baleares*, doncs l'edició de 1975 ja era exhaurida des de feia temps.

L'any 1987 Joan Cuerda publica *Moluscos Marinos y Salobres del Pleistoceno Balear*, un volum d'unes 400 pàgines, on surten figurats tots els mol·luscs fòssils del

Quaternari de les Balears. És un obra, sense cap dubte, bàsica per tots els estudiosos del Quaternari marí de la Mediterrània.

El 1992 Joan Cuerda amb la col·laboració de J. Sacarés publiquen el llibre *El Quaternari a Migjorn de Mallorca*, obra de 130 pàgines editada per la Conselleria de Cultura, Educació i Esports del Govern Balear. Bàsicament es tracta d'una síntesi dels treballs que realitzaren del litoral de Lluçmajor.

A la circular de la SHNB núm. 3 (març de 1995) apareix una breu biografia que, més que un homenatge, és una prova d'amistat i de reconeixement cap a la seva persona. A l'Assemblea General Extraordinària de la Societat d'Història Natural de les Balears del 28 de febrer de 1995, Joan Cuerda va ser anomenat President d'Honor de forma unànime.

En un dossier tècnic, publicat el 1994 i escrit per Aina Lleuger, adreçat al professorat i que forma part de l'activitat *El Carnatge: passat, present i futur*, del Programa de Dinàmica Educativa de l'Ajuntament de Palma es posa de manifest que la figura de Joan Cuerda és essencial per entendre les formacions quaternàries de es Carnatge i la seva protecció, així com la importància de la seva obra dins el context naturalístic de les Balears. De fet a unes fitxes tècniques publicades pel Govern Balear sobre les *àrees naturals d'especial protecció de les Illes Balears*, s'indica que la protecció d'es Carnatge es deu, bàsicament, als valors paleontològics estudiats per Joan Cuerda.

Recentment, en un llibre d'especial rellevància geològica, *Aspectes Geològics de les Balears*, editat per la UIB en commemoració del *X Simposium sobre la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* realitzat a Palma l'any 1998, l'editor del llibre el Dr. J.J. Fornós, no va dubtar en donar cabuda a un article-homenatge a J. Cuerda escrit per D. Vicens i F. Gràcia.

El mes de novembre de 1999 va participar com a ponent al curs *Els fòssils: una mirada al passat per entendre el present*, organitzat per la Societat d'Història Natural de les Balears i el Centre de Professorat i Recursos de Palma. Els participants del curset varen quedar astorats de la col·lecció que J. Cuerda els mostrava i de la saviesa de les seves explicacions. Als seus 87 any explicava amb el mateix entusiasme als alumnes i amb la mateixa il·lusió d'aquelles jornades de l'INQUA, de sortir al Camp de Tir a mostrar i transmetre als alumnes el coneixement d'aquelles espècies fòssils, in situ, tal com les havia desposat el temps.

La junta directiva de la Societat d'Història Natural de les Balears, en vistes de la gran trajectòria científica de Joan Cuerda i de la gran transcendència de la seva obra i estímul dins molts dels naturalistes illencs, va presentar la candidatura de J. Cuerda a la Medalla d'Or de la Ciutat al Consell de l'Àrea de Cultura, a les Cases Consistorials de Palma, el dia 26 de juny de 2001.

Joan Cuerda va col·laborar amb el mateix entusiasme tant amb naturalistes de la Societat d'Història Natural de les Balears (Muntaner, Adrover, Gasull, Sacarés, Galiana, Antich, Soler, Gràcia,...) com amb eminents especialistes sobre la matèria com el Dr. Butzer de la Universitat de Chicago, el Dr. Gaibar Puertas del CSIC, el Dr. Crusafont de la Universitat de Barcelona, el Dr. V. Rosselló Verger, de la Universitat de València, el Dr. Ll. Pomar, de la Universitat de les Illes Balears, el Dr. Osmasten, de la Universitat de Bristol, el Dr. G. Mateu, de l'Institut Oceanogràfic de Palma, el Dr. H.C. Colom de la Universitat

Autònoma de Barcelona, el Dr. Goy, de la Universitat de Salamanca, la Dra. Zazo del CSIC, ...

Fruit de la seva amistat amb Ll. Gasull li fou dedicada (1963) la descripció a les pàgines del Bolletí d'una nova espècie de mol·lusc terrestre fòssil (*Trochoidea cuerdoi*), espècie coneguda només de Menorca. Wiedmann als anys 60 també descriuí en el seu honor *Acrioceras muckleae cuerdoi*, un amonit del Secundari de les pedreres de Biniamar (Lloseta). Recentment, J. Quintana, D. Vicens i G.X. Pons (2006) han descrit un petit mol·lusc terrestre, *Oestophora cuerdoi*, com a mostra del nostre més sincer agraïment per tots els coneixements que ens va ensenyar.

La seva feina, a més de quedar reflexada en el seu treballs, també és present a la seva col·lecció de fòssils del Quaternari de les Balears. Les hores dedicades a cercar jaciments, i estudiar-los no ha estat cosa de dos dies; tampoc ho ha estat recollir el material paleontològic i fer-lo net per tenir-lo a punt per estudiar-lo i quedar ben catalogat i ordenat per a ulteriors consultes en les seves calaixeres. La seva col·lecció no només té un valor científic, té un altre valor mal de captar per aquells que no són amants de la natura, un valor de sentiment i emoció que fa recordar la persona de Joan Cuerda, com un mestre pacient amb molta ganes d'ensenyar allò que ell sabia, fruit de molt d'anys de treball de camp.

La seva actitud desinteressada i generosa ha servit moltíssimes de vegades com a ajut i estimul perquè altres autors realitzassin nous estudis científics sobre el Quaternari de les Balears. Així és reconegut a la presentació dels editors (G.X. Pons i J.A. Guijarro) monografia de la Societat sobre "El canvi climàtic: passat, present i futur" (2001) indicant que algun dels seus treballs no hagués estat possible sense el coneixement previ de tota la tasca investigadora de Joan Cuerda.

Són molts els que han après de la saviesa modesta de Joan Cuerda i no tothom li ha agraït com cal. Aquest investigador autodidacte, a vegades criticat per aquest motiu, ha superat amb la seva perseverança molts d'investigadors de la "ciència oficial".

Al llarg de 50 anys, el treball científic realitzat per Joan Cuerda es podria caracteritzar per la rigorositat, la continuïtat i una constant innovació temàtica i renovació metodològica en el seus estudis. La seva tasca de producció científica, quasi ininterrompuda, es va iniciar amb la descripció i catalogació dels fòssils continguts a les terrasses quaternàries de la Badia de Palma. Després la seva àrea de treball es va anar ampliant i localitzant nous jaciments de Mallorca, de Cabrera i de les Illes Pitiüses, per descriure l'estratigrafia, els fòssils associats i la seva cronologia relativa amb les oscil·lacions glaciostàtiques del Quaternari. També ha estudiat jaciments de Menorca i del País Valencià. Majoritàriament ha catalogat mol·luscs marins fòssils, però també ha estudiat mol·luscs terrestres i vertebrats del Quaternari.

La seva obra "Los Tiempos Cuaternarios en Baleares" ha exercit una important influència amb totes les investigacions posteriors relacionades amb el Quaternari de les Illes i de la Mediterrània Occidental.

Casa seva no només ha esta un centre d'acollida d'especialistes de tot el món, sinó també ha donat cabuda a estudiants de primària, secundària, universitaris i a tota persona que ha tengut un sentiment d'amor cap a la natura.

La seva relació amb el Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Balears ha estat molt estreta, ja com a director de publicacions, membre del consell assessor o autor de

molts del seus articles. Quan fou director de publicacions s'instaurà l'arbitratge científic, s'establí el procés de normalització lingüística de la Societat amb el canvi de nom de la revista (1980), de Boletín de la Sociedad de Historia Natural de las Baleares passà a ser Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Balears, la seva actual denominació. La seva estima vers el Bolletí va fer que en tota la història sigui l'autor que més articles hi publicà, la veritable ànima del Bolletí. La vàlua d'aquests articles fa que sigui una revista científica tenguda en compte dins dels circuits científics internacionals. La seva especial relació amb el Bolletí de la Societat, l'element que fa que la Biblioteca de la Societat vagi creixent any rera any, i coneixedor de l'esforç que comporta la aquesta tasca, feia que a cada assemblea donàs l'enhorabona al responsable de publicacions després de cada volum editat.

La Societat d'Història Natural de les Balears per l'esforç continu, per la seva dedicació altruïsta, pel seu estimul a tots els que s'apropaven a ell, i per moltíssims d'altres aspectes a de la seva persona, sempre estarà present en el nostre cor amb un lloc d'honor.

## Una breu pinzellada sobre els autors i els articles

S'ha començat aquesta presentació comentant la participació de distints amics que han redactat capítols d'aquesta monografia. Els dos primers articles són d'autors – amics, d'aquests amics que han deixat patent quelcom més que l'amistat: Emiliano Aguirre i Karl W. Buzter. El primer fa una discussió nomenclatural sobre la utilització de la paraula Quaternari. El segon article, és un emotiu escrit de K.W. Buzter sobre les seves vivències, la seva relació personal amb el nostre protagonista.

La projecció de J. Cuerda com a quaternarista més enllà de les terres de les Balears fou més que notori. Coneixia perfectament els més importants jaciments del Llevant ibèric. Va ajudar a altres col·legues a la determinació de milers d'exemplars de mol·luscs. Des dels anys 90 la seva col·laboració amb altres quaternaristes de fora de les Balears es fa més patent. Una d'aquestes persones fou en J. Meco amb qui publicà (1993) un interessantíssim estudi sobre la importància d'*Strombus bubonius* com a indicador de les paleotemperatures en el darrer interglacial. En aquest volum, J. Meco *et al.* fan un exhaustiu anàlisi de la composició faunística de distints jaciments canaris del Pleistocè marí (uns 100 taxa citats), així com la constatació de l'altura del punt màxim transgressiu i l'extensa continuïtat dels depòsits estudiats.

A la monografia també s'han incorporat autors que treballen amb el Quaternari de l'Argentina amb aproximacions diverses. Un dels editors (GXP) vol expressar el seu més sincer agraïment per la seva participació i la seva paciència i comprensió relacionada amb el retard que ha sofert aquest la impressió definitiva d'aquest obra. El primer d'aquest conjunt de tres articles, de L. Soibelzon i F.J. Prevosti, s'explica l'origen i la diversitat de carnívors terrestres del Quaternari d'Amèrica del Sud. En el segon, de C.P. Tambussi *et al.*, ens fan conèixer la interessantíssima avifauna del Quaternari d'una família de lloros (Psittacidae) així com les inferències paleoambientals. El tercer i darrer d'aquest conjunt d'articles, de M.L. Aguirre *et al.*, és un extraordinari estudi sobre els mol·luscs presents a les terrasses marines quaternàries de la zona de Camarones (Patagònia).

Des del departament de Ciències de la Terra (J.J. Fornós, J. Ginés, A. Ginés, F. Gràcia), junt amb un grup d'investigadors italians (P. Tuccimei, M. Mucedda) s'està ampliant amb major precisió les oscil·lacions del nivell de la mar del Pleistocè gràcies a datacions Tori/Urani. Dades proporcionades per espeleobussejadors i espeleotemes freàtics de Sardenya i de Mallorca han fet enquadrar molt millor les corbes glacioeustàtiques de la Mediterrània occidental.

El següent article és una aportació d'un altre vell amic de J. Cuerda. G. Mateu ha tingut durant molts d'anys càrrecs de responsabilitat en la Societat d'Història Natural de les Balears i no ha volgut deixar d'aportar el seu granet d'arena amb una aportació al coneixement de del *Corallium rubrum*.

El 2003 fou un any ben trist per a mi (GXP), una altra persona amb la qual vaig compartir molts de bons moments també ens abandonà, Joan Pons-Moyà. La discussió científica era un element present en les nostres llargues i, normalment, nocturnes converses. En Joan Pons-Moyà de trajectòria eminentment quaternarista, malgrat quan va ser convidat a participar en aquesta monografia ja estava molt malalt em va comunicar, el mes de febrer (2003), pocs mesos abans de morir, la seva ferma intenció de participar (junt amb altres amics-autors) en la redacció d'un article, no exempt de polèmica, sobre una nova proposta sobre l'evolució del gènere *Myotragus* (Bovidae, Mammalia). Aquest article feia molt de temps que ho tenia en ment i havia estat àmpliament discutit amb altres paleontòlegs de les Balears, i finalment ha vist la llum i la seva veu, els seus pensaments i els seus agradables records estan una mica més entre nosaltres.

En el següent article, Ll. Gómez-Pujol *et al.* avaluen la magnitud dels processos erosius que actuen sobre els penya-segats carbonatats d'una localitat litoral que ha estat punt de control d'un projecte europeu des de fa uns nou anys, concretament la zona de s'Alavern (Sud de Mallorca) alhora que es detallen les seves components temporals i d'escala. Les tasques quantitatives han estat objecte d'estudi i reflexió. De vegades se pensa que tot està mesurat, que tot està dit. Dades de perímetre de litoral de les Balears apareixen a tots els atlas i documents geogràfics. En aquesta ocasió P. Balaguer va més enllà, amb una metodologia clara efectua l'inventari quantitatiu de les costes rocoses de Mallorca, les formes dels penya-segats, la litologia,... Com era d'esperar les dades oficials no concorden amb els resultats d'aquest interessant treball.

Els editors, D. Vicens, D. i G.X. Pons, han aportat el seu granet d'arena amb una aproximació al coneixement dels mol·luscs continentals del Pleistocè superior a jaciments costaners de la zona septentrional de Mallorca. Aquest és un clàssic treball taxonòmic, amb descripcions de nous jaciments i amb perfils esquemàtics, que segueix les pautes heretades del nostre mestre J. Cuerda.

El litoral, les cales com a zones de confluència del medi marí i una zona terrestre, zones normalment de mescla d'aigües, de deposició de sediments encorsetat per costes rocoses... en resum un ambient ben peculiar i de gran estímul científic. Els dos articles següents tenen com a referència aquest fet geomòrfic. El professor, el mestre i amic Vicens M<sup>a</sup> Rosselló n'és coautor del primer en el que s'estudia i descriu la geomorfologia des Màrmols fins as Balç (Santanyí), i el segon article, en solitari, un pretext (un bon pretext) per parlar de cales, torrents, fractures i carst a Mondragó.



Durant els darrers anys, l'espeleologia de les Balears ha experimentat una autèntica revolució científica, quelcom com el descobriment, l'obertura d'un món nou. Aquesta nova finestra al coneixement ha vingut donat, essencialment, per un amic, en Francesc Gràcia, un biòleg i espeleobussejador agosserat que junt amb J.J. Fornós i B. Clamor ens presenten un catàleg de les cavitats costaneres de les Balears generades a la zona de mescla, amb importants continuacions subaquàtiques.

Tanca aquest volum, carregat de sentiments, un article d'en J. Servera, un company i amic del departament que ha volgut compartir amb nosaltres els trets mineralògics i textural de la seqüència dunar holocena de la depressió de Campos (Mallorca), un dels sistemes dunars més importants de les Balears i zona que ningú més que ell, coneix a la perfecció. Per últim, agrair la confiança i paciència que han depositat amb nosaltres durant aquest llarg procés de gestació, en tot moment, tots els autors d'aquesta monografia, per les paraules d'ànim de na Mar Cuerda i n'Alfons Barceló, la Junta de la Societat d'Història Natural de les Balears, a n'Andreu Muntaner que ens ha cedit totes les fotografies d'aquesta presentació (i altres moltes imatges!!) i l'ajut econòmic de la Fundació "SA NOSTRA" especialment en les persones de n'Andreu Ramis, en Bartomeu Tomàs i n'Eva Villalonga i la Direcció General de Recerca, Desenvolupament Tecnològic i Innovació, especialment a la seva directora general, Marta Jacob, i na Bàrbara Terrassa. Moltes gràcies a tots.

**Guillem X. Pons i Damià Vicens**





# Cuaternario no, o Cuaternario sí

Emiliano AGUIRRE

## SHNB

Aguirre, E. 2007. Cuaternario no, o Cuaternario sí. ). In: Pons, G.X. i Vicens, D. (Edit.). Geomorfologia Litoral i Quaternari. Homenatge a Joan Cuerda Barceló. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 14: 21-23. ISBN 84-96376-13-3. Palma de Mallorca.



SOCIETAT D'HISTÒRIA  
NATURAL DE LES BALEARS

Juan Cuerda dió mucho de su tiempo, de su persona y los suyos al Cuaternario y a los cuaternaristas. Pues bien, en Clasificación y Nomenclatura estratigráfica se vuelven a cuestionar dos puntos, que ya se debatieron hace algunas décadas, sobre el Cuaternario: primero, cuál es su base o límite inferior, en términos estratigráficos y de edad numérica, y segundo, la supresión del término y concepto de Cuaternario, como sistema estratigráfico, incluyendo el Pleistoceno y el Holoceno en el Neógeno. Trato aquí sólo del segundo, más grave y urgente. Se da mucha fuerza al argumento de la corta duración cronológica del tramo representado por las secuencias estratigráficas pleistocenas y holocenas. Otra "razón" que no pocos consideran decisiva es la etimología del término "Cuaternario" que, alegan, es un ordinal, siguiente al "Terciario": la supresión de los nombres "Primaria", "Secundaria" y "Terciaria" en la Nomenclatura Estratigráfica dejaría sin sentido al Cuaternario y exigen por ello su exclusión.

A las razones aducidas se pueden, sin embargo, oponer otras, cuyo valor y significación en Estratigrafía no pueden dejar de ponderarse. La magnitud de los cambios en las esferas terrestres, en geodinámica, relieve terrestre y, consiguientemente, en el régimen sedimentogenético y diagenético, que registra la estratificación, puede ser bastante notable, y ha de ponderarse con qué categoría de divisiones estratigráficas se puede convenientemente alinear. Entre el Plioceno y el Pleistoceno se registran cambios secuenciados en las oscilaciones del clima muy nuevos, con los que comienza una nueva Edad del Hielo, como no se ha conocido otra en la Tierra desde el Pérmico. A partir del Límite basal del Pleistoceno, ahora en uso, se registra el comienzo de la excavación de muchas entre las mayores cuencas fluviales en distintos continentes; éstas en general siguen a una serie de superficies complejas o "glacis" en torno a las modernas cadenas montañosas: estos cambios en la estratigrafía continental se reflejan también en la marina, aunque no con una nueva transgresión.

El argumento de la duración es irrelevante. Si ahora estamos en el tiempo Holoceno, éste no ha terminado todavía: su duración es totalmente, simplemente desconocida. No se puede confundir la duración total con lo recorrido hasta ahora, ni por tanto argüir con este patente error.

Al final del Plioceno y al comienzo del Pleistoceno, no sólo cambian las curvas de oscilaciones climáticas resultantes de la superposición de las variables planetarias, y de otros condicionantes geodinámicos del clima, con efectos muy sensibles en los procesos y registros estratigráficos, sino que la evolución del clado humano introduce un nuevo agente, global e insólito en la historia del Planeta, que será responsable último y único de cambios en la ecología de la biosfera. Será capaz de cambiar la situación de masas ingentes de rocas y desplazarlas; de alterar la evolución de las pendientes, el curso de los ríos, la erosión y sedimentación en las costas, la extensión de bosques y desiertos, la génesis de niveles edáficos. El género *Homo* aparece hace unos 2,5 Ma, al tiempo que nace el presente casquete polar Ártico y coincide también con los primeros conjuntos conocidos de artefactos de piedra: éstos serán un registro estratigráfico absolutamente nuevo. El definitivo salto adelante de la que será nuestra especie, estudiosa y exploradora del universo y de sus esenciales energías y partículas, autora de explosiones atómicas y de redes fabulosas de comunicación, ocurre hace cerca de 1,8 Ma, con la prolongación de la infancia, la salida de África y expansión humana en los otros continentes, la diversificación de la industria lítica que lleva al Modo 2 con los utensilios de gran formato, el uso del fuego. Las cenizas de arteificio son otro contenido estratigráfico original y único del Cuaternario. Si esto no se percibe como un cambio de primera magnitud en la evolución de nuestro

Planeta, la situación es comparable a la de aquella primera aparición de la vida en el Proterozoico, o del primer organismo animal, o de la primera vida fuera del agua: los protagonistas no podían percibir la magnitud de lo que acababan de iniciar.

Por lo dicho, la corta duración recorrida, hasta ahora, no es bastante para la supresión o la degradación en Estratigrafía del Sistema Cuaternario. Este se justifica por los cambios, tanto geodinámicos como antrópicos, que se registran en los estratos hasta ahora clasificados como Cuaternarios: algunos de naturaleza y significado puramente nuevos y exclusivos del Sistema Cuaternario.

Otra es la cuestión del nombre: esto es, si manteniendo un sistema distinto del Neógeno, con el Pleistoceno y Holoceno, procede o no cambiar el nombre. Desde luego, la supresión en Nomenclatura estratigráfica de términos como "Secundario" y "Terciario" no exige que se elimine también el Cuaternario. Máxime si, como en otras ocasiones he mantenido, la palabra y nombre propio "Cuaternario", originado precisamente en Estratigrafía y para la Clasificación y Nomenclatura estratigráficas, ha llegado a ser utilizado y significativo en un número altísimo de publicaciones, referencias, congresos y simposios; en programas de investigación, sociedades y comisiones nacionales e internacionales, y en una real unión internacional con actividad relevante y mantenida bajo este nombre, extendido además en un nivel multi- e interdisciplinar. Todas estas entidades y agrupaciones bajo el nombre del Cuaternario se mantienen notablemente fecundas en productividad y calidad científica.

Ahora bien, como nadie ni razón alguna puede inhibir ni privar a la Comisión de Nomenclatura estratigráfica de estudiar un posible cambio de nombre, se me ocurre

contribuir con una propuesta constructiva en este sentido. Y es la siguiente:

En vez de empezar suprimiendo, propongo, como más constructivo y menos traumático, introducir el uso, como sinónimo, de un término nuevo para el mismo contenido, pero más acorde, a gusto de algunos, con la actual serie de nombres adoptados en la Escala estratigráfica global. El uso de uno o del otro nombre, en corto tiempo, señalaría el más adecuado, para éste y/o para los otros usos. El equívoco se evita al declararlos, desde la propuesta, sinónimos. Pues bien, el sinónimo que propongo es el de "Antropógeno", estrictamente en línea con los de Paleógeno y Neógeno, y expresivo de la nota distintiva de los cambios introducidos en los factores y procesos geodiná-

micos, y consiguientemente en la sedimentogénesis y estratogénesis por el agente antrópico.

Precedentes hay, bien conocidos, del uso de este nombre, como sinónimo del Cuaternario, no global, sí extensamente regional, y patente en una producción científica de calidad, bien conocida y con abundante bibliografía. ¿Por qué no probar, antes que tirar el Cuaternario a la basura?. Pero me atrevo a pronosticar que, si en la hoja de la Escala Estratigráfica Global se sustituye "Cuaternario" por "Antropógeno", a todos los demás efectos se seguirá llamando Cuaternario. Si la doble denominación se rechaza por no parsimoniosa, retiro mi propuesta.



# Personal recollections of Juan Cuerda: friend, colleague and mentor / Vivències personals d'en Joan Cuerda: amic, col·lega i mentor

Karl W. BUTZER

## SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA  
NATURAL DE LES BALEARS

Butzer, K.W. 2007. Personal recollections of Juan Cuerda: friend, colleague and mentor / *Vivències personals amb Juan Cuerda: amic, col·lega i mentor*. In: Pons, G.X. i Vicens, D. (Edit.). Geomorfologia Litoral i Quaternari. Homenatge a Joan Cuerda Barceló. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 14: 25-35. ISBN 84-96376-13-3. Palma de Mallorca.

A large crowd was gathered around some rocks at the beach. Most people were listening to a man explaining loudly, or at times arguing with one or other of the geologists, dressed in their customary field clothes. A good number of obvious “civilian” excursionistas was standing on a level surface in the background, showing little interest but probably wondering why they had not had more coffee. I myself was walking around the periphery, intrigued by the thick, red soil sediments. But I kept turning back to the enthusiastic man who was the center of attraction, Juan Cuerda. It was September 6, 1957, and the occasion of a field excursion of the International Quaternary Association (INQUA). The field/guidebook listed an academic geologist from Barcelona as in charge, but at Campo de Tiro it was Cuerda who took charge. And he clearly knew what he was talking about.

Una gentada s'arremolinava entorn d'algunes roques a la platja. Molts dels presents estaven escoltant les explicacions d'un home que parlava en veu alta, tot discutint a estones amb algun dels geòlegs, vestits aquests amb les seves habituals indumentàries de camp. Un bon grapat de “excursionistas” òbviament “llocs” estaven drets al darrere, mostrant poc interès però preguntant-se probablement per què no els havien servit un poc més de cafè. Jo mateix caminava per la perifèria del grup, intrigat pels gruixuts sediments de terra roja. Però em vaig parar per tal d'observar aquell home entusiasta que era el centre d'atenció, en Juan Cuerda. Era el 6 de setembre de 1957, amb motiu d'una excursió de camp de l'Associació Internacional per a l'estudi del Quaternari (INQUA). El programa d'activitats esmentava com a responsable a un geòleg acadèmic de Barcelona, però allà, al “Campo de Tiro”, era Cuerda la persona que

Two years later I had the good fortune of meeting this irrepressible man. But under unusual circumstances. It was my honeymoon, although my bride Elisabeth understood only too well that I had difficulty in separating the pleasure of research from that of delightful company. We had come down from Germany by bus with a student tour, flying across from Barcelona to Palma in one of those small and boxy, old transport planes of Civil War vintage. Our destination was an as yet undeveloped bay on the southeast coast called Cala Figuera. Within a few days we were hiking along and up and down the 15m high limestone cliffs, enjoying the vista of a placid Mediterranean Sea, dotted in those days with tiny motorboats carrying contraband cigarettes. But I was more interested in the cemented eolian sands that rose up steeply against the cliffs. The bedding was striking and there were traces of reddish soils interrupting some of them. These were eolianites, blown up from the marine shelf when sea levels were lower, during the Quaternary. But I had never seen anything like this in the textbooks I had read as a student.

After perhaps a week of “discovering” and describing, I decided that I needed to consult a professional. I didn’t have an address, but I sent a short letter in English, addressed to “Sr. Juan Cuerda Barceló, Palma de Mallorca”. To my surprise I had an answer by return mail, in Spanish. Yes, he would be happy to meet me and explain some of his coastal sites and their sediments, suggesting a particular time. A day or two later, I took the small-gauge train that wound up through the red fields, white limestone fences, and garriga of southern Mallorca, from Santanyí to Ses Salines and Lluçmajor to Palma. Cuerda was waiting for me at the station and took me by bus down the coast of

va assumir la tasca de fer de guia. I era ben evident que sabia de què estava parlant.

Dos any més tard vaig tenir la bona sort de retrobar aquest home decidit. Però sota circumstàncies inusuals. Va ser durant la meua lluna de mel. Tot i així la meua núvia Elisabeth entenia molt bé que jo no podia separar els dos plaers: el de la recerca i el de la seva companyia encantadora. Havíem viatjat des d’Alemanya amb un autobús estudiantil i després havíem volat de Barcelona a Palma en un d’aquells vells avions de transport, petits i rabassuts, del temps de la Guerra Civil. El nostre destí era Cala Figuera, una badia aleshores poc urbanitzada de la costa sudoriental de Mallorca. Als pocs dies anàvem d’excursió per amunt i per avall dels cingles de 15 m d’altura de roca calcària, gaudint de la vista d’una mar Mediterrània serena, clapejada durant aquesta època per petites llanxes motores que duïen cigarrets de contraban. Però jo estava més interessat en les arenes eòliques cimentades que s’aixecaven a les zones més esquerpes al peu dels penya-segats. A la base hi podíem trobar nivells de sòls rojencs que interrompien alguns d’elles. Eren eolianites, depositades en aquestes zones, per sota de nivells marins, quan els nivells del mar eren més baixos, durant el Quaternari. Però mai havia vist res de semblant en els manuals que havia llegit quan era estudiant.

Poc més o manco una setmana després de “descobrir” i de descriure aquestes formes, vaig decidir que necessitava consultar amb un expert. No tenia cap direcció, però vaig enviar una curta carta en anglès simplement amb l’adreça “*Sr. Juan Cuerda Barceló, Palma de Mallorca*”. Amb sorpresa vaig rebre resposta a volta de correu, en espanyol. Sí, a ell li complauria trobar-se amb mi i mostrar-me alguns dels seus jaciments litorals amb els corresponents sedi-

the bay of Palma. He showed and explained to me his major sites, and I returned to Cala Figuera that evening much edified. Cuerda invited me to come back, and bring my bride along, to visit his home.

After spending the week looking at “my” coastal sites with new eyes, Elisabeth and I took the train, together this time. We did do geomorphology and stratigraphy that day, but what I mainly remember is Son Morla, the wonderful, traditional farm complex of the Cuerda family. Located amid the fields now converted into suburban Molinar, it had palm trees and a windmill. To us it looked like a legendary hacienda, but the biggest surprise was inside - the garden with its flowers, vegetables, ornamental trees, and colored tiles. Here we met Señora Cuerda - Margarita - gracious, gentle and warm. The Cuerdas enjoyed our enthusiasm about this Classical garden of paradise, enclosed between the walls, to the south the great house, and the functional farm buildings on the far side, that were leased to a campesino. I took photos, some of Elisabeth standing under the trees, and we felt and behaved like honey-mooners. The Cuerdas were delighted to find out that this was indeed our honeymoon, and treated us like doting parents. It was almost incomprehensible to us that we, as almost total strangers, would be shown such affectionate hospitality.

It was the beginning of not only a professional collaboration, but also of a deep and durable friendship. It began in the garden of Son Morlà, the images of which have remained vivid for Elisabeth and myself across 45 years, even as many others have dimmed with time. Cuerda understood this, and in 1979 he gave us one of his amateur oil paintings, in impressionist style and showing the flowers seen from his veranda, probably done during the early years of his own marriage.

ments, tot proposant ja una data precisa per veure'ns. Un día o dos després vaig prendre el trenet que travessava els camps de terres vermelles de Mallorca, les tanques fetes amb pedres calcàries i les garrigues de la Mallorca meridional, de Santanyí a Ses Salines i de Llucmajor a Palma. Cuerda m'esperava a l'estació i tot d'una vàrem agafar l'autobús que ens duia cap a la costa de la badia de Palma. Me mostrà i m'informà dels jaciments més importants, i aquell horabaixa vaig tornar a Cala Figuera sabent més coses. Cuerda me convidà a tornar-hi, i a visitar ca seva amb la meva núvia.

Després de passar la setmana en que mirava “els meus” jaciments litorals amb uns altres ulls, Elisabeth i jo vàrem agafar, aquesta vegada junts, el tren. Aquest dia férem la geomorfologia i l'estratigrafia, però el que sobretot record és Son Morlà, la meravellosa, tradicional possessió de la família Cuerda. Estava al bell mig de camps, avui convertits en el Molinar suburbà, tenia fassers i un molí de vent. A nosaltres ens semblà una “hacienda” de fantasia, però la sorpresa més gran fou l'interior - el jardí amb les seves flors, plantes, arbres ornamentals i rajoles colorejades. Aquí vàrem conèixer a la Sra. Cuerda - Margarita - amable, distingida i hospitalària. La família Cuerda es divertí amb el nostre entusiasme envers el seu paradís terrenal, tancat entre murs, al nord d'aquell casal, i amb els edificis funcionals adjunts de la possessió que estaven llogats a un pagès. Vaig fer fotos, algunes d'Elisabeth davall d'uns arbres, mentre ens sentíem i actuàvem com a recent casats. Els Cuerda estigueren encantats quan saberen que estàvem celebrant la nostra lluna de mel, i es comportaren com a pares amorosos. Ens resultava gairebé incomprendible que a nosaltres, com a persones quasi totalment externes, se'ns hagués tractat amb una hospitalitat tan afectuosa.



Cuerda's father had come from Old Castille to Barcelona, marrying the daughter of a Catalan merchant and Mallorquin mother and almost all the summers they were going to spend some weeks there. He had recently moved to Palma when La Guerra began and he was drawn into the Nationalist army. During the bitter winter Battle of Teruel, in February 1938, he was wounded, losing the use of his left arm. He returned to Palma an invalid, and remained in the army as a part-time employment, engaged in looking after the welfare of wounded war veterans. His loyalty and empathy to his disabled comrades was striking. Many a time he jumped out of his little car, which he acquired in 1960, to put some coins in the tin cup of a begging amputee at the corner. Always a few brief, but kind words.

A similar kindness and respect was extended to his children, who came in all sizes at the time. Although a parent of the old-school, there was a palpable mutual affection, and the children grew up as gifted and well-adjusted adults. Cuerda's kindness to his disabled daughter Maita was touching, and she adored her father. During my visits to Son Morla, Maita took a liking to me as well, enthusiastically calling out "But-zerr!" whenever I came in. That would embarrass Margarita a little, but I saw it as a compliment, and it never failed to make me smile. On some of Cuerda's Christmas greetings she elaborately printed her name, even many years later.

Although Cuerda was eventually promoted to Major and finally Colonel in the Reserves, the salary was small and he had to supplement it as a part-time salesman. The family lived frugally and only Margarita's inheriting of the Possessió of Son Morlà made it possible for the children to grow up in such auspicious surroundings, at least

Així s'inicià no solament una col·laboració professional, sinó també una amistat profunda i duradora. Començà en el jardí de Son Morlà, les imatges del qual han seguit vives per a n'Elisabeth i per a mi, després de 45 anys, encara que moltes altres s'han anat esborrant amb el temps. Cuerda compartia aquest sentiment, i el 1979 ens obsequià amb un dels seus quadres de pintor amateur, fet a l'oli, d'estil impressionista, que retratava les flors que es veien des del terradet de ca seva, obra pintada probablement pocs anys després del seu casament.

El pare de Cuerda procedia de Castella la Vella i exercia d'advocat a Barcelona. S'havia casat amb la filla d'un fabricant de flassades de Mallorca i gairebé tots els estius hi anaven a passar unes setmanes. Precisament la família arribà a Palma just quan esclatà "*La Guerra*" i Juan Cuerda s'allistà de seguida a l'exèrcit nacionalista, on es convertí en alferes provisional. Durant la dura batalla de l'hivern a Terol, el febrer de 1938, el varen ferir greument, i va quedar limitat el moviment del seu braç dret. Tornà a Palma com a mutilat de guerra, i romangué com a militar professional, amb una feina de mitja jornada, ocupat amb tasques administratives relacionades amb el benestar dels veterans ferits a la guerra. La seva lleialtat i empatia cap als seus camarades l'animaven. Més d'una vegada botà del seu petit cotxe, que comprà el 1960, per a posar algunes monedes a la llauna d'un mutilat que demanava almoïna a una cantonada. No era xerraire, però les seves paraules sempre eren amables.

Una amabilitat i un respecte semblants foren transmesos als seus fills, que en aquest moment eren de totes les grandàries. Encara que era un pare tradicionalista, hi havia un afecte mutu palpable, i els seus fills varen créixer rectes i educats. L'atenció de Cuerda envers la seva filla Maita, amb síndrome de



during the summer months. Thus one has to admire Cuerda's perseverance to achieve a scientific trajectory, as a marginally-employable, disabled veteran in those lean decades of economic depression after La Guerra. He was inspired by the great natural historian Guillem Colom and began to associate with like-minded younger men in 1947, in a Palma that still was an educational backwater in an overly centralized nation. Bit by bit they joined to create a then-modest scientific society, and Cuerda himself took trips to Barcelona, to read and work in its university library. He taught himself French and English, in order to master the foreign literature, bringing back his patiently typed copies of journal articles, that he then collected in San Morla, for continuing reference, at a time when photocopying was unthought of. By the time that Cuerda stood in front of that international group at Campo de Tiro in 1957, he had become a researcher capable of arguing with the best *cuaternaristas* of the profession.

In 1960 I spent a half-year in the field on Mallorca, riding through the coastal garriga on a small motorcycle, searching for new Quaternary sites below the steep cliffs and describing profiles. Cuerda came out on perhaps a dozen occasions, providing the luxury of his indomitable SEAT. Some of these sites (especially Punta Sa Plana) were on a property near the south end of the island, where I had been cautioned by people in Santanyí, that there was a guard who was very hostile. So I had always slipped down to the coast there unobtrusively, but Cuerda simply laughed when I told him. He reassured me that by Spanish law, the first 15m from the watermark belonged to the king. The *Siete Partidas* notwithstanding, within a short time we were "arrested" by that guard, holding up a double-barrelled

Down, era molt amatent, i ella adorava son pare. Durant les meves visites a Son Morlà, Maita se feia estimar i a mi també em succeí, na Maita cridava de forma entusiàstica "But-zerr!" sempre que jo arribava. Això empipava una mica a na Margarita, però jo ho veia com un afalac, i sempre em va fer somriure. En algunes de les felicitacions de Nadal de Cuerda, ella hi posava uns gargots, inclús molts d'anys més tard de la meua estada a Son Morlà.

Encara que més tard Cuerda fou ascendit a comandant, i a coronel quan va passar a la reserva, el sou era petit i va haver de complementar-lo amb feines de representació de productes químics per a la indústria de la sabata. La família va viure frugalment, tot i que quan va heretar Son Morlà els seus fills van poder créixer en un ambient privilegiat, almenys durant els mesos d'estiu. Per tant, resulta admirable la perseverància de Cuerda (en tant que militar en actiu, mutilat de guerra i tot fent-se un sobresou com a representant comercial), per tal de dur a terme una trajectòria científica, en aquelles dècades magres de la depressió econòmica després de "La Guerra". El va engrescar el gran naturalista Guillem Colom, i l'any 1947 començà a reunir-se amb persones més joves però atretes per inquietuds semblants, a una Ciutat de Palma que encara era un món educativament retrassat dins un país excessivament centralitzat. Poc a poc van organitzar-se amb la intenció de crear una societat científica, aleshores modesta. Cuerda viatjà a Barcelona, per llegir i treballar a la biblioteca de la Universitat; també va estudiar de manera autodidacta francès i anglès, per tal de poder llegir la literatura estrangera. Tornava dels viatges carregat amb còpies, pacientment mecanografiades, dels articles de revista que l'interessaven. A continuació els ordenava i relligava a la seva biblioteca de Son Morlà, per poder consultar quan calgués, en una època en que la

shotgun. Cuerda engaged him in a voluble conversation, and as a concession, the guard drove us to the residence of the manager of what turned out to be a large estate. S'Avall was quite a manor, enclosed with walls or barbed wire. But the manager, Sr. Burguera, was reasonable, explaining that the whole area belonged to the magnate Juan March. He gave us a handwritten permit to travel freely, anywhere we wanted. We were not accosted again, and the guard was even helpful on occasion.

I had not worked in the field with a critical colleague before. Although Cuerda's specialty was paleontology, he was an outstanding geologist, and I was privileged to work with him when he was in his prime. He never accepted my initial stratigraphic interpretations, so that we had friendly, ongoing arguments until we were finally both in agreement. After that we discussed larger Quaternary issues, such as the origins of the red soils and eolianites. Ever since I have been very careful in making lateral stratigraphic correlations. Cuerda had a remarkable "field eye", and was skeptical until I had convinced him or corrected my misjudgements. Those years were a major learning experience for me and made me a much better field observer and geomorphologist. I also began to understand the concept of correlation by molluscan *assemblages*, and their paleoclimatic implications for the Quaternary record. I remain grateful for his tutelage, as well as the many stimulating discussions shared about the Quaternary.

Our common field work was resumed in 1961 and 1962, as we studied sites on the east and northeast coasts of Mallorca, and worked through his or my sites on the southeast coast from Andratx to Cala Pi, in part in the company of D. Andreu Muntaner. Our one point of unresolved disagreement was the Tyrrhenian III deposit at

fotocòpia era inimaginable. Així, en el moment en que Cuerda estava al cap d'aquell grup internacional en el "*Campo de Tiro*" l'any 1957, s'havia convertit en un investigador capaç de discutir amb els millors "*cuaternaristas*" professionals.

Durant 1960 vaig passar mig any fent treball de camp a Mallorca, trescant per la garriga costanera amb una motocicleta petita, cercant nous jaciments de Quaternari davall dels penya-segats esquerps i dibuixant perfils. Cuerda em va acompanyar en una dotzena d'ocasions, proporcionant-me el luxe del seu SEAT indomable. Alguns d'aquests jaciments (especialment Punta Sa Plana) estaven en una possessió prop de l'extrem sud de l'illa, i la gent de Santanyí m'havia advertit que hi havia un garriguer que era molt agressiu. M'havia introduït sempre a aquesta finca de forma discreta, però Cuerda se'n va riure quan li vaig explicar. Ell em va tranquil·litzar dient-me que segons les lleis espanyoles tradicionals, els primers 15 m de la costa pertanyien al Rei. Però malgrat el que deien "*Las Siete Partidas [de Alfonso X el Sabio]*", al cap de poc temps el guarda ens "detingué" apuntant-nos amb una escopeta de dos canons. Cuerda va encetar una conversació voluble, i com a concessió, el guarda ens va portar a la residència del senyor que resultà ser un gran casal. S'Avall era una finca absolutament tancada amb parets i reixats de filferro amb pues. Però l'administrador, Sr. Burguera, era raonable i ens explicà que aquella possessió pertanyia al magnat Joan March. Ens va donar un permís manuscrit per moure'ns per allà on volguéssim i que ningú ens molestés. Mai més ens vàren abordar agressivament i fins i tot, en certa ocasió, aquell garriguer ens va ajudar.

Jo no havia fet mai treball de camp amb un col·lega crític. Encara que l'especialitat de Cuerda era la paleontologia, era un geòleg

Campo de Tiro, which I felt was not in the same stratigraphic context as other, "late" sites with *fauna banal* at Canyamel (near Artà) and Ca'n Vanrell (near Arenal). But the high point of our travels was a trip to Ibiza and Formentera, which in 1961 was still almost untouched by tourism. At a fonda in Ibiza, Cuerda told me some of his war stories, over several glasses of wine. On Formentera we discovered a faunal horizon at + 46m near San Fernando, as a result of asking the campesinos if they had seen any rocks with mollusks. We rented a rowboat and glided across the placid waters among the islets between Formentera and Espalmador. Those must have also remained with him, because in one letter he writes of "aquellos benditos tiempos en que recorriamos juntos el Pleistoceno de ... los islotes de Formentera" (20-11-85).

We had long been good friends, but we continued to call each other by our surnames, as Iberian formality dictated in that day. But in our letters, the barriers of tradition were gradually dismantled, his initial greeting changing over time from "Estimado Dr. Butzer" to "Mi buen amigo" and finally "Mi querido amigo". In person, we talked rapidly in a strange mixture of English and Spanish, with his English better than my Spanish. Most of my Spanish, with its technical precision but limited use of grammatical niceties, I learned in the process of our bi-lingual communication. He was very generous in never objecting to my mistakes.

In September 1962 I set off for Egypt, and was then drawn for many years to studies in East and South Africa. But we remained in touch most years at Christmas. Due in part to our joint paper in the *Journal of Geology* of 1962, international researchers began to visit Mallorca and Juan Cuerda. He took each one to visit the

excepcional, i fou un privilegi treballar amb ell en el seu apogeu. Mai acceptava les meves primeres interpretacions estratigràfiques, de forma que teníem discussions amistososes, fins que al final arribàvem a un acord. També vàrem discutir llargament sobre característiques del Quaternari, com per exemple els orígens dels sòls i de les eolianites rojes. Des d'aleshores sempre he tingut ben en compte aquelles discussions quan he hagut d'elaborar correlacions estratigràfiques laterals. Cuerda tenia un notable "ull clínic", i era escèptic fins que jo no l'havia convençut o jo no havia corregit els meus errors. Aquells anys van ser una experiència d'aprenentatge important per a mí i això me va convertir en un molt millor observador de camp i geomorfòleg. També vaig començar a entendre el concepte de la correlació de les faunes de mol·luscs (*assemblages*), i les seves implicacions paleoclimàtiques per al Quaternari. Fet i fet, continu estant agraït pel seu mestratge, així com per les moltes i estimulants discussions que compartírem sobre el Quaternari.

El nostre treball de camp compartit fou reprès durant 1961 i 1962. Vàrem estudiar jaciments de les costes de l'est i nordest de Mallorca, i vàrem treballar en jaciments seus o meus de la costa sudoriental ubicats entre Andratx i Cala Pi, sovint en companyia de D. Andreu Muntaner. El nostre únic punt de desacord sense resoldre era el dipòsit de Tirrenià III del "Campo de Tiro", que jo creia que no estava en el mateix context estratigràfic que els altres jaciments "tardans" amb "*fauna banal*" de Canyamel (prop d'Artà) i de Ca'n Vanrell (prop de s'Arenal). Però el punt culminant dels nostres periples fou un viatge a Eivissa i Formentera, durant 1961, unes contrades aleshores gairebé sense turisme. En una fonda a Eivissa, Cuerda me comentà algunes de les seves històries de la guerra, des-

key sites, which sometimes required patience on his part. As a consequence, the Quaternary of Mallorca began to enter the mainstream of international literature. With such approbation, Cuerda was encouraged to publish his insightful treatise on the Quaternary of the Balearic Islands (1975, reprinted in 1993).

Our next meeting was delayed until 1979, when D. Bartomeu Barceló and D. Vicenç Rosselló arranged to invite me to the Spanish Geographer's Congreso in Palma. It was a joyous occasion for Cuerda and myself, and we spent good time together re-examining the sites around Cala Pi and developing a long stratigraphic sequence for the Banc d'Eivissa. Elisabeth and I now made our last visit to Son Morla, and found all those wonderful children grown up and flown the nest, except for dear, sweet Maita, who was such a help for her mother. The garden that we had come to see as symbolic of our marriage still was beautiful, but no longer so well-cared for. Juan and Margarita were growing older together, and we all shared a certain nostalgia for the past. He lamented how Spain was changing, too fast for his taste. Once more he proudly showed me his precious collection, his *Strombus* and *Conus* specimens, and discussed the many visitors who had passed through. This was the occasion on which he gave me his painting of the garden.

Time was flying, but our end-of-the-year greetings maintained our bonds of friendship. At one point he suggested that he was beginning to feel un *poco viejo* (14-12-85), despite the fact that he had just completed his great systematic opus on the marine and brackish-water mollusca of the Balearic Pleistocene, published in 1987. Christmas ever was the occasion for a happy gathering of the family at Son Morla, and for Cuerda it was the most significant

prés d'un parell de tassons de vi. A Formentera vàrem descobrir un horitzó faunístic a + 46 m prop de Sant Ferran, com a resultat de demanar als pagesos si havien vist roques amb copinyes. Llogàrem un bot de rem i navegàrem a través de les aigües tranquiles entre els illots entre Formentera i s'Espalmador. Ell també conservà aquests records, puix que en una carta em parlava de "*aquellos benditos tiempos en que recorrimos juntos el Pleistoceno de ... los islotes de Formentera*" (20-11-85).

Tot i que erem molt bons amics des de feia temps, ens continuàvem dient-nos pels nostres llinatges, com dictava la urbanitat ibèrica d'aquell temps. Però a les nostres cartes les barreres tradicionals foren gradualment eliminades. La seva salutació inicial canvià amb el temps de "*Estimado Dr. Butzer*" a "*Mi buen amigo*" i finalment a "*Estimado amigo*". Cara a cara, parlàvem ràpidament en una mescla estranya d'anglès i d'espanyol, amb el seu anglès millor que el meu espanyol. Bona part del meu espanyol, amb la seva precisió tècnica, però amb un ús limitat de refinaments gramaticals, el vaig aprendre durant el procés de la nostra comunicació bilingüe. Cuerda era molt generós i mai corregia els meus errors gramaticals.

El setembre de 1962 vaig partir cap a Egipte, i després vaig anar donant tombos durant anys per Àfrica de l'est i del sud. Però molts anys manteníem el contacte per Nadal. Degut, en part, a la nostra col·laboració en l'article del *Journal of Geology* de 1962, investigadors internacionals començaren a visitar Mallorca i Joan Cuerda. Ell els acompanyava a tots als jaciments clau, de manera que aquestes visites requerien sovint una mica de paciència. Al cap i a la fi, emperò, el Quaternari de Mallorca començà a incorporar-se com a punt de referència dins la literatura científica inter-

feast of the year. “En casa construyo un pequeño Nacimiento, y se celebra la Noche Buena en el calor familiar” (8-1-86), with all his children and his three grandchildren. You can imagine, he suggested, the excitement that filled this house (26-12-85). With so much confusion (*barullo*), there was so much no way to do any work!

The last time I encountered Cuerda was on the occasion of the ASEQUA meeting in Valencia, September 1991, and he was beginning to show his age. I was invited to a festive dinner in his honor, and when he rose to speak, he addressed me as his teacher. I was touched and flattered, but I smiled and corrected him: No, I said, you were the maestro, and I your student. Indeed, he was one of the most influential professionals in my career.

In his next to final letter (12-1-98), he looked back on those so distant years (*tan lejanos años*), when we still went out into the field together, “en las escasas ocasiones que mi destino militar me permitía. Ahora a mis 85 años cumplidos, a pesar de tener más tiempo disponible yo no puedo recorrer los yacimientos mallorquines como antes. Qué le vamos a hacer?!”

I last heard directly from Cuerda in December 1998, and his signature was shakey. In January 2002 his daughter Maria Magdalena wrote on behalf of her parents, now residing in the Convento de San Francisco in Palma. If some day we were in Spain, we shouldn't hesitate “en hacernos una visita, mi padre en especial tendría una inmensa alegría.” Magdalena added that we shouldn't delay too long, but I am afraid that we did. Juan Cuerda passed away on January 7, 2003, in his 91st year. His creative spirit had finally found its rest.

In celebrating the life of *mi buen amigo*, I have emphasized his character, because his long list of published journal

nacional. Amb aquesta aprovació internacional, Cuerda s'animà a publicar el seu perspicaz tractat sobre el Quaternari de les Illes Balears (1975, reimprès el 1993).

La nostra següent trobada es va retardar fins el 1979, quan D. Bartomeu Barceló i D. Vicenç M. Rosselló ho arreglaren per invitar-me al “Congreso” de geografia espanyola a Palma. Va ser una ocasió feliç per a Cuerda i per a mi, i passàrem un bon temps junts, en el que reexaminàrem llocs al voltant de Cala Pi i desenvolupàrem una àmplia seqüència estratigràfica per al Banc d'Eivissa. Elisabeth i jo fèrem aleshores una llarga visita a Son Morlà, i trobàrem a tots aquests fills meravellosos crescuts i fora del niu, a excepció de l'estimada i dolça Maita, que era una ajuda per a sa mare. El jardí que havíem vingut a veure com a símbol de la nostra unió encara era hermós, però ja no estava tan ben cuidat. Joan i Margarita envellien plegats i tots compartírem certa nostàlgia del passat. Cuerda es lamentà de com estava canviant Espanya, massa ràpid per al seu gust. Una vegada més em va mostrar amb orgull la seva preciosa col·lecció, els seus exemplars d'*Strombus* i de *Conus*, i me comentà dels molts visitants que havien passat per allà. Va ser en aquest moment quan me regalà el seu quadre del jardí.

El temps passava volant, però les nostres felicitacions de cap d'any mantenien els nostres llaços d'amistat. Però un bon dia va suggerir que començava a sentir-se “*un poco viejo*” (14-12-85), malgrat el fet que just acabava de concloure la seva gran obra sistemàtica sobre els mol·luscs marins i d'aigua salobre del Pleistocè de les Illes Balears, publicat el 1987. Nadal era sempre l'ocasió per a la feliç reunió familiar a Son Morlà, i per a Cuerda era el sopar més significatiu de l'any. “*En casa construyo un pequeño Nacimiento, y se celebra la Noche Buena en*



articles, books, and professional recognitions speak for themselves. By force of character, Cuerda repeatedly overcame the impossible, to achieve excellence as a scholar and paleontologist on the international level, in an unfortunate period when academic geology in Spain had no impact beyond the national borders. Yes, he was self-taught, but through his perseverance, incisive mind, and unusual talents as a field observer, he mastered his discipline to a degree that none of his university-trained contemporaries could match. He was vigorous and empirical, and not beholden to traditional paradigms. He proposed synthetic models, e.g. Figures 6 and 23, in his *Los Tiempos Cuaternarios* (1975), at a time when models were not yet a commonplace concept. His works also present a massive synthetic compendium that will prove useful for decades to come, notwithstanding casual forays to the Balearics by peninsular geologists.

Cuerda's character was also manifest in other important ways. He encouraged and consistently supported like-minded Mallorquin and Menorcan investigators, and was instrumental in helping bring them together in a productive working group. Out of this collaboration grew a new center of science in Palma, that set the tone and provided the confidence to achieve a flourishing institution of higher learning. He was indeed a mentor for a generation of his colleagues, and a role model for all who followed. It was in his character to instruct, to reconcile, to bring people together, and to direct their energies to higher goals. Yes, he was a good father to us all, and I am proud to consider myself one of his *hijos*.

*el calor familiar*" (8-1-86), amb tots els seus fills i les seves tres nétes. Vostè pot imaginar-se, suggeria, l'animació que envaeix aquesta casa (26-12-85). ¡Amb tant de truí ("*barullo*") no hi ha forma de treballar!

La darrera vegada que vaig coincidir amb Cuerda va ser arran de la reunió a València, setembre de 1991, d'ASEQUA, i ell començava a demostrar la seva edat. Me convidaren a un sopar en el seu honor, i quan ell s'aixecà per parlar, se dirigí a mi com el seu professor. Me va commoure i afalagar, però vaig somriure i el vaig corregir: - No, li vaig dir, vostè és el mestre, i jo el seu alumne. De fet, ell va ser un dels estudiosos que més influeixen en la meua carrera.

Una de les darreres cartes que vaig rebre (12-1-98), feia una ullada retrospectiva cap aquells anys distants ("*tan lejanos años*") quan encara sortíem junts al camp, "*en las escasas ocasiones que mi destino militar me permitía. Ahora a mis 85 años cumplidos, a pesar de tener más tiempo disponible yo no puedo recorrer los yacimientos mallorquines como antes. Qué le vamos a hacer ?!*"

La darrera vegada que vaig tenir notícies de Cuerda fou el desembre de 1998, i la seva firma era tremolosa. Durant el gener de 2002 la seva filla Maria Magdalena em va escriure en nom dels seus pares. Si algun dia estau per Espanya, no dubteu "*en hacernos una visita, mi padre en especial tendría una inmensa alegría*". Magdalena agregà que no devíem retrasar-nos massa temps, i jo vaig témer que això succeiria. Joan Cuerda morí el 7 gener de 2003, amb 90 anys. El seu esperit creatiu finalment va trobar el descans etern.

En el record de la vida de "*mi buen amigo*" he posat especial èmfasi en el seu caràcter, perquè la llarga llista dels articles publicats, els llibres i els reconeixements

professionals parlen per ells mateixos. Per la seva força de voluntat, Cuerda superà més d'una vegada un gran repte, atènyer l'excel·lència com a expert i paleontòleg de nivell internacional, en un període malaurat en que la geologia acadèmica a Espanya no tenia cap impacte més enllà de les fronteres nacionals. Sí, ell era autodidacta, però amb la seva perseverància, ment incisiva, i un talent inusual com a observador de camp, dominà aquesta disciplina amb un grau que cap dels seus companys contemporanis universitaris se li podia comparat. Cuerda tenia nervi i era empíric, i no dubtava en discutir els paradigmes tradicionals. Va proposar models sintètics, per exemple, les gràfiques 6 i 23, en el seu llibre de *Los Tiempos Cuaternarios* (1975), en un moment en el que els models no eren encara un concepte ordinari. El seu treball també presentà un ampli compendi sintètic que pot ésser útil durant dècades futures, tant per als aficionats a la geologia com per als geòlegs peninsulars.

El caràcter de Cuerda també es manifestava en altres aspectes importants. Animà i recolzà constantment a investigadors de Mallorca i de Menorca, i contribuí a organitzar-los en un grup de treball científicament productiu. Tot seguit, a aquesta col·laboració va créixer un nou centre de la ciència a Palma. A més, va ajudar a fixar les directrius i subministrà la confiança per tal de que esdevingués tot un seguit d'aprenentatge i de recerca de nivell superior. Al capdavall, va ser un mentor per a una generació dels seus col·legues, i un model per a tots aquells que el seguirem. Estava en el seu caràcter de dirigir, de reconciliar, d'atreure gent al seu entorn, i per a dirigir les seves energies cap a fites més altes. Sí, ell va ser un bon pare per a tots nosaltres, i estic orgullós de considerar-me un dels seus fills.





# Los fósiles del Pleistoceno marino de Las Palmas (Gran Canaria) y de La Guirra (Fuerteventura)

Joaquín MECO, Javier BALLESTER, Emilio SOLER  
y Juan Francisco BETANCORT

## SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA  
NATURAL DE LES BALEARS

Meco, J., Ballester, J., Soler, E. y Betancort, J.F. 2007. Los fósiles del Pleistoceno marino de Las Palmas (Gran Canaria) y de La Guirra (Fuerteventura). *In*: Pons, G.X. i Vicens, D. (Edit.). Geomorfologia Litoral i Quaternari. Homenatge a Joan Cuerda Barceló. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 14: 37-48. ISBN 84-96376-13-3. Palma de Mallorca.

Obras de construcción en San Cristóbal (Las Palmas de Gran Canaria) han proporcionado una nueva sección de los depósitos marinos pleistocenos que se extienden bajo la ciudad a lo largo de una decena de km. El contenido fosilífero en especies senegalesas permite relacionarlos con el máximo de temperaturas alcanzado durante el último interglacial (MIS 5.5). Con la misma fauna el yacimiento de La Guirra en Fuerteventura, de singular interés por conservar intacto el máximo transgresivo, permite contrastar las alturas máximas (+12 m y +8 m asl respectivamente) en ambas islas. Cifras notablemente diferentes a lo publicado. Un centenar de especies han sido catalogadas y más de una veintena son citas nuevas. Los fósiles de carácter ecuatorial contenidos en los depósitos marinos de La Guirra, sobre un paleosuelo y bajo una costra calcárea, permiten la reconstrucción paleoclimática del último interglacial que se inicia con un periodo húmedo y cálido al que le sigue el máximo térmico y finaliza con un periodo árido y cálido.

**Palabras clave:** Pleistoceno, Canarias, Paleoclimatología, fauna y flora senegalesas.

ELS FÒSSILS DEL PLEISTOCÈ MARÍ DE LAS PALMAS (GRAN CANÀRIA) I DE LA GUIRRA (FUERTEVENTURA). Obres de construcció a San Cristóbal (Las Palmas de Gran Canaria) han proporcionat una nova secció dels dipòsits marins pleistocens que s'estenen sota la ciutat al llarg d'una desena de quilòmetres. El contingut fòssilífer en espècies senegaleses permet relacionar-los amb el màxim de temperatures aconseguit durant l'últim interglacial (MIS 5.5). Amb la mateixa fauna del jaciment de Las Palmas, el jaciment de La Guirra a Fuerteventura, de singular interès per conservar intacte el màxim transgressiu, permet contrastar les altures màximes on es troben els dipòsits a l'actualitat (+12 m i +8 m respectivament) a ambdues illes. Xifres notablement diferents a lo publicat. Un centenar d'espècies han estat observades pels autors i una vintena són cites noves. Els fòssils de caràcter equatorial continguts als dipòsits marins de La Guirra, sobre un paleosòl i sota una crosta calcària permeten la reconstrucció paleoclimàtica de l'últim interglacial iniciada amb un període humit i càlid, seguida del màxim tèrmic i finalitzada amb un període càlid.

**Paraules clau:** Pleistocè, Canàries, Paleo climatologia, fauna i flora senegalesa.

*Canàries, al pujant sud de la porta del Mediterrani, Balears al seu gran vestíbul, una relació sorprenentment estreta a la història marina quaternària que ens ha quedat testimoniada amb els desplaçaments dels seus marges i en els seus fòssils. Els treballs de Joan Cuerda Barceló son el millor punt de referència. El seu elegant, segur, certes, sobri, ric en informació, rigorós i correcte estil en el tractament paleontològic és constant companyia al nostre quotidià fer. Per a nosaltres Cuerda -com continuament li anomenem- segueix en acció i acompanyant-nos, la seva obra ha superat el seu temps. És un altre clàssic més, ineludible però també amable i proper.*

THE FOSSILS FROM MARINE PLEISTOCENE OF LAS PALMAS (GRAN CANARIA) AND LA GUIRRA (FUERTEVENTURA) (CANARY ISLANDS). A new section on the marine Pleistocene deposits in Las Palmas de Gran Canaria appeared during the building construction in San Cristobal site. The Senegalese fossil species found point to relate them to the maximum warming of the last interglacial period (MIS 5.5). The same fauna is found in the marine deposits of La Guirra locality, Fuerteventura island, where the full preservation of the maximum transgressives make it a unique spot in both islands to check the maximum heights (+12m amsl and +8m amsl respectively), which data are not in accordance with those previously published. One hundred species were listed and more than twenty are new quotations. The equatorial fossils borne in the marine deposit of La Guirra, placed upon a red palaeosoil and under a calcrete, let us make a paleoclimatic reconstruction of last interglacial, started with a humid and warm period, followed by a maximum warming and ended with an arid and also warm period just before the climatic deterioration in the last glaciation.

**Keywords:** *Pleistocene, Canary Islands, Palaeoclimatology, Senegalese Fauna and Flora.*

*Joaquín MECO, Javier BALLESTER, Emilio SOLER y Juan Francisco BETANCORT; Departamento de Biología, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Campus Universitario de Tafira, E-35017 Las Palmas de Gran Canaria. e-mail: jmeco@dbio.ulpgc.es*

## Introducción

Los depósitos marinos pleistocenos de Las Palmas (Fig. 1), en la costa noreste de la isla de Gran Canaria, conocidos desde mediados del siglo diecinueve y sepultados por la urbe, han aflorado durante obras arquitectónicas recientes (Fig. 2). Esto ha permitido confeccionar una lista con su fauna y flora y contrastarla con las anteriormente publicadas que son algo confusas y de procedencia a veces incierta. Además, se ha podido constatar la altura del punto máximo transgresivo y la continuidad de los depósitos a lo largo de decenas de metros tierra adentro.

Por otra parte, en La Guirra (Fig. 1), en el centro de la costa este de la isla de Fuerteventura, depósitos marinos similares y correspondientes a la misma transgresión (Fig. 3), publicados a partir de observaciones incompletas, han permitido también un conocimiento faunístico, la medición en

condiciones idóneas de la altura de su punto máximo transgresivo y de la distancia recorrida durante el avance del mar tierra adentro.

La comparación de ambos sitios permite, además, una valoración neotectónica no coincidente con lo publicado.

## Estudios precedentes

Los depósitos marinos pleistocenos de Las Palmas fueron dados a conocer por Lyell (1865) y, posteriormente, por Rothpletz y Simonelli (1890), Benítez (1912), Fischer (1935), Martel Sangil (1952), Zeuner (1958), Benítez Padilla (1963), Lecointre (1966), Lecointre *et al.* (1967), Klug (1968), Meco (1975; 1977; 1981; 1982; 1983) y Meco *et al.* (2002) mientras que los de La Guirra han sido dados a conocer por Zazo *et al.* (1997; 2002).

## La altura de los depósitos

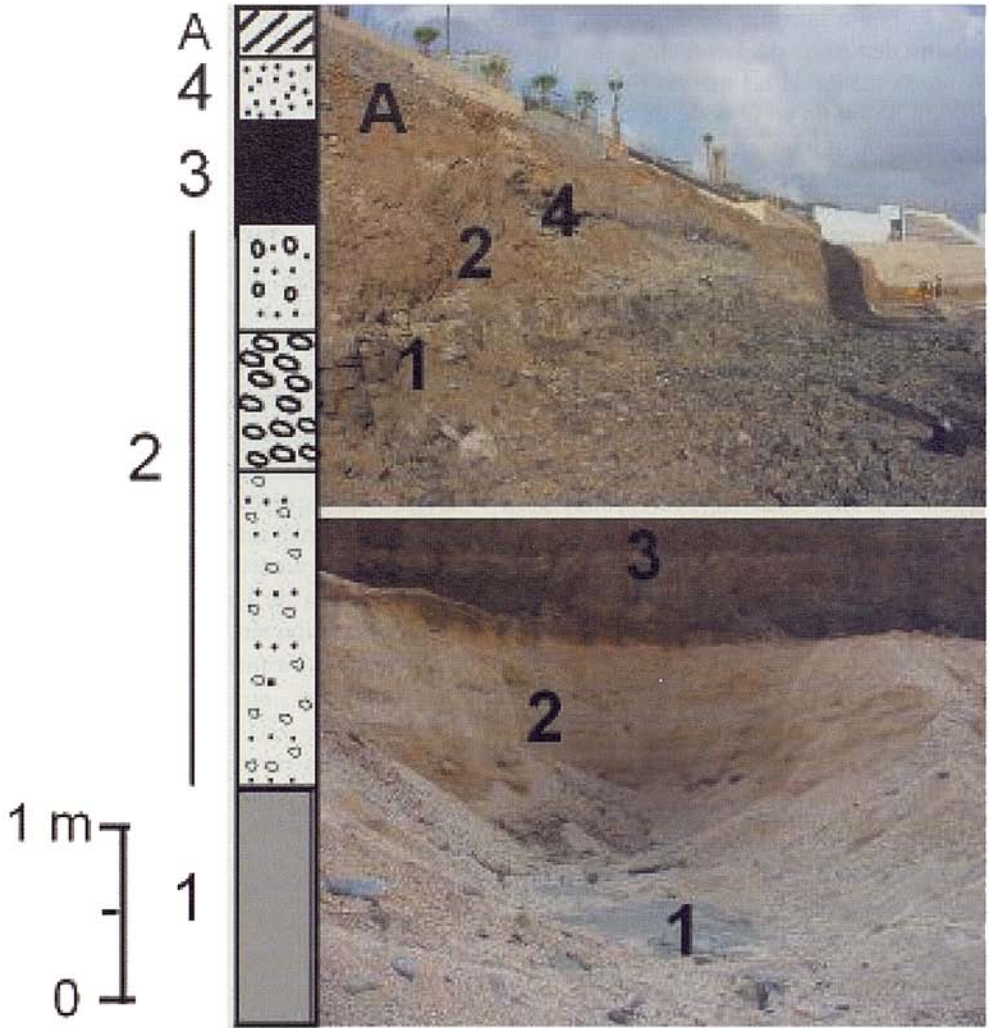
El punto máximo transgresivo se sitúa en los depósitos de Las Palmas a +12 m sobre la media de las mareas (Meco *et al.*, 2002). Se midió en el corte de la autovía y pudo seguirse ininterrumpidamente durante 560 m hasta el actual nivel del mar. El máximo transgresivo ha sido medido en el afloramiento surgido con las obras de San Cristóbal, situado 6 km al sur del corte de la autovía (Fig. 1), a +12 m y, a la misma altura, en La Isleta, situada 5 km al norte del corte de la autovía. Sin embargo, en la literatura no son éstas las alturas que se mencionan.

En el mismo sitio de la autovía, con el nombre de San Catalina, Lyell (1865) da la altura de +35 pies sobre el mar (+7.50 m en la traducción francesa) y una distancia a la orilla actual de 150 pies (45 m en la traducción francesa). Rothplez y Simonelli (1890), en la misma zona que Lyell (1865),

mencionan un punto de los depósitos a doble altura y casi diez veces más lejano de la costa lo que coincide más con la medición de Meco *et al.* (2002). La publicación de Zeuner (1958), algo confusa, proporciona alturas para Santa Catalina Resa (¿?) de +4.6 m -Epimonastirenses- y para Alcarabaneras (sic) de +7.5 m y para La Isleta (Confital) de +11.7 m -Monastirenses inferior-. Lecointre (1966) sitúa el punto más alto de la playa fósil a unos +8m en La Isleta (Confital) y Lecointre *et al.* (1967) señalan en el sitio de Las Alcarabaneras (sic), inmediato a Santa Catalina, que el depósito era visible durante la construcción de los baños públicos. Estos baños no están situados a altura superior a los +3 m. Para Klug (1968), que no los observa personalmente sino que recoge los datos de los mencionados autores anteriores, los mismos depósitos de Las Palmas, los sitúa a +15-18 m, atribuyéndolos al Eutirreniense, y a +7-8 m al Neotirreniense.



Fig. 1. Mapa de situación de los yacimientos paleontológicos de las Canarias orientales mencionados en el texto.  
 Fig. 1. Map of Eastern Canaries showing paleontological sites mentioned in the text.



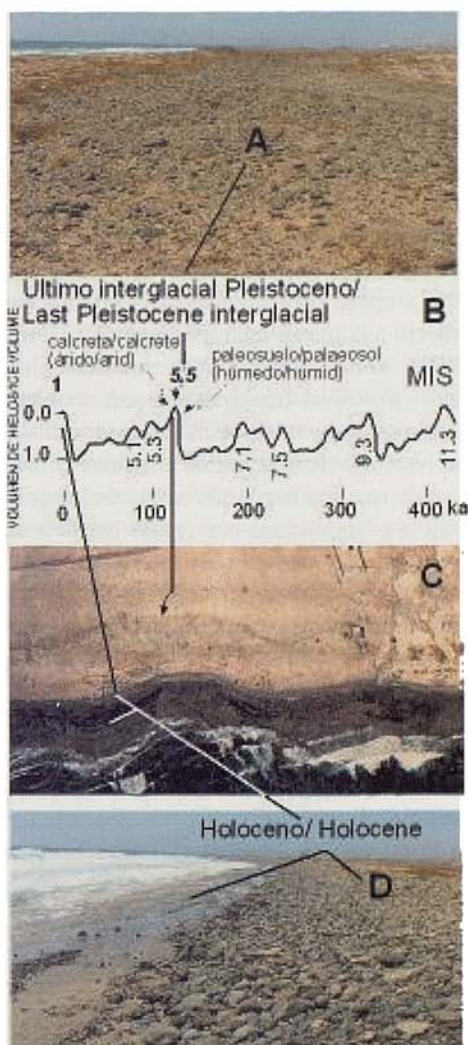
**Fig. 2.** San Cristóbal (Las Palmas de Gran Canaria). Depósitos marinos fosilíferos del último interglacial pleistoceno puestos al descubierto durante las obras de aparcamientos de los hospitales de la zona de San Cristóbal, 450 m al oeste del castillo: 1) lavas fonolíticas miocenas, 2) Calcarenitas y conglomerado fosilíferos del borde superior de playa del Pleistoceno superior, 3) paleosuelo arcilloso-arenoso pleisto-holoceno 4) arenas eólicas negras (componentes volcánicos) holocenas. A) asfaltos de la calle.

*Fig. 2. San Cristóbal (Las Palmas de Gran Canaria). Fossiliferous marine deposits from last Pleistocene interglacial period provided by a temporary section during parking construction. The site is 450 m west of San Cristóbal Castle: 1) Miocene phonolitic lava. 2) Calcareous marine sandy layers and the upper conglomerate. 3) Pleisto-Holocene reddish palaeosol of clay and fine sand 4) Layers of dark fine Holocene aeolian sand A) Street pavement.*



**Fig. 3.** La Guirra (Fuerteventura). A ) Línea de costa del último interglacial pleistoceno situada doscientos metros tierra adentro y a +6 m de altura sobre la máxima de la marea actual. B) Sobre la gráfica (Petit *et al.*, 1999) del volumen de hielos durante los últimos 400 ka se han situado los testimonios paleoclimáticos de La Guirra. MIS: estadios isotópicos marinos. C) En la fotografía aérea (M.O.P.-D.G.P y C, CEYFA, 10-Ene-89, Ref-89063, Esc. 1:5.000, P.6, n°7804 Fuerteventura) aparece nítida la línea de costa del último interglacial, paralela a la actual. D) Línea de costa holocena representada por su borde superior o berma a +3 m y por playa de cantos en la zona intermareal actual.

**Fig. 3.** La Guirra (Fuerteventura). A) Last Pleistocene interglacial shoreline located 200 m inland and +6 m height over present high tide. B) Paleoclimatic proxy data of La Guirra has been placed over the graphic (Petit *et al.*, 1999) of ice volume during the last 400 ka. MIS: Marine Isotope Stage. C) Aerial photography (M.O.P.-D.G.P and C, CEYFA, 10-Ene-89, Ref-89063, Esc. 1:5.000, P.6, n°7804 Fuerteventura) showing clearly the last interglacial shoreline, parallel to the present coast. D) Holocene shoreline represented by the upper boundary (berm) at +3m and by beach rocks in the present intertidal zone.



En La Guirra (Fig. 3), Zazo *et al.* (1987) proporcionan la altura de +6 m para los depósitos marinos que contienen *Strombus bubonius* del último interglacial, aunque esta altura la consideran anómala. Zazo *et al.* (2002) rebajan, inexplicablemente, la altura del mismo depósito de La Guirra hasta los +4 m - con una edad Th/U de 118.6 ka sobre una *Patella*- y lo consideran el

Episodio XI en su particular enumeración con una altura de 0 a +4 m. Consideran, asimismo, que la terraza correspondiente a este Episodio XI (el MIS 5e) presenta una elevación media de +1 m asl en Lanzarote y de +2 m en Fuerteventura.

Sin embargo, las alturas alcanzadas por el mar durante el último interglacial en Fuerteventura y Lanzarote son concordantes

con la proporcionada por Sackleton (1987) para el último interglacial en la Tierra -alrededor de 6 m más alta que hoy día. De ello se deduce una buena estabilidad de estas islas y una elevación del norte de Gran Canaria. Nuestra medición en La Guirra arroja el valor de +6 m sobre la marea alta, es decir unos +9 m sobre el cero de las mareas, de ahí la playa de +10 m en Fuster *et al.* (1968), época en la que se solía referenciar respecto a la marea baja, por ejemplo, Herm (1969). Por lo tanto, como raramente los puntos máximos transgresivos son visibles, cuando lo son constituyen un dato valioso que hace inútiles las demás medidas considerando que los depósitos se pueden seguir hacia la costa durante centenares de metros. Por otra parte, tanto en Lanzarote como en La Graciosa (Meco *et al.*, 2003a), la altura estimada para este máximo transgresivo es de +6 m. Ello permite cuantificar en otros 6 m la diferencia en elevación de los depósitos de Las Palmas con respecto a los de las otras islas orientales.

### La edad de los depósitos

Por su contenido fósil y por las dataciones radiométricas realizadas en el archipiélago canario (Meco, 1975b; Meco y Stearns, 1981; Meco *et al.*, 1992, 1997; 2002; Zazo *et al.*, 2002), y en coincidencia con las opiniones de la práctica totalidad de los autores mencionados, corresponden al último interglacial o Estadio isotópico marino 5.5. Sin embargo, Zazo *et al.* (1997) consideraron, en base a diferentes resultados de dataciones radiométricas, la existencia de varias líneas de costa (MIS, 7a, 5c) no aceptadas por Meco *et al.* (2002) y posteriormente Zazo *et al.* (2002) consideran dos distintos episodios (Episodio XI -1 y Episodio XI-2) dentro del mismo estadio isotópico 5.5 (o 5e).

### Interpretación paleoclimática

En La Guirra, los cambios climáticos del último interglacial son muy patentes. El húmedo con el que se inicia el interglacial (Meco *et al.*, 2003b) está representado por el paleosuelo rojizo sobre el que descansan los depósitos marinos. Estos contienen fauna senegalesa, inexistente en la actualidad en Canarias, lo que indica que corresponden a la elevación marina de máxima temperatura del interglacial (Meco, 1972; Cornu *et al.*, 1993; Meco *et al.*, 2002) y, el árido con el que finaliza el interglacial está representado por una costra calcárea que afecta a los depósitos marinos.

### Contenido fosilífero

Las listas publicadas precedentemente son, a veces, muy cortas. Lyell (1865) menciona sólo cinco especies y Fischer (1935) una. Otras veces la procedencia es dudosa. En Martel Sangil (1952) es difícil distinguir las especies pleistocenas debido a la ambigüedad de los sitios y su proximidad a depósitos marinos miocenos. De hecho, todos los fósiles están atribuidos por el autor al Mioceno. Otros fósiles mencionados proceden de colecciones museísticas confusas. Meco (1981) confunde, en una especie, Las Palmas con La Palma debido a que la etiqueta correspondiente no coincide en la procedencia con la que figura en el libro inventario recuperado mucho más tarde. Otras especies mencionadas son de clasificación inverosímil, como la especie propia de Mozambique mencionada por Lyell (1865) y las propias de África del Sur y chilo-peruvianas mencionadas por Lecointre (1966). Muchas de ellas presentan intrincadas sinonimias. Revisiones de las colecciones del Museo Canario de Las

Palmas y del *British Museum of Natural History of London* han sido publicadas por Meco (1975a; 1977; 1981; 1982; 1983). Esta incertidumbre es considerada por Meco et al. (2002) que sólo publican las especies colectadas personalmente y que, por otra parte, tienen además un sentido paleoclimático. Respecto a La Guirra sólo una especie ha sido mencionada. Las especies mencionadas en el siglo diecinueve (Lyell, 1865; Rothpletz y Simonelli, 1890) han sido reencontradas todas excepto una en las observaciones directas sobre los yacimientos. Sin embargo, de las listas publicadas en el siglo veinte muchas especies no han sido reencontradas. Lecointre (1966) reincorpora las listas proporcionadas por los autores anteriores a él e introduce sinonimias y correcciones taxonómicas complejas así como clasificaciones de materiales procedentes del Museo Canario de Las Palmas que no presentan garantía sobre su procedencia. Por ello, de la lista de Lecointre (1966) no se han considerado en este trabajo las de la colección del Museo Canario y tampoco las que Lecointre et al. (1967) añaden como colectadas por Richards en Las Alcaravaneras durante la construcción del balneario de la playa. Este balneario está situado directamente sobre depósitos marinos holocenos por lo que los fósiles colectados no parecen ofrecer las suficientes garantías respecto a su procedencia estratigráfica. Klug (1968) se limita a recopilar las especies mencionadas por los autores precedentes añadiendo a las publicadas por Lecointre (1966) unas que estaban en las vitrinas del Museo Canario y que habían sido revisadas, a lápiz y sobre la antigua etiqueta, por el propio autor. Pero, Lecointre et al. (1967), a su vez, suman a éstas otras del Museo Canario que Lecointre llevó a París para su clasificación.

## Lista de fósiles

Sitios paleontológicos: Autovía en Ciudad Jardín -inmediato a Santa Catalina y Alcaravaneras- (1); San Cristóbal (2); La Guirra (3).

En la lista de las especies observadas en los afloramientos de las obras de la autovía de penetración norte a la ciudad y en las de la construcción del aparcamiento en los hospitales de la zona de San Cristóbal se indica para cada especie si fue encontrada precedentemente por los autores mencionados. También se proporciona una valoración relativa de su aparición. Para ello se considera rara (r) la especie de la que se conocen menos de cinco ejemplares; escasa (e) si el número de ejemplares está comprendido entre 5 y 20; frecuente (f), entre 20 y 100; abundante (a) entre 100 y 500 y muy abundante (m) si superan los 500 ejemplares. Se señala con un asterisco (\*) las especies exclusivamente senegalesas en sentido amplio, es decir, las que no habitan las Canarias en la actualidad y que pueden incluir en su biodistribución geográfica el Caribe u otros de mares cálidos.

RHODOPHYCEAE (algas rojas Melobesias)

*Phymatolithon calcareum* (Pallas) Adey & McKibbin (1970) (1m)(2m)(3e)

COELENTERATA ANTHOZOA

\**Siderastraea radians* (Pallas 1766) (2r)

MOLLUSCA GASTROPODA

*Haliotis tuberculata* Linné 1758 (1f)(2a) - (Lecointre, 1966)

Coexistencia de la forma *lamellosa* mediterránea, con muchos pliegues, y de *tuberculata* atlántica con cóstulas concéntricas.

*Diodora gibberula* (Lamarck 1822) -

(1f)(2f) - (Rothpletz & Simonelli, 1890 como *Fissurella gibba* Philippi) (Lecointre, 1966).

***Patella ferruginea*** Gmelin 1788 - (1m)(2m)(3). Grupo de especies (incluye vivientes).- (Rothpletz & Simonelli, 1890, como *Patella lowei* d'Orbigny y *Patella guttata* d'Orbigny) (Martel Sangil, 1952 como *Patella crenata* Gmel. y *Patella lowei* d'Orb.) (Lecointre, 1966 como *Patella longicosta* Lk, *Patella oculus* Born, *Patella safiana* Lk, *Patella granularis* L, *Patella lowei* d'Orb. y, sólo en la colección del Museo Canario, como *Patella gomesi* Drouet, *Patella coerulea* var. *mabiliei* Locard y *Patella* cf. *lugubris* Gmelin)

Las patelas fósiles de Las Palmas constituyen un grupo muy polimorfo, con ejemplares de transición entre las diferentes formas, en el que resultan inaplicables los criterios utilizados para clasificar las patelas actuales, basados en partes anatómicas que no fosilizan. Por otra parte, dada la extraordinaria semejanza de la patelas fósiles de Canarias con las de Baleares, descritas e ilustradas por Cuerda (1975; 1987), éstas sirven de referencia morfológica. Así:

La forma *ferruginea* (modelo: Cuerda, 1975, lám. 2 fig 4) posee unas trece costillas principales con una intermedia menos marcada y entre ellas, a su vez, finas cóstulas. Es más o menos alta, y el contorno a veces es redondeado.

La forma *longicosta* (modelo: Cuerda, 1975, lám. 2, fig. 1 y 2) posee únicamente las costillas principales. Es poco alta y el contorno es estrellado.

La forma *rouxi* (modelo: Cuerda, 1975, lám. 5, fig. 3) es lisa y redondeada.

La forma *stellata* (modelo: Cuerda, 1987, lám 13, fig 2) se compone de numerosísimas cóstulas, casi todas iguales, pero, pueden observarse grupos más gruesos con una costilla principal y saliente dividida en tres o más

cóstulas gruesas con alguna fina intercalada. Además, en los surcos entre las gruesas hay grupos de cóstulas finas y otras aún más finas. Borde crenulado por la llegada de tan numerosas cóstulas que son flexuosas.

La forma *gomesi* (modelo: Lecointre, 1966, lám. 1, fig 5) posee entre 20 y 60 cóstulas atenuadas y con granulaciones o sin ellas.

La forma *lusitanica* (modelo: Cuerda, Lám. XII, figs 21 y 22) posee granulaciones negras y ello en formas intermedias con las anteriores.

***Calliostoma dubium*** (Philippi 1844) - (1r)

***Gibbula magus*** (Linné 1758) - (1r)

***Gibbula umbilicalis*** (Da Costa 1778) - (1a) - (Lecointre, 1966)

***Gibbula richardi*** (Payraudeau 1826) - (2r) - (Rothpletz y Simonelli, 1890)

***Gibbula varia*** (Linné 1767) - (2a)

***Monodonta turbinata*** (Born 1780) - (1f)(2a) - (Rothpletz y Simonelli, 1890) (Lecointre, 1966)

***Monodonta lineata*** (Da Costa 1778) - (1e)

***Clanculus bertheloti*** (d'Orbigny 1840) - (1e) - (No es la *Monodonta berthelotti* d'Orb. citada en Martel Sangil, 1952)

***Astraea rugosa*** (Linné 1766) - (1m)(2f) - (Lecointre, 1966)

***Tricolia pulla*** (Linné 1766) - (1e) - (Rothpletz y Simonelli, 1890)

***Littorina neritoides*** (Linné 1758) - (2r)

***Littorina striata*** King 1831 - (1e)(2f) - (Rothpletz & Simonelli, 1890 como *Littorina affinis* d'Orbigny)

***Hydrobia ulvae*** (Pennant 1777) -(2f)

***Petalococonchus subcancellatus*** (Bivona 1832) - (1e) - (Rothpletz & Simonelli, 1890) (Lecointre, 1966)

**\**Bivonia semisurrecta*** (Bivona 1832) - (1r)

***Spirogylyphus glomeratus*** Bivona 1932 - (2r)(3) - (Rothpletz & Simonelli, 1890) (Martel Sangil, 1952)



*Lemintina arenaria* (Linné 1767) - (2a) - (Martel Sangil, 1952 como *Vermetus intortus* Lam) (Lecointre, 1966 como *Vermetus subcancellatus* Bivona forma: *intortiformis* Monterosato)

\**Planaxis herrmannseni* Dunker 1853 - (1r)(2r)

*Bittium reticulatum* (Da Costa 1778) - (1r)(2a) - (Rothpletz & Simonelli, 1890 como *Cerithium lacteum* Philippi) (Lecointre, 1966)

*Cerithium rupestre* Risso 1826 - (2r)

\**Kleinella gruveli* (Dautzenberg 1910) - (1r)

\**Cheilea equestris* (Linné 1758) - (1e)(2f)

\**Strombus bubonius* Lamarck 1822 - (1e)(3) - (Lyell, 1865) (Martel Sangil, 1952 como *Strombus coronatus* Deufr.)

*Pusula candidula* (Gaskoin 1835) - (1r)(2r) - (Martel Sangil, 1952)

*Luria lurida* (Linné 1758) - (1e)(2e)(3) - (Lecointre, 1966)

*Ravitriona spurca* (Linné 1758) - (2f)

\**Zonaria zonata* (Chemnitz 1788) - (1r)

*Polinices lacteus* (Guilting 1831) - (1e)(2f)

*Natica vittata* (Gmelin 1788) - (1f)(2r)

*Cassidaria echinophora* (Linné 1758) (3)

*Semicassis undulata* (Gmelin 1788) - (1e)(2e)(3)

*Cymatium costatum* (Born 1780) - (2r)

*Cymatium cutaceum* (Linné 1766) - (1e) - (Martel Sangil, 1952 como *Triton borsoni* Bell.) (Lecointre 1966)

\**Cymatium trigonum* (Gmelin 1788) - (1r)

*Charonia nodifera* (Lamarck 1822) - (1e)(2r)(3r)

*Bursa scrobiculator* (Linné 1758) - (1e)(2f)

*Tonna galea* (Linné 1758) - (2e)

\**Murex saxatilis* Linné 1758 - (1r)

*Trunculariopsis trunculus* (Linné 1758) - (2r)

*Thais haemastoma* (Linné 1766) - (1f)(2a)(3) - (Rothpletz & Simonelli, 1890) (Lecointre, 1966)

Abundan, y son características, las formas globulosas extinguidas como las fósiles de Palma Mallorca (Cuerda, 1987, lám. 25, fig. 2 a 6, 8 y 9).

*Nucella lapillus* (Linné 1758) - (1e)(2a)

Forma *plessisi* Lecointre 1952 in Brébion 1979 pro parte. (Rothpletz & Simonelli, 1890 como *Purpura (Polytropa) lapillus* L.) (Lecointre, 1966 como *Purpura (Acanthina) crassilabrum*) (García-Talavera y Sánchez-Pinto, 2002 como *Acanthina dontelei* n. sp.)

*Coralliophila meyendorffi* (Calcara 1845) - (1r)(2a)

*Mitrella rac* (Dautzenberg 1891) - (1r)(2r)

*Pyrene cribraria* (Lamarck 1822) - (1e)

*Columbella rustica* (Linné 1758) - (1f)(2a) - (Rothpletz & Simonelli, 1890) (Lecointre, 1966)

*Buccinulum corneum* (Linné 1758) - (1r)

*Pisania d'orbigny* (Payraudeau 1826) - (1e)

*Cantharus viverratus* (Kiener 1834) - (1e)(2f)

*Amyclina corniculum* (Olivi 1792) - (1f)(2r)

*Amyclina pfeifferi* (Philippi 1844) - (1f)(2r)

*Hinia ferussaci* (Payraudeau 1826) - (1f)

*Hinia denticulata* (A. Adams 1851) - (1r)

*Latirus armatus* A. Adams 1854 - (1r)(2r)

\**Mitra nigra* Gmelin 1788 Swainson 1831 - (1e)(2f)

La forma *fusca*, mediterránea y atlántica, de tamaño corto, coexiste en Las Palmas con la forma *pigra*, de Cabo Verde y Gabón, alargada. (Cernohorsky, 1976, lám. 323 B, fig 2).

*Mitra cornicula* (Linné 1767) - (2f)

*Mitra ebenus* Lamarck 1811 - (1r)

*Mitra zebrina* d'Orbigny 1840 - (1a)(2e) - (Rothpletz & Simonelli, 1890)

\**Harpa rosea* Lamarck 1816 - (1r)

*Gibberula miliaria* (Linné 1767) - (1r) - (Rothpletz & Simonelli, 1890 como *Marginella miliacea* Lamarck)

*Hyalina deliciosa* (Bavay 1912) - (1r)  
*Marginella glabella* (Linné 1758) - (1f) -  
 (Lecointre, 1966)  
 \**Clavatula sacerdos* (Reeve 1845) - (1e)  
*Conus papilionaceus* Bruguière 1792 -  
 (1e)(2f)(3)  
 \**Conus testudinarius* Martini 1773 - (1r)(3)  
*Conus mediterraneus* Bruguière 1789 -  
 (1r)(2e)

#### PELECYPODA

*Arca noae* Linné 1758 - (1r)  
*Barbatia barbata* (Linné 1758) - (1r) -  
 (Lecointre 1966)  
 \**Barbatia plicata* (Chemnitz 1870) - (2r)  
*Striarca lactea* (Linné 1766) - (1r)(2r)  
*Glycymeris pilosa* (Linné 1766) - (1e)  
 \**Brachyodontes puniceus* (Gmelin 1788) -  
 (1f)(2f)  
*Mytilus galloprovincialis* Lamarck 1819 -  
 (2 r)  
*Pinna rudis* (Linné 1758) - (2r)  
*Chlamys flexuosa* (Poli 1795) - (1r) -  
 (Lyell, 1865 como *Pecten polymorphus*)  
 (Fischer, 1935 como *Pecten amphicyrtus*  
 Locard)  
*Lyropecten corallinoides* (D'Orbigny 1840)  
 - (1f)(2f)  
*Pecten jacobaeus* (Linné 1758) - (1r) -  
 (Lyell, 1865)  
*Spondylus gaederopus* Linné 1766 -  
 (1r)(2r)  
*Lima lima* (Linné 1758) - (1r)  
*Anomia ephippium* (Linné 1766) - (1f)(2r)  
*Lopha stentina* (Payraudeau 1826) - (1r)  
 \**Hyotissa hyotis* (Linné 1758) - (1f)  
 \**Cardita senegalensis* Reeve 1843 -  
 (1f)(2a) - (Lyell, 1865 como *Cardita squa-*  
*mosa*?) (Rothpletz & Simonelli, 1890 como  
*Cardita calyculata*) (Lecointre 1966 como  
*Cardita calyculata*)  
 Caracteres intermedios entre la forma *caly-*  
*culata*, mediterránea y atlántica *lusitánica*, y  
 la forma *senegalensis* viviente entre Cabo

Verde y Angola.

*Codokia eburnea* (Gmelin 1788) - (1a)(2f)  
 \**Chama crenulata* Lamarck 1819 - (1f)  
*Chama gryphoides* Linné 1758 - (2e)  
*Papillicardium papillosum* (Poli 1791) -  
 (1r)(2r)  
*Venus verrucosa* Linné 1758 - (1f)(2 e) -  
 (Rothpletz & Simonelli, 1890)  
*Irus irus* (Linné 1758) - (1r)(2r)

#### CEPHALOPODA

*Spirula peronii* Lamarck 1822 - (2r)

#### ECHINODERMATA ECHINOIDEA

*Paracentrotus lividus* Lamarck 1816 - (2e)  
*Arbacia lixula* (Linné 1758) - (2r)

#### Conclusiones

##### a) Sobre la altura de los depósitos.

Tres mediciones, en sitios situados respectivamente en el extremo norte de los depósitos marinos fosilíferos del Pleistoceno de Las Palmas (Gran Canaria), en el centro y en el extremo sur, a lo largo de 12 km, coinciden en una altura para el punto máximo de la transgresión marina (MIS 5.5) de +12 m sobre la marea actual. La localidad de La Guirra (Fuerteventura) se muestra como punto de singular interés por la conservación perfecta del mismo máximo transgresivo a +6 m sobre la marea alta actual. Esta altura es la misma que la calculada para la generalidad de Lanzarote y La Graciosa (Meco *et al.*, 2003a). De ello se infiere una intervención neotectónica en Gran Canaria confirmada por otros depósitos marinos más antiguos y una posible estabilidad para las islas más orientales a partir del inicio del Pleistoceno superior.

##### b) Sobre el contenido fósil.

El listado de fósiles pleistocenos de Las

Palmas alcanza casi un centenar de especies y corresponde a observaciones directas sobre los yacimientos de los autores de este artículo. Uno de los sitios, aparecido recientemente en el curso de obras de la construcción, es una localidad nueva y ha proporcionado nuevas especies senegalesas. Más de medio centenar de especies no habían sido citadas previamente a Meco et al. (2002a) y de ellas la mitad se dan a conocer en este artículo. La localidad de La Guirra contiene la misma fauna senegalesa.

### c) Sobre la paleoclimatología.

Las especies senegalesas presentes indican un máximo térmico alcanzado únicamente durante el último interglacial pleistoceno. La posición de los depósitos de La Guirra sobre un paleosuelo indica un periodo húmedo para el inicio del último interglacial mientras que la presencia de una costra calcárea sobre los depósitos marinos indica que terminó con un periodo árido. El contenido fósil de los depósitos marinos y la altura transgresiva alcanzada indican un máximo térmico entre ambos.

## Reconocimiento

Realizado en el marco del Convenio entre el Ministerio de Medio Ambiente y la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria sobre *Indicadores Paleoclimáticos Canarios* (CN-62/03-02139).

## Bibliografía

- Benítez, A. 1912. *Historia de las islas Canarias*. Ed. J.A. Benítez. Santa Cruz de Tenerife. 528 pp.
- Benítez Padilla, S. 1963. *Una breve excursión científica por Gran Canaria*. El Museo Canario. Las Palmas. 58 pp.
- Cernohorsky, W.O. 1976. The Mitridae of the World. *Indo-Pacific Mollusca*, 3/17: 273-528.
- Cornu, S., Patzold, J., Bard, E., Meco, J. y Cuerda-Barceló, J. 1993. Paleotemperature of the last interglacial period based on  $\delta^{18}O$  of *Strombus bubonius* from the western Mediterranean Sea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 103: 1-20.
- Cuerda Barceló, J. 1975. *Los tiempos cuaternarios en Baleares*. Diputación Provincial de Baleares. Palmas de Mallorca. 350 pp.
- Cuerda Barceló, J. 1987. *Moluscos marinos y salobres del Pleistoceno balear*. Caja de Baleares "Sa Nostra", Imprenta Politécnica. Palma de Mallorca. 422 pp.
- Fischer, P. H. 1935. Sur le *Pecten ampicyrtus* Locard. *Journal de Conchyliologie*, 79: 130-131.
- García-Talavera, F. y Sánchez-Pinto, L. 2001, publicado en 2002. Moluscos marinos fósiles de Selvagem Pequenha e Ilheu de Fora (Islas Salvajes). Descripción de una nueva especie de Neogasterópodo. *Rev. Acad. Canar. Cienc.*, 13/4: 9-21.
- Herm, D. 1969. Marines Pliozän und Pleistozän in Nord-und Mittel-Chile unter besonderer Berücksichtigung der Entwicklung der Mollusken-Faunen. *Zitteliana*, 2 : 1- 159.
- Klug, H. 1968. Morphologische Studien auf den Kanarischen Inseln. Beiträge zur küstenentwicklung und Talbildung auf einem vulkanischen Archipel. Geographische Institut Universität Kiel Schriften, 24: 58-60.
- Lecoindre, G. 1966. Quelques remarques sur le Quaternaire marin de l'île de Gran Canaria. Actas V Congreso Panafricano de Prehistoria y Estudios del Cuaternario. Publicaciones Museo Arqueológico de Santa Cruz de Tenerife, 6: 165-177.
- Lecoindre, G., Tinkler, K.J. y Richards, G. 1967. The marine Quaternary of the Canary Islands. *Proc. Acad. Nat. Sci. Phila.*, 119: 331-333.
- Lyell, C. 1865. *Elements of Geology*. 6th ed. London. (Las Palmas: 668-669).
- Lyell, C. 1868. *The Principles of Geology*. 10th entirely revised ed. vol. II. Jhon Murray. London. 613 pp.

- Martel Sangil, M. 1952. Contribución al estudio geológico y paleontológico de Gran Canaria. *Estudios geológicos*, 8: 109-128.
- Meco, J. 1972. Données actuelles pour l'étude paléontologique du *Strombus bubonius* Lamarck. In: Hugot, H.J. (ed.). VI Congr. Panafr. Préhist. Étud. Quat., Dakar 1967: 391-394. Imprimeries Réunies. Chambéry.
- Meco, J. 1975. Los *Strombus* de las formaciones sedimentarias de la ciudad de Las Palmas (Gran Canaria). *Anuario Centro asociado de Las Palmas de la Uned*, 1: 203-224.
- Meco, J. 1975. Los niveles con *Strombus* de Jandía (Fuerteventura, Islas Canarias). *Anuario de Estudios Atlánticos*, 21: 640-660.
- Meco, J. 1977. *Paleontología de Canarias I: Los Strombus neógenos y cuaternarios del Atlántico euroafricano (taxonomía, biostratigrafía y paleoecología)*. Cabildo Insular de Gran Canaria. Madrid. 206 pp.
- Meco, J. 1981. Neogastropodos fósiles de las Canarias orientales. *Anuario de Estudios Atlánticos*, 27: 601-615.
- Meco, J. 1982. Los Bivalvos fósiles de las Canarias orientales. *Anuario de Estudios Atlánticos*, 28: 65-125.
- Meco, J. 1983. Los Bivalvos fósiles de las Canarias orientales (Suplemento). *Anuario de Estudios Atlánticos*, 29: 579-595.
- Meco, J., Ballester, J., Perera, M.-A., Marrero, R., Niz, G. y Pallarés, A. 2003a. *Paleoclimatología de Lanzarote y La Graciosa (yacimientos paleontológicos)*. Servicio de Patrimonio Histórico del Cabildo de Lanzarote. Las Palmas de Gran Canaria. 83 pp.
- Meco, J., Guillou, H., Carracedo, J.-C., Lomoschitz, A., Ramos, A.-J. G., y Rodríguez-Yáñez, J.-J. 2002. The maximum warmings of the Pleistocene world climate recorded in the Canary Islands. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 185: 197-210.
- Meco, J., Petit-Maire, N., Guillou, H., Carracedo, J.-C., Lomoschitz, A., Ramos, A.-J. G. y Ballester, J. 2003b. Climatic changes over the last 5,000,000 years as recorded in the Canary Islands. *Episodes*, 26/2: 133-134.
- Meco, J., Petit-Maire, N., Fontugne, M., Shimmield, G. y Ramos, A.J. 1997. The Quaternary deposits in Lanzarote and Fuerteventura (eastern Canary Islands, Spain): an overview. In: Meco, J. y Petit-Maire, N. (eds.). *Climates of the Past: 123-136*. International Union of Geological Sciences, Unesco, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria.
- Meco, J., Petit-Maire, N. y Reyss, J.L. 1992. Le Courant des Canaries pendant le stade isotopique 5 d'après la composition faunistique d'un haut niveau marin a Fuerteventura (28°N). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 314: 203-208.
- Meco, J. y Stearns C.-E. 1981. Emergent littoral deposits in the Eastern Canary Islands. *Quaternary Research*, 15: 199-208.
- Petit, J.R., Jouzel, J., Raynaud, D., Barkov, N.I., Barnola, J.-M., Basile, I., Bender, M., Chappellaz, J., Davis, M., Delaygue, G., Delmotte, M., Kotlyakov, V.M., Legrand, M., Lipenkov, V.Y., Lorius, C., Pépin, L., Ritz, C., Saltzman, E. y Stievenard, M. 1999. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature*, 399: 429-436.
- Rothpletz, A. y Simonelli, V. 1890. Die marinen Ablagerungen auf Gran Canaria. *Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft*, 42: 677-737.
- Shackleton, N.J. 1987. Oxygen isotope, ice volume and sea level. *Quaternary Science Reviews*, 6:183-190.
- Zazo, C., Hillaire-Marcel, Cl, Goy, J.L. Ghaleb, B. y Hoyos, M. 1997. Cambios del nivel del mar-clima en los últimos 250 ka (Canarias Orientales, España). *Boletín Geológico y Minero*, 108: 487-497.
- Zazo, C., Goy, J.-L., Hillaire-Marcel, C., Gillot, P.-Y., Soler, V. González, J. A., Dabrio, C. J. y Ghaleb, B. 2002. Raised marine sequences of Lanzarote and Fuerteventura revisited - a reappraisal of relative sea-level changes and vertical movements in the eastern Canary Islands during the Quaternary. *Quaternary Science Reviews*, 21: 2019-2046.

# Los carnívoros (Carnivora, Mammalia) terrestres del Cuaternario de América del Sur

Leopoldo SOIBELZON y Francisco J. PREVOSTI

## SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA  
NATURAL DE LES BALEARS

Soibelzon, L. y Prevosti, F.J. Los carnívoros (Carnivora, Mammalia) terrestres del Cuaternario de América del Sur. *In*: Pons, G.X. i Vicens, D. (Edit.). Geomorfologia Litoral i Quaternari. Homenatge a Joan Cuerda Barceló. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 14: 49-68. ISBN 84-96376-13-3. Palma de Mallorca.

El registro fósil de los carnívoros placentarios continentales de América del Sur abarca el Mioceno tardío-reciente y se inicia con el ingreso de las familias Felidae, Canidae, Ursidae, Mustelidae y Procyonidae desde América del Norte. Este evento, conocido como "Gran Intercambio Biótico Americano", se encuentra estrechamente asociado al levantamiento del istmo de Panamá. En este capítulo se recopilan los últimos avances en la Sistemática, Filogenia, Bioestratigrafía, Biogeografía y Paleoecología de los carnívoros continentales de América del Sur. Los primeros registros corresponden a los prociyonidos del "grupo" *Cyonasua* del Mioceno tardío (Huayqueriense). A finales del Plioceno (Vorohuense) ingresan los cánidos (Caninae) y los mustélidos (Mustelinae), pero es recién a comienzos del Ensenadense (Plioceno tardío-Pleistoceno medio) cuando se diversifica el grupo con la aparición en escena de los Ursidae, Felidae, Mephitinae, Lutrinae y los grandes cánidos. La diversidad de Carnívoros fósiles y vivientes en América del Sur puede verse como el resultado de la inmigración independiente de varios linajes dentro de cada subfamilia (o géneros), así como la radiación adaptativa de estos inmigrantes que originaron varias especies y géneros endémicos.

**Palabras clave:** *Carnivora, América del Sur, Cuaternario, Sistemática, Paleoecología, Bioestratigrafía.*

THE QUATERNARIAN TERRESTRIAL CARNIVOROUS (MAMMALIA, CARNIVORA) OF SOUTH AMERICA. The terrestrial placentary carnivorous (Mammalia, Carnivora) of South America are recorded in the late Miocene (Huayquerian)-recent, with representatives of the families Felidae, Canidae, Ursidae, Mustelidae and Procyonidae. These records are closely associated to the rising of the Isthmus of Panama, well known as biogeographic "Great American Biotic Exchange" event. In this chapter we update the last advances in the systematic, phylogeny, biostratigraphy, Biogeography and Paleoecology of the continental carnivores of America of the South. The first occurrence corresponds to the procyonids of the *Cyonasua* "group", dated as late Miocene (Huayquerian). At the end of the Pliocene (Vorohueian) canids (Caninae) and mustelids (Mustelinae) appear, but it is at the beginning of the Ensenadan (late Pliocene - middle Pleistocene) when the group diversified, represented by the first record of Ursidae, Felidae, Mephitinae, Lutrinae and large canids. The diversity of fossil and recent carnivores could be a consequence of several independent immigrations (also within subfamilies and genera), and the adaptative radiation of these immigrants in South America.

**Keywords:** *Carnivora, South America, Quaternary, Systematics, Paleoecology, Biostratigraphy.*

ELS CARNÍVORS (CARNIVORA, MAMMALIA) TERRESTRES DEL QUATERNARI D'AMÈRICA DEL SUD. El registre fòssil dels carnívors placentaris continentals d'Amèrica del Sud abarca el Miocè tardà-recent i s'inicia amb l'ingrés de les famílies Felidae, Canidae, Ursidae, Mustelidae i Procyonidae des d'Amèrica del Nord. Aquest event, conegut com "Gran Intercanvi Biòtic Americà", se troba estretament associat a l'aixecament de l'istme de Panamà. A haches article se recopilen els últims avanços en la Sistemàtica, Filogènia, Bioestratigrafia, Biogeografia i Paleoecologia dels carnívors continentals d'Amèrica del Sud. Els primers registres corresponen als prociònids del "grup" *Cyonasua* del Miocè tarda (Huayquerià). A finals del Pliocè (Vorohuà) ingressen els cànids (Caninae) i els mustèlids (Mustelinae), però és just als inicis de l'Ensenadeà (Pliocè tardà-Pleistocè mitjà) quan se diversifica el grup amb l'aparició a escena dels Ursidae, Felidae, Mephitinae, Lutrinae i els grans cànids. La diversitat de Carnívors fòssils i vivents a Amèrica del Sud es pot veure com el resultat de la immigració independent de distints llinatges dins de cada subfamília (o gèneres), així com la radiació adaptativa d'aquests immigrants que originaren distintes espècies i gèneres endèmics.

**Paraules clau:** *Carnívora, Amèrica del Sud, Quaternari, Sistemàtica, Paleoecologia, Bioestratigrafia.*

*Leopoldo SOIBELZON, Departamento Científico Paleontología de Vertebrados. Museo de La Plata. Paseo del Bosque, (1900) La Plata, Buenos Aires, Argentina. CONICET. E-mail: isoibelzon@museo.fcnym.unlp.edu.ar ; Francisco J. PREVOSTI, Departamento Científico Paleontología de Vertebrados. Museo de La Plata. Paseo del Bosque, (1900) La Plata, Buenos Aires, Argentina. CONICET protocyon@hotmail.com*

## Introducción

La historia de los carnívoros placentarios (Mammalia, Carnívora) continentales en América del Sur es relativamente reciente (Mioceno tardío) y está estrechamente vinculada al Gran Intercambio Biótico Americano (GABI, *vide infra*). El registro fósil de los carnívoros placentarios marinos comienza algo antes durante el Mioceno medio. Los dos grandes clados del Orden se encuentran representados en este subcontinente, el Suborden Feliformia con la familia Felidae y Caniformia con las familias Canidae, Ursidae, Mustelidae y Procyonidae.

Los principales yacimientos de vertebrados pleistocenos se concentran en la región Pampeana (Argentina; Fig. 1), donde se conoce una secuencia prácticamente continua desde el Plioceno tardío al Holoceno (ver Cione y Tonni, 1999). Otra localidad es Tarija (Bolivia; Fig. 1) donde fue hallada

una rica fauna de mamíferos (Hoffstetter, 1963) "Ensenadenses". La edad de este yacimiento va desde 1 Ma. AP a menos de 0.5 Ma. AP (MacFadden, 2000) y posiblemente alcanza al Pleistoceno tardío (Prevosti *et al.*, 2005). Otros clásicos yacimientos con carnívoros Lujanenses incluyen a las cavernas calcáreas de Lagoa Santa (Brasil, Cartelle, 1999; Fig. 1), Talara (Perú, Lemon y Churcher, 1961), La Carolina (Ecuador, Hoffstetter, 1952), Muaco (Venezuela, Oschenius, 1980), Cueva del Milodón (Chile, Roth, 1904; para otras localidades ver Marshall *et al.* (1984) y Cione *et al.* (2003). (Fig. 1).

En este capítulo se brinda un "update" sintético del estado del conocimiento de los carnívoros fósiles sudamericanos, con un énfasis en el registro pleistoceno del grupo. Debido a cuestiones de formato y espacio varios aspectos sistemáticos / filogenéticos, así como la mención detallada de la distribución de los taxones, fueron dejados de lado.



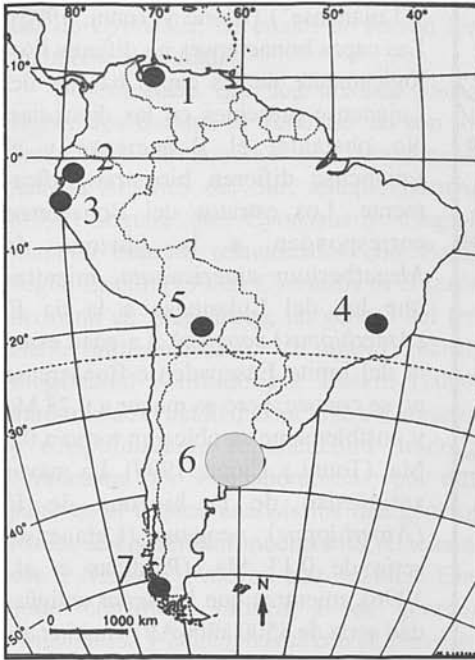


Fig. 1. Mapa de América del Sur con la ubicación de las principales localidades fosilíferas del Plioceno-Cuaternario. 1. Muaco (Venezuela); 2. La Carolina (Ecuador); 3. Talara (Perú); 4. Lagoa Santa (Brasil); 5. Tarija (Bolivia); 6. Región Pampeana (Argentina); 7. Cueva del Milodón (Chile).

Fig. 1. Map of South America with the main Pliocene/Quaternary paleontological sites. 1. Muaco (Venezuela); 2. La Carolina (Ecuador); 3. Talara (Perú); 4. Lagoa Santa (Brasil); 5. Tarija (Bolivia); 6. Región Pampeana (Argentina); 7. Cueva del Milodón (Chile).

### La escala cronoestratigráfica, geocronológica y bioestratigráfica del Cuaternario en América del Sur

La actual escala cronoestratigráfica para el Cenozoico superior continental de América del Sur está basada en un conjunto de biozonas definidas para el sector bonaerense de la región pampeana (Fig. 2). La escala comprende las siguientes unidades (ver Cione y Tonni, 2005): Marplatense, subdividido en Barrancalobense (Biozona de *Platygonus scagliai*), Vorohuense (Bio-

zona de *Akodon (A.) lorenzini*), Sanandresense (Biozona de *Ctenomys chapadmalensis*), Ensenadense (Biozona de *Mesotherium cristatum*; Soibelzon et al., 2005), Bonaerense (Biozona de *Megatherium americanum*), Lujanense (Biozona de *E. (Amerhippus) neogeus*) y Platense (Biozona de *Lagostomus maximus*).

En esta escala, el Marplatense representa al Plioceno Superior, la base del Ensenadense probablemente incluya al Plioceno más superior, mientras que el resto del Ensenadense, Bonaerense y Lujanense representan al Pleistoceno; el Platense comienza en el Holoceno inferior (en torno a 8,5 ka).

Tonni et al. (1999) señalan que el límite entre las biozonas de *Mesotherium cristatum* (Ensenadense) y de *Megatherium americanum* (Bonaerense) coincide con el de las Formaciones Ensenada y Buenos Aires, al menos en el norte de la provincia de Buenos Aires. Por otra parte, la fauna de la Biozona de *Mesotherium cristatum* probablemente se extiende hasta la base del Cron Bruhnes, donde a las especies características se le suma un conjunto de taxones indicadores de condiciones ambientales más áridas y frías (por ej.: *Eligmodontia*, *Microcavia*, *Zaedyx*). En consecuencia, a base de la información magnetoestratigráfica, la parte más superior del Ensenadense tendría una antigüedad menor a 0,78 Ma. Recientemente Verzi et al. (2004) propusieron la Biozona de *Ctenomys kraglievichi*, temporalmente muy acotada y hallada en la base de la Biozona de *Megatherium americanum*.

Los trabajos realizados en la región pampeana en los últimos años permiten confirmar la existencia de una clara división bioestratigráfica que sustenta la idea original de Ameghino (1889) sobre la existencia de una división en la parte superior de su "Formación Pampeana" ("Pisos Bonaerense



Ma	Cronos	Épocas	Biozonas América del Sur	Pisos América del Sur
		Holoceno	<i>Lagostomus maximus</i> <i>E. (Amerhippus) neogeus</i> <i>Megatherium americanum</i>	Platense Lujanense Bonaerense
1	C1	Pleistoceno	<i>Mesotherium cristatum</i>	Ensenadense
2	C2		<i>Ctenomys chapadmalensis</i>	Sanandresense
			<i>A. (Akodon) lorenzini</i>	Vorohuense
3	C2A		<i>Platygonus scagliai</i> <i>Paraglyptodon chapadmalensis</i> <i>Neocavia depressidens</i>	MARPLATENSE Barrancolobense Superior Inferior
4		Plioceno	<i>Trigodon gaudryi</i>	Montehermosense
5	C3			
6	C3A			
7	C3B			
8	C4	Mioceno	<i>Macrochorobates scalabrini</i>	Huayqueriense
9	C4A		<i>Chasicotatus ameghinoi</i> <i>Chasicotherium rothi</i>	Chasiense
10				

y Lujanense") (Cione y Tonni, 1995). Las capas bonaerenses no difieren litológicamente de las capas basales del Lujanense presentes en las divisorias. No obstante, el Bonaerense y el Lujanense difieren bioestratigráficamente. Los estratos del Bonaerense corresponden a la biozona de *Megatherium americanum*, mientras que los del Lujanense a la de *E. (Amerhippus) neogeus*. La edad exacta del límite Ensenadense-Bonaerense no se conoce, pero es menor a 0,78 Ma y posiblemente se ubica en torno a 0,5 Ma. (Tonni y Cione, 1999). La mayor antigüedad de la biozona de *E. (Amerhippus) neogeus* (Lujanense) sería de 0,13 Ma. (Pardiñas *et al.*, 1996), mientras que la menor antigüedad sería de 8500 años AP (Tonni *et al.*, 1999).

## PROCYONIDAE

### a) Sistemática:

Los procioides se encuentran representados en América del Sur por dos géneros extinguidos (*Cyonasua* y *Chapalmalania*) y cinco géneros vivientes (*Bassaricyon*, *Nasuella*, *Potos*, *Procyon* y *Nasua*). *Cyonasua* agrupa siete especies: *C. brevirostris*, *C. argentina*, *C. pascuali*, *C. groeberi*, *C. lutaria*, *C. clausa* y *C. meranii*, mientras que *Chapalmalania* agrupa dos especies: *Ch. ortognatha* y *Ch. altaefrontis*. Berman (1989; 1994) considera que existen otras 2 especies válidas

Fig. 2. Escala cronoestratigráfica, geocronológica y bioestratigráfica del Mioceno tardío-Reciente en América del Sur.

Fig. 2. Chronostratigraphic, geochronologic and biostratigraphic chart of the late Miocene-Recent in South America.

das de *Cyonasua*, las cuales no fueron formalmente nominadas.

Se considera que los taxones fósiles registrados durante el Terciario no son los precursores de aquellos que actualmente habitan América del Sur; aunque Berman (1994) sugiere que *Cyonasua* y *Chapalmalania* estarían relacionados con *Potos*. Según Baskin (1998a) *Cyonasua* es el taxón hermano de *Arctonasua*, un género del terciario norteamericano. Un nuevo análisis filogenético realizado por Baskin (2004) muestra que el clado que incluye a *Cyonasua* y *Chapalmalania* se encuentra unido a *Arctonasua* por 9 sinapomorfias; por otra parte en el mismo análisis los dos géneros fósiles se encuentran mucho más relacionados a *Nasua* y *Procyon* que a *Potos*. Este autor considera válidos a los géneros *Amphinasua* y *Brachynasua* con *A. brevirrostris*, *A. pascuali*, *A. clasua*, *A. groeberi* por un lado, y *B. meranii* por el otro.

#### b) Distribución geográfica y estratigráfica:

Los taxones fósiles (*Cyonasua* y *Chapalmalania*) se registran sólo en la Argentina, fundamentalmente durante el Terciario superior (Mioceno superior y Plioceno) (Bond, 1986), aunque escasos existen registros de *Cyonasua* (*Cyonasua meranii*) durante el Cuaternario limitados al Ensenadense de la región Pampeana (Berman, 1994). Sin embargo, recientemente han sido mencionados restos postcraneanos de prociónidos en la Formación Pisco de Perú (Mioceno Superior-Plioceno Inferior; McDonald y de Muizon, 2002) y corresponden al primer registro terciario de la familia en América del Sur fuera de la Argentina.

De los cinco géneros que actualmente habitan en América del Sur sólo *Procyon* y *Nasua* aparecen en el registro fósil. Estos

dos taxones se han registrados en las cuevas de Lagoa Santa y Bahía (Brasil; Cartelle, 1999), aunque su procedencia estratigráfica es incierta. Paula Couto (1970) les asigna una antigüedad Pleistoceno tardío-Holoceno. *Procyon* también está presente en el Pleistoceno de Uruguay y *Nasua* posiblemente en el "Ensenadense" de Tarija (Berta y Marshall, 1978). Los fósiles de estos dos géneros parecen corresponder a las especies sudamericanas vivientes *P. cancrivorus* (Cuvier) y *N. nasua* (Linnaeus) (Berta y Marshall, 1978).

#### c) Consideraciones paleoecológicas:

*Cyonasua* y *Chapalmalania* representan distintos tipos ecológicos diferenciados fundamentalmente por los rasgos craneo-dentarios y notables diferencias de tamaño corporal. Su registro en los mismos depósitos pliocénos sugieren una correspondencia a modelos ecológicos diferentes. *Cyonasua* y *Chapalmalania* presentan una dentición con poco desarrollo de crestas cortantes, adaptada a dietas omnívoras. Las especies de *Cyonasua* son de pequeño a mediano tamaños, desde un tamaño aproximado al de *Potos flavus* (Schreber) (3 kg) en *C. pascuali* al de un zorro colorado grande (*Dusicyon culpaeus* (Molina)) (13 kg) en las especies mayores (e.g. *C. brevirrostris*). Por su gran tamaño, dentición bunoidea y presentar un rostro corto, varios autores lo han comparado con los osos sudamericanos y le asignaron un nicho ecológico similar (Kraglievich y de Olazabal, 1959; Bond, 1986; Berman, 1994). Berman (1994) sugirió que *Chapalmalania* era carroñero, sin embargo el estudio de la paleoecología de estos géneros, más allá de la interpretación de algunas variables cualitativas, es un tema pendiente. *N. nasua* y *P. cancrivorus* habitan una gran

variedad de ambientes arbolados y poseen una dieta omnívora compuesta por frutas, insectos, peces, crustáceos y pequeños vertebrados (Eisenberg y Redford, 1999).

## CANIDAE

### a) Sistemática:

Los canidos fósiles y vivientes de América del Sur pertenecen a la Subfamilia Caninae, y con la excepción de la especie viviente *Urocyon cinereoargenteus* a la tribu Canini (Tedford *et al.*, 1995). Los géneros actuales que habitan América del Sur (*Dusicyon*, *Atelocynus*, *Speothos*, *Cerdocyon* y *Chrysocyon*) y la especie paleártica *Nyctereutes procyonoides* constituyen un grupo monofilético (Tedford *et al.*, 1995). Para otros autores (Wayne *et al.*, 1997) las especies sudamericanas se encuentra divididas en dos clados independientes ([*Speothos* + *Chrysocyon*] y [*Cerdocyon* + *Atelocynus* + *Dusicyon*]) dentro de la tribu Canini, siendo *N. procyonoides* una especie basal de la subfamilia. Los géneros extintos *Protocyon* y *Theriodictis* serían un clado filogenéticamente relacionados a *Dusicyon* (Berta, 1987; 1988). Según la misma autora *Canis gezi* estaría emparentado con la especie norteamericana *C. armbrusteri*, mientras que *C. nehringi* y *C. dirus* constituirían un grupo monofilético. Sin embargo, basándose en algunos caracteres craneodontarios, Prevosti (2001) sugirió que *C. gezi* debería ser asignada a *Theriodictis*.

### b) Distribución geográfica y estratigráfica:

Los primeros registros provienen del Vorohuense de la región Pampeana y corresponden a una especie de zorro (*Dusicyon*

*cultridens*) intermedia entre las especies actuales *D. griseus* y *D. gymnocercus*. Durante el Ensenadense se registran por primera vez restos de la especie actual *D. gymnocercus* en la región Pampeana (Argentina) y Tarija (Bolivia). En Minas Gerais (Brasil), Salto (Uruguay) y Entre Ríos (Argentina) se registran tardíamente (durante el Lujanense; Winge, 1895; Kraglievich, 1930; Ubilla y Perea, 1999; Noriega *et al.*, 2003). El registro de *D. culpaeus* es más incompleto y sólo fue hallado en el Pleistoceno tardío ("Lujanense") de La Carolina (Ecuador) y en el Holoceno del Sur de Chile (Hoffstetter, 1952; Berta, 1987; Trejo y Jackson, 1998). Es dudosa la asignación de otros fósiles fragmentarios a esta especie (e.g. Berman, 1994; Politis *et al.*, 1983). *Dusicyon sechurae* se encuentra restringido durante el Lujanense al noroeste de Perú y al sudoeste de Ecuador, coincidiendo con su distribución actual (Berta, 1987). *Dusicyon avus* es un gran zorro del tamaño de *D. culpaeus* (Figs. 3A, 3B) cuyo registro más antiguo es del Ensenadense de la región Pampeana (Prevosti, obs. pers.), pero en el Lujanense y Holoceno se lo encuentra más ampliamente distribuido alcanzando el sur de la Patagonia (Berman y Tonni, 1987; Berman, 1994; Trejo y Jackson, 1998) y el sur de Brasil (Hadler *et al.*, 2004). Con la excepción de *D. australis*, que es exterminada en tiempos históricos, esta especie es la única que se extingue durante el Holoceno. La obtención de dataciones radiocarbónicas directamente sobre ejemplares de *D. avus* ("fechados-taxón"), permitirá precisar el momento de su extinción. Cabe destacar que hace falta una revisión sistemática de las especies fósiles de *Dusicyon* que contemple la variación observada sobre las especies actuales. *Dusicyon vetulus* y *Cerdocyon thous* fueron registradas en yacimientos del Lujanense de Brasil (Minas Gerais, Bahia;

Berta, 1987; Cartelle, 1999). El aguará guazú (*Chrysoscyon brachyurus*) posee un registro fósil extremadamente pobre: un resto en el "Ensenadense" de Tarija (Bolivia) y otros para el Lujanense de Minas Gerais (Brasil) y el Holoceno de la región Pampeana (Argentina) (Hoffstetter, 1963; Berta, 1988; Prevosti *et al.*, 2004a). Notablemente, algunos ejemplares fósiles del Plioceno (Hemphiliano-Blancaniano) de México y los Estados Unidos de América han sido asignados a *Cerdocyon* (Torres y Ferrusquia, 1981). Lo mismo ocurre con algunos restos asignados a *Chrysoscyon* (Tedford, com. pers en Berta, 1987), lo que aporta relevante información biogeográfica e indicarían que estos géneros se originaron en América del Norte. *Speothos* se encuentra representado por dos especies en el Lujanense de Brasil: la especie actual registrada en Minas Gerais (Berta, 1984) y la especie extinta *S. pacivorus* hallada en Minas Gerais y Bahía (Berta, 1984; Cartelle, 1999). *Theriodictis* incluye dos especies: *T. platensis* y *T. tarijensis*, restringidas al Ensenadense de Argentina y Bolivia, respectivamente (Prevosti *et al.*, 2004b). Un molar superior (M1) hallado en el sur de Brasil posiblemente pertenezca a este género (Hadler *et al.*, 2004). *Protocyon* incluye tres especies, *P. scagliarum* en el Ensenadense de Argentina, *P. orcesi* en el Pleistoceno tardío de Ecuador y *P. troglodytes* en el Ensenadense-Lujanense de Bolivia, Perú, Brasil y posiblemente Argentina (Berta, 1988; Cartelle y Langguth, 1999; Prevosti *et al.*, 2005). Adicionalmente, algunos restos encontrados en la provincia de Buenos Aires (Argentina), podrían corresponder a una nueva especie (ver Berman, 1994). El género holártico *Canis* está representado en el Pleistoceno de América del Sur por tres especies: *C. dirus*, *C. nehringi* y *C. gezi*. Las primeras dos constituyen un

grupo monofilético y se las encuentra en el Pleistoceno superior (Lujanense) del noroeste de América del Sur (Bolivia, Perú, Venezuela) y la Región Pampeana (Argentina), respectivamente (Berta, 1988; Berman, 1994; Dundas, 1999). *C. gezi* sólo es conocido por dos restos encontrados en sedimentos del Ensenadense de la región Pampeana (Kraglievich, 1928; Berta, 1988; Berman, 1994). De corroborarse la hipótesis de Prevosti (2001), el ingreso de *Canis* a América del Sur sería un evento del Pleistoceno tardío. Con la excepción de *C. brachyurus*, los grandes cánidos sudamericanos se extinguen al final del Lujanense, dejando vacante el nicho de los grandes cánidos hipercarnívoros.

### c) Consideraciones paleoecológicas:

Los representantes fósiles de las especies vivientes no difieren morfológicamente de estas, por lo que es posible inferir que poseían hábitos similares. La mayoría de los zorros (*Dusicyon*), el aguará guazú y *Cerdocyon thous* presentan dietas omnívoras constituidas por frutas, roedores, insectos y carroña (Medel y Jacksic, 1988; Ginsberg y Macdonald, 1990). *D. culpaeus* depreda proporcionalmente más sobre vertebrados medianos (principalmente roedores y lagomorfos) que otros zorros (e.g. *D. griseus*). La especie extinta *S. pacivorus* es muy semejante a la viviente *S. venaticus*. Esta última posee un masa de entre 5 y 7 kg, se alimenta de grandes roedores (e.g. *Dasyprocta* sp., *Agouti paca*) y habita zonas arboladas (Ginsberg y Macdonald, 1990; Eisenberg y Redford, 1999). *D. avus* presenta una talla similar a *D. culpaeus* (alrededor de 11 kg) y caracteres craneodontarios que sugieren que poseía una dieta con mayor proporción de presas vertebradas y



posiblemente de mayor tamaño que aquellas consumidas por *D. culpaeus* (Berman y Tonni, 1987). La anatomía craneodentaria y el tamaño corporal de *Protocyon* y *Theriodictis* indicarían una dieta constituida por mamíferos de tamaño mediano a grande, aunque probablemente no depredaban sobre megamamíferos (aquellos con una masa mayor a una tonelada; Berta, 1988; Van Valkenburgh, 1991; Cartelle y Langguth, 1999; Prevosti y Palmqvist, 2001; Prevosti *et al.*, 2005). La proporción de los miembros locomotores muestra que eran formas cursoriales. Es probable que habitaran ambientes abiertos y que abatieran a sus presas formando jaurías (Cartelle y Langguth, 1999; Prevosti y Palmqvist, 2001). La masa de *Theriodictis* fue estimada en 37 kg, mientras que *Protocyon* se encuentra cerca de los 20 kg (Van Valkenburgh, 1991; Prevosti y Palmqvist, 2001). *C. dirus* y *C. nehringi* son morfológicamente semejantes, aunque la primera presenta un tamaño mayor (50 kg contra 30 kg; Van Vankelburgh, 1991). *C. dirus* presenta una morfología similar a *C. lupus* (Biknevicius y Van Valkenburgh, 1996), por lo que se infiere que al igual que la especie viviente depredaba formando jaurías sobre grandes mamíferos. Su mayor tamaño con respecto a *Canis lupus* le habría posibilitado romper huesos de mayores dimensiones que en la especie viviente (Biknevicius y Van Valkenburgh, 1996).

## MUSTELIDAE

### a) Sistemática:

Los Mustelidae se encuentran representados en el registro fósil de América del Sur por tres grupos (subfamilias): 1- *Mephitinae*

(Zorrinos) con el género *Conepatus*, cuyos restos han sido asignados a varias especies extintas y a las vivientes (ver Berta y Marshall, 1978; Berman, 1994; Forasiepi, 2003). Al igual que ocurre con las especies de zorros fósiles (*vide infra*), este grupo necesita una revisión sistemática que tenga encuenta la variación intraespecífica de las especies actuales. Cabe destacar que según algunos análisis filogenéticos (Dragoo y Honeucutt, 1997) esta subfamilia es el grupo hermano de un clado formado por el resto de los mustélidos más los prociónidos, por lo que debería ser elevada a la categoría de familia. 2- Mustelinae (Hurones) con varios géneros representados en el Plioceno / cuaternario sudamericano: *Stipanicia* con una única especie *S. pettorutii*; *Galictis* con las especies: *G. sorgentini*, *G. hennigi*, *G. cuja* y *G. vittata* (Berman, 1994; Cartelle, 1999); *Lyncodon* con dos especies: *L. bosei* Pascual y *L. patagonicus* (Prevosti y Pardiñas, 2001). *Eira* sólo es conocida por la especie actual *E. barbara* (Rancy, 1999; Cartelle, 1999) y *Mustela* probablemente representada por *M. frenata* (Prevosti obs. pers.). 3- Lutrinae (Lobitos de río). Esta Subfamilia posee sólo dos géneros *Lontra* y *Pteronura* una especie hallada en estado fósil para cada una: *L. longicaudis* (Berman, 1994; Cartelle, 1999) y *P. brasiliensis* (Cartelle, 1999; Carlini *et al.*, 2002).

Reig (1956) creó la Subfamilia *Galictinae* en la fueron incluidos los géneros sudamericanos *Galictis*, *Lyncodon*, *Eira*, *Stipanicia* (ver Berta y Marshall, 1978). Según el análisis cladístico de Baskin (1998b) sostiene la existencia de un clado de "galictinos", aunque excluyendo a *Eira*, mientras que en el análisis de Bryant *et al.* (1993) este grupo es parafilético.

**b) Distribución geográfica y estratigráfica:**

En la actualidad los mustelidos están ampliamente diversificados, presentando un número significativo de géneros neotropicales (*Conepatus*, *Galictis*, *Eira*, *Pteronura* y *Lyncodon*). Algunos de ellos, como *Conepatus*, se distribuyen también en América del Norte.

*Conepatus* es el mustélido más abundante en el registro fósil sudamericano mientras que los *Mustelinae* y *Lutrinae* (en ese orden) son poco frecuentes en los yacimientos plio-pleistocenos. El biocrón de *Conepatus* comienza en el Ensenadense de Argentina y el "Ensenadense" de Bolivia, mientras que para el Lujanense se lo registra prácticamente en todos los países de América del Sur (Marshall *et al.*, 1984). Si bien existen menciones de restos pliocenos de *Conepatus* (e.g., Reig, 1952; Berman,

1994), no se ha comprobado fehacientemente la presencia de este taxón con anterioridad al Ensenadense.

La presencia de *Galictis* (*G. sorgentini*) en el Vorohuense (Plioceno tardío) de la región Pampeana marca el ingreso de los mustélidos a América del Sur. Este género también está presente en el Sanandrense (*Galictis* sp.), Ensenadense (*G. henningi*) y Platense (*G. cuja*) de Argentina (Berman, 1994; Quintana, 2001), "Ensenadense" de Bolivia (*Galictis* sp., Werdelin, 1991) y Lujanense de Brasil (Berta y Marshall, 1978). *Lyncodon* está representado por *L. bosei* en el Ensenadense (Argentina) y por *L. patagonicus* (Figs. 3C, 3D) durante el Lujanense (Chile y Argentina) (Pascual, 1958; Prevosti y Pardiñas, 2001; Prevosti obs. pers.). El género monotípico *Stipanicia* se encuentra restringido al Ensenadense de la región Pampeana, mientras que *Eira*



**Fig. 3.** Cráneo de *Dusicyon avus* (A y B) y *Lyncodon patagonicus* (C y D) en vista ventral (A) y dorsal, respectivamente. Escala gráfica = 6 cm.

**Fig. 3.** Skull of *Dusicyon avus* (A and B) and *Lyncodon patagonicus* (C and D) in dorsal and ventral views, respectively. Graphic scale = 6 cm.



(*E. barbara*) lo hace al Lujanense de Brasil (Cartelle, 1999; Rancy, 1999), aunque existe una cita de "*Galera*" (= *Eira*) "...une forme distincte de *Galera barbara* [*Eira barbara*]..." (Hoffstetter, 1963) en el "Ensenadense" de Bolivia (Tarija). Por último, sólo se conoce un registro concreto de *Mustela* para el Holoceno medio de Ecuador (Prevosti obs. pers.).

Los Lutrinae poseen el registro más incompleto de la familia y el orden en América del Sur, aunque se reportan por primera vez en el Ensenadense de la región Pampeana. Restos de *Lontra* fueron hallados desde el Ensenadense hasta la actualidad en Argentina y en el Lujanense de Brasil y Uruguay (Berman, 1994; Ubilla y Perea, 1999; Cartelle, 1999). Los registros fósiles de *Pteronura* se restringen al Lujanense de Argentina (Entre Ríos, Carlini *et al.*, 2002) y Brasil (Cartelle, 1999).

### c) Consideraciones paleoecológicas:

Los restos fósiles sudamericanos de la Familia Mustelidae pertenecen a las especies o géneros vivientes (excepto *Stipanicipia*), lo que permite extrapolar los hábitos de estos últimos a los primeros. Comprende formas de tamaño relativamente pequeño, muy carnívoras a omnívoras, terrestres a semiacuáticas y de hábitats muy variados (ver Redford y Eisenberg, 1992; Eisenberg y Redford, 1999). Según algunos autores (e.g. Marshall, 1978), la irrupción y diversificación de los Mustelidae en América del Sur parece haber influido en la declinación y extinción de varios grupos de marsupiales que hasta ese momento desempeñaban el rol de pequeños a medianos carnívoros y omnívoros

## URSIDAE

### a) Sistemática:

Los únicos Ursidae que habitaron y habitan América del Sur pertenecen a la subfamilia Tremarctinae; actualmente se encuentran representados por una sola especie (*Tremarctos ornatus*) pero durante el Cuaternario se registra un género (*Arctotherium*) que agrupa cinco especies: *A. angustidens*; *A. vetustum*; *A. wingei*; *A. bonariense* y *A. tarijense* (Fig. 4) (Soibelson, 2004). Es interesante comentar que, debido al enorme dimorfismo sexual en tamaño, en el pasado se llegaron a reconocer cinco géneros que agrupaban aproximadamente doce especies. Durante los últimos 40 años, la discusión entre los especialistas se centró sobre la pertenencia genérica de las especies sudamericanas, ya que algunos autores consideraban que estas pertenecían al género boreal *Ursus* o *Arctodus* y otros a

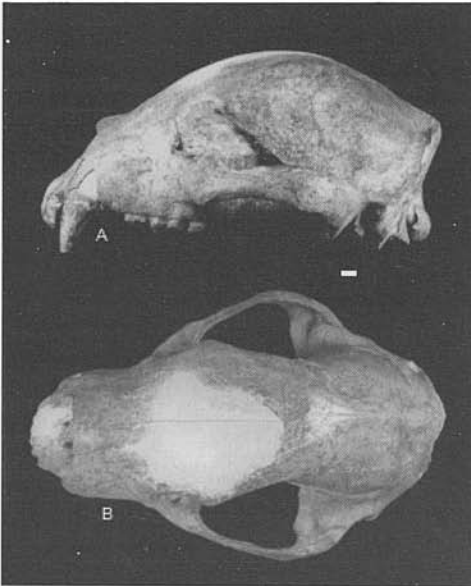


Fig 4. Cráneo de *Arctotherium tarijense*. A vista lateral, B vista dorsal. Escala gráfica= 1 cm.

Fig. 4. Skull of *Arctotherium tarijense*. A lateral view, B dorsal view. Graphic scale= 1 cm.



uno o más géneros creados "ad hoc" para estas especies (e.g. *Arctotherium*, *Arctoidotherium*, *Pararctotherium*, *Proarctotherium*, etc.). El análisis filogenético llevado a cabo por Soibelzon (2002) sobre todos los taxones de Tremarctinae permitió observar que las especies sudamericanas conformaban un grupo natural bien sustentado por numerosas sinapomorfias y separado del grupo formado por las especies norteamericanas de la subfamilia. Por lo tanto Soibelzon (2002; 2004) optó por agrupar todas las especies reconocidas en un solo género (*Arctotherium*).

Algunas especies de *Arctotherium* se caracterizan por su enorme tamaño, la masa de algunos ejemplares superaba los 1200 kg, comparable sólo al tamaño de algunos ejemplares de *Ursus speleaeus* y *U. maritimus*.

#### b) Distribución geográfica y estratigráfica:

*Arctotherium* se ha registrado en Venezuela, Bolivia, Brasil, Chile, Uruguay y la Argentina. *A. vetustum* se registra en la Argentina durante el Bonaerense y al menos existiría un registro para Brasil (ver Soibelzon *et al.*, 2005). *A. wingei* se registra en Brasil durante el Lujanense? (ver Soibelzon *et al.*, 2005), en Bolivia en el Pleistoceno y en Venezuela en el Pleistoceno Superior y Holoceno Inferior. *A. angustidens* se registra durante el Ensenadense en la Argentina y en Bolivia. *A. bonariense* se registra durante el Bonaerense y Lujanense en la Argentina. *A. tarijense* se registra en la Argentina durante el Bonaerense y Lujanense, en Chile y Uruguay en el Lujanense superior y en Bolivia durante el Pleistoceno (Soibelzon, 2002).

#### c) Consideraciones paleoecológicas:

*Arctotherium* probablemente tenía una dieta omnívora formada por gran diversidad de componentes, pero con un predominio más o menos marcado de ítems de origen animal. La cacería activa, la disputa de presas cobradas por otros carnívoros y el carroñeo formaban parte esencial de su estrategia de obtención de alimentos (Soibelzon, 2002).

Frecuentemente pueden observarse patologías sobre restos fósiles de *Arctotherium*, llamativamente más frecuentes en la especie *A. angustidens* que en las otras del mismo género. Sin dudas las patologías más comunes en *Arctotherium* son las derivadas del tremendo desgaste de la superficie oclusal de las coronas de los molares superiores e inferiores, que en varios casos deja expuesta la cavidad pulpar. Le siguen en frecuencia las derivadas de la masticación de objetos duros (probablemente huesos) que producen la rotura parcial de la corona de alguna/s piezas dentarias. Son también frecuentes las caries producidas probablemente por la ingestión de alimentos ricos en carbohidratos como la miel (Ferigolo y Berman, 1993) o las frutas. Por último, algunos huesos largos de gran tamaño presentan patologías aún no determinadas.

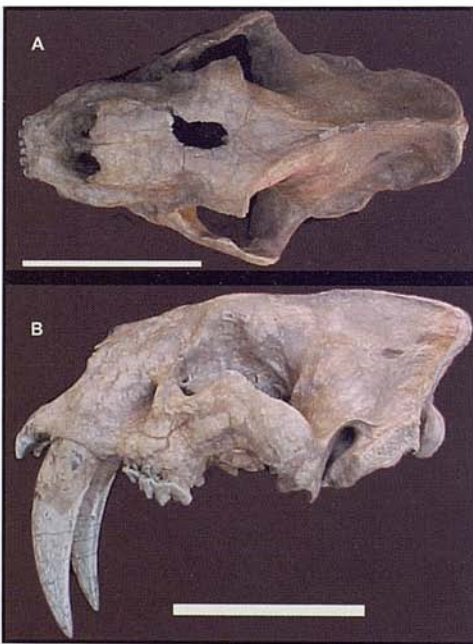
La masa estimada para algunas especies *Arctotherium* se encuentra dentro del rango de valores conocidos para los Ursidae de gran tamaño (e.g. *Ursus maritimus* y *U. speleaeus*). Las ecuaciones alométricas que trabajan a partir de medidas craneanas y dentarias probablemente subestiman la masa de *Arctotherium*, mientras que estimaciones más cercanas a lo que se cree fue la masa de estos osos se obtuvieron a partir de medidas del estilopodio.

## FELIDAE

### a) Sistemática:

Los félidos sudamericanos se encuentran representados por un género de la subfamilia Machaerodontinae (*Smilodon*; cf. *Xenosmilus*), pero principalmente por una alta diversidad de taxones de la subfamilia Felinae (*Panthera*, *Puma*, *Herpailurus*, *Oncifelis*, *Oreailurus*, *Lynchailurus*, *Leopardus*) (Berta y Marshall, 1978; Bond, 1986; Berman, 1994; Seymour, 1999). *Smilodon* es un Smilodontini derivado que incluye dos especies con distribución sudamericana: *Smilodon populator* (Fig. 5) y *S. fatalis* (Berta, 1985; Kurtén y Werdelin, 1990). Recientemente ha sido descrito un ejemplar de Homotheriini proveniente del Ensenadense? de Uruguay, que podría per-

tener al género *Xenosmilus* (Mones y Rinderknecht, 2004). Los pequeños félidos neotropicales, con la excepción de *H. yagouaroundi*, constituyen un grupo monofilético ("linaje del Ocelote" Pecon Slattery *et al.*, 1994). Una especie extinta, "*Felis*" *vorohuensis* Berta (1983), presenta una posición filogenética incierta dentro del "linaje del Ocelote" (Seymour, 1999). Algunos jaguares fósiles poseen un mayor tamaño que los actuales, alcanzando el tamaño de *Panthera leo*, lo que fue utilizado para erigir subespecies como *P. onca mesembrina* (Cabrera, 1933), pero el estatus de estos taxones debe ser revisado. Los nombres de otras especies fósiles (e.g. *Felis longifrons*, *Felis pumoides*), fueron sinonimizados con aquellos de especies actuales o considerados dudosos (Berman, 1994; Pomi y Prevosti, 2005).



**Fig. 5.** Cráneo de *Smilodon populator*. A. vista dorsal, B vista lateral. Escala gráfica= 15 cm.

**Fig. 5.** Skull of *Smilodon populator*. A dorsal view, B lateral view. Graphic scale= 15 cm.

### b) Distribución geográfica y estratigráfica:

*Smilodon* agrupa dos especies. *S. populator*, es endémica de América del Sur, fue hallada en yacimientos del Ensenadense al Lujanense, desde Brasil y Bolivia, pasando por Paraguay, Argentina y Uruguay, hasta el sur de Chile (Berta y Marshall, 1978; Berta, 1985; Kurtén y Werdelin, 1990; Canto, 1991; Barnett *et al.*, 2005). *S. fatalis*, de origen Neártico, sólo fue hallada en sedimentos del Pleistoceno tardío del noroeste de América del Sur (Ecuador y Perú), representando una nueva inmigración de grandes félidos a Sudamérica. (Werdelin y Kurtén, 1990). A su vez la presencia de cf. *Xenosmilus* constituiría una tercera invasión de Machaerodontinos (Mones y Rinderknecht, 2004).

El registro fósil de los pequeños félidos sudamericanos es muy pobre. Los registros



más antiguos (Ensenadense) corresponden a *Lynchailurus colocolo*, "*Felis*" *vorohuensis* y cf. *Herpailurus* (Berta, 1983; Prevosti, obs. pers.). Varias especies de *Leopardus* (*L. pardalis*, *L. wiedii*), *Oncifelis tigrina* y *Herpailurus yagouaroundi*, fueron halladas en yacimientos Lujanenses de Brasil y Perú (*Leopardus* cf. *L. wiedii*; Seymour, 1999). "*Felis lujanensis*" del Lujanense de la Provincia de Buenos Aires (Argentina) podría ser sinónimo de *L. colocolo* (Seymour, 1999). *Oncifelis geoffroyi* se registra tardíamente (a partir del Holoceno; Prevosti, obs. pers.). Las especies *Oncifelis guigna* y *Oreailurus jacobita* no fueron aún registradas en forma fósil.

Los restos más antiguos de *Puma* y *Panthera onca* provienen del Ensenadense de Argentina (provincia de Buenos Aires) y "Ensenadense" de Bolivia (Tarija) (Berman, 1994; Berta y Marshall, 1978). Aunque no se conoce su edad absoluta, varios ejemplares encontrados en la provincia de Buenos Aires (Argentina) fueron encontrados en sedimentos de polaridad reversa del Cron Matuyama que se encuentran por debajo del evento Jaramillo (+/- 1 Ma AP). Durante el Pleistoceno tardío el registro de estas especies es más amplio y abarca Brasil, Ecuador, Perú, Bolivia; Uruguay, Argentina y Chile (Winge, 1895; Hoffstetter, 1952; Berta y Marshall, 1978; Berman, 1994; Ubilla y Perea, 1999; San Roman *et al.*, 2000). *P. onca* también fue mencionada para el Lujanense de Venezuela (Ochsenius, 1980). Grandes formas de jaguares fósiles fueron descritos para el Pleistoceno tardío de Perú, Bolivia y el sur de Chile (Cabrera, 1933; Hoffstetter, 1952; Seymour com. pers. en Werdelin, 1996; Borrero, 1997).

### c) Consideraciones paleoecológicas:

Durante el Pleistoceno *Smilodon* ocupó el tope de la pirámide alimenticia en América del Sur, depredando sobre grandes mamíferos como équidos, camélidos y perezosos terrestres, entre otros (Akersten, 1985; Berman, 1994; Biknevicius y Van Valkenburgh, 1996). Los ejemplares fósiles de pequeños félidos y de pumas no difieren significativamente de los actuales, lo que permite inferir que poseían el mismo comportamiento trófico que sus representantes vivientes. Los pequeños félidos vivientes se alimentan mayoritariamente de pequeños roedores y aves (Nowell y Jackson, 1996; Kitchener, 1991), mientras que los pumas cazan mamíferos de mediano a gran tamaño (e.g. *Lama guanicoe*, *Odocoileus virginianus*; Iriarte *et al.*, 1990). El mayor tamaño de los jaguares fósiles, comparado con los actuales, puede haberse dado por una alta disponibilidad de grandes mamíferos-presa durante el Pleistoceno (Seymour, 1993), aunque no pueden descartarse la conjunción de factores climáticos (e.g. la "regla de Bergman").

### Los carnívoros sudamericanos en el marco del Gran Intercambio Biótico Americano

América del Sur se mantuvo aislada de los otros continentes durante la mayor parte del Cenozoico. El aislamiento finalizó hace unos 3,1 a 2,8 Ma. con la desaparición de la barrera marina que existía entre el noroeste de Colombia y el sur de Panamá (Coates y Obando, 1996). Luego del establecimiento del Istmo de Panamá, se produjo un evento de intercambio faunístico entre América del Norte y América del Sur conocido como Gran Intercambio Biótico Americano (Marshall *et al.*, 1982). La mayor parte de las

familias del orden Carnivora (Mammalia, Eutheria) arribaron a América del Sur en este evento, con la excepción de los Procyonidae que se registran desde el Huayqueriense (Mioceno tardío). Por tal motivo los Procyonidae han sido considerados los "heraldos" del Gran Intercambio Biótico Americano.

Los registros más antiguos de inmigrantes, procedentes de América del Sur, en el sur de California corresponden a la parte final del Cron Gauss; están representados por roedores y edentados (Webb, 1985). Luego de los prociónidos, el resto de los carnívoros placentarios hacen su aparición en América del Sur a partir del Marplatense (correlacionado con la primera parte del Cron Matuyama, Cione y Tonni, 1995).

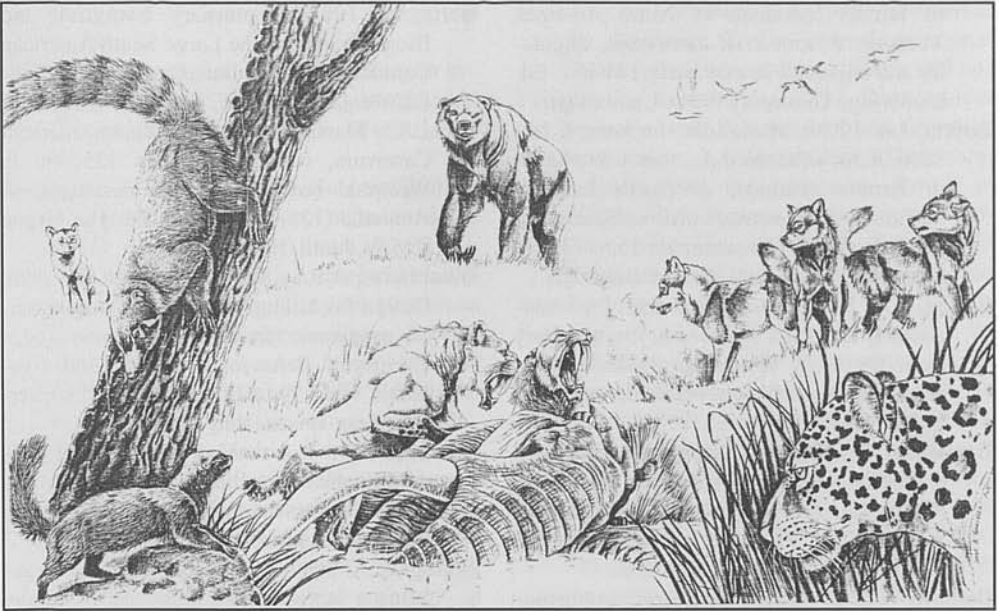
Así como ocurre con el resto de los mamíferos neárticos que inmigraron a América del Sur durante el GABI (Cione y Tonni, 1995), el ingreso de los carnívoros se produjo en etapas según se observa en el registro fósil (*vide supra*). Esto puede sintetizarse en dos grandes etapas: 1. el Vorohuense cuando ingresaron los primeros cánidos y mustelinos, con *D. cultridens* y *Galictis sargentinii*, respectivamente y 2. el Ensenadense cuando se observa una notable diversificación de los carnívoros (y del resto de los mamíferos, Cione y Tonni, 1995), entre los que se cuentan a los úrsidos (*Arctotherium angustidens*), félidos (*S. populator*; *P. onca*; *P. concolor*; "*F.*" *vorohuensis*; *L. colocolo*), mefitinos (*Conepatus* spp.), lutrinos (*Lontra longicaudis*), otras especies de zorros (e.g. *D. avus*; *P. gymnocercus*) y los grandes cánidos (*Chrysocyon*, *Theriodictis*, *Protocyon*).

La restricción de ciertas especies vivientes (e.g. *N. nasua*; *P. cancrivorus*; *L. vetulus*; *L. tigrinus*) a yacimientos del Lujanense (especialmente del norte de Sudamérica) así como la escasez o práctica-

mente ausencia de ciertos grupos (e.g. pequeños félidos, ciertos prociónidos como *Potos*) puede ser consecuencia del sesgo tafonómico del registro fósil, ya que las regiones "tropicales" (con ambientes arbolados y climas más cálidos y húmedos) están menos representadas. Otros eventos inmigratorios más tardíos corresponden al ingreso de *S. fatalis* (una especie típicamente norteamericana) y *C. dirus* (o del género *Canis* si la hipótesis de Prevosti, 2001 es correcta) durante el Lujanense. Estas especies, aparentemente, sólo llegaron al noroeste de América del Sur (Bolivia, Perú, Ecuador, Venezuela). Por último el único resto de *Mustela* conocido para América del Sur, fue encontrado en el Holoceno medio de Ecuador, pero aparentemente corresponde a *M. frenata* (una especie con registros más antiguos en América del Norte) y no a las especies endémicas *M. felipei* y *M. africana*. Probablemente el ancestro de estas dos especies ingreso independientemente a este continente.. Quizás el último ingreso de carnívoros ocurrió recientemente con la penetración de *U. cinereoargenteus* y *Nasua narica* (hasta ahora ausentes en el registro fósil de América del Sur y que actualmente se encuentran limitadas a Colombia y Venezuela), si no tenemos en cuenta la introducción del perro (*Canis lupus familiaris*) por los humanos durante el Holoceno temprano/medio.

En síntesis, la diversidad de carnívoros fósiles (Fig. 6) y vivientes sería resultado de varios eventos inmigratorios independientes (incluso dentro de cada Familia) a partir de América Central y del Norte y la radiación adaptativa de los clados inmigrantes, más algunas extinciones entre la que se destaca la ocurrida al final Pleistoceno y comienzos del Holoceno (e.g. Cione *et al.*, 2003).

Por otro lado, el biocrón y los nichos ecológicos ocupados por carnívoros placentarios



**Fig. 6.** Reconstrucción paleoambiental del Pleistoceno tardío de América del Sur. En el centro dos tigres diente de sable (*S. populator*) alimentándose de un mastodonte, arribando a la escena un oso de rostro corto (*A. tarijense*) y una jauría de *P. troglodytes*. Observando la escena un jaguar (*P. onca*; en el ángulo inferior derecho), un hurón (*G. vitatta*, ángulo inferior izquierdo) y descendiendo por el tronco de un árbol un coatí (*N. nasua*). Más lejos (sobre el ángulo superior izquierdo) un zorro (*D. gymnocercus*).

**Fig. 6.** Paleoenvironmental reconstruction of late Pleistocene of South America. In the center two saber tooth cats (*S. populator*), arriving to the scene a short-faced bear (*A. tarijense*) and a group of *P. troglodytes*. Watching the scene a jaguar (*P. onca*; in the lower right angle), a ferret (*G. vitatta*, lower left angle) and descending from a tree a "coati" (*N. nasua*). Far away (on the upper left angle) a fox (*D. gymnocercus*).

tarios sudamericanos no apoyan la hipótesis del desplazamiento de los grandes marsupiales carnívoros del Mioceno/Plioceno (*Sparassodonta*) y son más coherentes con la hipótesis de un reemplazo ecológico (Goin, 1889; Berman, 1994; Goin y Pardiñas, 1996).

## Agradecimientos

A CONICET y CIC-PBA por el apoyo económico recibido. A Lucas Pomi por los comentarios y correcciones. Esta es una contribución a los proyectos UNLP N-336, UNLP N-441, and PICT 8395.

## Bibliografía

- Akersten W. 1985. Canine function in *Smilodon* (*Mammalia, Felidae, Machairodontinae*). *Los Angeles County Museum Contributions in Science*, 356: 1-22.
- Ameghino, F. 1889. Contribución al conocimiento de los mamíferos fósiles de la República Argentina. *Actas de la Academia Nacional de Ciencias en Córdoba*, 6: 1-1027 y Atlas: 98 pls.
- Barnett, R., Barnes, I., Phillips, M.J., Martin, L.D., Harington, C.R., Leonard, J.A. y Cooper, A. 2005. Evolution of the extinct Sabretooths and the American cheetah-like cat. *Current Biology*, 15(15): R589-R590.
- Baskin, J.A. 1998a. Procyonidae. In: Janis, C.M., Scott, K.M. y Jacobs, L.L., (eds.). *Evolution*

- of Tertiary mammals of North America. Volumen 1: terrestrial carnivores, ungulates and ungulatelike mammals: 144-151. Ed. Cambridge University Press, Cambridge.*
- Baskin, J.A. 1998b. Mustelidae. In: Janis, C.M., Scott, K.M. y Jacobs, L.L., (eds.). *Evolution of Tertiary mammals of North America. Volumen 1: terrestrial carnivores, ungulates and ungulatelike mammals: 152-173. Ed. Cambridge University Press, Cambridge.*
- Baskin, J.A. 2004. *Bassariscus* and *Probassariscus* (Mammalia, Carnivora, Procyonidae) from the Early Barstovian (Middle Miocene). *Journal of Vertebrate Paleontology*, 24(3):709-720.
- Berman, W.D. 1989. Notas sobre la sistemática y paleobiogeografía del grupo *Cyonasua* (Carnivora, Procyonidae) de la Argentina. Actas de las VI Jornadas Argentinas de Paleontología Vertebrados: 17-18.
- Berman, W.D. 1994. Los carnívoros continentales (Mammalia, Carnivora) del Cenozoico en la provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata (Inédito).
- Berman, W.D. y Tonni, E.P. 1987. *Canis (Dusicyon) avus* Burmeister, 1864 (Carnivora, Canidae) en el Pleistoceno tardío y Holoceno de la Provincia de Buenos Aires. Aspectos sistemáticos y bioestratigráficos relacionados. *Ameghiniana*, 24 (3-4): 245-250.
- Berta, A. 1983. A new species of small cat (Felidae) from the late Pliocene-early Pliocene (Uquian) of Argentina. *Journal of Mammalogy*, 64(4): 720-729.
- Berta, A. 1985. *The status of Smilodon in North and South American. Contributions to Science, Natural History Museum of Los Angeles County*, 379: 1-15.
- Berta, A. 1987. Origin, diversification, and zoogeography of the South American Canidae. *Fieldiana Zoology* (n.s.), 39: 455-471.
- Berta, A. 1984. The Pleistocene bus dog *Speothos pacivorus* (Canidae) from the Lagoa Santa caves, Brazil. *Journal of Mammalogy*, 65(4): 549-559.
- Berta, A. 1988. Quaternary Evolution and Biogeography of the Large South American Canidae (Mammalia: Carnivora). *Univ. California Publ. Geol. Sciences*, 132 1-149.
- Berta, A. y Marshall, L.G. 1978. South American Carnivora, i-viii, 1-48, pars 125. In: F. Westphal (ed.), *Fossilium catalogus, I: Animalia* (125): ix + 1-48. Ed. The Hague (Dr. W. Junk), Boston/London.
- Biknevicius, A.R. y Van Valkenburgh, B. 1996. Design for killing: craniodental adaptations of predators. In: J.L. Gittleman (ed.). *Carnivore Behavior, Ecology, and Evolution, Vol. :393-4282. Ed. Cornell University Press, Ithaca, New York.*
- Bond, M. 1986. Los carnívoros terrestres fósiles de Argentina: Resumen de su historia. *Actas del IV Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía*, 2: 167-171.
- Borrero, L.A. 1997. The extinction of the megafauna: a supra-regional approach. *Anthropozoologica*, 25/26: 209-216.
- Bryant, H.N., Russell, A.P. y Fitch, W.D. 1993. Phylogenetic relationship within the extant Mustelidae (Carnivora): appraisal of the cladistic status of the Simpsonian subfamilies. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 108: 301-334.
- Cabrera, A. 1933. Los yaguares vivientes y extinguidos de la América austral. *Notas Preliminares del Museo de La Plata*, 2: 9-39.
- Canto, H.J. 1991. Posible presencia de una variedad de *Smilodon* en el Pleistoceno tardío de Magallanes. *Anales del Instituto de la Patagonia, Serie Ciencias Sociales*, 20: 96-99.
- Carlini, A.A. Tonni, E.P. y Noriega, J.I. 2002. El primer registro paleontológico del lutrino gigante *Pteronura* (Carnivora, Mustelidae) en la Argentina. Su importancia paleobiogeográfica.. *1º Congreso Latinoamericano de Paleontología de Vertebrados*, Resúmenes: 25-26.
- Cartelle, C. 1999. Pleistocene Mammals of the Cerrado and Caatinga of Brazil. In: Eisenberg, J.F., Redford, K.H. (eds.). *Mammals of the Neotropics. The Central Neotropics. Volumen 3: 27-46. Ed. The*



- University of Chicago Press, Chicago and London.
- Cartelle, C. y Langguth, A. 1999. *Procyon troglodytes* (Lund): Um Canídeo Intertropical Extinto. *An. Acad. Bras. Ci.*, 71(3-1): 371-384.
- Cione, A.L. y Tonni, E.P. 1995. Bioestratigrafía y cronología del Cenozoico superior de la región pampeana. In: Alberdi, M. T., G. Leone y E. P. Tonni (eds.). *Evolución biológica y climática de la región pampeana durante los últimos cinco millones de años. Un ensayo de correlación con el Mediterráneo occidental*: 47-74. Ed. Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, Monografías 14, Madrid.
- Cione, A.L. y Tonni, E.P. 1999. Biostratigraphy and chronological scale of uppermost Cenozoic in the Pampean Area, Argentina. In: Rabassa, J. y Salemme, M. (eds.), *Quaternary vertebrate paleontology in South America*: 23-51. Ed. Quaternary of South America and Antarctic Península, 12.
- Cione, A.L., Tonni, E.P. y Soibelzon, L. 2003. The broken Zig-Zag: Late Cenozoic large mammal and turtle extinction in South America. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia"*, 5(1): 1-19.
- Cione, A.L. y Tonni, E.P. 2005. Bioestratigrafía basada en mamíferos del Cenozoico Superior de la Provincia de Buenos Aires. In: Barrio, R.E., Etcheverry, R.O., Caballé, M.F. y Llambías, E.J. (Eds.) *Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata. Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires*: 184-200.
- Coates, A.G. y Obando, J.A. 1996. The Geologic Evolution of the Central American Isthmus. In: Jackson, J. B. C. Budd, A. F. y Coates, A. G. (eds.). *Evolution and Environment in Tropical America*: 21-56. Ed. The Univ. Chicago Press, Chicago and London.
- Dragoo, J.W. y Honeucutt, R.J. 1997. Systematics of mustelid-like carnivores. *Journal of Mammalogy*, 78 (2): 426-443.
- Dundas R.G. 1999. Quaternary records of the dire wolf, *Canis dirus*, in North and South America. *Boreas*, 28: 375-385.
- Eisenberg, J.F. y Redford, K.H. 1999. *Mammals of the neotropics 3. The central neotropics*. University of Chicago Press, Illinois, 609 pp.
- Ferigolo, J. y Berman, W.D. 1993. Dental paleopatología and Paleodiet of *Arctotherium bonariensis* (Mammalia, Carnivora, Ursidae) from the Ensenadan (Lower to Middle Pleistocene), Buenos Aires Province, Argentina. *Boletim de Resumos, 13 Congresso Brasileiro de Paleontologia*, Sao Leopoldo.
- Forasiepi, A.M. 2003. Nuevo registro de *Conepatus primaevus* (Mammalia, Carnivora, Mustelidae) del Pleistoceno de la Provincia de Buenos Aires. *Rev. Mus. Argentino Cienc. Nat.*, n.s., 5 (1): 21-29.
- Ginsberg, J. y MacDonald, D. 1990. *Foxes, Wolves, Jackals, and Dogs. An Action Plan for the Conservation of Canids*. IUCN/SSC Canid Specialist Group - IUCN/SSC Wolf Specialist Group. 320 pp.
- Goin, F.J. 1989. Late Cenozoic South American marsupial and placentar carnivores: changes in predator-prey evolution. *Abstracts of Papers and Posters of the 5° International Theriological Congress*, 1: 271-272.
- Goin, F.J. y Pardiñas, U.F.J. 1996. Revisión de las especies del Género *Hyperdidelphys* Ameghino, 1904 (Mammalia, Didelphidae). Su significación filogenética, estratigráfica y adaptativa en el Neógeno del Cono Sur Sudamericano. *Estudios Geológicos*, 52: 327-359.
- Hadler, P., Prevosti, F. J., Ferigolo, J. y Ribeiro, A. 2004. Novos materiais de Carnívora para o Pleistoceno do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 7(1): 77-86.
- Hoffstetter, R. 1952. Les mammifères pléistocènes de la République de l'Equateur. *Soc. Géol. de France, Mém.* (n.s.), 31(66): 1-391.
- Hoffstetter, R. 1963. La faune Pleistocène de Tarija (Bolivie), note préliminaire. *Bulletin Muséum National d' Histoire Naturelle*, 35(2): 194-203.
- Iriarte, J.A., Franklin, W.L., Johnson, W.E. y Redford, K.H. 1990. Biogeographic variation of food habits and body size of the American puma. *Oecologia*, 85: 185-190.



- Kitchener, A. 1991. *The natural history of the wild cats*. Comstock Publishing Associates, New York, 280 pp.
- Kraglievich, J.L. y Olazabal, A.G. 1959. Los prociónidos extinguidos del género *Chapalmalania* Ameghino. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales*, (Ciencias zoológicas), 6(1): 1-59.
- Kraglievich, L. 1928. Contribución al conocimiento de los grandes cánidos extinguidos de Sud América. *Anales de la Sociedad Científica Argentina*, (106): 25-66.
- Kraglievich, L. 1930. Craneometría y clasificación de los cánidos sudamericanos, especialmente los argentinos actuales y fósiles. *Physis* (10): 35-73.
- Kurtén, B. y Werdelin, L. 1990. Relationships between North and South American *Smilodon*. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 10 (2): 158-169.
- Lemon, R.R.H. y Churcher, C.S. 1961. Pleistocene geology and paleontology of the Talara region, northwest Peru. *American Journal of Science*, 259: 410-429.
- MacFadden, B.J. 2000. Middle Pleistocene climate change recorded in fossil mammal teeth from Tarija, Bolivia, and upper limit of the Ensenadan Land-Mammal Age. *Quaternary Research*, 54: 121-131.
- Marshall, L.G. 1978. Evolution of the Borhyaenidae, extinct South American predaceous marsupials. University of California Publications in Geological Sciences, 117: 1-89.
- Marshall, L.G., Berta, A., Hoffstetter, R., Pascual, R., Reig, O. A., Bombin, M. y Mones, A. 1984. Mammals and Stratigraphy: Geochronology of the Continental Mammal-bearing Quaternary of South America. *Paleovertebrata, Mém. Extraordinaire*: 1-76.
- Marshall, L.G., Webb, S D., Sepkoski, J. J. (h.) y Raup, D. M.. 1982. Mammalian Evolution and the Great American Interchange. *Science*, 215 (4538):1351-1357.
- McDonald, H.G. y de Muizon, C. 2002. The cranial anatomy of *Thalassocnus* (Xenarthra, Mammalia), a derived nothrothere from the Neogene of the Pisco Formation (Peru). *Journal of Vertebrate Paleontology*, 22 (2): 349-365.
- Medel, R.G. y Jaksic, F.M.. 1988. Ecología de los cánidos sudamericanos: una revisión. *Revista Chilena de Historia Natural*, 61: 67-79.
- Mones, A. y Rinderknecht, A. 2004. The first South American Homotheriini (Mammalia: Carnivora: Felidae). *Comunicaciones Paleontológicas del Museo Nacional de Historia Natural y Antropología*, 35(2): 201-212.
- Noriega, J.I., Prevosti, F.J., García Esponda, C.M., Ferrero, B.S. y Kemer, R. 2003. Primer Registro de *Pseudalopex gymnocercus* (Carnivora: Canidae) en el Pleistoceno de Entre Ríos (Argentina). *Reunión Anual de Comunicaciones de la Asociación Paleontológica Argentina, Ameghiniana*, 40(4): 89R.
- Nowell, K. y Jackson, P. 1996. Wild Cats. *Status Survey and Conservation Action Plan*. IUCN/SSC, Gland, 382 pp.
- Ochsenius, C. 1980. Cuaternario en Venezuela. Introducción a la Paleocología en el Norte de Sudamérica. *Cuadernos Falconianos*, Ediciones UNEFM, Coro, 69 pp.
- Pardiñas, U. F. J., Gelfo J.N., San Cristóbal, J., Cione, A.L. y Tonni, E.P. 1996. Una tafocenosis de organismos marinos y continentales en el Pleistoceno superior en el sur de la provincia de Buenos Aires. *Actas del XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos* 5: 95-111.
- Pascual, R. 1958. *Lyncodon bosei* nueva especie del Ensenadense, un antecesor del huroncito patagónico. *Revista del Museo de La Plata*, (n. s., Paleontología), 4(20): 1-34.
- Paula Couto, C. de. 1970. Paleontología da regio de Lagoa Santa, Minas Gerais, Brasil. *Bol. Mus. Hist. Nat.*, 1: 1-21.
- Pecon Slattery, J., Johnson, W.E., Goldman, D. y O'Brien, S.J. 1994. Phylogenetic reconstruction of South American felids defined by protein electrophoresis. *Journal of Molecular Evolution*, 39, 296-305.
- Politis, G., Tonni, E.P. y Fidalgo, F. 1983. Cambios corológicos de algunos mamíferos

- en el Area Interserrana de la provincia de Buenos Aires durante el Holoceno. *Ameghiniana*, 20 (1-2): 72-80.
- Pomi, L.H. y Prevosti, F.J. 2005. Sobre el status sistemático de *Felis longifrons* Burmeister, 1866 (Carnivora: Felidae). *Ameghiniana*, 42(2): 489-494.
- Prevosti, F.J. 2001. The fossil record of *Canis* (Carnivora: Canidae) in South America. Comments on the systematic status of *Canis gezi*. *Canid Biology and Conservation Conference*, Abstracts 94.
- Prevosti, F.J., Bonomo, M. y Tonni, E.P. 2004a. La distribución de *Chrysocyon brachyurus* (Illiger, 1811) (Mammalia: Carnivora: Canidae) durante el Holoceno en la Argentina: implicancias paleoambientales. *Mastozoología Neotropical*, 11(1): 27-43.
- Prevosti, F.J., Dondas, A. y Isla, F.I. 2004b. La Importancia Bioestratigráfica de *Theriodictis* Mercerat, 1891 (Carnivora, Canidae), con descripción de un nuevo ejemplar de *Theriodictis platensis* Mercerat, 1891 del Pleistoceno de la Provincia de Buenos Aires (Argentina). *Ameghiniana*, 41(2): 245-250.
- Prevosti, F.J. y Palmqvist, P., 2001. Análisis ecomorfológico del cánido hipercarnívoro *Theriodictis platensis* (Mammalia, Carnivora) basado en un nuevo ejemplar del Pleistoceno de Sudamérica. *Ameghiniana* 38 (4) 375-384.
- Prevosti, F.J. y Pardiñas, U.F.J. 2001. Variaciones corológicas de *Lyncodon patagonicus* (Carnívora, Mustelidae) durante el Cuaternario. *Mastozoología Neotropical*, 8 (1): 21-39.
- Prevosti, F.J., Zurita, A. y Carlini, A.A. 2005. Biostratigraphy, systematics and palaeoecology of the species of *Procyon* Giebel, 1855 (Carnívora, Canidae) in South America. *Journal of South American Earth Science*, 20: 5-12.
- Quintana, C.A. 2001. Composición y cambios en la secuencia faunística. In: Mazzanti, D.L., Quintana, C.A. (eds). *Cueva Tixi: cazadores y recolectores de las sierras de Tandilia Oriental. I Geología, Paleontología y Zooarqueología*: 37-64. Publicación Especial del Laboratorio de Arqueología 1. Ed. Facultad de Humanidades, Universidad de Mar del Plata.
- Rancy, A. 1999. Fossil mammals of the Amazon as a portrait of a Pleistocene Environment. In: Eisenberg, J.F., Redford, K.H. (eds.). *Mammals of the Neotropics. The Central Neotropics. Volumen 3*: 20-26. Ed. The University of Chicago Press, Chicago and London.
- Redford, K.H. y Eisenberg, J.F. 1992. *Mammals of the neotropics, 2: The Southern Cone Chile, Argentina, Uruguay, Paraguay*. Ed. The University of Chicago Press, Chicago and London, 430 pp.
- Reig, O.A. 1952. Sobre la presencia de mustélidos mefitinos en la Formación Chapadmalal. *Revista del Museo Municipal de Ciencias Naturales de Mar del Plata*, 1 (1): 45-51.
- Reig, O.A. 1956. Note préliminaire sur un nouveau genre de mustélidés fossiles du Pléistocène de la République Argentine. *Mammalia*, 20: 223-229.
- Roth, S. 1904. Nuevos restos de mamíferos de la Caverna Eberhardt en Última Esperanza. *Revista del Museo de La Plata*, 11: 39-53.
- San Roman, M.B., Morello, F.R. y Prieto, A.I. 2000. Cueva de los Chingues (Parque Nacional Pali Aike), Magallanes, Chile. Historia natural y cultural I. *Anales del Instituto de la Patagonia Serie Ciencias Historicas*, 28: 125-146.
- Seymour, K. 1993. Size change in North American Quaternary jaguars. In: Martin, R. A. y Barnosky A. D. (eds). *Morphological change in Quaternary mammals of North America*: 343-372. Cambridge University Press, Cambridge.
- Seymour, K.L. 1999. *Taxonomy, morphology, paleontology and phylogeny of the South American small cats (Mammalia: Felidae)*. Ph. D. thesis, University of Toronto, Toronto, unpublished, 985 pp.
- Soibelzon, L.H. 2002. *Los Ursidae (Carnívora, Fissipedia) fósiles de la República Argentina. Aspectos Sistemáticos y Paleocológicos*. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de La Plata. Inédito. 239 pp., 42 Figs., 16 Tablas.

- Soibelzon, L.H. 2004. Revisión sistemática de los Tremarctinae (Carnivora, Ursidae) fósiles de América del Sur. *Revista Museo Argentino de Ciencias Naturales*, 6(1): 107-133.
- Soibelzon, L.H., Tonni, E.P. y Bond, M. 2005. The fossil record of the South American Short-faced bears (Ursidae, Tremarctinae). *Journal of South America Earth Sciences* 20: 105-113.
- Soibelzon, L.H. 2004. Revisión sistemática de los Tremarctinae (Carnivora, Ursidae) fósiles de América del Sur. *Revista Museo Argentino de Ciencias Naturales* 6(1): 107-133.
- Tedford, R., Taylor, B.E. y Wang, X. 1995. Phylogeny of the Caninae (Carnivore: Canidae): the living taxa. *American Museum Novitates*, 3146: 1-37.
- Tonni, E.P. y Cione, A.L. 1999. Biostratigraphy and chronological scale of upper-most Cenozoic in the Pampean Area, Argentina. In: Tonni, E. P. y Cione, A. L. (eds.) *Quaternary Vertebrate Paleontology in South America*: 23-51. Quaternary of South America and Antarctic Peninsula 12.
- Tonni, E.P., Nabel, P., Cione, A.L., Etchichury, M., Tofalo, R., Scillato-Yané, G., San Cristóbal, J., Carlini, A.A. y Vargas, D. 1999. The Ensenada and Buenos Aires formations (Pleistocene) in a quarry near La Plata, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 12: 273-291.
- Torres, R.V. y Ferrusquia, V. 1981. *Cerdocyon* sp. nov. a (Mammalia, Carnivora) en México y su significación evolutiva y zoogeográfica en relación a los cánidos sudamericanos. Anonymous. *Anais II Congreso Latino-Americano de Paleontología, Porto Alegre*, 2: 709-719.
- Trejo, V. y Jackson, D. 1998. Cánidos patagónicos: identificación taxonómica de mandíbulas y molares del sitio arqueológico Cueva Baño Nuevo 1. *Anales del Instituto de la Patagonia, Serie Cs. Humanas*, 26: 181-194.
- Ubilla, M. y Perea, D. 1999. Quaternary vertebrates of Uruguay: A biostratigraphic, biogeographic and climatic overview. In: Tonni, E. P. y Cione, A. L. (eds.). *Quaternary Vertebrate Paleontology in South America*: 75-90. Quaternary of South America and Antarctic Peninsula 12.
- Van Valkenburgh, B. 1991. Iterative evolution of hypercarnivory in canids (Mammalia: Carnivore): evolutionary interactions among sympatric predators. *Paleobiology*, 17(4), 340-362.
- Verzi, D., Deschamps, C. y Tonni, E.P. 2004. Biostratigraphic and palaeoclimatic meaning of the middle Pleistocene South American rodent *Ctenomys kraglievichi* (Caviomorpha, Octodontidae). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 212: 315-329.
- Wayne, R.K., Geffen, E., Girman, D.J., Koepfli, K.P., Lau, L.M. y Marshall, C.R. 1997. Molecular systematics of the Canidae. *Systematic Biology*, 46(4): 622-653.
- Webb, S. D. 1985. Late Cenozoic mammal dispersals between the Americas. In: Stheli, F. G. y Webb, S. D. (eds.). *The Great American Biotic Interchange*: 357-386. Ed. Plenum Press, NY.
- Werdelin, L. 1991. Pleistocene vertebrates from Tarija, Bolivia in the collections of the Swedish Museum of Natural History. In: Suarez-Soruco R. (Ed.) *Fósiles y Fascies de Bolivia*, 1- Vertebrados: 12(3-4): 273-284. *Revista Técnica de YPFB*.
- Werdelin, L. 1996. Carnivoran Ecomorphology: A Phylogenetic Perspective. In: Gittleman, J. L. (ed.). *Carnivore Behavior, Ecology, and Evolution*. Volume 2: 582-624. Ed. Cornell University Press, Ithaca and London.
- Winge, H. 1895. Jordfunde og nulevende Rovdyr (Carnivora) fra Lagoa Santa, Minas Geraes, Brasilien. *E. Museo Lundii*, 2(4): 1-103.

# La avifauna del Cuaternario de Argentina: inferencias paleoambientales a partir del registro de los Psittacidae

Claudia P. TAMBUSSI, Carolina I. ACOSTA HOSPITALECHE y Nathalie HORLENT

## SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA  
NATURAL DE LES BALEARS

Tambussi, C.P., Acosta Hospitaleche, C.I. y Horlent, N. 2007. La avifauna del Cuaternario de Argentina: inferencias paleoambientales a partir del registro de los Psittacidae. In: Pons, G.X. i Vicens, D. (Edit.). Geomorfologia Litoral i Quaternari. Homenatge a Joan Cuerda Barceló. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 14: 69-80. ISBN 84-96376-13-3. Palma de Mallorca.

El registro de vertebrados del Cuaternario, en especial el del Pleistoceno medio y tardío-Holoceno de la Región Pampeana, es el mejor conocido de América del Sur tanto desde el punto de vista bioestratigráfico como de edades radimétricas. Su estudio ha permitido elucidar múltiples aspectos de la evolución y conformación de la biota sudamericana. Las aves que han sido encontradas en sedimentos cuaternarios (37 especies pertenecientes a 18 familias, de las cuales cinco: Rheidae, Tinamidae, Vulturidae, Anatidae y Psittacidae, poseen especies que han sufrido cambios corológicos durante el cuaternario) revelan que muchas características diagnósticas de la avifauna moderna estaban ya presentes desde aquellos momentos. Excepto tres, todas las especies registradas durante el Pleistoceno son vivientes. Las aves constituyen un grupo sensible a los cambios climáticos y permiten realizar inferencias paleoambientales confiables. En este trabajo se analizan las posibles variables que condicionan la distribución de *Cyanoliseus patagonus*, una de las neoespecies registradas en el Cuaternario, aportando nuevos datos confiables que contribuyen a la explicación de la evolución climático-ambiental cuaternaria de la Región Pampeana. El análisis de las variables (temperatura, precipitación e índices hídricos) sugiere que durante el Pleistoceno tardío y comienzos del Holoceno, el sudeste de la Región Pampeana habría tenido un clima más árido que el actual.

**Palabras claves:** Aves, Psittacidae, Cuaternario, Argentina, paleoambientales.

QUATERNARY AVIFAUNA FROM ARGENTINA: PALAEOENVIRONMENTAL INFERENCE BASED ON THE PSITTACIDAE. Quaternary vertebrate record of South America, especially that of the Middle to Late Pleistocene and Holocene from the Pampean Region, is well known, since both biostratigraphic and radiometric dating points of view. Its study has allowed to know multiple aspects of the evolution and conformation of the southamerican biota. Fossil birds found in quaternary beds (37 species belonging to 18 families, five of which: Rheidae, Tinamidae, Vulturidae, Anatidae and Psittacidae, having species that show chorological changes during the Quaternary) reveal that several diagnostic features of the modern avifauna were already present since those moments. Except three, all the pleistocene species are living. Birds constitute a climatic sensitive group that allows reliable palaeoenvironmental inferences. Based on the analysis of climatic-environmental variables (particularly annual precipitations, temperatures and hydric indices), the possible palaeoenvironmental inferences derived from the *Cyanoliseus patagonus* fossil record (Psittaciformes) are restricted. Our results suggest more arid conditions than the present ones during the late Pleistocene-Holocene at the southeastern of the Pampean region.

**Keywords:** Aves, Psittacidae, Quaternary, Argentina, palaeoenvironments.

L'AVIFAUNA DEL QUATERNARI D'ARGENTINA: INFERÈNCIES PALEOAMBIENTALS A PARTIR DEL REGISTRE DELS PSITTACIDAE. El registre de vertebrats del Quaternari, en especial el del Pleistocè mig i superior-Holocè de la Regió Pampeana, és el millor conegut d'Amèrica del Sud tant des del punt de vista bioestratigràfic com d'edats radimètriques. El seu estudi ha permès elucidar múltiples aspectes de l'evolució i conformació de la biota sudamericana. Els aucells que han estat trobades en sediments quaternaris (37 espècies pertanyents a 18 famílies, de les quals cinc: Rheidae, Tinamidae, Vulturidae, Anatidae i Psittacidae, compten amb espècies que han sofert canvis corològics durant el Quaternari) revelen que moltes característiques diagnòstiques de l'avifauna moderna estaven ja presents des d'aquells moments. Excepte tres, totes les espècies registrades durant el Pleistocè són actuals. Les aus constitueixen un grup sensible als canvis climàtics i permeten realitzar inferències paleoambientals fiables. En aquest treball s'analitzen les possibles variables que condicionen la distribució de *Cyanoliseus patagonus*, una de les neoespècies registrades en el Quaternari, aportant noves dades fiables que contribueixen a l'explicació de l'evolució climàtica-ambiental quaternària de la Regió Pampeana. L'anàlisi de les variables (temperatura, precipitació i índexs hídrics) suggereix que durant el Pleistocè superior i els inicis de l'Holocè, el sud-est de la Regió Pampeana hauria tingut un clima més àrid que l'actual.

**Paraules clau:** Aucells, Psittacidae, Quaternari, Argentina, paleoambientals.

Claudia P. TAMBUSSI y Carolina I. ACOSTA HOSPITALECHE, Divisió Paleontologia Vertebrats, Museo de La Plata, Paseo del Bosque s/nro, 1900 La Plata, Argentina. CONICET. tambussi@museo.fcnym.unlp.edu.ar; y CIC.

acostacar@museo.fcnym.unlp.edu.ar; Nathalie HORLENT, INA, Instituto Nacional de Aguas nhorlent@ina.gov.ar

## Introducció

El Pleistoceno que comienza hace aproximadamente dos millones de años, fue un período marcado por fuertes oscilaciones climáticas. Episodios de calentamiento alternando con episodios de enfriamiento extremo (glaciaciones), influenciaron profundamente en la distribución de la biota (Avice y Walker, 1998; Webb y Bartlein, 1992). Se acepta convencionalmente que en estos escenarios, se habrían producido procesos de especiación alopatrica a partir de poblaciones ancestrales separadas en diferentes refugios durante los episodios glaciares (Avice y Walker, 1998; Hewitt, 1996). Más recientemente ha comenzado a gestarse una idea alternativa, que restringe la acción de las glaciaciones pleistocénicas a barreras ecológicas efectivas de distribución de espe-

cies resultado de procesos de especiación previos (Klicka y Zink, 1997).

Gran parte de la discusión de estos modelos se ha basado en la distribución actual de las aves y con un cuestionamiento básico, el de cuál habrá sido el rol real de los cambios climáticos del Pleistoceno en la conformación de la arquitectura filogeográfica de las aves actuales. Más en particular: ¿cuál es el impacto que los cambios climáticos del Pleistoceno produjeron en América del Sur? Más allá de lo fascinante que pueda resultar abordar estos cuestionamientos, la discusión de los mismos escapa sustancialmente de los objetivos que nos hemos planteado para este trabajo. Sin embargo pretendemos, desde una perspectiva paleontológica, brindar algunas herramientas que permitan la reconstrucción de ciertos escenarios pleistocénicos en los cuales estos procesos

evolutivos tuvieron lugar. Más en particular, aspiramos a evaluar la información que pueda extraerse del registro de aves fósiles y su contribución a la reconstrucción e interpretación paleoambiental.

El valor de las aves como indicadores ambientales en el actual territorio de la Argentina, está siendo reconsiderado más fuertemente desde no hace muchos años (véase Tambussi y Noriega, 1996; Tambussi et al., 1993; Tonni y Tambussi, 1986). Sin embargo, constituyen un grupo sensible a los cambios climáticos y permiten realizar inferencias paleoambientales confiables (Tambussi y Acosta Hospitaleche, 2002).

El registro fósil de vertebrados del Cuaternario, en especial el del Pleistoceno Medio y Tardío-Holoceno de la Región Pampeana (la llanura ubicada en el centro-este de la Argentina) es indiscutiblemente el mejor conocido de América del Sur tanto desde el punto de vista bioestratigráfico como de edades radimétricas (Cione et al., 2003). Su estudio ha permitido elucidar múltiples aspectos de la evolución y conformación de la biota sudamericana. En particular, es indudable que el registro fósil indica que todos los órdenes de aves vivientes estaban presentes en la Región Pampeana ya desde el inicio del Terciario y que todas las familias que habitan hoy esta área, lo estaban desde el Mioceno, hace al menos 20 millones de años (Tambussi et al., 1993).

Especialmente desde los ochenta, la descripción y revisión de las aves fósiles del Cenozoico ha provisto de una considerable cantidad de información acerca del origen y distribución de muchos de los órdenes y familias vivientes. El gran número de aves que han sido encontradas en sedimentos cuaternarios, y en particular en el actual territorio de la provincia de Buenos Aires, revela que muchas características diagnósti-

cas de la avifauna moderna estaban ya presentes desde aquellos momentos.

Actualmente, el 53% de las aves que se distribuyen en esta área, corresponde a aves no-Passeriformes (datos calculados a partir de Narosky y Di Giacomo, 1993). Por otra parte, los Passeriformes constituyen el orden de aves más abundante y mayormente distribuido (aproximadamente el 60% de las aves de todo el mundo y el 46,68 % de las aves registradas en la provincia de Buenos Aires).

La avifauna del Cuaternario de la Región Pampeana (Tabla 1) incluye aves diversas, en su mayoría no-Passeriformes, correspondientes tanto a zonas áridas como a subtropicales. En contraste con lo que sucede actualmente, los Passeriformes no parecen haber sido componentes tan importantes de la avifauna del cuaternario pampeano. A partir de esto, pueden suponerse una ocupación diferencial de nichos entre el Pleistoceno y Reciente, esto es, los nichos ocupados hoy por los Passeriformes podrían haberlo estado por otras aves o más posiblemente, que esto sea producto de un sesgo del registro. En la Fig. 1 se muestran las localidades fosilíferas clásicas de esta área y de las cuales se han exhumado 37 especies diferentes, pertenecientes a 18 familias distintas, de las cuales cinco (*Rheidae*, *Tinamidae*, *Vulturidae*, *Anatidae* y *Psittacidae*) poseen especies que han sufrido cambios corológicos durante el cuaternario. Exceptuando tres casos (*Nothura paludosa*, *Cyanoliseus ensenadensis* y una nueva especie actualmente en estudio asignada a *Cyanoliseus*), todas las especies registradas durante el Pleistoceno son vivientes.

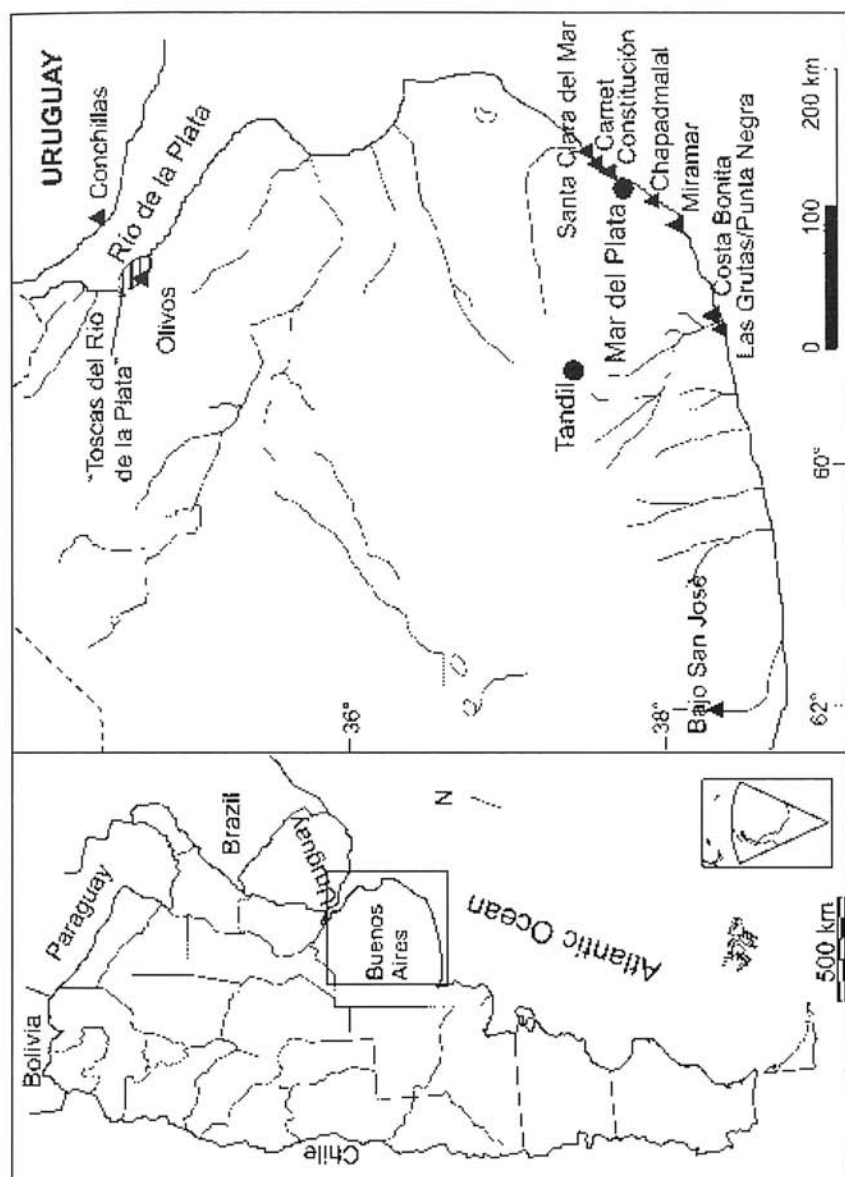
Como es sabido, la distribución geográfica de las especies está condicionada por la acción de dos factores fundamentales: los históricos, responsables de la constitución del conjunto biogeográfico de especies a



<b>Taxa</b>	<b>Procedencia</b>	<b>Antigüedad</b>
<b>Rheiformes</b>		
<i>Rhea</i> sp.	Sauce Grande, Formación Agua Blanca	Pleistoceno tardío
<i>Rhea fossilis</i>	Olivera, "Pampeano"	Pleistoceno tardío
<i>Rhea anchorenensis</i>	Estación Anchorena, Formación Ensenada	Pleistoceno medio-temprano
<i>Rhea americana</i>	Sitios arqueológicos	Pleistoceno tardío- Holoceno
<i>Pterocnemia pennata</i>	Paso Otero, Formación Luján	Pleistoceno tardío- Holoceno
<b>Tinamiformes</b>		
<i>Eudromia elegans</i>	Sitios arqueológicos	Pleistoceno tardío- Holoceno
<i>Nothura paludosa</i>	Arrecifes, "Formación Buenos Aires"	Pleistoceno tardío
<i>Nothura maculosa</i>	Centinela del Mar, Formación La Postrera	Pleistoceno tardío a Holoceno.
<i>Nothura darwini</i>	Paso Otero, Formación Luján	Pleistoceno tardío
<b>Pelecaniformes</b>		
<i>Phalacrocorax olivaceus</i>	Luján, Formación Luján	Pleistoceno tardío
<i>Phalacrocorax pampeanus</i>	Luján, Formación Luján	Pleistoceno tardío
<b>Ciconiiformes</b>		
<i>Euxemura</i> sp.	Monte Hermoso	Pleistoceno tardío
<i>Vultur</i> sp.	Monte Hermoso	Pleistoceno tardío
<i>Geronogyps reliquus</i>	Arroyo Chasicó	Pleistoceno
<b>Charadriiformes</b>		
<i>Phoenicopterychium rector</i>	Pehuén-có	Pleistoceno tardío
<i>Charadrius</i> sp.	Paso Otero, Formación Luján	Pleistoceno tardío
<i>Pseudosterna degenei</i>	Buenos Aires, Formación Luján	Pleistoceno tardío
<i>Pseudosterna pampeana</i>	Buenos Aires, "Formación Buenos Aires"	Pleistoceno tardío
<b>Anseriformes</b>		
<i>Chloephaga picta</i>	Sauce Grande, Formación Agua Blanca	Pleistoceno tardío
<i>Neochen debilis</i>	La Plata, "Pampeano"	Pleistoceno tardío
<i>Anas</i> indet.	Necochea	Pleistoceno temprano- medio
<i>Calloneta leucophrys</i>	Centinela del Mar, "Formación Miramar"	Pleistoceno medio
<b>Ralliformes</b>		
<i>Euryonotus brachipterus</i>	Arrecifes, "Formación Buenos Aires"	Pleistoceno tardío
<i>Euryonotus argentinus</i>	Arrecifes, "Formación Buenos Aires"	Pleistoceno tardío
<i>Fulica</i> sp.	Buenos Aires	Pleistoceno tardío
<i>Fulica leucoptera</i>	Paso de Otero, Formación Luján	Pleistoceno tardío
<b>Psittaciformes</b>		
<i>Cyanoliseus ensenadensis</i>	Olivos, Formación Ensenada	Pleistoceno temprano- medio
<i>Cyanoliseus patagonus</i>	Paso Otero, Formación Luján	Pleistoceno tardío
<i>Cyanoliseus</i> nov. sp.	Punta Hermengo, "Formación Miramar"	Pleistoceno medio
<b>Accipitriformes</b>		
<i>Lagopterus minutus</i>	Formación Buenos Aires	Pleistoceno tardío
<b>Strigiformes</b>		
<i>Athene cunicularia</i>		Lujanense
<b>Piciformes</b>		
<i>Colaptes</i> sp. cf. <i>C. campestris</i>	Punta Hermengo, "Formación Miramar"	Pleistoceno medio
<b>Passeriformes</b>		
<i>Cinclodes major</i>	Mar del Plata, "Formación miramar"	Pleistoceno medio
<i>Pseudoseiuroopsis nehuen</i>	Punta Hermengo, "Formación Miramar"	Pleistoceno medio
<i>Junco robustus</i>	Punta Hermengo, "Formación Miramar"	Pleistoceno medio
<i>Sicalis</i> sp.	Formación Miramar	Pleistoceno medio

**Tabla 1.** Lista de la avifauna cuaternaria de la Región Pampeana indicando procedencia y antigüedad (modificado de Tambussi y Noriega, 1996)

**Table 1.** List of Pampean region birds from the Quaternary with their procedence and age (modified from Tambussi and Noriega, 1996)



**Fig. 1.** Localidades fosilíferas clásicas del Cenozoico tardío de la Región Pampeana. 1) Luján; 2) Chapadmalal; 3) Miramar y Punta Hermengo; 4) Pehuén-có; 5) Farola Monte Hermoso; 6) Irene; 7) Salinas Grandes de Hidalgo.  
**Fig. 1.** Major fossiliferous localities of the Late Cenozoic from the Pampean Region. 1) Luján; 2) Chapadmalal; 3) Miramar y Punta Hermengo; 4) Pehuén-có; 5) Farola Monte Hermoso; 6) Irene; 7) Salinas Grandes de Hidalgo.

partir de la cual se forman las comunidades locales (Ricklefs, 1987; Wiens, 1991; Cueto y López de Casenave, 1999) y los ecológicos entre los cuales el clima es relevante a niveles macrogeográficos (Myers y Giller, 1988).

A través del estudio de las posibles variables que condicionan la distribución de los representantes actuales de las neoespecies registradas, pueden obtenerse datos confiables que aporten a la explicación de la evolución climático-ambiental cuaternaria de la Región Pampeana. En base a estos lineamientos en trabajos previos se han analizado las posibles restricciones en las distribuciones de algunos Rheidae (Tambussi y

Acosta Hospitaleche, 2002), Tinamidae (Tambussi y Acosta Hospitaleche, 2001), Anatidae y Cariamidae (Acosta Hospitaleche *et al.*, 2002; Tambussi *et al.*, ms). Una de las finalidades de este trabajo es intentar establecer los límites de las inferencias paleoambientales/ paleoclimáticas posibles a partir del registro fósil de neoespecies de Psittaciformes y ensayar su aplicación en el pasado.

Los Psittacidae constituyen un grupo de aves de hábitos trepadores y arborícolas actualmente muy bien representado en la Región Neotropical. En América de Sur, se registran desde el Pleistoceno inferior-medio (Ensenadense) de la Argentina. Re-

Taxon	Material	Procedencia	Observaciones
<i>Cyanoliseus patagonus</i> (Vicillot, 1817)	MLP 81-VII-20-21, porción proximal de húmero derecho	Arroyo Chelforó, Formación Luján. Pleistoceno tardío	<i>Cyanoliseus</i> cf. <i>C. patagonus</i> (Tonni y Fidalgo, 1982; Tonni y Laza, 1983 y Tonni y Tambussi, 1986)
	MLP 86-III-10-1, tarsometatarso izquierdo incompleto	Centinela del Mar, Pleistoceno tardío	<i>Cyanoliseus</i> cf. <i>C. patagonus</i> (Tonni y Tambussi, 1986)
<i>Cyanoliseus ensenadensis</i> (Cattoi, 1957)	MLP 76-IV-14-4, cúbito	Arroyo Chelforó, Formación Luján. Pleistoceno tardío	<i>Cyanoliseus</i> cf. <i>C. patagonus</i> (Tonni y Tambussi, 1986)
	MACN 17716, húmero izquierdo	Puerto Olivos, Formación Ensenada, Pleistoceno temprano-medio	<i>Cyanoliseus ensenadensis</i> nov. comb. (Tonni, 1972)
<i>Cyanoliseus</i> sp.	MLP 76-IV-14-7, carpometacarpo izquierdo sin Os metacarpale III	Paso Otero, Formación Luján, Pleistoceno tardío	<i>Cyanoliseus</i> cf. <i>C. patagonus</i> (Tonni y Laza, 1983)
<i>Cyanoliseus</i> sp.	MLP 69-V-29-1, cúbito	Punta Hermengo, Pleistoceno tardío	Probable coespecífica con MLP 81-VII-20-21 (Tonni y Tambussi, 1986). Creemos que las diferencias marcadas en el tamaño merecen un nuevo análisis de los materiales.
<i>Cyanoliseus</i> nov. sp.	81-VII-20-20, húmero derecho	Punta Hermengo, Formación "Miramar", Pleistoceno medio	Psittacidae indet sp. 1 (Tonni y Fidalgo, 1982) y <i>Cyanoliseus</i> cf. <i>C. patagonus</i> (Tonni y Tambussi, 1986)
Psittacidae sp.	MLP 76-IV-14-2, cúbito derecho	Punta Hermengo, "Bonaerense", Pleistoceno tardío	Psittacidae indet. Sp. 2. (Tonni y Fidalgo, 1982). Las diferencias con las especies ya diagnosticadas son pronunciadas y el material requiere ser reexaminado.

**Tabla 2.** Lista de los Psittacidae registrados en el Cuaternario de la Región Pampeana empleados en este análisis.  
**Table 2.** List of the Quaternary Psittacidae from the Pampean Region, used in the present analysis.

gistros más modernos (Pleistoceno tardío) se conocen para Ecuador, Perú y Brasil (Brodkorb, 1971; Campbell, 1979). El registro paleontológico de la Argentina se encuentra restringido a la Región Pampeana, específicamente a la costa de la provincia de Buenos Aires. *Nandayus voro-huensis* Noriega y Tonni, 1996 del Plioceno tardío, es el Psittacidae más antiguo. Las restantes especies hasta ahora conocidas, han sido exhumadas en sedimentos del Pleistoceno y son asignables al género viviente *Cyanoliseus* Bonaparte, 1854. Entre ellas, dos especies son extinguidas (Tabla 2). La mayor parte de los materiales restantes estudiados para este trabajo, pueden ser asignados a la especie viviente *C. patagonus* (Vieillot, 1817).

*Cyanoliseus patagonus* conocido vulgarmente como loro barranquero (burrowing parakeet) es un loro neotropical muy peculiar, habitante de áreas abiertas arboladas o de sabana, desde el nivel del mar hasta los 2000 metros de altura en las provincias de Chubut por el centro hasta Salta, SE de Buenos Aires de la Argentina, centro de Chile y posiblemente Uruguay (Bucher y Rinaldi, 1986).

## Materiales y métodos

Los materiales consultados para este estudio (véase Tabla 2) pertenecen a las colecciones de la División Paleontología Vertebrados del Museo de La Plata (MLP) y del Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia" (MACN) de Buenos Aires.

Los datos sobre la distribución de *Cyanoliseus patagonus* fueron tomados de Bucher y Rinaldi (1986), mientras que los valores de precipitaciones fueron extraídos del Balance Hídrico de la República

Argentina (Moyano et al., 1994), y los de temperatura corresponden a los aportados por el Sistema Nacional de Información Hídrica (2001). Los dos últimos se refieren a la media anual para el período 1965-1982. Los índices hídricos son los propuestos por Thornthwaite (1948). Los mapas empleados en este análisis contienen información georeferenciada y fueron confeccionados empleando programas específicos (Camara et al., 1996).

### a) El análisis de las variables climáticas

Las primeras clasificaciones climáticas para la Argentina relacionaban parámetros climáticos con asociaciones vegetales obteniendo mapas descriptivos de las distribuciones de precipitaciones y de temperaturas (Burgos y Vidal, 1951). Posteriormente, diversos autores se han ocupado de este tema aunque sus resultados no fueron en esencia más que descripciones climáticas de regiones geográficas (Penck, 1910; De Martonne, 1926, 1941; Thornthwaite, 1930 en Burgos y Vidal, 1951).

Un avance en este sentido fue obtenido por Thornthwaite quien propone una nueva clasificación climática de la Argentina, basada en la evapotranspiración potencial, un parámetro que permite determinar el valor relativo de la precipitación (Thornthwaite, 1948). Esta ya clásica clasificación de Thornthwaite (1948) está basada en la distribución de la efectividad hídrica y térmica que son los elementos que inciden fundamentalmente en la distribución vegetal. Se calcula un índice hídrico que queda sujeto al libre juego del exceso y deficiencia de agua y cuyo valor es positivo para los climas húmedos y negativo para los áridos.

## Resultados y discusión

Los índices hídricos (Fig. 2) revelan que la distribución de *Cyanoliseus patagonus* se encuentra en parte condicionada por las curvas de índices negativos: las curvas de -20 limitan su distribución septentrional y las de -40 el límite oeste. Esto estaría indicando una restricción en la distribución a climas de tipo semiáridos. En cuanto a las demás variables climáticas contempladas, el límite norte de su distribución estaría marcado por valores de precipitaciones de entre

los 100 y los 500 mm (Fig. 3) y por curvas de temperatura no mayores a los 20° C (Fig. 4). Hacia el oeste en cambio, el área de influencia de *Cyanoliseus patagonus* se extiende hacia zonas caracterizadas por un clima de tipo semiárido con precipitaciones no mayores a los 800 mm y temperaturas no menores a los 7° C.

En la zona central de la Argentina, *C. patagonus* ocupa áreas con índices de entre los -20 y -40, coincidente con temperaturas medias anuales que varían entre los 12 y los 18° C y con precipitaciones que se encuen-



Fig. 2. Mapa de la Argentina donde se indican los índices hídricos (modificado de Thornthwaite, 1948). En sombreado, la distribución actual de *Cyanoliseus patagonus*.

Fig. 2. Hydric indices map of Argentina (modified from Thornthwaite, 1948). Shaded area: distribution of *Cyanoliseus patagonus*.

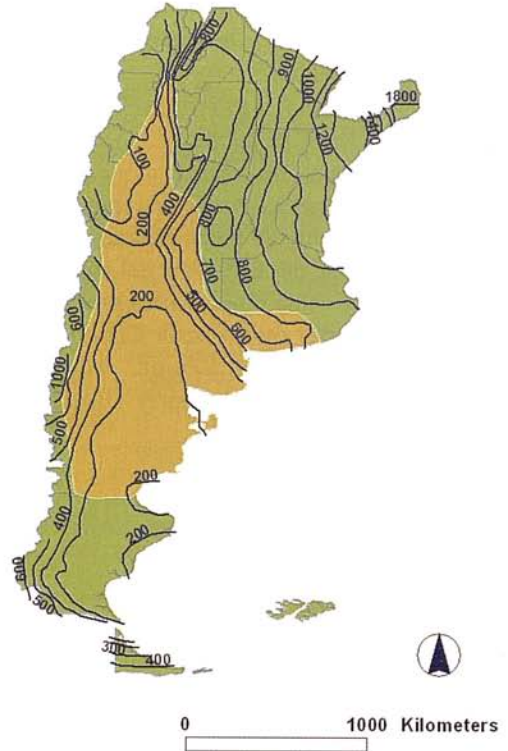


Fig. 3. Mapa de la Argentina indicando las precipitaciones medias anuales en milímetros. En sombreado, la distribución actual de *Cyanoliseus patagonus*.

Fig. 3. Map of Argentina where the annual average precipitations in millimeters are indicated. Shaded area: distribution of *Cyanoliseus patagonus*.



tran en el orden de los 200 a los 600 mm. Se extiende hacia el este, ocupando el sector sur de la provincia de Buenos Aires en donde alcanza un índice hídrico de 0 a -20 y que define un clima de tipo subhúmedo seco. Esta sección de su distribución con precipitaciones que ascienden a un poco más de 800 mm, constituye la zona más húmeda en la cual es posible encontrar a esta especie. Sin embargo, es de destacar que este sector constituye el área en la cual sus reportes han sido más escasos (Narosky y Di Giacomo, 1993).

Hacia el sur, en cambio, las restricciones impuestas a la distribución por parte de los índices hídricos no resultan claras. Por el contrario, el factor temperatura parece ser determinante puesto que *C. patagonus* no se encuentra en zonas de temperaturas menores a los 8-9° C.

El área de distribución de *Cyanoliseus* abarca varias de las provincias fitogeográficas establecidas por Cabrera (1994) para la Argentina: parte de las provincias puneña, altoandina, de la prepuna, de las yungas, del monte, chaqueña, del espinal, pampeana y patagónica, cada una de ellas de características muy disímiles entre sí. Por este motivo, resulta posible afirmar que su distribución parece no estar condicionada a ninguna de las comunidades vegetales que caracterizan estas provincias. Esto se contrapone con lo expresado por Cueto y López de Casenave (1999) quienes señalan que la distribución de la especie que habitan la Región Pampeana está directamente influenciada por la vegetación. De la misma manera, en este trabajo se descarta el análisis de las regiones ornitogeográficas establecidas para la Argentina (Nores, 1987), pues están basadas en este mismo esquema fitogeográfico de Cabrera y por tanto, son de este último dependientes.

## Conclusiones

La distribución de *Cyanoliseus* se encuentra restringida básicamente por un conjunto de variables climáticas que condicionan el contexto ambiental. La zona de distribución actual está caracterizada por climas de tipo subhúmedo seco a semiáridos, precipitaciones de hasta 600 mm y excepcionalmente 800 mm y temperaturas no menores a los 8-9° C.

Los registros del Pleistoceno tardío de *Cyanoliseus patagonus* se localizan en la costa atlántica bonaerense, la cual forma parte de la Región Pampeana caracterizada por un clima de tipo subhúmedo húmedo, índices hídricos de 20 a 0, régimen pluviométrico de 800 a 900 mm y temperaturas medias anuales cercanas a los 14°C. Estas variables señalan un clima más húmedo y más cálido que aquel en el cual habita actualmente *Cyanoliseus patagonus*.

Las fluctuaciones climáticas del Cenozoico más tardío tuvieron su máxima manifestación durante el Plioceno tardío y Pleistoceno (Cione y Tonni, 1999; Cione et al., 2003; Webb y Bartlein, 1992) y estuvieron caracterizadas por una serie de alternancias de períodos cortos húmedo-secos y templado-cálidos (Webb y Bartlein 1992). La alternancia de estos episodios podría ser la causante del bajo grado de endemismos y uniformidad que caracteriza a la avifauna de la Región Pampeana. Una idea similar fue planteada para explicar la homogeneidad de las aves arbóreas de la Región Paleártica oeste (Blondel y Mourer-Chauviré, (1998).

Esto se condice con la idea de que aparentemente, durante la mayor parte del Pleistoceno tardío y Holoceno, la Región Pampeana habría tenido un clima árido y frío con cortos períodos húmedos (Tonni et al., 1999). En base a la distribución de arenas y loess, Iriondo y García (1993) sugie-



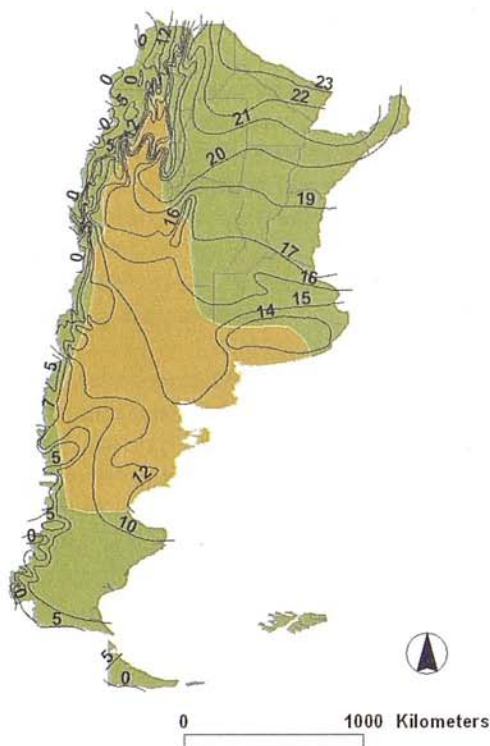


Fig. 4. Mapa de la Argentina indicando las temperaturas medias anuales. En sombreado, la distribución actual de *Cyanoliseus patagonus*.

Fig. 4. Map of Argentina where the annual average temperatures are indicated. Shaded area: distribution of *Cyanoliseus patagonus*.

ren que las condiciones climáticas imperantes actualmente en la Patagonia argentina, se habrían extendido en el Pleistoceno tardío alrededor de 750 km al noreste, abarcando el área de procedencia de los registros fósiles de *C. patagonus*. Ya hacia el final del Pleistoceno, hace 10.500 años AP, y a partir del estudio de polen fósil, Prieto (1996) verifica la presencia de bosques xerofíticos asociados con estepas psamofíticas y halofíticas (véase sin embargo Iriondo, 1997) en el sudoeste de la Región.

Durante cerca de dos millones de años, estas fluctuaciones forzaron cambios en la distribución de las especies y la conforma-

ción de conjuntos faunísticos variados. Aunque la evidencia directa es escasa, las aves -y seguramente otros vertebrados- respondieron necesariamente a los cambios climáticos y de hábitat, de variadas maneras. Puede pensarse que *C. patagonus* habría sufrido un cambio corológico (hacia el sur) causado por el establecimiento de condiciones más cálidas y quizás más húmedas ocurridas en el Posglacial (Fidalgo, 1979; Isla *et al.*, 1990). Su posterior retracción, así como la de otras especies adaptadas a condiciones de aridez (véase Tonni y Noriega, 1998), podría ser consecuencia del desarrollo de ambientes con mayor cobertura vegetal (Páez y Prieto, 1993) en la actual Región Pampeana.

Los resultados obtenidos a través de este análisis resultan importantes en cuanto a que brindan herramientas concretas y confiables acerca de las variables que puedan afectar la distribución de esta neoespecie y revalorizan a las aves como indicadores paleoambientales.

Justamente, el estudio de la distribución y de los limitantes ambientales que puedan influir en la misma y el reconocimiento de aves climático-sensitivas, resultan de singular importancia a la hora de inferir condiciones paleoambientales locales o regionales más robustas y confiables.

## Agradecimientos

Agradecemos a los editores por la invitación a participar en este volumen, en especial a Guillem X. Pons. Pablo Grilli y Guillermo Soave compartieron gentilmente información sobre las especies actuales de Psittacidae. Al personal de la División de Vertebrados del Museo de La Plata por el acceso a materiales bajo su custodia. CPT a CONICET por el continuo soporte.

## Referencias

- Acosta Hospitaleche, C.I., Tambussi, C.P., Ubilla, M. y Perea, D. 2002. Fossil avifauna from the Sopas Formation (Late Pleistocene), Uruguay: paleoenvironmental implications. *Primer Congreso "Osvaldo Reig" de vertebradología básica y evolutiva e Historia y Filosofía de la ciencia*, Buenos Aires, Resúmenes: 21.
- Avise, J. y Walker, D. 1998. Pleistocene phylogeographic effects on avian populations and the speciation process. *Proc. Royal Society London B*, 265: 457-463.
- Blondel, J. y Mourer-Chauviré, C. 1998. Evolution and history of the western palaeartic avifauna. *Trends in ecology and evolution*, 13: 488-492.
- Brodkorb, P. 1971. Catalogue of fossil birds, Part IV (Columbiformes through Piciformes). *Bull. Florida St. Mus.*, 15: 163-266.
- Bucher, E. y Rinaldi, S. 1986. Distribución y situación actual del loro barranquero (*Cyanoliseus patagonus*) en la Argentina. *Vida Silvestre Neotropical*, 1: 55-61.
- Burgos, J.J. y Vidal, A.L. 1951. Los climas de la República Argentina, según la nueva clasificación de Thornthwaite. *Meteoros: Revista de Meteorología y Geofísica del Servicio Meteorológico Nacional*, 1: 3-32.
- Cabrera, A. 1994. *Regiones Fitogeográficas Argentinas*. Editorial Acme, Buenos Aires. 85 pp.
- Camara, G., Souza R. C. M., Freitas U. M. y Garrido J. 1996. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling". <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/download.html>
- Campbell, K., 1979. The non-passerinae Pleistocene avifauna of the Talara Piura sep, northwestern Perú. *Contribution Life Sciences Division, Royal Ontario Museum*, 118: 1-203.
- Cione, A. L., Tonni, E.P. y Soibelzon, L. 2003. The broken zig-zag: Late Cenozoic large mammal and tortoise extinction in South America. *Revista Museo Argentino Ciencias Naturales*, n.s., 5: 1-19.
- Cione, A. y Tonni, E.P. 1999. Biostratigraphy and chronological scale of upper-most Cenozoic in the Pampean Area, Argentina. In: Salemme, M., (ed). *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*: 23-51. Balkema, Rotterdam, Brookfield.
- Cueto, V.R. y López de Casenave, J. 1999. Determinants of bird species richness: role of climate and vegetation structure at a regional scale. *J. Biogeography*, 26: 487-492.
- Fidalgo, F. 1979. Upper Pleistocene- Recent marine deposit on the Northeastern Buenos Aires Province (Argentina). *Proc. International Symposium of Coastal Evolution in the Quaternary*, San Pablo, Brasil: 384-404.
- Hewitt, G. 1996. Some genetic consequences of ice ages, and their role in divergence and speciation. *Biol. J. Linn. Soc.*, 58: 247-276.
- Iriondo, M. 1997. Comment on A. Prieto's (1996) Paper "Late Quaternary vegetational and climatic changes in the Pampa grassland of Argentina". *Quaternary Research*, 48: 251-252.
- Iriondo, M. y García, N. 1993. Climatic variations in the Argentine Plains during last 18,000 years. *Palaeogeography, Palaeoecology, Palaeoclimatology*, 101: 209-220.
- Isla, F., Fasano, J., Ferrero, L., Espinosa, M.A. y Schnack, E.J. 1990. Late Quaternary marine-estuarine sequences of the southeastern coast of Buenos Aires Province, Argentina. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, 4: 137-157.
- Klicka, J. y Zink, R. 1997. The importance of recent Ice ages in speciation. *Science* 277: 1666-1669.
- Moyano, M. C., López, I. D., Soldano, A., Almeida, G., Dente, M.V., Rey, C. y Sol, I. 1994. Balance hídrico de la República Argentina. Instituto Nacional de Ciencias y Técnicas hídrica, Secretaría de recursos naturales y ambiente humano, Presidencia de la Nación y Programa hidrológico Internacional, Oficina Regional de Ciencia y tecnología para América Latina y el Caribe.
- Myers, S. M. y Giller, P. S. 1988. *Analytical biogeography. An integrated approach to the*

- study of animal and plant distribution.* Chapman & Hall, London, England. 578 pp.
- Narosky, T. y Di Giacomo, A. D. 1993. *Las aves de la Provincia de Buenos Aires: distribución y status.* Buenos Aires. 128 pp.
- Nores, M. 1987. Zonas Ornitogeográficas. In: Vazquez Mazzini (ed). *Guía para la identificación de las aves de Argentina y Uruguay:* 295-303. Asociación Ornitológica del Plata, Buenos Aires.
- Páez, M. M. y Prieto, A. 1993. Paleoenvironmental reconstruction by pollen analysis from loess sequences of the Southeast of Buenos Aires Province. *Quaternary International*, 17: 21-26.
- Prieto, A. 1996. Late quaternary vegetational and climatic changes in the Pampa grassland of Argentina. *Quaternary Research*, 45: 73-88.
- Ricklefs, R.E. 1987. Community diversity: relative roles of local and regional processes. *Science*, 35: 167-171.
- Sistema Nacional de Información Hídrica, 2001. Subsecretaría de Recursos Hídricos, Secretaría de Obras Públicas, Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios. [http://www.obraspublicas.gov.ar/hidricos/program\\_sn\\_info.htm](http://www.obraspublicas.gov.ar/hidricos/program_sn_info.htm)
- Tambussi, C.P. y Noriega, J.I. 1996. Summary of the Avian Fossil Record from Southern South America. In. Arratia, G. (ed). *Contributions of southern South America to vertebrate Paleontology:* 245-264. München Geowissenschaftliche, Abhandlungen (A) 30.
- Tambussi, C.P., Noriega, J.I. y Tonni, E. P. 1993. Fossil birds of Buenos Aires province (Argentina): an attempt to quantitative faunal changes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 3: 117-129.
- Tambussi, C.P. y Acosta Hospitaleche, C. 2001. Fossil avifauna from the Monte Hermoso Formation (Early Pliocene): paleoenvironmental implications. *Ameghiniana*, 38: 41R.
- Tambussi, C.P. y Acosta Hospitaleche, C. 2002. Reidos (Aves) cuaternarios de Argentina: inferencias paleoambientales. *Ameghiniana*, 39: 95-102.
- Tambussi, C.P., Ubilla, M., Acosta Hospitaleche, C. y Perea, D. MS. Palaeoenvironmental implication of the fósil avifauna from the Sopas formation (Late Pleistocene), Uruguay.
- Thornthwaite, C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *The Geographical Review*, 38 (1): 55-94.
- Tonni, E.P. 1972. *Cyanoliseus ensenadensis* (Cattoi) nov. comb. (Aves, Psittaciformes) del Pleistoceno medio de la provincia de Buenos Aires. *Ameghiniana*, 9: 145-148.
- Tonni, E.P., Cione, A. y Figini, A. 1999. Predominance of arid climates indicated by mammals in the pampas of Argentina during the Late Pleistocene and Holocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 147: 257-281.
- Tonni, E.P. y Noriega, J. I. 1998. Los cóndores (Ciconiiformes, Vulturidae) de la región Pampeana de la Argentina durante el Cenozoico tardío: distribución, interacciones y extinciones. *Ameghiniana*, 35: 141-150.
- Tonni, E.P. y Laza, J. 1983. Aves de la fauna local Paso de Otero (Pleistoceno Tardío), de la provincia de Buenos Aires. *El Hornero*, N° extraordinario: 30-37.
- Tonni, E.P. y Fidalgo, F. 1982. Geología y Paleontología de los sedimentos del Pleistoceno en el área de Punta Hermengo (Miramar, Provincia de Buenos Aires, República Argentina): aspectos paleoclimáticos. *Ameghiniana*, 19: 79-108.
- Tonni, E.P. y Tambussi, C.P. 1986. Los Psittacidae (Aves: Psittaciformes) fósiles de la República Argentina. *III Jornadas Argentinas de Paleontología de Vertebrados.* Buenos Aires. Resúmenes, 16.
- Webb, T. y Bartlein, P.J. 1992. Global changes during the last 3 million years: climatic controls and biotic responses. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 23: 141-173.
- Wiens, J.A. 1991. Distribution: evolutionary biogeography. In: Brooke, M. and Birkhead, T. (eds). *The Cambridge Encyclopedia of Ornithology* : 156-174. Cambridge University Press, Cambridge, England.



# Moluscos de terrazas marinas cuaternarias del área de Camarones (Patagonia; Argentina)

Marina L. AGUIRRE, Sebastián RICHIANO y Yamila NEGRO SIRCH

## SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA  
NATURAL DE LES BALEARS

Aguirre, M.L. Richiano, S. y Negro Sirch, Y. 2007. Moluscos de terrazas marinas cuaternarias del área de Camarones (Patagonia; Argentina). In: Pons, G.X. i Vicens, D. (Edit.). Geomorfologia Litoral i Quaternari. Homenatge a Joan Cuerda Barceló. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 14: 81-120. ISBN 84-96376-13-3. Palma de Mallorca.

Se revisa la malacofauna cuaternaria preservada en terrazas marinas (TMIII-VI) patagónicas del área Bahía Vera-Camarones (44.2° S-45° S), actualizando aspectos paleoecológicos y palaeobiogeográficos con implicancias para la interpretación paleoambiental y paleoclimática ligada a las oscilaciones del nivel del mar desde el estadio isotópico (MOIS) 11. De un total de 41 taxones (24 gastrópodos, 17 bivalvos) son característicos de la TMIV (MOIS7, ca. 225 ka A.P.): *T. atra* (dominante y máximos tamaños) y *P. antiqua*; de la TMV (MOIS5e?, 125ka A.P.): *T. atra*, *T. patagonica*, *C. dilatata*, *M. edulis*, *B. purpuratus*, *P. antiqua*, *P. rostratus*, asociación no indicativa del óptimo climático global inferido el Último Interglacial (MOIS5e); en la TMVI (ca. 6.7 ka A.P.) dominan *N. (P) magellanica*, *N. (P) deaurata*, *T. geversianus*, *B. purpuratus*, *A. atra*; en el litoral moderno son exclusivos *Chlamys* spp., *P. abbreviata*, *Lyonsia* sp., *N. delicatissima*. En la TMIII (MOIS11?; ca. 350-400 ka A.P.) *O. tehuelcha*, *M. cf. patagonica*, *C. patagonica*, *D. vilardeboana* sugieren aguas más cálidas que las modernas; las ostras son dominantes y muy similares a las del Belgranense del área Bonaerense (Pleistoceno), tradicionalmente interpretado como el Último Interglacial, pero asignable a un episodio marino más antiguo según evidencias magnetoestratigráficas (Nabel, 2002) y correlacionable con el MOIS11, ya propuesto como el más largo y cálido del Pleistoceno registrado en Sudamérica (Ortlieb *et al.*, 1996). De la malacofauna recolectada se confirma el rango estratigráfico desde el Mioceno para 15 especies (8 gastrópodos y 7 bivalvos, 34%), 66% desde el Pleistoceno; 77% en el Holoceno; y 16% sólo en el litoral moderno. Migraciones (*T. patagonica*, *N. isabelleana*, *B. rodriguezii*, *C. patagonica*, *D. vilardeboana*; *T. atra*) y extinciones (*T. atra*, *O. tehuelcha*) representan respuestas bióticas a los ciclos glaciales al menos desde MOIS11 (400 ka A.P.) en el área. Desplazamientos geográficos y la mayor abundancia durante el Holoceno medio (TMVI; 6-8 ka) de elementos templados o templado-cálidos, junto con menor proporción de taxones fríos típicos de la Provincia Magallánica moderna, confirman el efecto paleobiogeográfico del Hypsitermal (Óptimo Climático, SST ca. 1-2°C superior a la actual) durante el máximo transgresivo holoceno, ya inferido para el sector bonaerense y norte de Patagonia. En suma, para el nivel marino de la TMIII (MOIS11; ca. 350-400 ka BP) se infiere SST más cálida que en la actualidad y en comparación con el MOIS5e, para la TMIV (MOIS7?, ca. 225 ka BP) y TMV (MOIS5e?, 125ka BP) SST similar al litoral moderno, para la TMVI (ca. 6.7 ka BP) mayor SST.

**Palabras clave:** Moluscos, Cuaternario, Terrazas marinas, Patagonia, Atlántico Sudoccidental

THE MOLLUSCAN FAUNA OF MARINE TERRACES OF CAMARONES (PATAGONIA, ARGENTINA). The molluscan fauna preserved in Patagonian Quaternary marine terraces (MT) from Bahía Vera-Camarones (44.2° S-45° S) are reviewed.

Palaeoecological and palaeobiogeographical aspects are updated for palaeoenvironmental and palaeoclimatic interpretations linked to sea-level fluctuations since marine oxygen isotope stage (MOIS) 11. Among 41 taxa (24 gastropods, 17 bivalves), characteristic for MTIV (MOIS7, ca. 225 ka A.P.) are: *T. atra* (dominant and maximum sizes)-*P. antiqua*; for MTV (MOIS5e?, 125ka A.P.): *T. atra*, *T. patagonica*, *C. dilatata*, *M. edulis*, *B. purpuratus*, *P. antiqua*, *P. rostratus*, an assemblage not indicative of a the worldwide climatic optimum recognized for the Last Interglacial (MOIS5e); within MTVI (ca. 6.7 ka A.P.) *N. (P.) magellanica*, *N. (P.) deaurata*, *T. geversianus*, *B. purpuratus*, *A. atra* are dominant; along the modern littoral *Chlamys* spp., *P. abbreviata*, *Lyonsia* sp., *N. delicatissima* are exclusive. Within the MTIII (MOIS11?; ca. 350-400 ka A.P.) *O. tehuelcha*, *M. cf. patagonica*, *C. patagonica*, *D. vilardeboana* suggest warmer than present SST, the dominant *Ostrea* shells are very similar to those preserved in Belgranense (Pleistocene) deposits of the Bonaerensian area, traditionally acknowledged as the Last Interglacial but recently interpreted as an older highstand by magnetostratigraphic evidence (Nabel, 2002) and correlated with MOIS11, the warmest and oldest Pleistocene highstand recorded along the Pacific coast of South America (Ortlieb *et al.*, 1996). Among the molluscan fauna collected, 25 taxa (8 gastropods, 7 bivalves, 34%) range since the Miocene, 66% since the Pleistocene, 77% in the Holocene, and 16% only in the modern nearshore. Migrations (*T. patagonica*, *N. isabelleana*, *B. rodriguezii*, *C. patagonica*, *D. vilardeboana*; *T. atra*) and extinctions (*T. atra*, *O. tehuelcha*) represent biotic responses to glacial cycles since MOIS11 (400ka) in this area. Latitudinal displacements and a higher abundance during the mid-Holocene (MTVI; 6-8 ka) of temperate or warm-temperate elements in comparison with the present, together with a lower proportion of cold taxa typical of the modern Magellanean Province, confirm the effect of the Hypsithermal (Climatic Optimum, SST ca. 1-2°C higher than present) during the Holocene transgressive maximum, already shown for the Bonaerensian and northern Patagonia areas. In summary, for the highstand of MTIII (MOIS11; ca. 350-400 ka BP) SST is interpreted as warmer than present and than MOIS5e, for MTIV (MOIS7?, ca. 225 ka BP) and for MTV (MOIS5e?, 125ka BP) the SST was similar to the modern littoral, for MTVI (ca. 6.7 ka BP) is was slightly higher.

**Keywords:** *Molluscs, Quaternary, Marine Terraces, Patagonia, Southwestern Atlantic Ocean.*

MOL·LUSCS DE TERRASSES MARINES QUATERNÀRIES DE L'ÀREA DE CAMARONES (PATAGÒNIA, ARGENTINA). Es revisa la malacofauna quaternària preservada en terrasses marines (TMIII-VI) patagòniques de l'àrea Bahía Vera-Camarones (44.2° S-45° S), actualitzant aspectes paleoecològic i paleobiogeogràfic amb implicacions per a la interpretació paleoambiental i paleoclimàtica lligada a les oscil·lacions del nivell de la mar des de l'estadi isotòpic (MOIS) 11. D'un total de 41 tàxons (24 gastròpodes, 17 bivalves) són característics de la TMIV (MOIS7, ca. 225 ka A.P.): *T. atra* (dominant i màximes mides) i *P. antiqua*; de la TMV (MOIS5e?, 125ka A.P.): *T. atra*, *T. patagonica*, *C. dilatata*, *M. edulis*, *B. purpuratus*, *P. antiqua*, *P. rostratus*, associació no indicativa de l'òptim climàtic global inferit l'Últim Interglacial (MOIS5e); en la TMVI (ca. 6.7 ka A.P.) dominen *N. (P.) magellanica*, *N. (P.) deaurata*, *T. geversianus*, *B. purpuratus*, *A. atra*; en el litoral modern són exclusius *Chlamys* spp., *P. abbreviata*, *Lyonsia* sp., *N. delicatissima*. En la TMIII (MOIS11?; ca. 350-400 ka A.P.) *O. tehuelcha*, *M. cf. patagonica*, *C. patagonica*, *D. vilardeboana* suggereixen aigües més càlides que les modernes; les ostres són dominants i molt semblants a les del Belgranense de l'àrea Bonaerense (Pleistocè), tradicionalment interpretat com l'Últim Interglacial, però assignable a un episodi marí més antic segons evidències magnetoestratigràfiques (Nabel, 2002) i correlacionable amb el MOIS11, ja proposat com el més llarg i càlid del Pleistocè registrat a Sudamèrica (Ortlieb *et al.*, 1996). De la malacofauna recol·lectada se confirma el rang estratigràfic des del Miocè per a 15 espècies (8 gastròpodes i 7 bivalves, 34%), 66% des del Pleistocè; 77% a l'Holocè; i 16% sols en el

litoral modern. Migracions (*T. patagonica*, *N. isabelleana*, *B. rodriguezii*, *C. patagonica*, *D. vilardeboana*; *T. atra*) i extincions (*T. atra*, *O. tehuelcha*) representen respostes biòtiques a les cicles glacials almanco des de MOIS11 (400 ka A.P.) en l'àrea. Desplaçaments geogràfics i la major abundància durant l'Holocè medi (TMVI; 6-8 ka) d'elements temperats o temperat-càlids, junt amb menor proporció de tàxons freds típics de la Província Magallànica moderna, confirmen l'efecte paleobiogeogràfic de l'Hypsitermal (Òptim Climàtic, SST ca. 1-2°C superior a l'actual) durant el màxim transgressiu Holocè, ja inferit per a el sector bonaerense i nord de Patagònia. En resum, per al nivell marí de la TMIII (MOIS11; ca. 350-400 ka BP) s'infereix SST més càlida que a l'actualitat i en comparació amb el MOIS5e, per a la TMIV (MOIS7?, ca. 225 ka BP) i TMV (MOIS5e?, 125ka BP) SST similar al litoral modern, per a la TMVI (ca. 6.7 ka BP) major SST.

**Paraules clau:** mol·luscs, Quaternari, Terrasses marines, Patagònia, Atlàntic Sudoccidental.

Marina L. AGUIRRE, CONICET, Lab. de Geomorfologia y Geologia del Cuaternario; Museo de La Plata, Paseo del Bosque, 1900 La Plata, Argentina; y Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP), 1900 La Plata, Argentina; [aguirre@netverk.com.ar](mailto:aguirre@netverk.com.ar)  
Sebastián RICHIANO y Yámila NEGRO SIRCH Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP), 1900 La Plata, Argentina

## Introducción

En el área costera de Patagonia durante el Cuaternario niveles marinos altos y eventos neotectónicos originaron un complejo de "terrazas marinas" (TM) denominadas TMIII, IV, V y VI por Feruglio (1950). En el sector costero de la Provincia de Chubut (Fig. 1) se hallan las mejor preservadas con un alto contenido de moluscos (91%) y que cuentan con control cronológico moderno.

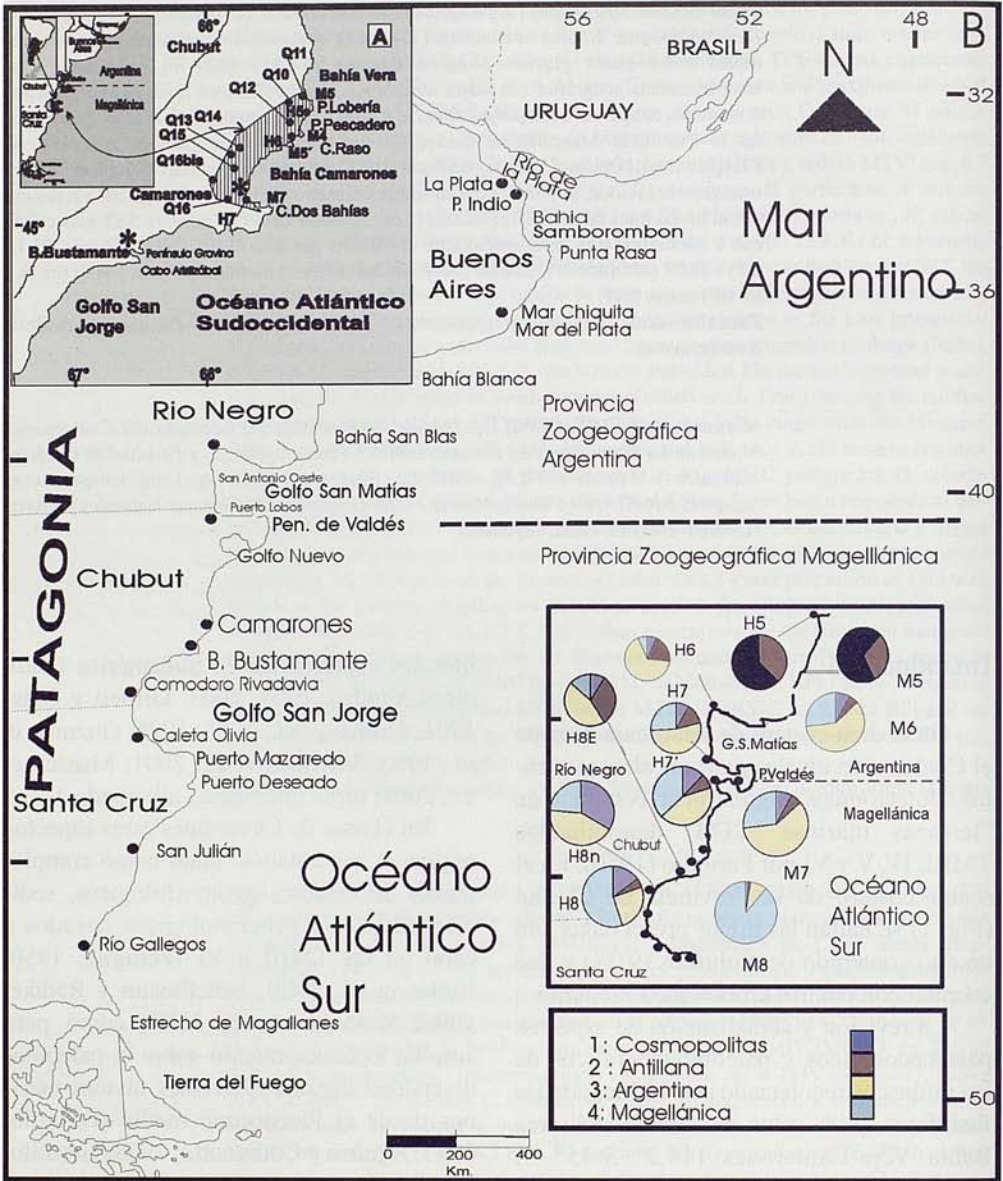
La revisión y actualización de aspectos palaeoecológicos y paleobiogeográficos de los moluscos recolectados en 10 localidades fosilíferas y 4 sitios modernos del área Bahía Vera-Camarones (44.2° S-45° S) reviste especial importancia para la reconstrucción del escenario litoral desde el estadio isotópico marino (MOIS) 11 (ca. 400 ka AP). La utilidad de los moluscos bentónicos como indicadores de paleoambientes, incluyendo cambios oceánicos y atmosféricos, historias evolutivas y paleobiogeográficas, ha sido documentada para otros depósitos

litorales cuaternarios en Sudamérica (entre otros Aguirre, 1993, 2003; Ortlieb y Díaz, 1991; Ortlieb et al., 1995, 1996; Guzmán et al., 1995; Martínez et al., 2001; Maasch et al., 2001; otras referencias allí citadas).

En el área de Camarones estos aspectos requieren ser tratados, tanto como complemento de estudios geomorfológicos, sedimentológicos y geocronológicos llevados a cabo en las TMIII a VI (Feruglio, 1950, Rutter et al., 1990; Schellmann y Radtke, 2000; Rostami et al., 2000) como para ampliar el conocimiento sobre la paleobiodiversidad durante diferentes niveles marinos desde el Pleistoceno medio (Feruglio, 1933; Aguirre y Codignotto, 1998; Gordillo, 1998; Pastorino, 2000) (Tabla 1).

Los resultados obtenidos permitirán al mismo tiempo establecer comparaciones con áreas costeras próximas, por ejemplo con el sector Bahía Bustamante-Caleta Malaspina (ca. 44.9° S and 45.3° S) desde el MOIS7 (Aguirre et al., en prensa), con el Golfo San Jorge desde el MOIS5 (Aguirre,





**Fig. 1.** Área de estudio. A, Ubicación general del sector Bahía vera-Camarones en Patagonia (Argentina, margen Atlántico Sudoccidental). Sitios de recolección de muestras (M, modernas; H, Holoceno; Q, Pleistoceno). B, Abundancia relativa de moluscos de los grupos I-IV (definidos de acuerdo con sus rangos de distribución actual en masas de agua oceánica superficial de diferente temperatura). Límite actual de las provincias zoogeográficas Argentina y Magallánica. Comparación para el Holoceno medio (H) vs. Actualidad (M) a lo largo del área de estudio y áreas costeras próximas Bonaerenses y Patagónicas. M5: Puerto Quequén (SE Provincia de Buenos Aires), M6: G.S.Matías (Provincia de Río Negro), M7: P.Pirámides (Provincia de Chubut), M8: Chubut y Santa Cruz. H5: Bahía Blanca (Provincia de Buenos Aires), H6 S.A.Oeste (Provincia de Río Negro), H7: P.Pirámides (Chubut),



H7': Camarones (Chubut), H8E: B.Bustamante (Chubut); H8n: B.Solano (Chubut); H8: C.Rivadavia (Chubut). Tanto las localidades modernas (M) como Holocenas (H) exhiben una tendencia latitudinal decreciente de los grupos II y III hacia el Sur. Los porcentajes holocenos guardan relación con la edad y posición latitudinal de los depósitos. II y III fueron más abundantes que en la actualidad durante el máximo del nivel del mar alto del Holoceno medio. En Patagonia, la misma tendencia decreciente de II y III (máxima ca. 8-5 ka, loc.24 = H7', mínima posteriormente a ca. 4 ka, loc. 27 = H8, Post-Hypsithermal) está acompañada por un incremento hacia el sur del grupo IV, el cual era menos abundante durante el Holoceno medio que en la actualidad (i.e., H5-H8 vs. M5-M8).

**Fig 1.** Area of study. A, General location of the sector Vera-Camarones Bay in Patagonia (Argentina, SW Atlantic margin). Sites of harvesting of samples (Ms, modern; H, Holocene; Q, Pleistocene). B, Relative abundance of Mollusca of the I-IV groups (defined in agreement with its ranks of present distribution in masses of superficial oceanic water of different temperature). Present limit of the zoogeographic provinces Argentina and Magallánica. Comparison for the average Holocene (h) versus the next Present time (m) throughout the study area and coastal areas Bonaerenses and Patagónicas. M5: Port Quequén (Province of Buenos Aires), M6: G.S.Matías (Province of Negro River), M7: P.Pirámides (Province of Chubut), M8: Chubut and Santa Cruz. H5: Bahía Blanca (Province of Buenos Aires), H6 S.A.Oeste (Province of Negro River), H7: P.Pirámides (Chubut), H7': Camarones (Chubut), H8E: B.Bustamante (Chubut); H8n: B.Solano (Chubut); H8: C.Rivadavia (Chubut). As much the modern localities (M) as Holocenes (H) exhibit a decreasing latitudinal tendency of groups II and III towards the South. The Holocenes percentage bear relation to the age and latitudinal position of the deposits, II and III were more abundant than at the present time during the maximum of the high sea level of the average Holocene. In Patagonia, the same decreasing tendency of II and III (Maximum ca. 8-5 ka, loc.24 = H7', 4 minimum later to ca. ka, loc. 27 = H8, Post-Hypsithermal) is accompanied by an increase towards the south of the group IV, which was less abundant during the average Holocene than at the present time (i.e., H5-H8 versus M5-m8).

2003), así como con el sector de la Provincia de Buenos Aires (Aguirre, 1993). Este estudio integra un proyecto de mayor alcance sobre la malacofauna cuaternaria marina de Argentina, entre el Río de La Plata y el sur de la Provincia de Santa Cruz (Fig. 1).

### Área y depósitos estudiados

Entre Bahía Vera y Bahía Camarones se preservan cuatro niveles de terrazas marinas, a distintas alturas sobre el nivel del mar actual, a manera de cordones subparalelos entre sí y a la línea de costa, compuestos mayormente por sedimentos y conchillas de moluscos. El primer cordón (TMTVI; + 6-12m snm; 2,5-8 ka; MOIS1), más cercano a la costa, está compuesto por grava y arena suelta y se muestreó en Punta Lobería, Punta Pescadero y Camarones. El segundo cordón (MTV; + 16-18m snm; 92-135ka; MOIS5e?/a?, c?) aflora en Bahía Vera, Pun-

ta Pescadero, Camarones, formado por arena, grava y cascajo y conchillas, que en parte pueden estar cementados por calcita. El tercer nivel (MTIV; + 22-29m snm; 178-239 ka; MOIS7), en Punta Pescadero y Camarones, está constituido por grava que puede estar cementada localmente. La terraza más interna (TMIII; + 44m snm; 400 ka; MOIS11), al NW del pueblo de Camarones, se apoya en un depósito piroclástico (tobas blancas) sobre el cual se encuentran un banco de areniscas grisáceas culminando en un conglomerado que en la superficie va perdiendo cohesividad, y formando grava y cascajo, con conchillas altamente cementadas (Tabla 1). Detalles sobre la geología del área pueden obtenerse de Feruglio (1950), Schellman y Radtke (2000), Rostami *et al.* (2000).

El área moderna adyacente a las terrazas se caracteriza por condiciones de mar abierto, de salinidad normal, con sustratos rocosos o consolidados con parches arenosos intercalados localmente, de alta energía

A R G E N T I N A										
P A T A G O N I A										
"TERRAZAS MARINAS"	EADAES (AAR - ESR)	CHUBUT				SANTA CRUZ				
		CAMARONES	BAHIA BUSTAMANTE	BAHIA SOLANO	COMODORO RIVADAVIA	CALETA OLIVIA	PUERTO DESEADO	PUERTO MAZAREDO		
Feruglio, 1950	Rutter et al., 1989, 1990 Schellmann & Radtke, 2000	Feruglio, 1950 Camacho, 1979 Codignotto, 1983 Rutter et al., 1989-1990 Schellmann & Radtke, 2000 Rozam et al., 2000	Feruglio, 1950 Corchi, 1987 Rutter et al., 1989-1990 Schellmann & Radtke, 2000 Rozam et al., 2000	Codignotto, 1983	Feruglio, 1950 Rutter et al., 1989-1990	Feruglio, 1950 Codignotto, various	Rutter et al., 1989-1990	Feruglio, 1950 Codignotto et al., 1987 Rutter et al., 1989-1990		
VI Comodoro Rivadavia (+6-12m)	JOVEN	Cordones Litorales + 6-12m (ca. 4-7,5 Ka)	FM ZANJON EL PINTER + 8-10m D/L 0,21-0,29 14C (2 030-8 950)	Cordones Litorales + 2-15m (ca. 2-6 Ka)	Terraza Marina VI (+8-12m)	Terraza Marina VI (+ 8-10m) (6 940)	Terraza Marina VI (+ 8-10m) (6 940)	Terraza Marina VI + 8-10m (500-5 050, 9 520)		
V Puerto Mazarredo (+15-30m)	INTER-MEDIO UL Interglacial MOIS 5e	MT V (+ 22-26 m)	FM. CALETA MALASPINA (+25-29 m) 35-37 Ka D/L 0.74 ESR 116-195  (+ 34-41m) D/L 0.73-0.81 ESR 215-356 BP MOIS7 o 8 ?			Terraza Marina V ? (+ 20-25m) min 30-35ka MOIS 5 e ?	Terraza Marina V ? (+ 20-25m) D/L 0.57 MOIS 5 e ?	Marine T V (+ 15-30m)		
IV Puerto Deseado (+30-40m)		FM TEHUELCHÉ ?							Terraza Marina IV (+ 30-40m) ESR > 249 MOIS7 o 9 ?	Terraza Marina IV (+ 30-40m) D/L 0.66 ESR MOIS 7 o 9 ?
III Camarones (+40-55m)		MTIII (+ 35-40m)								

Tabla 1. Síntesis de la interpretación estratigráfica del área de estudio y zonas próximas en Patagonia.  
Table 1. Synthesis of the stratigraphic interpretation of the study area and next zones in Patagonia.

y con influencia de la Corriente fría de Malvinas que fluye desde Tierra del Fuego hasta el Golfo Nuevo, límite austral de la Provincia Argentina.

### Fauna recolectada

El 91 % del contenido biogénico en los depósitos muestreados está representado por moluscos (41 taxones: 24 gasterópodos y 17 bivalvos) y la macrofauna asociada incluye balánidos, braquiópodos, poliquetos

y briozoos epizoicos (Tabla 2). Las especies más características registradas (Láminas 1 y 2) son: *Patinigera deaurata*, *Fissurella* spp., *Crepidula protea*, *C. aculeata*, *C. cf. unguiformis*, *N. isabelleana*, *Trochita pileus*, *Buccinanops* spp., *Parauthria plumbea* (Philippi), *Acanthina monodon* y *Trophon* spp. (Gastropoda); *Brachidontes purpuratus*, *Protothaca antiqua*, *Clausinella gayi*, *Mactra cf. patagonica*, *Ostrea cf. tehuelcha*. Nuevos registros en el área para el Pleistoceno tardío (TMIV, TMV; MOIS7/9-5) son: *C. aculeata*, *C. onyx*, *C. protea*, *N.*



GRUPO DE TAXA (I-IV)	EDAD		PLEISTOCENO							HOLOC			MODERNOS						
	MUESTRAS		PA02Q10	PA02Q11	PA02Q12	PA02Q13	PA02Q14	PA02Q15	PA02Q16	PA02Q16bis	PA02HOL5	PA02HOL6	PA02HOL7	VIVIEN TES litoral vecino	PA02M	PA02M <sup>5</sup>	PA02M5 <sup>5</sup>	PA02Mo	PA02M7
	TERRAZA MARINA		IV	IV	V	V	IV	V	III	III	VI	VI	VI	R	R	R	R	R	R
GASTROPODOS																			
IV	1	<i>Fissurella picta</i> (Gm.)			X							X	X						
IV	2	<i>Fissurella oriens</i> Sowerby	X								X		X						
IV	3	<i>Fissurella radiosa</i> Lesson	X	X									X		X				
IV	4	<i>Nacella (P.) magellanica</i> (Gmelin)	X	X	X					X	X	X	X	X	X				X
IV	5	<i>Patinoidea deaurata</i> (Gmelin)	X	X						X	X	X	X	X	X	X			X
IV	6	<i>N(P.) delicatissima</i> (Strebel)											X	X	X	X			X
III	7	<i>Tegula patagonica</i> (d'Orbigny)						X			X		X	X	X	X			
IV	8	<i>Tegula (C.) atra</i> (Lesson)	X		X			X				X	NO						
I	9	<i>Crepidula aculeata</i> (Gmelin)										X	X	X	X				
III	10	<i>Crepidula onyx</i> Sowerby		X									X	X	X				
III	11	<i>Crepidula cf. unguiformis</i> (Lamarck)											X	X	X				
III	12	<i>Crepidula protea</i> d'Orbigny	X	X	X			X			X	X	X	X	X	X			
I	13	<i>Crepidula dilatata</i> Lamarck	X	X	X			X		X	X	X	X	X	X				
III	14	<i>Natica isabelleana</i> d'Orbigny		X									X						
III	15	<i>Trochita pileus</i> (Lamarck)											X		X				
III	16	<i>Trophon varians</i> (d'Orbigny)		X	X			X		X	X	X	X	X	X	X			
III	17	<i>Trophon geversianus</i> (Pallas)		X						X	X	X	X	X	X	X			X
III	18	<i>Od. magellanica</i> (Gmelin)	X	X									X		X				
	19	<i>Voluvidae indet.</i>								X	X		X						
III	20	<i>Buccinanops globulosus</i> (Kiener)	X	X	X			X					X	X	X				
III	21	<i>Buccinanops sp.</i>							X	X			X						
IV	22	<i>Acanthina monodon</i> (Pallas)						X					X						
IV	23	<i>Pareuthria plumbea</i> (Philippi)			X							X	X						
III	24	<i>Siphonaria lessoni</i> (Blainville)						X					X				X		X
GRUPO DE BIVALVOS	EDAD		PLEISTOCENO							HOLOC			MODERNOS						
	MUESTRAS		PA02Q10	PA02Q11	PA02Q12	PA02Q13	PA02Q14	PA02Q15	PA02Q16	PA02Q16bis	PA02HOL5	PA02HOL6	PA02HOL7	VIVIEN TES litoral vecino	PA02M4	PA02M <sup>5</sup>	PA02M5 <sup>5</sup>	PA02Mo	PA02M7
	TERRAZA MARINA		IV	IV	V	V	IV	V	III	III	VI	VI	VI	R	R	R	R	R	R
I	1	<i>Mytilus (M.) edulis</i> (Linné)		X				X			X	X	X						
II	2	<i>Brachidontes (B.) rodriguezii</i> (d'Orb.)			X						X		?				X	X	X
IV	3	<i>Brachidontes (B.) purpuratus</i> (Lamk.)	X	X	X			X			X	X	X	X	X	X	X		X
IV	4	<i>Brachidontes cf. purpuratus</i> (Lamk.)			X						X		X	X					
IV	5	<i>Aulacomya atra</i> (Molina)		X						X	X	X	X	X	X	X	X		X
IV	6	<i>Aequipecten tehuelchus</i> (d'Orbigny)	X							X	X	X	X	X	X	X	X		X
III	7	<i>Chlamys patagonicus</i> King											X		X				
	8	<i>Pectinidae indet.</i>							X	X			X						
II	9	<i>Ostrea tehuelcha</i> Feruglio								X	X		NO						
III	10	<i>Macra cf. patagonica</i> d'Orbigny							X	X			X						
IV	11	<i>Eurhymalea exalibida</i> (Dilwyn)											X		X				
III	12	<i>Protothaca antiqua</i> (King)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X
III	13	<i>Clausinella gayi</i> Hupé	X	X				X					X	X	X		X		
III	14	<i>Veneroida indet.</i>					X	X					X						
III	15	<i>Pitar rostratus</i> (Koch)					X	X		X			X		X				
IV	16	<i>Panopea abbreviata</i> Valenc.											X		X				
III	17	<i>Lyonsia sp.</i>											X						X
Otros																			
		<i>Balanus sp.</i>	X	X	X						X	X	X		X				
		Terebratulid brachiopods						X	X				X		X	X	X		
		Bryozoa						X					X						
		Corals						X					X						

**LOCALIDADES FOSILIFERAS (PA02H, PA02Q):**

**PA02Hol (Holoceno)**  
PA02Hol5: Punta Pescadero  
PA02Hol6: Cabo Raso  
PA02Hol7: Camarones

**PA02Q (Pleistoceno)**  
PA02Q10: S Bahía Vera  
PA02Q11: S Bahía Vera  
PA02Q12: Punta Pescadero-Cabo Raso  
PA02Q13: N Camarones (Cabo Raso)  
PA02Q14: N Camarones (Cd. *M. isabelleana* ?)  
PA02Q15: N Camarones (MTIV ?)  
PA16: NW Camarones (MTIII)  
PA16bis: NW Camarones (MTIII)

**MODERNOS (PA02M):**  
Provincia Magellanica vecina

**PA02M4=** Punta Pescadero  
**PA02M5=** S Bahía Vera  
**PA02M5<sup>5</sup>=** S Caleta Raso  
**PA02Mo=** S Bahía Vera-Punta Lobería  
**PA02M7=** Caleta Sara

Información completa en Aguirre (2003; Aguirre et al., en prensa)

R= reciente

Tabla 2. Composición biogénica general de los sitios muestreados.  
Table 2. General biogenic composition of the sampled sites.

*isabelleana*, *T. patagonica*, *B. rodriguezi*, *A. tehuelchus*, *C. gayi*. Para el Holoceno: *F. picta*, *F. oriens*, *P. deaurata*, *T. varians*, *B. rodriguezi*.

Diferencias composicionales cualitativas entre las diferentes terrazas, y de abundancia relativa y tamaño de los taxones en común, constituyen características probablemente relacionadas con variaciones ambientales (sustrato, energía del agua) y climáticas (SST, temperatura del agua oceánica superficial) a través del tiempo. Son notorios la dominancia y máximos tamaños de *Tegula atra* y *P. antiqua* en el Pleistoceno (especialmente en la TMIV) y de *Trophon* spp., *A. atra*, *B. purpuratus* en Holoceno (TMVI). Algunas especies muestran variabilidad intraespecífica dentro de una misma

terrazza y también en el litoral moderno vecino (i.e., *Nacella* spp., *Tegula* spp., *Crepidula* spp., *Trophon* spp., *Brachidontes* spp., relacionadas probablemente con características ambientales locales (sustrato y energía).

Todas las especies identificadas cuentan con representantes vivientes en el nearshore vecino (Provincia Malacológica Magallánica y parte de la Argentina; Fig. 1; Tabla 3a, b), con excepción de *Ostrea tehuelcha* (TMIII). Todas habitan en el litoral vecino (Provincia Magallánica), excepto *Tegula atra* que está representada sólo en las costas del Pacífico sudamericano (Guzmán *et al.*, 1998). Parte de la fauna recolectada (25 taxones) estaba ya representada durante la ingresión del Mioceno tardío; el 34% tiene registros desde el Pleistoceno, 12% desde el

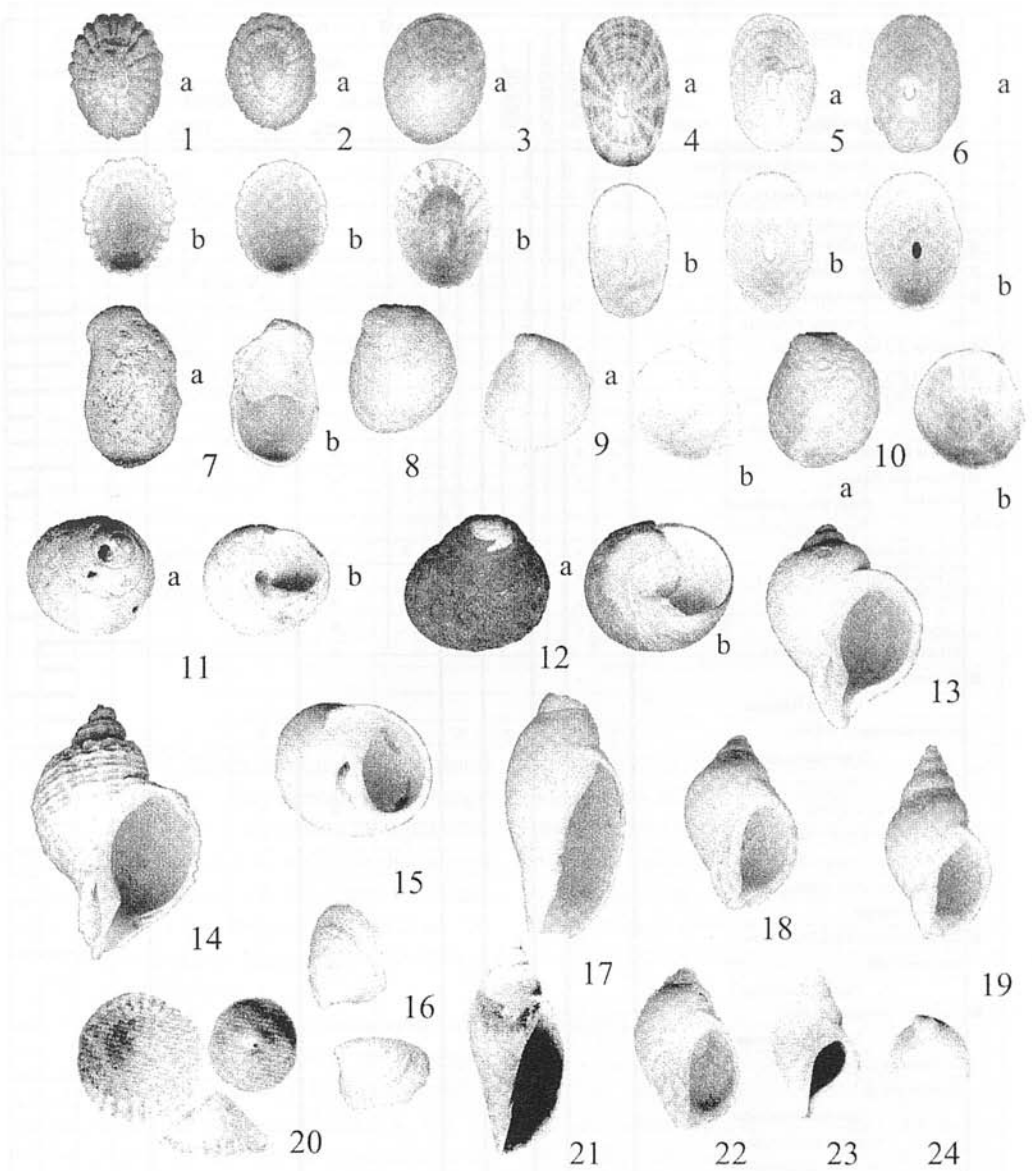


**Lámina 1.** Especies de gasterópodos más características recolectadas en terrazas del Pleistoceno medio (TMIII) y tardío (TMIV y V), Holoceno medio (TMVI) y en el litoral moderno vecino del área de estudio. a, vista exterior adapertural; b, apertural.

1a-b, *Nacella deaurata* (H= 18.5mm), Cabo Raso, Holoceno (PA02Hol6); 2a-b, *Nacella magellanica* (H= 32mm), Bahía Vera, Pleistoceno (PA02Q11); 3a-b, *Nacella delicatissima* (Strebel) (H= 29mm), Punta Pescadero, moderna (PA02M4); 4a-b *Fissurella radiosa* (H= 20.5mm), S de Bahía Vera, Punta Pescadero, moderna (PA02M5); 5a-b, *Fissurella oriens* (H= 22.5mm), Cabo Raso, Holoceno (PA02Hol6); 6a-b, *Fissurella picta* (H= 28mm), Camarones, Holoceno (PA02Hol7); 7a-b, *Crepidula* cf. *onyx* (H= 33.5mm), Bahía Vera, Pleistoceno (PA02Q11); 8a-b, *Crepidula dilatata* (H= 31.5mm), Bahía Vera, Pleistoceno (PA02Q11); 9a-b, *Crepidula protea* (H= 16mm), N de Camarones, Pleistoceno (PA02Q15); 10a-b, *Crepidula aculeata* (H= 36mm), S de Bahía Vera (PA02M5); 11a-b, *Tegula patagonica* (H= 11mm), N de Camarones, Pleistoceno (PA02Q15); 12a-b, *Tegula atra* (H= 28mm; W= 12mm), N de Camarones, Pleistoceno (PA02Q15); 13, *Trophon varians* (H=35mm), Cabo Raso, Holoceno (PA02Hol6); 14, *Trophon geversianus* (H= 49mm), Cabo Raso, Holoceno (PA02Hol6); 15, *Natica isabelleana* (H= 15mm; W= 13mm), Bahía Vera, Pleistoceno (PA02Q11); 16, *Siphonaria lessona* (H= 18mm), N de Camarones, Pleistoceno (PA02Q15); 17, *Volutidae* indet. (H= 55mm), Punta Pescadero, Holoceno (PA02Hol5); 18, *Acanthina monodon* (H= 29.5mm), S de Bahía Vera, Pleistoceno (PA02Q10); 19, *Pareuthria plumbea* (H= 19.5mm), Camarones, Holoceno (PA02Hol7); 20, *Trochita pileus* (Hm= 42mm), Bahía Solano, Holoceno; 21, *Odontocymbiola magellanica* (H= 81mm), Puerto Madryn, Holoceno; 22, *Acanthina monodon* (H= 56mm), Camarones, Pleistoceno, 23, *Buccinanops globulosus* (H= 28mm), Camarones, Holoceno (PA02Hol7). (Figuras 20, 21, 22, modificadas de Aguirre y Farinati, 2000).

**Plate 1.** Collected species of *Gastropoda* more characteristic in terraces of Pleistocene means (TMIII) and delayed (TMIV and V), average Holocene (TMVI) and in the neighboring modern coast of the study area. a, external view; b, apertural. 1a-b, *Nacella deaurata* (H= 18.5mm), Cabo Raso, Holocene (PA02Hol6); 2a-b, *Nacella magellanica* (H= 32mm), Bahía Vera, Pleistocene (PA02Q11); 3a-b, *Nacella delicatissima* (Strebel) (H= 29mm), Punta Pescadero, modern (PA02M4); 4a-b *Fissurella radiosa* (H= 20.5mm), S de Bahía Vera, Punta Pescadero, modern (PA02M5); 5a-b, *Fissurella oriens* (H= 22.5mm), Cabo Raso, Holocene (PA02Hol6); 6a-b, *Fissurella picta* (H= 28mm), Camarones, Holocene (PA02Hol7); 7a-b, *Crepidula* cf. *onyx* (H= 33.5mm), Bahía Vera, Pleistocene (PA02Q11); 8a-b, *Crepidula dilatata* (H= 31.5mm), Bahía Vera, Pleistocene (PA02Q11); 9a-b, *Crepidula protea* (H= 16mm), N de Camarones, Pleistocene (PA02Q15); 10a-b, *Crepidula aculeata* (H= 36mm), S de Bahía Vera (PA02M5); 11a-b, *Tegula patagonica* (H= 11mm), N de Camarones, Pleistocene (PA02Q15); 12a-b, *Tegula atra*





(H= 28mm; W= 12mm), N de Camarones, Pleistocene (PA02Q15); 13, *Trophon varians* (H=35mm), Cabo Raso, Holocene (PA02Hol6); 14, *Trophon geversianus* (H= 49mm), Cabo Raso, Holocene (PA02Hol6); 15, *Natica isabelleana* (H= 15mm; W= 13mm), Bahía Vera, Pleistocene (PA02Q11); 16, *Siphonaria lessoni* (H= 18mm), N de Camarones, Pleistocene (PA02Q15); 17, *Volutidae* indet. (H= 55mm), Punta Pescadero, Holocene (PA02Hol5); 18, *Acanthina monodon* (H= 29.5mm), S of Bahía Vera, Pleistocene (PA02Q10); 19, *Pareuthria plumbea* (H= 19.5mm), Camarones, Holocene (PA02Hol7); 20, *Trochita pileus* (Hm= 42mm), Bahía Solano, Holocene; 21, *Odontocybiola magallanica* (H= 81mm), Puerto Madryn, Holocene; 22, *Acanthina monodon* (H= 56mm), Camarones, Pleistocene, 23, *Buccinanops globulosus* (H= 28mm), Camarones, Holocene (PA02Hol7). (Figures 20, 21, 22, modified to Aguirre & Farinati, 2000).

DISTRIB. CLASE GASTROPODA	PLEIST	HOLOC	SURINAM	BRASIL	URUGUAY	CUATERNARIO				PROV. MALAC. MODERNAS			
						ARGENTINA				ANT	BRA	ARG	MAG
						BS. AS.		PATAGONIA					
					PL	HOL	PL	HOL					
SUBCLASE PROSOBRANCHIA													
O. ARCHAEOGASTROPODA													
Familia Fissurellidae													
E <i>Fissurella picta</i> (Gmelin)	x	x	x					X	X				
E <i>Fissurella oriens</i> Sowerby	x	x						X	X				
E <i>Fissurella radiosa</i> Lesson		x						X					
Familia Patellidae													
E <i>Nacella (P.) magellanica</i> (Gm.)		x						X	X				
E <i>Nacella (P.) deaurata</i>		x						X	X				
E <i>Nacella (P.) delicatissima</i> (Strebel)								X	X				
Familia Trochidae													
<i>Tegula (A.) patagonica</i>	x	x		x	x	X	X		X				
E <i>Tegula atra</i> (Lesson)	x	x						X	X				
Orden Mesogastropoda													
Familia Calyptraeidae													
<i>Crepidula aculeata</i> (Gmelin)	x	x		x	x	X	X		X				
<i>Crepidula protea</i> d'Orb.	x	x		x	x		X	X	X				
<i>Crepidula onyx</i> Sow.		x					X	X	X				
<i>Crepidula dilatata</i>		x					X	X	X				
<i>Crepidula cf. unguiformis</i> Lamk.							X						
E <i>Trochita pileus</i> (Lamk.)		x							X				
Familia Naticidae													
<i>Natica isabelleana</i> (d'Orb.)	x	x		x	x	X	X	X	X				
Orden Neogastropoda													
Familia Muricidae													
<i>Trophon varians</i> (d'Orb.)		x					X	X	X				
<i>Trophon geversianus</i> (Pallas)		x						X	X				
Familia Thaididae													
E <i>Acanthina monodon</i> (Pallas)	x	x						X	X				
Familia Volutidae													
E <i>Odontocymbiola magellanica</i> (Gm.)		x						X	X				
<i>Volutidae indet.</i>								X	X	X			
Familia Buccinidae													
E <i>Pareuthria plumbea</i> (Philippi)	x	x						X	X				
Familia Nassariidae													
<i>Buccinanops globulosus</i> (Kien.)	x	x		x	x	X	X	X	X				
<i>Buccinanops sp.</i>						X	X	X	X				
Subclase Pulmonata													
Orden Basommatophora													
Familia Siphonariidae													
<i>Siphonaria lessoni</i> (Blainville)	x	x		x	x		X	X	X				

**Tabla 3.** Sistemática y distribución de las especies estudiadas. E= especie exclusiva de Patagonia. a, gasterópodos; b, bivalvos.

**Table 3.** Systematics and distribution of the studied species. And = exclusive species of Patagonia. a, Gastropoda; b, Bivalvia.

DISTRIBUCIÓN  CLASE BIVALVIA	CUATERNARIO								PROV. MALACOL. MODERNAS				
	PLEIST	HOLOC	GUYANA	BRASIL	URUGUAY	ARGENTINA				ANT	BRA	ARG	MAG
						BS AIRES		PATAGONIA					
						PLL	HOL	PL	HOL				
O. MYTILOIDA													
<i>Mytilus (M.) edulis</i> Linné		X		X	X			X	X				
<i>Brachidontes (B.) rodriguezii</i> (d'Orb.)	X	X		X	X	X	X	X	X				
<b>E</b> <i>Brachidontes (B.) purpuratus</i> (Lamk.)		X			x			X	X				
<i>Brachidontes cf. purpuratus</i> (Lamk.)		X						X	X				
<b>E</b> <i>Aulacomya atra</i> (Molina)	X	X			X			X	X				
O. PTERIOIDA													
<i>Aequioecten tehuelchus</i> (d'Orb.)	X	X	X	X	X	X	X		X				
<b>E</b> <i>Chlamys patagonicus</i> King									X				
<i>Ostrea tehuelcha</i> Feruglio	X							X	X				
<i>Diplodonta (F.) vilardeboana</i> (d'Orb.)		X						X	X				
O. VENEROIDA													
<i>Maetra cf. patagonica</i> d'Orb.	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
<i>Eurhomalea exalbida</i> (Dillwyn)	X	X				X	X	X	X				
<i>Pitar (P.) rostratus</i> (Koch)	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
<b>E</b> <i>Protothaca antiqua</i> (King)	X	X	X	X				X	X				
<i>Clausinella gayi</i> (Hupé)		X		X	x			X	X				
O. MYOIDA													
<i>Corbula (Corbula) patagonica</i> d'Orb.		X				X	X	X	X				
<b>E</b> <i>Panopea abbreviata</i>		X			X				X				
O. PHOLADOMOYOIDA													
<i>Lyonsia sp.</i>		X			X		X						

Holoceno y 15% es exclusivo del litoral moderno (Tabla 3). De acuerdo con el rango geográfico moderno en masas de agua oceánica de temperatura acotada, se distinguen identifican 4 grupos de especies: I (pandémico), II (cálidas; Provincia Antillana), III (templado-cálidas y templadas; Argentina) y IV (frías; Magallánica).

En términos generales, de acuerdo con los requerimientos ecológicos de las especies estudiadas (Tablas 4a, b), las asociaciones identificadas para las TMIII, IV, V y VI (Tabla 2), son indicativas de un ambiente de sustratos mayormente consolidados, de alta energía y aguas templado-frías o frías, características similares al nearshore moderno.

*T. patagonica*, *N. isabelleana* y *B. rodriguezii* son ejemplos de migraciones o desplazamientos hacia el norte a lo largo del Atlántico SW (Provincia Argentina); *T. atra* representa una migración hacia el Pacífico,

mientras *O. tehuelcha* representa una extinción. Estas situaciones constituyen respuestas bióticas a cambios climáticos vinculados con los ciclos climáticos cuaternarios, los que originaron expansiones y retracciones de taxones y diferencias cuantitativas entre interglaciales y con respecto a la actualidad.

### Sistemática

La determinación sistemática de la malacofauna recolectada (véase Apéndice) sigue el criterio utilizado en trabajos previos y se basa en comparaciones de colecciones propias con las de otras instituciones nacionales y extranjeras y con otros catálogos (entre otros Feruglio, 1950; Carcelles, 1950; Castellanos y Landoni 1988-1993). Por razones de espacio las sinonimias completas de las especies revisadas pueden ser consultadas en Aguirre y Farinati (2000).

DATOS ECOLOGICOS	ZONACION (BATIMETRIA)			SUSTRATO		MODO DE VIDA		TIPO TROFICO		
	SUPRAL.	MESOLIT.	SUBLIT.	BLANDO	DURO	LIBRE	SESIL	CARNIV.	HERBIV.	FILTRAD.
<b>CL. GASTROPODA</b>										
<i>Fissurella picta</i> (Gmelin)	X	X	X		X		X		X	
<i>Fissurella oriens</i> Sowerby	X	X	X		X		X		X	
<i>Fissurella radiosa</i> Lesson	X	X	X		X		X		X	
<i>Nacella (P.) magellanica</i> (Gmelin)		X	X		X		X		X	
<i>Nacella (P.) deaurata</i> (Gmelin)	X	X	X		X		X		X	
<i>Nacella (P.) delicatissima</i> (Strebel)	X	X	X		X		X		X	
<i>Tegula (A.) patagonica</i> (d'Orbigny)		X	X		X	X			X	
<i>Tegula (C.) atra</i> (Lesson)		X	X		X	X			X	
<i>Crepidula aculeata</i> (Gmelin)		X	X		X		X			X
<i>Crepidula protea</i> d'Orbigny		X	X		X		X			X
<i>Crepidula onyx</i> Sowerby			X	X	X		X			X
<i>Crepidula dilatata</i> Lamarck			X	X	X		X			X
<i>Trochita pileus</i> (Lamarck)		X		X			X		X	X
<i>Natica isabelleana</i> d'Orbigny		X	X	X		X		X		
<i>Trophon varians</i> (d'Orbigny)		X	X		X	X		X		
<i>Trophon geversianus</i> (Pallas)		X	X		X	X		X		
<i>Acanthina monodon</i> (Pallas)			X		X	X		X		
<i>Odontocymbiola magellanica</i> (Gmelin)		X		X	X	X		X		
<i>Pareuthria plumbea</i> (Philippi)		X	X		X	X		X		
<i>Buccinanops globulosus</i> (Kiener)		X	X	X		X		X		
<i>Siphonaria lessoni</i> (Blainville)	X	X	X	X	X		X		X	

DATOS ECOLOGICOS	ZONACION (BATIMETRIA)			SUSTRATO		MODO DE VIDA				TIPO TROFICO		
	SUPRAL.	MESOLIT.	SUBLIT.	BLANDO	DURO	EPIBIS.	CEMENT.	INF SUP.	INF PROF.	SUSPENS.	DETRITIV.	OTROS
<b>CL. BIVALVIA</b>												
<i>Mytilus edulis</i> Linné		X	X		X	X				X		
<i>Brachidontes rodriguezii</i> (d'Orbigny)	X	X	X		X	X				X		
<i>Brachidontes purpuratus</i> (Lamarck)	X	X	X		X	X				X		
<i>Aulacomya atra</i> (Molina)		X	X		X	X				X		
<i>Chlamys tehuelchus</i> (d'Orbigny)			X	X	X	X				X		
<i>Ostrea tehuelcha</i> Feruglio												
<i>Diplodonta vilardeboana</i> (d'Orbigny)			X	X					X	X		
<i>Mactra patagonica</i> d'Orbigny			X	X				X	X	X	?	
<i>Pitar rostratus</i> (Koch)			X	X				X		X	?	
<i>Eurhomalea exalbida</i> (Dillwyn)		X	X	X				X		X	?	
<i>Protothaca antiqua</i> (King)			X	X				X		X	?	
<i>Clausinella gayi</i> (Hupé)			X	X				X		X	?	
<i>Corbula patagonica</i> d'Orbigny		X	X	X				X		X	?	
<i>Panopea abbreviata</i> Valenciennes		X	X	X				X		X		
<i>Lyonsia</i> sp.		X	X	X				X		X		X

Tabla 4. Datos ecológicos de las especies estudiadas.

Table 4. Ecological data of the studied species.

## Clase Gastropoda

*Fissurella picta* (Gmelin, 1791)

(Lám. 1, figs. 6a-b)

Género *Fissurella* Bruguière, 17891791 *Patella picta* Gmelin :3729.Subgénero *Fissurella* s.s.1988 *F. picta* (Gmelin); Castellanos & Landoni :11, lám. 2, figs. 3,4.Especie tipo: *Patella nimbosa* Linné, 1758 por monotipia subsiguiente de Lamarck, 1799.1933 *Fissurella picta* Gmelin; Feruglio lám. 9 fig. 43-44 a-b.

2000 *Fissurella picta* (Gmelin); Aguirre & Farinati: 253, lám. 1, fig. 1-2.

2000 *Fissurella picta picta* (Gm.); Forcelli: 47, fig. 17.

**Descripción:** Conchilla mediana (L= 28-80mm) cónica alta, oval alargada. Borde anterior recto a poco convexo. Borde posterior recto o subcóncavo. Ornamentación de costillas marcadas (primarias, secundarias y terciarias); las primarias bien definidas (a veces granuladas) atravesadas por estrías radiales. Abertura oval. Foramen subcentral elongado. Margen externo crenulado. Internamente en algunos ejemplares se puede observar la cicatriz muscular en forma de herradura.

**Rango estratigráfico:** Pleistoceno-Reciente. **Rango geográfico:** Valparaíso, Chile (32°52'S) hasta Tierra del Fuego, Estrecho de Magallanes, Cabo de Hornos, Isla de los Estados e Islas Malvinas. Posiblemente sur de Santa Cruz. **Distribución fósil en Argentina:** Pleistoceno Patagónico (Cabo Raso, Camarones, Bahía Bustamante); Holoceno Patagónico (Cabo Raso, Camarones, Bahía Bustamante, Comodoro Rivadavia, Puerto Mazarredo, Puerto Deseado, San Julián, Tierra del Fuego). **Comentarios:** En el Cuaternario de Argentina es exclusiva del área costera patagónica.

*Fissurella oriens* G. B. Sowerby I, 1835

(Lám. 1, figs. 5a-b)

1834 *Fissurella oriens* Sowerby :124.

1933 *Fissurella oriens* Sowerby; Feruglio lám. 9 fig. 32 a-b.

2000 *Fissurella oriens* (Sowerby); Aguirre & Farinati: 253, lám. 1, fig. 3-4

2000 *Fissurella oriens oriens* (Sowerby); Forcelli: 47, fig. 15

**Descripción:** Conchilla mediana (L= 22.5-70mm), oval muy elongada, baja. Bor-

des laterales a veces levantados. Ornamentación externa de costillas radiales finas cruzadas por estrías concéntricas. Abertura oval angosta. Foramen oval elongado subcentral. Más delgada y angosta que *F. picta*.

**Rango estratigráfico:** Pleistoceno-Reciente. **Rango geográfico:** Valparaíso, Chile hasta Cabo de Hornos, Isla de los Estados e Islas Malvinas. **Distribución fósil en Argentina:** Pleistoceno Patagónico (Camarones, Bahía Bustamante); Holoceno Patagónico (Camarones, Bahía Bustamante, Comodoro Rivadavia, Puerto Mazarredo, Puerto Deseado, San Julián, Tierra del Fuego). **Comentarios:** exclusiva del Cuaternario patagónico.

*Fissurella radiosa* Lesson, 1831

(Lám.1, figs. 4a-b)

1831 *Fissurella radiosa* Lesson :411.

1933 *Fissurella radiosa* Lesson; Feruglio lám. 9 fig. 31 a-b.

2000 *Fissurella radiosa* (Lesson); Aguirre & Farinati: 253, lám. 1, fig. 5-6

2000 *Fissurella radiosa radiosa* (Lesson); Forcelli: 47, fig. 19.

**Descripción:** Conchilla pequeña a mediana (L= 20,5-50mm), baja, a veces achatada. Borde anterior recto. Posterior subconvexo. Ornamentación de costillas radiales y líneas concéntricas finas. Bandas radiales y espirales de color blanco y oscuro alternadas. Margen angosto crenulado. Abertura oval elongada con bordes elevados. Foramen subcentral elongado con ensanchamiento central (tripartito).

**Rango estratigráfico:** Pleistoceno-Reciente. **Rango geográfico:** Chiloé, Chile (42°42'S) hasta Tierra del Fuego, Islas Malvinas y Golfo San Matías. **Distribución fósil en Argentina:** Pleistoceno Patagónico (Cabo Raso, Camarones, Bahía Bustamante); Holoceno Patagónico (San Antonio Oeste, Puerto Lobos, Puerto Pirámides,



Puerto Madryn, Cabo Raso, Camarones, Bahía Bustamante, Comodoro Rivadavia, Rada Tilly, Puerto Mazarredo, San Julián, Tierra del Fuego). **Comentarios:** exclusiva del Cuaternario patagónico. Se amplía el rango estratigráfico de la especie al Pleistoceno.

**Género *Nacella*** Schumacher, 1817

Especie tipo: *Patella mytilina* Helbling, 1779 por designación subsiguiente de Gray, 1847.

**Subgénero *Patinigera*** Dall, 1905

Especie tipo: *Patella magellanica* Gmelin, 1791, por designación original.

***Nacella (Patinigera) magellanica***

(Gmelin, 1791) (Lám. 1, figs. 2a-b)

1784 *Patella aenea* Martyn Fig. 17 in partim (nomen nudum).

1791 *Patella magellanica* Gmelin: 3703

1933 *Patinigera magellanica* Gmelin; Feruglio lám. 9 fig. 35 a-b.

2000 *Nacella (Patinigera) magellanica*; Aguirre & Farinati: 253, lám. 1, fig. 10-11

2000 *Nacella magellanica magellanica*; Forcelli: 55, fig. 57.

**Descripción:** Conchilla mediana a grande (Am= 32-60mm), pateliforme, maciza. Cónica. Paredes gruesas. Apex central a subcentral. Ornamentación de costillas radiales, anchas, marcadas, cruzadas por líneas concéntricas. Abertura oval redondeada con el extremo anterior más agudo. Interior con impresión muscular bien definida y en forma de herradura.

**Rango estratigráfico:** Pleistoceno-Reciente. **Rango geográfico:** Valdivia, Chile hasta Isla de los Estados, Estrecho de Magallanes e Islas Malvinas. Costa patagónica hasta provincia de Buenos Aires. **Distribución fósil en Argentina:** Pleistoceno Patagónico (Cabo Raso,

Camarones, Bahía Bustamante; sur de Caleta Olivia); Holoceno Patagónico (Puerto Lobos, Puerto Pirámides, Puerto Madryn, Cabo Raso, Camarones, Bahía Bustamante, Bahía Solano, Comodoro Rivadavia, Rada Tilly, Caleta Olivia, Bahía Lángara, Puerto Mazarredo, Puerto Deseado, Bahía Laura, San Julián, Tierra del Fuego).

**Comentarios:** exclusiva del Cuaternario patagónico.

***Nacella (Patinigera) deaurata*** (Gmelin, 1791)

(Lám. 1, figs. 1a-b)

1791 *Patella deaurata* Gmelin:3719.

1933 *Patinigera deaurata* Gmelin; Feruglio lám. 9 fig. 9-11

2000 *Nacella (Patinigera) deaurata* (Gm.); Aguirre & Farinati: 253, lám. 1, fig. 12-13

2000 *Nacella deaurata* (Gm.); Forcelli: 54, fig. 53.

**Descripción:** Conchilla grande (Am= 35-70mm), patelliforme, gruesa. Cónica alta. Apex en el tercio anterior, inclinado hacia adelante. Ornamentación de costillas muy gruesas separadas por surcos amplios y cruzados por líneas concéntricas de crecimiento bien marcadas. Margen interno crenulado. Interior con impresión muscular generalmente visible en herradura.

**Rango estratigráfico:** Pleistoceno-Reciente. **Rango geográfico.** Costa bonaerense desde 38° Lat. S hasta Tierra del Fuego, Isla de los Estados e Islas Malvinas. **Distribución fósil en Argentina:** Pleistoceno Patagónico (Camarones, Bahía Bustamante, Caleta Olivia); Holoceno Patagónico (Camarones, Bahía Bustamante, Comodoro Rivadavia, Rada Tilly, Bahía Lángara, Puerto Deseado, Tierra del Fuego). **Comentarios:** exclusiva del Cuaternario patagónico.

***Nacella delicatissima*** (Strebel, 1907)

(Lám. 1, figs. 3a-b)

- 1907 *Patinella delicatissima* Strebel: 145.  
1933 *Patinigera delicatissima* Strebel.;  
Feruglio: lám. IX, figs. 25a,b, 26.  
1988 *Patinigera delicatissima* (Strebel).;  
Castellanos & Landoni: 24, Lám. 4, fig. 4.  
2000 *Nacella delicatissima* (Strebel); Forcelli:  
55, fig. 54.

**Descripción:** Conchilla pequeña a mediana (Am= 11-36mm), pateliforme, muy delgada. Cónica alta. Borde anterior recto., posterior convexo. Apex subcentral o en el tercio anterior. Ornamentación de costillas radiales muy débiles y líneas concéntricas de crecimiento generalmente onduladas. Coloración típica a manera de bandas pardo oscuras y claras con aspecto de arabescos sobre fondo blanco. Interior generalmente brillante.

**Rango estratigráfico:** Pleistoceno-Reciente. **Rango geográfico:** costa del sur patagónico, Puerto Deseado, Estrecho de Magallanes, Islas Malvinas Patagonia, Atlántica de América del Sur. **Distribución fósil en Argentina:** Pleistoceno Patagónico (Camarones), Holoceno Patagónico (Bahía Bustamante Bahía Solano, Comodoro Rivadavia, Caleta Olivia, Puerto Mazarredo, Puerto deseado, Tierra del Fuego). **Comentarios:** especie exclusiva de Patagonia, indicativa de aguas frías.

**Género *Tegula*** Lesson, 1835

Especie tipo: *Trochus viridulus* Gmelin, 1791 por designación original.

**Subgénero *Agathistoma***

Olsson & Harbison, 1953

Especie tipo: *Trochus viridulus* Gmelin, 1791, por designación original; viviente en las costas de Brasil.

***Tegula (A.) patagonica*** (d'Orbigny, 1835)

(Lám. 1, figs. 11a-b)

1835 *Trochus patagonicus* d'Orbigny, 3(4):155.

1998 *Tegula (Agathistoma) patagonica* (d'Orb.); Martínez & Del Río: Lám. 1, figs. 16-17.

2000 *Tegula (A.) patagonica* (d'Orbigny, 1835); Aguirre & Farinati: 253, lám. 1, fig. 14-15

2000 *Tegula patagonia* d'Orbigny; Forcelli: 62, fig. 89.

**Descripción:** Conchilla pequeña (Am= 10-23 mm), trocoide, moderadamente cónica, espira baja (1/4 de la altura total), última vuelta muy ancha (3/4 de la altura total). Vueltas convexas. Sutures marcadas. Ornamentación espiral (hileras de nodos separadas por surcos). Holostomada. Abertura subovalada. Peristoma engrosado. Pequeños denticulos labrales. Espesamiento parietal y 3 dientes columelares. Ombligo profundo, parcialmente tapado por un callo (espesamiento columelar) en los adultos.

**Rango estratigráfico:** Mioceno-Reciente. **Rango geográfico:** sur de Brasil a Golfo Nuevo (Argentina). **Distribución fósil en Argentina:** Mioceno de Puerto Madryn; Pleistoceno Bonaerense (Punta Indio, Bahía Blanca) y Patagónico (San Antonio Oeste, Camarones, Bahía Bustamante); Holoceno Bonaerense (Bahía Samborombón, Mar Chiquita, Bahía Blanca) y Patagónico (San Antonio Oeste, Puerto Lobos, Puerto Pirámides, Puerto Madryn, Cabo Raso, Camarones, Bahía Bustamante, Comodoro Rivadavia, Puerto Mazarredo).

**Subgénero *Chlorostoma*** Swainson, 1840

Especie tipo: *Trochus argyrostomus* Gmelin, 1791 por designación subsiguiente de Hermannsen, 1846.

**Tegula (*Chlorostoma*) *atra*** (Lesson, 1830)  
(Lám. 1, figs. 12a-b)

[1830] *Trochus ater* Lesson :344.

1933 *Chlorostoma atrum* (Lesson); Feruglio:  
lám. XI, figs. 11ab, 12ab.

2000 *Tegula atra* (Lesson); Farinati &  
Aguirre: 257, lám. 2, figs. 18-19

2000 *Tegula atra* (Lesson); Forcellì: 61, fig.  
88

**Descripción:** Conchilla mediana a grande (Am= 25-60mm), gruesa, muy globosa. Espira baja. Última vuelta muy ancha ocupando 1/2 a 3/4 de la altura total. Vueltas planas a subconvexas. Exterior liso, sólo líneas de crecimiento oblicuas, muy débilmente marcadas sobre una capa gruesa púrpura o negra opaca dispuesta sobre la capa nacarada. Abertura oval redondeada con bordes afinados. Umbilicada (adultos con callo umbilical provisto de un diente marcado).

**Rango estratigráfico:** Pleistoceno-Reciente. Presente en algunos depósitos holocenos posiblemente por retrabajo.

**Rango geográfico:** Sur de Perú hasta el Estrecho de Magallanes. Distribución fósil en Argentina: Pleistoceno Patagónico (Cabo Raso, Camarones, Bahía Bustamante); Holoceno Patagónico (San Antonio Oeste, Puerto Lobos, Cabo Raso, Camarones, Bahía Bustamante, Comodoro Rivadavia, Caleta Olivia, Puerto Mazarredo, Puerto deseado, San Julián). **Comentarios:** *T. atra* es indicador bioestratigráfico del Cuaternario patagónico, dominante y con máximas dimensiones en el Pleistoceno (TMIV y V sensu Feruglio, 1950). Actualmente extinguida en el Atlántico Sudoccidental. Bien representada en las costas del pacífico (Guzmán *et al.*, 1998).

**Género *Crepidula*** Lamarck, 1799

Especie tipo: *Patella fornicata* Linné, por

monotipia; viviente en la costa atlántica y del Golfo de USA (Addicott, 1970: 62, Ladd, 1982: 36).

***Crepidula aculeata*** (Gmelin, 1791)

(Lám. 1, fig. 10a-b)

1791 *Patella aculeata* Gmelin:3693.

2000 *Crepidula aculeata* (Gmelin, 1791); Farinati & Aguirre: 261, lám. 3, figs. 30-31

2000 *Crepidula aculeata var. aculeata* (Gmelin, 1791); Forcellì: 73, fig. 153

**Descripción:** Conchilla mediana (Am= 8-36mm), ovalada, convexa, apex lateral recurvado. Exterior cubierto por hileras radiales de espinas, más notorias en el borde anterior. Septo interno muy fino, cóncavo con una prominencia longitudinal que determina dos regiones desiguales.

**Rango estratigráfico:** Pleistoceno-Reciente. **Rango geográfico:** Desde Florida (USA) Mar de Las Antillas, Brasil hasta Patagonia y Chile. Pleistoceno-Holoceno.

**Distribución fósil en Argentina:** Pleistoceno Bonaerense (Bahía Blanca), Holoceno bonaerense (Punta Indio, Bahía Samborombón, Mar Chiquita, Bahía Blanca); Holoceno Patagónico (San Antonio Oeste, Camarones). **Comentarios:** éste es el primer registro de la especie en el Holoceno de Camarones.

***Crepidula protea*** d'Orbigny, 1841

(Lám. 1, fig. 9a-b)

?1758 *Patella fornicata* Linn, Syst. Nat. 10 (sensu Parodiz, 1939).

1841 *Crepidula protea* d'Orbigny, 5(3):465

2000 *Crepidula protea* (d'Orbigny); Farinati & Aguirre: 261, lám. 3, figs. 32-33

**Descripción:** Conchilla de tamaño pequeño a mediano (Am= 4-16mm). Ovoide, generalmente más alta que ancha, globosa. Bordes laterales subparalelos poco redondeados. Apice agudo poco prominente.

te, posterior, apenas curvado o inclinado hacia el costado derecho de la conchilla. Exterior liso, únicamente con líneas de crecimiento. Color generalmente blanco a pardo amarillento. Septo interno muy cóncavo, de contorno regular, con la máxima concavidad en el centro, ocupando la mitad de la abertura.

**Rango estratigráfico:** Mioceno - Holoceno. **Rango geográfico:** Antillas a Golfo San Matías. **Distribución fósil en Argentina:** Holoceno Bonaerense (Punta Indio, Bahía Samborombón, Mar Chiquita); Pleistoceno Patagónico (Camarones, Bahía Bustamante, sur de caleta Olivia); Holoceno Patagónico (San Antonio Oeste, Puerto Lobos, Puerto Pirámides, Camarones). **Comentarios:** posiblemente sinónimo de *C. onyx* Sow.

*Crepidula onyx* Sowerby, 1824

(Lám. 1, fig.7a-b)

1824 *Crepidula onyx* Sowerby,: lám. 152, fig.2 (en Hoagland, 1977).

2000 *Crepidula onyx* (Sowerby); Farinati & Aguirre: 261, lám. 3, figs. 34-35

2000 *Crepidula onyx* (Sowerby); Forcelli: 74, fig. 156

**Descripción:** Conchilla de tamaño pequeño a mediano (Am= 5-40,5 mm), subovoide, deprimida, de bordes subparalelos. Apice puntiagudo bien prominente, ligeramente desplazado o curvado hacia la derecha, pero nunca notablemente desplazado como en *C. dilatata* Lamk. ni curvado y saliente como en *C. protea* d'Orb. Exterior liso con con estrías de crecimiento a veces visibles.

**Rango estratigráfico:** Mioceno-Reciente. **Rango geográfico:** costas del Océano Pacífico desde California hasta Chile; Atlántico Sur desde 42°S hasta 47°S. **Distribución fósil en Argentina:** Holoceno

Bonaerense (Bahía Samborombón); Pleistoceno Patagónico (Camarones) y Holoceno Patagónico (San Antonio Oeste). **Comentarios:** se trata de la primera cita para el área de camarones y para el Pleistoceno de la Argentina.

*Crepidula dilatata* Lamarck, 1822

(Lám.1, fig. 8)

1822 *Crepidula dilatata* Lamarck,p.25 (nº 5)

2000 *Crepidula dilatata* (Lamarck); Farinati & Aguirre: 261, lám. 3, figs. 36-37

2000 *Crepidula dilatata* var. *dilatata* (Lamarck); Forcelli: 73, fig. 154

**Descripción:** Conchilla pequeña a mediana (Am= 11-65 mm), subovoide, globosa, más ancha y redondeada anteriormente. Ápice marcadamente saliente y puntiagudo, notablemente curvado hacia el costado derecho de la conchilla, pero nunca espiralado como en *C. aculeata*. Septo interno relativamente plano, con el margen cóncavo en el centro. Exterior liso, con líneas de crecimiento, a veces pequeñas rugosidades radiales.

**Rango estratigráfico:** Mioceno-Holoceno. **Rango geográfico:** cosmopolita; muy común en las costas de América del Sur desde Brasil a Tierra del Fuego, Islas Malvinas y Chile hasta Ecuador.

**Distribución fósil en Argentina:** Holoceno Bonaerense (Punta Indio, Bahía Samborombón); Pleistoceno Patagónico (Cabo Raso, Camarones, Bahía Bustamante, sur de caleta Olivia) y Holoceno Patagónico (San Antonio Oeste, Puerto Lobos, Puerto Pirámides, Puerto Madryn, Cabo Raso, Camarones, Bahía Bustamante, Bahía Solano, Comodoro Rivadavia, Rada Tilly, Caleta Olivia, Puerto Mazarredo, Puerto Deseado, Bahía Laura, San Julián, Tierra del Fuego).

***Crepidula cf. unguiformis*** Lamarck, 1822  
(Lám. 1, fig. 24)

1822 *Crepidula unguiformis* Lamarck: VII.  
1967 *Crepidula unguiformis* Lamk.;  
Castellanos: 43, lám. 3, fig. 8.  
2000 *Crepidula unguiformis* Lamk.;  
Forcelli: 74, fig. 157.

**Descripción:** Conchilla ovalada, delgada. Ápice muy saliente a manera de uña, curvado hacia un lado. Septo convexo. Puede presentar estrías exteriormente. Demás característica similares a *C. dilatata*.

**Rango estratigráfico:** Reciente.

**Rango geográfico:** costa atlántica desde América del Norte hasta Uruguay. Costa pacífica desde California a Perú. Mar Mediterráneo, Australia, Nueva Zelanda.

**Distribución fósil en Argentina:** Cuaternario bonaerense.

**Género *Trochita*** Schumacher, 1817

Especie tipo: *Trochita spiralis* Schumacher, 1817 por designación subsiguiente de Rehder, 1943.

***Trochita pileus*** (Lamarck, 1822)  
(Lám. 1, fig. 20)

1817 *Patella trochiformis* Dillwyn :1018 (in partim).  
1822 *Trochus pileus* Lamarck :11.  
1933 *Calyptrea pileus* Lamarck; Feruglio lám. 9 fig. 37-39.  
1963 *Calyptrea costellata* Philippi; Richards y Craig :139.  
1990 *Trochita pileus* (Lamarck); Castellanos y Landoni:8, lám. 2, fig. 19 a-c.  
2000 *Trochita pileus* (Lamarck); Aguirre & Farinati: 262, lám. 3, figs. 38-40.  
2000 *Calyptrea pileus* (Lamarck); Forcelli: 74, fig. 159.

**Descripción:** Conchilla cónica de base subredondeada y anfractos convexos. Apex

central liso en la primera vuelta. Restantes anfractos asimétricos, descendiendo en espiral desapareja. Costillas axiales interrumpidas a la altura de las suturas. Interiormente en la base un septo con un reborde central grueso prominente, curvado, con un seno pequeño próximo al borde.

**Distribución estratigráfica:** Holoceno.

**Distribución fósil en Argentina:** Holoceno Patagónico (Bahía Bustamante, Bahía Solano, sur de Caleta Olivia, Tierra del Fuego). **Distribución geográfica:** Tierra del Fuego y Estrecho de Magallanes hasta Cabo San Antonio. Islas Malvinas.

**Comentarios:** especie típica de aguas frías, exclusiva en el Holoceno y de Patagonia.

**Género *Natica*** Scopoli, 1777

Especie tipo: *Nerita vitellus* Linné, 1758, por designación subsiguiente de Anton, 1839 (Pastorino, 1994: 83), del Holoceno del Océano Pacífico occidental (Addicott, 1970: 65; Ladd, 1982: 38).  
Sinónimos: *Cochlis* Röding, 1798; *Nacca* Risso, 1826; *Notocochlis* Powell, 1933 (véase Lindner, 1983).

***Natica isabelleana*** d'Orbigny, 1835  
(Lám. 4, fig. 15)

1835 *Natica isabelleana* d'Orbigny, 3(4):154.  
2000 *Natica isabelleana* (d'Orbigny); Farinati & Aguirre: 265, lám. 4, figs. 41  
2000 *Natica isabelleana* (d'Orbigny); Forcelli: 78, fig. 176

**Descripción:** Conchilla pequeña a mediana (Am= 4-30mm), subcónica, muy globosa, delgada, compuesta por 5 vueltas muy convexas y separadas por suturas profundas bien delimitadas. Espira cónica baja (1/4 de la altura total). Última vuelta muy globosa, generalmente tan ancha como alta. Holostomada. Abertura subcircular a sub-



val, más angosta y aguda posteriormente, sin reborde grueso. Labro muy delgado y liso. Labio interno con pequeño reborde. Ombligo profundo y pequeño. Exterior liso, con líneas axiales de crecimiento que se tornan oblicuas en la última vuelta. Color blanco.

**Rango estratigráfico:** Mioceno-Reciente. **Rango geográfico:** sur de Brasil a Santa Cruz. **Distribución fósil en Argentina:** Pleistoceno y Holoceno Bonaerense (Punta Indio, Bahía Blanca); Pleistoceno Patagónico (Camarones), Holoceno Patagónico (San Antonio Oeste, Puerto Lobos, Puerto Pirámides, Puerto Madryn, Cabo Raso, Camarones, Bahía Bustamante). **Comentarios:** primer registro para el área.

**Género *Trophon*** Montfort, 1810

Especie tipo: *Murex magellanicus* Gmelin, 1791 (= *Murex geversianus* Pallas, 1774), por designación original; Holoceno del Estrecho de Magallanes a Chile (Addicott, 1970: 81).

***Trophon varians*** (d'Orbigny, 1841)

(Lám. 1, fig. 13)

1841 *Murex varians* d'Orbigny, 5(3): 452, lám.62, figs.4-7.

1933a *Trophon varians* d'Orbygni, Feruglio lám. 9 fig. 39 a-b.

1998 *Trophon geversianus* Pallas; Martínez & Del Río: Lám. 2, fig. 23.

2000 *Trophon varians* (d'Orbigny); Farinati & Aguirre: 265, lám. 4, figs. 48

**Descripción:** Conchilla mediana a grande (A= 35mm) oval oblonga, gruesa, con 6 anfractos convexos. Última vuelta muy grande (1/2 de la altura). Espira variable. Suturas bien marcadas. Sifonostomada, con canal sifonal profundo. Exterior liso o con líneas espirales gruesas, a veces alternando con estrías axiales finas. Color blan-

co o amarillento. Las bandas espirales pueden ser oscuras.

**Rango estratigráfico:** Mioceno-Reciente. **Rango geográfico:** desembocadura del Río de La Plata a Golfo San Matías. **Distribución fósil en Argentina:** Mioceno de Puerto Madryn; Pleistoceno Patagónico (San Antonio Oeste, Cabo Raso, Camarones, Bahía Bustamante); Holoceno Patagónico (Camarones, Bahía Solano, Rada Tilly). **Comentarios:** si bien ha sido recientemente considerada sinónimo de *T. geversianus* por otros autores, en virtud de su posible valor paleoambiental y bioestratigráfico (Holoceno Bonaerense y Patagónico, Pleistoceno Patagónico) se la mantiene diferenciada momentáneamente.

***Trophon geversianus*** (Pallas, 1774)

(Lám. 1, fig. 14)

1774 *Buccinum geversianum* Pallas :33, lám. 3, fig. 1.

1933 *Trophon elongatus* (Strebel); Feruglio: lám. IX, figs. 33ab, 34ab.

2000 *Trophon geversianus* (Pallas); Farinati & Aguirre: 265, lám. 4, figs. 49

2000 *Trophon geversianus* (Pallas); Forcelli: 83, fig. 199

**Descripción:** Conchilla mediana a grande (49-70mm), fusiforme, globosa, gruesa, con 6 o más vueltas convexas. Espira cónica. Sutura bien definida con rampa subsutural carenada. Abertura oval elíptica. Canal sifonal profundo y largo. Pseudombilicada. Exterior con lamelas axiales muy conspicuas o débiles (juveniles) y cordones espirales. Color blanco.

**Rango estratigráfico:** Mioceno-Reciente. **Rango geográfico:** Por el Atlántico desde los 36°S hasta Islas Malvinas y Tierra del Fuego y en Chile hasta los 54°S.

**Distribución fósil en Argentina:** Pleistoceno Patagónico (Cabo Raso, Camarones, Bahía Bustamante, sur de Caleta Olivia); Holoceno Patagónico (San Antonio Oeste, Puerto Lobos, Puerto Pirámides, Puerto Madryn, Cabo Raso, Camarones, Bahía Bustamante, Bahía Solano, Comodoro Rivadavia, Rada Tilly, Caleta Olivia, Bahía Lángara, Puerto Mazarredo, Puerto Deseado, Bahía Laura, San Julián). **Comentarios:** especie de gran variabilidad intraespecífica, principalmente en lo que respecta a la ornamentación (costillas, lamelas, o con tendencia a ser exteriormente lisa). Las variaciones morfológicas podrían tener valor bioestratigráfico. Las formas lisas son dominantes en el Holoceno. En el Cuaternario de Argentina es exclusiva del área costera patagónica.

**Género *Acanthina*** Fischer von Waldheim, 1807

Especie tipo: *Buccinum monoceros* Chemnitz (= *B. monodon* Pallas, 1774) por designación subsiguiente de Gray, 1847.

***Acanthina monodon*** (Pallas, 1774)  
(Lám. 1, figs. 18, 22)

1774 *Buccinum monodon* Pallas :33, figs. 3,4.

1784 *B. calcar* Martyn fig. 10 (nomen nudum).

1933 *Acanthina calcar* Martyn; Feruglio: lám. XI, figs. 6, 7

1993 *A. monodon* (Solander); Castellanos y Landoni :20, lám. 3, fig. 44.

2000 *A. monodon* (Pallas); Aguirre & Farinati: 269, lám. 5, fig.55,56.

2000 *A. monodon* (Pallas); Forcelli: 88, fig. 230.

**Descripción:** Conchilla pequeña a mediana (H= 30,65mm), fusiforme, maciza, con cinco o más anfractos globosos. Espira

cónica, corta (1/3 de la altura total). Última vuelta muy globosa. Abertura oval oblonga. Canal sifonal profundo y angosto. Labio interno con con denticulaciones más o menos marcadas, anteriormente con un diente prominente y conspicuo (visibles sólo en ejemplares sin abrasión). Callo columelar liso muy débil. Exterior con con líneas espirales desdibujadas que se entrecruzan con las líneas axiales de crecimiento.

**Rango estratigráfico:** Pleistoceno-Reciente. **Rango geográfico:** costa de Chile desde 40°S hasta el Estrecho de Magallanes. En Argentina, sur de la Patagonia, Tierra del Fuego e Islas Malvinas. **Distribución fósil en Argentina:** Pleistoceno Patagónico (Camarones); Holoceno Patagónico (Cabo Raso, Camarones, Bahía Bustamante, Bahía Solano, Comodoro Rivadavia, Caleta Olivia, Puerto Mazarredo, Puerto Deseado). **Comentarios:** exclusiva del Cuaternario patagónico.

**Género *Odontocymbiola*** Clench y Turner, 1964

Especie tipo: *Voluta magellanica* Gmelin, 1791 por designación original.

***Odontocymbiola magellanica*** (Gmelin, 1791)

(Lám. 1, fig. 21)

1791 *Voluta magellanica* Gmelin: 3465.

2000 *Odontocymbiola magellanica* (Gmelin); Farinati & Aguirre: 273, lám. 6, figs. 67-68

2000 *Odontocymbiola magellanica* (Gmelin); Forcelli: 101, fig. 290

**Descripción:** Conchilla grande (H= 50-300mm), volutiforme, elongada, delgada, con cinco vueltas muy poco convexas. Espira corta (1/4 de la altura total). Sutura bien marcada. Abertura oval elongada, con canal sifonal profundo y angosto. Labio

externo fino levemente curvado. Labio interno con tres a cinco pliegues definidos. Exterior liso.

**Rango estratigráfico:** Holoceno.

**Rango geográfico:** Río de la Plata hasta Estrecho de Magallanes, Islas Malvinas y costa chilena hasta Chiloé. **Distribución fósil en Argentina:** Pleistoceno Patagónico (Cabo Raso, Camarones); Holoceno Patagónico (San Antonio Oeste, Puerto Lobos, Puerto Pirámides, Puerto Madryn, Cabo Raso, Camarones, Bahía Bustamante, Bahía Solano, Comodoro Rivadavia, Rada Tilly, Puerto Mazarredo, Puerto Deseado, San Julián, Tierra del Fuego). **Comentarios:** es exclusiva del Cuaternario patagónico.

**Género *Pareuthria*** Strebel, 1905

Especie tipo: *Fusus plumbeus* Philippi, 1844 por designación subsiguiente de Tomlin, 1932.

***Pareuthria plumbea*** (Philippi, 1844)

(Lám. 1, fig. 19)

1844 *Fusus plumbeus* Philippi :108, lám. 1, fig. 3.

2000 *Pareuthria plumbea* (Philippi); Farinati & Aguirre: 279, lám. 8, figs. 81

2000 *Pareuthria plumbea* (Philippi); Forcelli: 95, fig. 261

**Descripción:** Conchilla pequeña (H= 19-30 mm), fusiforme, con 5-6 anfractos subconvexos. Espira alta (casi 1/2 de la altura total), acuminada. Último anfracto muy desarrollado. Abertura oval subcuadrangular (casi 1/2 de la conchilla). Canal sifonal ancho y oblicuo. Callo columelar fino. Superficie externa cubierta por tenues líneas radiales y espirales, más conspicuas en la última vuelta.

**Rango estratigráfico:** Pleistoceno-Reciente. **Rango geográfico:** Por el

Atlántico desde Bahía Camarones hasta Islas Malvinas y Estrecho de Magallanes.

**Distribución fósil en Argentina:**

Pleistoceno Patagónico (Cabo Raso, Camarones, Bahía Bustamante, sur de Caleta Olivia); Holoceno Patagónico (Puerto Pirámides, Cabo Raso, Camarones, Bahía Bustamante, Bahía Solano, Comodoro Rivadavia, Rada Tilly, Caleta Olivia, Bahía Lángara, Puerto Mazarredo, Puerto Deseado, Bahía Laura, San Julián, Tierra del Fuego). **Comentarios:** es exclusiva del Cuaternario del área costera patagónica.

**Género *Buccinanops*** d'Orbigny, 1841

Especie tipo: *Buccinum cochlidium* Chemnitz, 1795 por designación original (= *Buccinum cochlidium* Dillwyn, 1817 = *Buccinum lamarekii* Kiener, 1834); viviente en el Océano Atlántico Sur.

***Buccinanops globulosus*** (Kiener, 1834)

(Lám. 1, fig. 23)

1834 *Buccinum globulosum* Kiener: 12, lám. 10, fig.33 (fide Castellanos,1967:90)

1933a *Bullia globulosa* Kien, Feruglio lám. 9 fig. 30 a-b.

2000 *Buccinanops globulosus* (Kiener); Farinati & Aguirre: 279, lám. 8, figs. 87

2000 *Buccinanops globulosus* (Kiener); Forcelli: 99, fig. 280

**Descripción:** Conchilla pequeña a mediana (Am= 9-70mm), bucciniforme, maciza, globosa, con 4 a 6 vueltas bien convexas y diferenciadas. Espira cónica baja (1/3 de la conchilla), con ápice agudo. Última vuelta muy globosa. Suturas débiles. Abertura grande, subovoide, con canal sifonal corto y estrecho. Labio interno muy cóncavo, con callo poco desarrollado, y labro liso subconvexo. Superficie externa lisa, con líneas colabiales muy finas, a veces conservando el brillo de las conchillas modernas.

**Rango estratigráfico:** Pleistoceno-Reciente. **Rango geográfico:** Uruguay hasta Cabo Buen Tiempo (Santa Cruz). **Distribución fósil en Argentina:** Pleistoceno Bonaerense (Punta Indio, Mar Chiquita, Bahía Blanca); Holoceno Bonaerense (Punta Indio, Bahía Samborombón, Mar Chiquita); Pleistoceno Patagónico (San Antonio Oeste, Cabo Raso, Camarones, Bahía Bustamante, Caleta Olivia, Cantera Delgado, Supe Locality); Holoceno Patagónico (San Antonio Oeste, Puerto Lobos, Puerto Madryn, Cabo Raso, Camarones, Bahía Bustamante, Bahía Solano, Comodoro Rivadavia, Rada Tilly, Caleta Olivia, Bahía Lángara, Puerto Mazarredo, Bahía Laura, San Julián, Tierra del Fuego).

**Género *Siphonaria*** G.B. Sowerby I, 1824  
Especie tipo: *Siphonaria laciniosa* (Linné, 1758) por designación original.

**Subgénero *Talisiphon*** Iredale, 1940  
Especie tipo: *Siphonaria lessoni* (Blainville, 1824) por designación original.

*Siphonaria lessoni* (Blainville, 1824)  
(Lám. 1, fig. 16)

1822 *Patella lessoni* Blainville: 264, lám. 44, fig. 2 (fide Castellanos, 1967:159)

1933 *Siphonaria lessoni* (Blainv.); Feruglio: lám. IX, fig. 36.

1933 *Siphonaria tristensis* Leach; Feruglio: lám. XI, fig. 18-20

2000 *Siphonaria lessoni* (Blainville); Farinati & Aguirre: 279, lám. 8, figs. 90-91

2000 *Siphonaria lessoni* (Blainville); Forcelli: 132, fig. 421.

**Descripción:** Conchilla pequeña a mediana (3-20 mm), asimétrica, pateliforme típica, sin trema, con la base de contorno subcircular a suboval, muy amplia, anteriormente subaguda, posteriormente más ancha.

Apice puntiagudo ubicado en el tercio posterior de la conchilla, curvado hacia atrás y ligeramente inclinado a la izquierda. Superficie interna oscura, con impresión del aductor en forma banda anular clara, más angosta posteriormente. Exterior con líneas concéntricas muy finas y costillas radiales generalmente gruesas, más desarrolladas hacia la zona marginal. Margen de la conchilla externamente crenulado e interiormente liso. Costado derecho provisto de un abultamiento y una banda radial, con ornamentación diferente de la del resto de la conchilla, marcando la posición del sifón interno.

**Rango estratigráfico:** Pleistoceno-Reciente. **Rango geográfico:** costa atlántica americana desde 12° S hasta la Región Magallánica; costa pacífica de Chile hasta América Central. **Distribución fósil en Argentina:** Holoceno Bonaerense (Mar Chiquita, Bahía Blanca); Pleistoceno Patagónico (Cabo Raso, Camarones); Holoceno Patagónico (San Antonio Oeste, Puerto Lobos, Puerto Pirámides, Puerto Madryn, Cabo Raso, Camarones, Bahía Bustamante, Bahía Solano, Comodoro Rivadavia, Rada Tilly, Caleta Olivia, Bahía Lángara, Puerto Mazarredo, Bahía Laura, San Julián, Tierra del Fuego). **Comentarios:** especie indicadora de aguas poco profundas de alta energía y (supralitoral-intermareal) y sustratos consolidados.

### Clase Bivalvia

**Género *Mytilus*** Linné, 1758

**Subgénero *Mytilus* (*Mytilus*)** Linné, 1758  
Especie tipo: *Mytilus edulis* Linné, 1758, por designación subsiguiente de Gray, 1847 (Soot-Ryen, 1955; Cox *et al.*, 1969, p.271), viviente en el Océano Atlántico Norte, Océano Indico y Mar Báltico.

Sinónimos: *Mytilus* Meuschen, 1789 (nom. null.); *Mytilarius* Froriep, 1806; *Mytiligenus* Renier, 1807; *Eumytilus* Ihering, 1900.

***Mytilus (Mytilus) edulis* Linné, 1758**

(Lám. 2, figs. 1a-b, 2a-b)

1758 *Mytilus edulis* Linné:704.

1933 *Mytilus chilensis* Hupé; Feruglio: lám. XI, fig. 2a,b; 3a,b

1955 *Mytilus edulis* Linné; Soot-Ryen:19, lám.1,f.1-2,fig.texto1,2,10,11.

1998 *Mytilus (Mytilus) trigonus* Borchert; Del Río & Martínez: Lám. 6. fig. 4.

1998 *Mytilus (Mytilus) trigonus* Borchert; Del Río & Martínez: Lám. 17, fig. 8 (holo-tipo).

2000 *Mytilus (Mytilus) edulis* Linné; Aguirre & Farinati: 287, Lám.9, figs.104-105.

2000 *Mytilus chilensis* Hupé; Forcelli: 148, fig. 474.

**Descripción:** Conchilla de tamaño mediano a grande (L= 20-85mm), equivalva, marcadamente inequilateral, mitiliforme. Umbos terminales, prosogiros. Superficie lisa con débiles líneas concéntricas de crecimiento. Ligamento externo parivincular opistodético, largo. Dentición disodonta con tres dientes pequeños, anteriores al umbo. Musculatura dimiaria anisomiaria; aductor anterior pequeño. Frecuentemente el material fósil conserva su color exterior original, variando entre marrón oscuro o negro hasta púrpura o violáceo: interior generalmente nacarado.

**Rango estratigráfico:** Mioceno-Reciente. **Rango geográfico:** pandémico/cosmopolita. **Distribución fósil en Argentina:** Mioceno de Puerto Madryn y Paraná; Holoceno Bonaerense (Punta Indio, Bahía Samborombón, Mar Chiquita, Bahía Blanca); Pleistoceno Patagónico (Camarones), Holoceno Patagónico (San Antonio

oeste, Puerto Lobos, Cabo Raso, Camarones).

**Género *Brachidontes* Swainson, 1840**

**Subgénero *Brachidontes* s.s.**

Especie tipo: *Modiola sulcata* Lamarck, 1819 (no 1805) por monotipia (Cox et al., 1969, p.N273) (= *Mytilus citrinus* Röding, 1798 = *Arca modiolus* Linné, 1767).

**Rango estratigráfico:** Jurásico-Reciente.

**Rango geográfico:** cosmopolita.

***Brachidontes (Brachidontes) rodriguezii***

(d'Orbigny, 1846)

(Lám. 2, fig. 5)

1758 *Brachidontes exustus* Linné: 705 (ed.10th) (sensu Ihering, 1907:82).

1846 *Mytilus rodriguezii* d'Orbigny: 646, lám.85, fig.9-11.

1933 *Mytilus (Modiolus) purpuratus* Lam.; Feruglio: lám. XI, fig. 14a,b.

1998 *Brachidontes rodriguezii lepida* (Philippi); Del Río & Martínez: Lám. 17, fig. 9 (il. Original)

2000 *Brachidontes (Brachidontes) rodriguezii* d'Orb.; Aguirre & Farinati: 288, Lám.9, fig.106.

2000 *Brachidontes rodriguezii* (d'Orbigny); Forcelli: 150, fig. 480.

**Descripción:** Conchilla de tamaño pequeño (L= 15-50mm), cuneiforme o modioliforme, equivalva, muy inequilateral. Margen dorsal arqueado; margen ventral subcóncavo o raramente recto. Umbos subterminales redondeados. Región umbonal más inflada que el resto de la conchilla, provista de una carena muy pronunciada que divide la superficie externa en dos áreas bien diferenciadas (anteroventral pequeña y posterodorsal mayor). Costillas radiales marcadas y líneas concéntricas de crecimiento en toda la superficie, más pronunciadas posteriormente. Margen interno crenu-



lado. Ligamento externo opistodético. Disodonta. Musculatura dimiaria anisomiaria, aductor anterior muy pequeño, aductor posterior ensanchado posterodorsalmente. Línea paleal entera. Periostraco castaño oscuro a púrpura, parcialmente preservado, generalmente muy gastado. Superficie interna nacarada.

**Rango estratigráfico:** Mioceno-Reciente. **Rango geográfico:** sur de Brasil a Golfo San Matías. **Distribución fósil en Argentina:** Mioceno de Puerto Madryn y Paraná; Pleistoceno Bonaerense (Bahía Blanca), Holoceno Bonaerense (Punta Indio, Bahía Samborombón, Mar Chiquita, Bahía Blanca); Pleistoceno Patagónico (Camarones), Holoceno patagónico (San Antonio Oeste, Puerto Lobos, Puerto Madryn, Camarones, Comodoro Rivadavia, Puerto Mazarredo). **Comentarios:** nuevo registro para el área de Camarones.

*Brachidontes (B.) purpuratus* (Lamarck, 1797)

(Lám. 2, fig. 3)

1797 *Modiolus purpuratus* Lamarck: lám. 219

1933 *Mytilus (Modiolus) purpuratus* Lam.; Feruglio: lám. XI, fig. 15a,b.

1995 *Brachidontes purpuratus* (Lam.); Gordillo: 30, ilus.

2000 *Brachidontes (Brachidontes) purpuratus* Lam.; Aguirre & Farinati: 289, Lám.9, fig.107.

2000 *Perumytilus purpuratus* Lam.; Forcelli: 150, fig. 481.

**Descripción:** Conchilla de tamaño pequeño (L= 18-45 mm), equivalva, muy inequilateral, cuneiforme o modioliforme, menos elongada que la anterior. Margen dorsal arqueado formando un ángulo en la región dorsal media de la conchilla; margen ventral subcóncavo a recto. Umbos subter-

minales, redondeados. Ligamento externo opistodético. Disodonta compuesta. Anisomiaria. Línea paleal entera. Ornamentación de fuertes costillas radiales, posteriormente más pronunciadas, y líneas de crecimiento. Margen interno crenulado. Periostraco púrpura a marrón oscuro. Superficie interna nacarada.

**Distribución estratigráfica:** Mioceno-Reciente. **Distribución geográfica:** costas del Océano Pacífico desde Ecuador hasta el Estrecho de Magallanes; costas de Patagonia entre Golfo San Matías y Tierra del Fuego. **Distribución fósil en Argentina:** Pleistoceno Patagónico (Camarones, Bahía Bustamante, Comodoro Rivadavia, San Antonio Oeste, Puerto Lobos, Puerto Madryn, Cabo Raso, Camarones, Bahía Bustamante, Bahía Solano, Comodoro Rivadavia, Rada Tilly, Caleta Olivia, Bahía Lángara, Puerto Mazarredo, Puerto Deseado, Bahía Laura, San Julián, Tierra del Fuego). **Comentarios:** exclusiva del Cuaternario patagónico. En la Lám. 2, fig. 4 se ilustra un ejemplar representante del material referido como *B. cf. purpuratus*, similar a *B. darwini-naus* (d'Orb.) y *B. exustus* (Linn.), vivientes en el Atlántico occidental desde Carolina del Norte hasta Argentina, y a *Brachidontes solisianus* (d'Orb.), viviente desde el Este de Méjico hasta Uruguay, tal como se ilustran en la bibliografía (i.e. Ríos, 1994: fig. 1162, 1163). **Comentarios:** exclusiva de Patagonia.

**Género *Aulacomya*** Mörch, 1853

Especie tipo: *Mytilus magellanicus* Chemnitz, 1785.

*Aulacomya atra* (Molina, 1782)

(Lám. 2, fig.s. 6a-b)

1782 *Mytilus ater* Molina:202, lám. 9.

1846 *M. magellanicus* Chemnitz; d'Orbigny:647.

1933 *M. magellanicus* Lam.; Feruglio: lám. XI, fig. 13

1977 *A. ater* (Molina); Scarabino:200, lám.6, fig. 4.

2000 *Aulacomya atra* Molina; Aguirre & Farinati: 289, Lám.10, fig.108.

2000 *Aulacomya ater* Molina; Forcelli: 148, fig. 477.

**Descripción:** Conchilla de tamaño grande (L= 70-120mm), cuneiforme, maciza. Umbo terminal puntiagudo, prosogiro. Borde dorsal convexo, borde ventral recto o subcóncavo. Superficie externa con costillas radiales muy pronunciadas, y líneas de crecimiento concéntricas. Ligamento externo opistodético. Dentición disodonta, con creluación en valva izquierda y surco en derecha. Anisomiaria. Exterior púrpura a negruzco. Interior blanquecino nacarado.

**Rango estratigráfico:** Pleistoceno-Reciente. **Rango geográfico:** Litoral atlántico hasta la región magallánica y Malvinas. Por el Pacífico, de Chile hasta Perú.

**Distribución fósil en Argentina:** Pleistoceno Patagónico (Camarones, Bahía Bustamante, Comodoro Rivadavia, sur de Caleta Olivia); Holoceno patagónico (Puerto Lobos, Puerto Madryn, Cabo Raso, Camarones, Bahía Bustamante, Bahía Solano, Comodoro Rivadavia, Rada Tilly, Caleta Olivia, Puerto Mazarredo, Puerto Deseado, Bahía Laura, San Julián, Tierra del Fuego). **Comentarios:** exclusiva de Patagonia.

**Género *Aequipecten*** Fischer, 1887

Especie tipo : *Chlamys opercularis* (Linn.) (= *Ostrea opercularis* Linné) (por designa. Orig.). Reciente del Mar Mediterráneo y NE Océano Atlántico.

***Aequipecten tehuelchus*** (d'Orbigny, 1846) (Lám.2, fig. 7a-c)

1846 *Pecten tehuelchus* d'Orbigny: 662, lám.85, figs. 21-24.

1994 *Chlamys tehuelchus* (d'Orb.); Ríos:222, lám.80, fig.1118.

1998 *Aequipecten paranensis pennatus* Del Río; Del Río & Martínez: Lám. 4, figs. 2-3

1998 *Argopecten insuetus* Del Río; Del Río & Martínez: Lám. 4, figs. 4-5.

1998 *Argopectengratus* Del Río; Del Río & Martínez: Lám. 4, figs. 6-7.

1998 *Aequipecten paranensis paranensis* (d'Orb.); Del Río & Martínez: Lám. 18, fig. 7.

2000 *Chlamys tehuelchus* d'Orbigny; Aguirre & Farinati: 290, Lám.10, fig.110.

2000 *Chlamys tehuelchus* d'Orbigny; Forcelli: 152, fig. 493.

**Descripción:** Conchilla de tamaño mediano (H= 40-65 mm), subredondeada, delgada, subequivalva, subequilateral. Superficie externa con costillas radiales nítidas, convexas y prominentes. Cada costilla lleva tres cordones longitudinales escamosos, separadas por espacios intercostales profundos y casi tan anchos como las costillas, recorridos también por hileras de escamas más pequeñas. Aurículas desiguales, la anterior mayor y la posterior cortada casi verticalmente. Resilífero triangular profundo. Monomiaria.

**Rango estratigráfico:** Mioceno-Reciente. **Rango geográfico:** Desde Río de Janeiro (Brasil) hasta Golfo Nuevo (Argentina). **Distribución fósil en Argentina:** Mioceno de Puerto Madryn y Paraná; Pleistoceno Bonaerense (Punta Indio), Holoceno Bonaerense (Bahía Blanca); Pleistoceno Patagónico (Camarones, Bahía Bustamante, Comodoro Rivadavia), Holoceno Patagónico (San Antonio Oeste, Puerto Lobos, Puerto Madryn, Cabo

Raso, Camarones, Bahía Bustamante, Bahía Solano, Puerto Mazarredo, San Julián).

**Comentarios:** similar a *Chlamys patagonicus* (King & Broderip, 1831), típica especie patagónica que se diferencia por su ornamentación de costillas radiales más finas y el menor tamaño de las aurículas.

### Género *Ostrea* Linné, 1758

#### Subgénero *Ostrea* (*Ostrea*) Linné, 1758

Especie tipo: *Ostrea edulis* Linné por designación subsiguiente del ICZN (Opinion 94) (Stenzel, 1971, p.1138), viviente en Europa.

Sinónimos: (Lista Oficial del ICZN, Opinion 94 and 356, en Stenzel, 1971, p. 1138): *Ostracites* Gesner; *Ostreum* Da Costa; *Peloris* Poli, 1791; *Ostracites* Gmelin, 1793; *Peloriderma* Poli, 1795; *Ostracarius* Duméril, 1806; *Ostreigenus* Renier, [1807]; *Ostrea* Sowerby, 1839; *Peloridoderma* Agassiz, 1846; *Ostreites* Herrmannsen, 1847; *Ostreola* Monterosato, 1884; *Cynbulostrea* Sacco, 1897; *Ostrea* (*Eostrea*) Ihering, 1907; *Ostrea* (sección *Anodontostrea*) Suter, 1917; *Ostrea* (*Euostrea*) Douvillé, 1920; *Monoeciostrea* Orton, 1928; *Ostrea* Tolmer, 1928; *Ostrea*

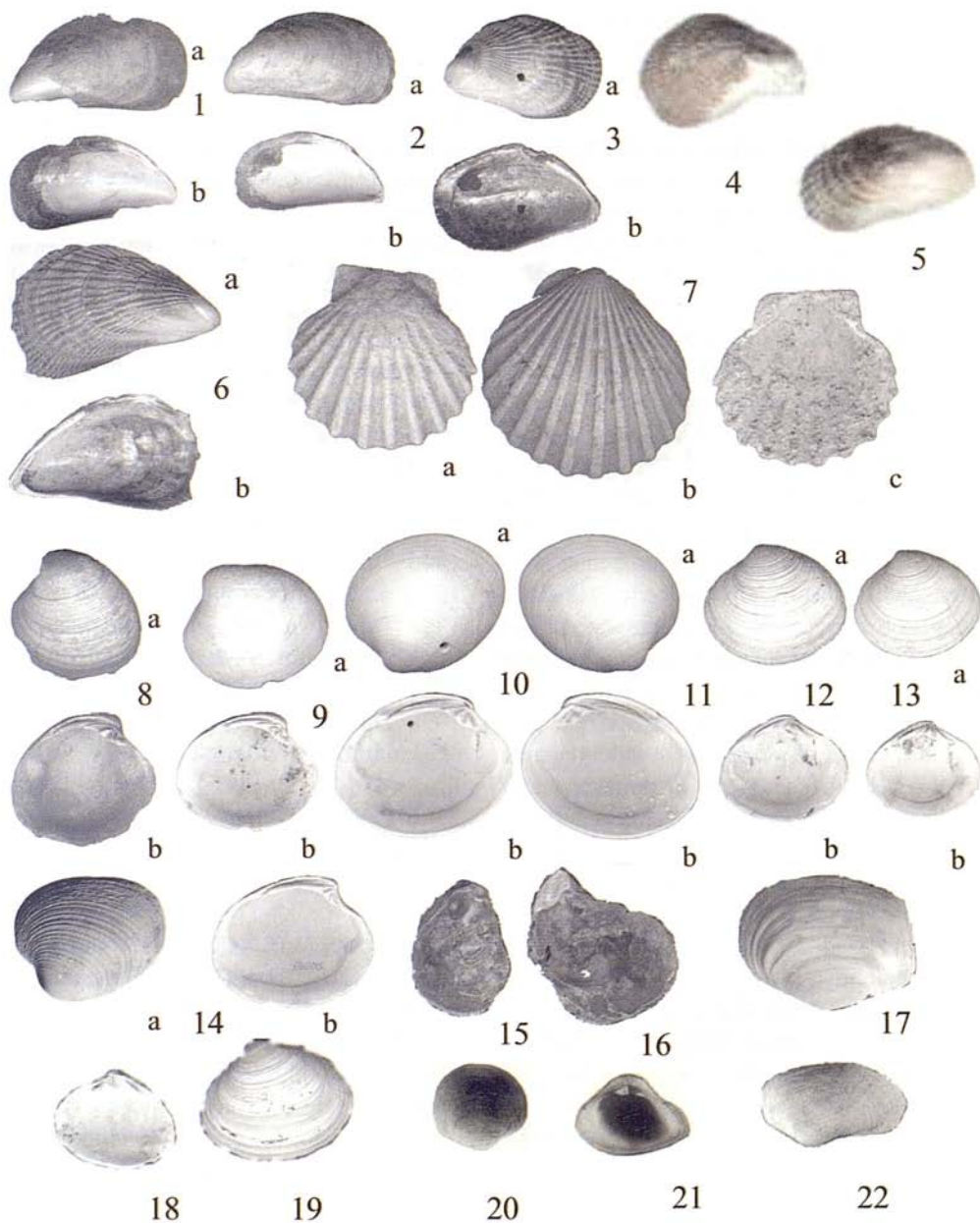


**Lámina 2.** Especies de bivalvos más características recolectadas en terrazas del Pleistoceno medio (TMIII) y tardío (TMIV y V), Holoceno medio (TMVI) y en el litoral moderno vecino del área de estudio. a, vista exterior; b, vista interior.

1a-b, *Mytilus edulis* (L= 65mm), N de Camarones, Holoceno (PA02Hol7); 2 a-b, *Mytilus edulis* (L= 42mm), N de Camarones, Pleistoceno (PA02Q15); 3 a-b, *Brachidontes purpuratus* (L= 18mm) Cabo Raso (Punta Pescadero), 4, *Brachidontes* cf. *purpuratus* (L= 22mm), Camarones, Holoceno (PA02Hol7); 5, *Brachidontes rodriguezii* (L= 35mm), Holoceno (PA02Hol7); 6a-b, *Aulacomya atra* (L= 72mm), Punta Pescadero, Holoceno (PA02Hol5); 7a-c, *Aequipecten tehuelchus* (a-b, vistas exteriores, c, vista interior); a-c, (H= 43mm), Bahía Vera, Pleistoceno (PA02Q10); b, (H= 50mm), Bahía Vera, Pleistoceno (PA02Q10); 8a-b, *Pitar rostratus* (L= 49mm), 13km N de Camarones, Pleistoceno (PA02Q14); 9a-b, *Pitar rostratus* (L= 47mm), N de Camarones, Pleistoceno (PA02Q15); 10 a-b, *Protothaca antiqua* (L= 73mm), Punta Pescadero, Holoceno (PA02Hol5); 11a-b, *Protothaca antiqua* (L= 75mm), Punta Pescadero, Holoceno (PA02Hol5); 12 a-b, *Clausinella gayi* (L= 22mm), S de Bahía Vera, Pleistoceno (PA02Q11); 13a-b, *Clausinella gayi* (L= 30mm), S de Bahía Vera, Pleistoceno (PA02Q11); 14, *Eurhomalea exalbida*: a, (L= 65mm), San Antonio Oeste, Holoceno; b, (L= 78mm), moderna; 15, *Ostrea tehuelcha* (L= 90mm), Pleistoceno medio, NW de Camarones (PA02Q16); 16, *Ostrea tehuelcha* (L= 110mm), Pleistoceno medio, NW de Camarones (PA02Q16); 17, *Panopea abbreviata* (H= 70mm), San Antonio Oeste, Holoceno; 18, *Mactra* cf. *patagonica* (L= 30mm), Pleistoceno medio, NW de Camarones (PA02Q16); 19, *Mactra* cf. *patagonica* (L= 39mm), Pleistoceno medio, NW de Camarones (PA02Q16); 20, *Diplodonta vilardeboana* (L= 19mm), Bahía Blanca, Holoceno; 21, *Corbula patagonica* (L= 11mm), Bahía Samborombón, Holoceno; 22, *Lyonsia* sp. (L= 16mm), Mar Chiquita, Holoceno (Figuras 14a, 17, 20, 21, 22 modificadas de Aguirre & Farinati, 2000). Dimensiones (en mm): H= altura; W= ancho máximo; L= longitud máxima, H= altura.

**Plate 2.** Collected species of Bivalvia more characteristic in terraces of Pleistocene means (TMIII) and delayed (TMIV and V), average Holocene (TMVI) and in the neighboring modern coast of the study area. a, external view; b, internal view. 1a-b, *Mytilus edulis* (L= 65mm), N of Camarones, Holocene (PA02Hol7); 2 a-b, *Mytilus edulis* (L= 42mm), N of Camarones, Pleistocene (PA02Q15); 3 a-b, *Brachidontes purpuratus* (L= 18mm) Cabo Raso (Punta Pescadero), 4, *Brachidontes* cf. *purpuratus* (L= 22mm), Camarones, Holocene (PA02Hol7); 5, *Brachidontes rodriguezii* (L= 35mm), Holocene (PA02Hol7); 6a-b, *Aulacomya atra* (L= 72mm), Punta Pescadero, Holocene (PA02Hol5); 7a-c, *Aequipecten tehuelchus* (a-b, externals views, c, internals views): a-c, (H= 43mm), Bahía Vera, Pleistocene (PA02Q10); b, (H= 50mm), Bahía Vera, Pleistocene (PA02Q10); 8a-b, *Pitar rostratus* (L= 49mm), 13 km N of Camarones, Pleistocene (PA02Q14); 9a-b, *Pitar rostratus* (L= 47mm), N de Camarones, Pleistocene (PA02Q15); 10 a-b, *Protothaca antiqua* (L= 73mm), Punta Pescadero, Holocene (PA02Hol5); 11a-b, *Protothaca antiqua* (L= 75mm), Punta Pescadero, Holocene (PA02Hol5); 12 a-b, *Clausinella gayi* (L= 22mm), S de Bahía Vera, Pleistocene (PA02Q11); 13a-b, *Clausinella gayi* (L= 30mm), S of Bahía Vera, Pleistocene (PA02Q11); 14, *Eurhomalea exalbida*: a, (L= 65mm), San Antonio W, Holocene; b, (L= 78mm), moderna; 15, *Ostrea tehuelcha* (L= 90mm), middle Pleistocene, NW of Camarones (PA02Q16); 16, *Ostrea tehuelcha* (L=





110mm), middle Pleistocene, NW of Camarones (PA02Q16); 17, *Panopea abbreviata* (H= 70mm), San Antonio W, Holocene; 18, *Maetra cf. patagonica* (L= 30mm), middle Pleistocene, NW of Camarones (PA02Q16); 19, *Maetra cf. patagonica* (L= 39mm), middle Pleistocene, NW of Camarones (PA02Q16); 20, *Diplodonta vilardeboana* (L= 19mm), Bahía Blanca, Holocene; 21, *Corbula patagonica* (L= 11mm), Bahía Samborombón, Holocene; 22, *Lyonsia* sp (L= 16mm), Mar Chiquita, Holocene (Figures 14a, 17, 20, 21, 22 modified to Aguirre & Farinati, 2000). Dimensions (in mm): H = height; W = wide maximum; L = Maximum length, H = height.

Tzankov, 1932; *Monoeciostrea* Thiele, 1934; *Ostrea* (*Ostrea*) sección Bellostrea Vyalov, 1936 (véase Cox *et al.*, 1971).

***Ostrea tehuelcha*** Feruglio, 1950

(Lám. 2, figs. 15, 16)

1950 *Ostrea tehuelcha* Feruglio: p.196.  
1998 ? *Ostrea alvarezii* (d'Orb.); Del Río & Martínez: Lám. 7, figs. 7-8.

**Descripción:** Conchilla de tamaño mediano a grande (H= 50-113mm), inequivalva, inequilateral, de contorno muy irregular. Umbos muy poco prominentes, cavidad umbonal poco profunda. Valva izquierda muy variable e irregular en contorno y ornamentación. Forma subtriangular, suboval o subcircular, con superficie externa muy gruesa, con ornamentación de pliegues, lamelas o escamas concéntricas. Área ligamentaria bien desarrollada, generalmente es más larga que alta en valvas de contorno subcircular o subtriangular, mientras que es más alta que larga en las conchillas subovales. Monomiaria. Valva derecha de menores dimensiones y más delgada, suboval, ornamentada por líneas concéntricas delgadas pero nítidas. Periferia valvar uniformemente redondeado. Se observan fositas extendidas hasta 1/4 de la longitud total del margen interno. Cavidad umbonal muy poco profunda.

**Rango estratigráfico:** Plioceno-Pleistoceno medio. **Rango geográfico:** extinguida. Distribución fósil en la Argentina: Se conocen registros para las terrazas marinas patagónicas. Probablemente es la misma especie que se preserva en el Mioceno de Puerto Madryn y de Paraná. **Comentarios:** muy similar a la *Ostrea ferrarisii* d'Orb. ilustrada por Feruglio (1933: lám. VIII, figs. 18, 19) de las terrazas patagónicas (TMII, Cerro laziar, Santa Cruz). Especie exclusiva del Cuaternario patagónico.

**Género *Diplodonta*** Bronn, 1831

**Subgénero *Diplodonta* (*Diplodonta*)**

Bronn, 1831

Especie tipo: *Venus lupinus* Brocchi, 1814 (non *Venus lupinus* Linné, 1758) (= *Tellina rotundata* Montagu, 1803), viviente en las costas del Atlántico norte, fósil del Oligoceno y Plioceno de Italia (Cox *et al.*, 1969, p. N515).

Sinónimos: ? *Taras* Risso, 1826; *Mysia* Leach in Bronn, 1827 (non Lamarck, 1818); *Glocome* Leach in Gray, 1852; ? *Mittrea* Gray, 18564 (véase Cox *et al.*, 1969).

***Diplodonta* (*Felaniella*) *vilardeboana***

(d'Orbigny, 1846)

(Lám. 2, fig. 20)

1846 *Lucina vilardeboana* d'Orbigny: 587, Lám. 84, figs. 14 -15.

1998 *Diplodonta* (*Felaniella*) *vilardeboana* (d'Orb.); Del Río & Martínez: Lám. 8, figs. 1, 12.

1998 *Diplodonta* (*Felaniella*) *vilardeboana* (d'Orb.); Del Río & Martínez: Lám. 19, figs. 5-6.

2000 *Diplodonta* (*F.*) *vilardeboana* (d'Orbigny); Aguirre & Farinati: 294, Lám. 10, fig. 118-119.

**Descripción:** Conchilla orbicular, pequeña (L= 5-40mm). Umbos mesogiros poco salinets. Borde anterior más corto y apenas subtruncado; borde posterior más largo y redondeado; borde ventral regularmente redondeado. Valva izquierda con dos dientes cardinales, el anterior bifido; valva derecha con dos dientes, el posterior bifido. Exterior con finas estrías y líneas de crecimiento. Dimiaria. Aductor anterior alargado y mayor que el posterior. Línea paleal entera.

**Rango estratigráfico:** Mioceno-Reciente. **Rango geográfico:** Espiritu Santo (Brasil) hasta Golfo San Matías (Argentina). **Distribución fósil en Argentina:**



Mioceno de Puerto Madryn y Paraná; Holoceno Bonaerense (Bahía Blanca); Pleistoceno Patagónico (Bahía Bustamante).

**Género *Mactra*** Linné, 1767

**Subgénero *Mactra (Mactra)*** Linné, 1767  
Especie tipo: *Cardium stultorum* Linné, 1758, por designación subsiguiente de Fleming, 1818, viviente en el Mar Mediterraneo (Cox et al., 1969:595).  
Sinónimos: *Trigonella* Da Costa, 1778; *Deikea* Mayer, 1872; *Colorimactra Iredale*, 1929; *Telemactra Iredale*, 1929 (véase Cox et al., 1969).

*Mactra* cf. *patagonica* d'Orbigny, 1842  
(Lám. 2, figs. 18, 19)

1846 *Mactra patagonica* d'Orbigny, vol.5: 509, lám.77,f.27.

1998 *Spisula (Mactromeris) longioriformis* Del Río; Del Río & Martínez: Lám. 9, figs. 12-14.

2000 *Mactra patagonica* d'Orbigny, 1846; Forcellini: 161, fig. 535.

**Descripción:** Conchilla mediana (L=20-40mm), equivalva, subequilateral, oval oblonga, generalmente poco inflada o comprimida. Umbos prosogiros. Región umbonal inflada. Resilífero subtriangular, profundo. Ligamento externo corto y opistodético. Dentición heterodonta típica. Valva izquierda con dos dientes cardinales, un diente lateral anterior y un lateral posterior; los dos dientes cardinales, gruesos y salientes, están unidos dorsalmente debajo del umbo, en forma de diente bifido, con una foseta delante del diente cardinal anterior. Valva derecha con dos dientes laterales anteriores y dos dientes laterales posteriores. Cardinales delgados y separados dorsalmente debajo del umbo; cardinal anterior mayor, cardinal posterior delimita el borde anterior del resilífero. Fosetas laterales

profundas y alargadas entre los dientes laterales en ambas valvas. Isomiaria. Seno paleal anguloso y poco profundo, sin llegar a la altura de los umbos.

**Rango estratigráfico:** Mioceno-Reciente. **Rango geográfico:** sur de Brasil a Golfo San Matías. **Distribución fósil en la Argentina:** Mioceno de Puerto Madryn; Pleistoceno Bonaerense (Punta Indio, Bahía Samborombón, Bahía Blanca); Holoceno Bonaerense (Punta Indio, Bahía Samborombón, Mar Chiquita, Bahía Blanca); Pleistoceno patagónico (Camarones, Bahía Bustamante, Comodoro Rivadavia), Holoceno Patagónico (Cabo Raso, Camarones, Bahía Bustamante).

**Comentarios:** probablemente se trata de un morfo dentro del rango de variabilidad intraespecífica de *M. isabelleana* d'Orb., común en el Cuaternario Bonaerense (Aguirre, 1994).

**Género *Pitar*** Römer, 1857

**Subgénero *Pitar (Pitar)*** Römer, 1857

Especie tipo: *Venus tumens* Gmelin, 1791; por monotipia; viviente en la costa occidental de Africa (Senegal y Guinea) (Cox et al., 1969:675, Fig. E144, 10).

Sinónimos: *Caryatis* Römer, 1862 (non Hübner, 1816); *Pitaria* Dall, 1902 (nom.van.).

*Pitar (Pitar) rostratus* (Koch in Philippi, 1844)

(Lám. 2, figs. 8, 9)

1844 *Cytherea rostrata* Koch in Philippi: 150, lám.1,f.3.

1998 *Pitar (Pitar) lazariana* (Ihering); Del Río & Martínez: Lám. 9, figs 4-6.

1998 *Pitar rostrata* mutabile Del Río; Del Río & Martínez: Lám. 11, figs. 7-8.

2000 *Pitar (Pitar) rostratus* (Koch in Philippi, 1844); Aguirre & Farinati: 306, Lám.12, figs.147 y 148.

2000 *Pitar rostratus* (Koch); Forcelli: 167, fig. 566.

**Descripción:** Conchilla mediana (= 45-70mm), suboval trigonal, generalmente más alta que larga, márgenes convexos, región antero dorsal subcóncavo o excavado, posterior convexo. Región anterior más subangulosa. Umbos prosogiros y ubicados en el 1/4 anterior de la conchilla. Superficie externa prácticamente lisa, con líneas o costillas concéntricas y líneas radiales muy débiles, apenas visibles, fundamentalmente en la región umbonal. Ligamento externo opistodético en ninfas del escudete. Dentición heterodonta típica. Valva izquierda con dos dientes cardinales divergentes y dos laterales. Valva derecha con tres dientes cardinales y tres laterales. Dimiaria isomiaria. Impresiones grandes y bien pronunciadas, la posterior mayor. Seno paleal profundo extendiéndose hasta más de la mitad del largo de la conchilla y terminando en forma de ápice ascendente o subredondeado.

**Distribución estratigráfica:** Eoceno-Reciente. **Distribución geográfica:** costa atlántica desde Brasil a Golfo San Matías; probablemente costas de África. **Distribución fósil en la Argentina:** Mioceno de Puerto Madryn; Pleistoceno Bonaerense (Punta Indio, Bahía Samborombón, Mar Chiquita, Bahía Blanca), Holoceno Bonaerense (Punta Indio, Bahía Samborombón, Mar Chiquita, Bahía Blanca); Pleistoceno Patagónico (Camarones, Bahía Bustamante, Comodoro Rivadavia), Holoceno Patagónico (San Antonio Oeste, Puerto Madryn, Camarones, Bahía Bustamante, Puerto Mazarredo, San Julián).

**Subfamilia *Tapetinae*** Adams y Adams, 1857

**Género *Eurhomalea*** Cossmann, 1920  
Especie tipo: *Venus rufa* Lamarck, 1818.

***Eurhomalea exalbida*** (Dillwyn, 1817)  
(Lám. 2, fig. 14a-b)

1817 *Venus exalbida* Dillwyn:170.

1998 *Retrotapes ninfasiensis* Del Río; Del Río & Martínez: Lám. 10, figs. 7-9.

2000 *Eurhomalea exalbida* (Dillwyn); Aguirre & Farinati: 307, Lám.13, fig.150.

2000 *Eurhomalea exalbida* Chemnitz; Forcelli: 166, fig. 562.

**Descripción:** Conchilla de tamaño grande (L= 78mm), maciza, fuerte. Umbo anterior, marcadamente prosogiro. Lúnula, acorazonada y cóncava. Borde anterior saliente y redondeado; borde posterior subtruncado, borde dorsal arqueado; borde ventral en curva amplia y regular. Exterior con lamelas concéntricas irregulares, sobresalientes, espaciadas. Ligamento opistodético. Dentición de valva derecha con 3 dientes cardinales fuertes, sin laterales. Valva izquierda con 3 dientes cardinales. Isomiaria, aductores subredondeadas, grandes, posterior mayor. Seno paleal triangular, alargado y estrecho musculares marcadas, subredondeadas y grandes, siendo la mayor, la posterior. Impresiones borde interno liso.

**Rango estratigráfico:** Pleistoceno-Holoceno. **Rango geográfico:** Chiloé (Chile), Magallanes, Tierra del Fuego, Provincia de Buenos Aires, Uruguay hasta Rio Grande Do Sul (Brasil). **Distribución fósil en la Argentina:** Mioceno de Puerto Madryn; Pleistoceno Bonaerense (Punta Indio, Bahía Samborombón, Mar Chiquita, Bahía Blanca), Holoceno Bonaerense (Punta Indio, Bahía Samborombón, Mar Chiquita, Bahía Blanca); Pleistoceno Patagónico (Camarones, Bahía Bustamante, Comodoro Rivadavia), Holoceno Patagónico (San Antonio Oeste, Puerto Madryn, Camarones, Bahía Bustamante, Puerto Mazarredo, San Julián).

**Género *Protothaca*** Dall, 1902

Especie tipo: *Chama thaca* Molina, 1782.

Sinónimo: *Ameghinomya* Ihering, 1907.

***Protothaca antiqua*** (King, 1832)

(Lám. 2, fig. 10a,b, 11a-b)

1832 *Venus antiqua* King:335.

1933 *Chione antiqua* King; Feruglio: lám. XI, fig. 5a,b.

1998 *Ameghynomia argentina* (Ihering); Del Río & Martínez: Lám. 10, figs. 1-3.

1998 *Ameghynomia argentina* (Ihering); Del Río & Martínez: Lám. 20, figs. 7-9.

1998 *Ameghynomia meridionalis* (Sow.); Del Río & Martínez: Lám. 10, figs. 4-6.

1998 *Protothaca (Protothaca) antiqua* (King); Del Río & Martínez: Lám. 11, figs. 1-2.

2000 *Protothaca antiqua* (King); Aguirre & Farinati: 308, Lám.13, fig.151.

2000 *Protothaca antiqua* (King); Forcelli: 166, fig. 559.

**Descripción:** Conchilla mediana a grande (L= 45-75mm), maciza, suboval-subcircular. Umbos prosogiros. Lúnula lanceolada, larga, bien notoria. Borde dorsal arqueado; borde anterior saliente y redondeado; borde ventral y posterior en curva regular. Ligamento opistodético. Exterior con costillas concéntricas sobresalientes, lamelosas, entrecruzadas por numerosos cordones radiales; aspecto cancelado. Borde interno finamente estriado. Dentición con tres cardinales en cada valva. Línea paleal con seno corto y triangular. Isomiaria.

**Distribución estratigráfica:** Mioceno-Reciente. **Distribución geográfica:** Por el Pacífico, costa de Perú hasta Magallanes y por el Atlántico hasta el sur de Brasil. **Distribución fósil en la Argentina:** Mioceno de Puerto Madryn y Paraná; Pleistoceno Patagónico (Camarones, Bahía Bustamante, Comodoro Rivadavia, sur de

Caleta Olivia), Holoceno Patagónico (Puerto Lobos, Puerto Madryn, Cabo Raso, Camarones, Bahía Bustamante, Bahía Solano, Comodoro Rivadavia, Rada Tilly, Caleta Olivia, Puerto Mazarredo, Puerto Deseado, Bahía Laura, San Julián, Tierra del Fuego).

**Comentarios:** especie exclusiva del Cuaternario patagónico. Comentarios: especie exclusiva de Patagonia.

**Género *Clausinella*** Gray, 1851

Especie tipo: *Clausinella fasciata* Da Costa, 1778, viviente en el Mar Mediterráneo.

***Clausinella gayi*** (Hupé, 1854)

(Lám. 2, figs. 12a-b,13a-b)

1854 *Venus gayi* Hupé: 337, lám. 6, fig. 5.

1933 *Chione gayi* Hupé; Feruglio: lám. X, fig. 6a,b.

2000 *Clausinella gayi* (Hupé); Aguirre & Farinati: 308, Lám.13, figs.152 y 153.

2000 *Clausinella gayi* (Hupé); Forcelli: 167, fig. 565.

**Descripción:** Conchilla mediano (L= 22-30mm), suboval a subtrigonal, ligeramente inequilateral. Borde anterior subredondeado. Borde posterior más amplio y subangulosos. Umbos prosogiros. Exterior con gruesas líneas concéntricas, próximas entre sí. Lúnula y escudete pequeños. Ligamento opistodético. Dentición heterodonta. Ambas valvas con tres dientes cardinales. Valva izquierda con tres dientes cardinales, el primero y segundo bífidos. Valva derecha con segundo y tercero bífidos. Isomiaria. Seno paleal corto y angosto. Margen interno crenulado.

**Distribución estratigráfica:** Holoceno. **Distribución geográfica:** Río Grande do Sul (Brasil) hasta el sur de Argentina (Patagonia y Tierra del Fuego); costas de Chile hasta Valparaíso. **Distribución fósil**

**en la Argentina:** Pleistoceno Patagónico (Camarones, Comodoro Rivadavia), Holoceno Patagónico (Puerto Lobos, Puerto Madryn, Cabo Raso, Bahía Bustamante, Bahía Solano, Comodoro Rivadavia, Rada Tilly, Bahía Lángara, Puerto Mazarredo, Puerto deseado, Bahía Laura, San Julián, Tierra del Fuego). **Comentarios:** exclusiva de Patagonia.

**Género *Corbula*** Bruguière, 1797

**Subgénero *Corbula (Corbula)*** Bruguière, 1797

Especie tipo: *Corbula sulcata* Lamarck, 1801; por designación subsiguiente de Schmidt, 1818; viviente en las costas occidentales de Africa (Vokes, 1945: 7; Cox *et al.*, 1969: N692, Fig. E154,5).

Sinónimos: *Aloidis* Megerle von Mühlfeld, 1811 (sinónimo objetivo).

***Corbula (Corbula) patagonica*** d'Orbigny, 1846

(Lám. 2, figs. 21)

1818 *Corbula sulcata* Lamarck, VI:138.

1846 *Corbula patagonica* d'Orbigny, vol.5:570, lám.82,f.17-21.

1933 *Corbula patagonica* Orb.; Feruglio: Lám. IX, fig. 18a,b.

1995 *Corbula (Corbula) patagonica* (d'Orbigny); Aguirre & Whatley: 314, figs.3BB-HH.

1998 *Carycorbula pulchella* (Philippi); Del Río & Martínez: Lám. 13, figs. 11, 19.

1998 *Carycorbula pulchella* (Philippi); Del Río & Martínez: Lám. 21, figs. 9, 10.

1998 *Varicorbula striatula* (Borchert); Del Río & Martínez: Lám. 13, fig. 16.

1998 *Carycorbula caribaea* (d'Orb.); Del Río & Martínez: Lám. 13, figs. 17, 18.

2000 *Corbula (Corbula) patagonica* (d'Orbigny); Aguirre & Farinati: 312, Lám. 14, figs. 161-162.

**Descripción:** Conchilla pequeña (L= 5-20mm), de contorno variable, generalmente suboval-subtrigonal, inflada, la valva derecha mayor, frecuentemente más alta que larga y la valva izquierda más elongada. Extremidad anterior redondeada, la posterior variable, generalmente alargada y truncada o subacuminada. Márgenes dorsal y ventral convexos. Umbos opistogiros, próximos al centro de la conchilla; región umbonal inflada, especialmente en la valva derecha. Exterior con costillas concéntricas, muy marcadas en valva derecha que las separan. Generalmente con carena postumbonal. Dentición heterodonta con un cardinal en cada valva. Cardinal derecho subvertical, tuberculiforme o piramidal, grande, redondeado. Lateral derecho a manera de saliencia de la placa charnelar en el margen dorsal. Cardinal izquierdo oblicuo, poco saliente, situado posteriormente al condróforo. Isomiaria. Seno paleal muy reducido o ausente. Espesor de la conchilla marcadamente mayor entre la línea paleal y el margen ventral.

**Rango estratigráfico:** Mioceno-Reciente. **Rango geográfico:** costa sudeste de Australia; costas atlánticas de América del Sur desde Brasil a Golfo Nuevo; probablemente Comodoro Rivadavia (Chubut, Argentina) y costas occidentales de Africa (Aguirre, 1988). **Distribución fósil en Argentina:** Mioceno del subsuelo de Buenos Aires y Paraná; Pleistoceno Bonaerense (Bahía Blanca) y Holoceno Bonaerense (Punta Indio, Bahía Samborombón, Mar Chiquita, Bahía Blanca); Pleistoceno patagónico (Bahía Bustamante, Camarones) y Holoceno Patagónico (Bahía Bustamante, Comodoro Rivadavia, Caleta Olivia).

**Género *Panopea*** Ménard, 1807

Especie tipo: *Panopea fujasi* Menard, 1807

(= *Mya glycymeris* Born, 1778). (Cox et al., 1969).

***Panopea abbreviata*** Valenciennes, 1839

(Lám. 14, figs. 169-170)

(Lám. 2, fig. 17)

1839 *Panopaea abbreviata* Valenciennes 1:18, 34, lám.6, figs. 1a,b.

1998 *Panopea (Panopea) regularis* (Ortmann); Del Río & Martínez: Lám. 12, figs. 1, 15.

1998 *Panopea (Panopea) regularis* (Ortmann); Del Río & Martínez: Lám. 21, figs. 6-7.

2000 *Panopea abbreviata* Valenciennes; Aguirre & Farinati: 315, Lám.14, figs.169 y 170.

2000 *Panopea abbreviata* Valenciennes; Forcelli: 168, fig. 573.

**Descripción:** Conchilla de tamaño grande, gruesa, equivalva, casi equilateral, con fuertes estrías de crecimiento concéntricas. Extremo posterior truncado, extremo anterior ancho y redondeado. Umbo poco saliente, mediano. Seno paleal ancho, redondeado. Charnela de la valva derecha con un solo diente que sobresale como en gancho hacia la izquierda y una fosa cardinal. Charnela de la valva izquierda igual.

**Distribución estratigráfica:** Mioceno-Reciente. **Distribución geográfica:** Río de Janeiro (Brasil) hasta la Provincia de Santa Cruz (Argentina). **Distribución fósil en la Argentina:** Mioceno de Puerto Madryn y Paraná; Holoceno Patagónico (Tierra del fuego). Comentarios: exclusiva de Patagonia y principalmente en Tierra del Fuego.

**Género *Lyonsia*** Turton, 1822

**Subgénero *Lyonsia (Lyonsia)*** Turton,

1822

Especie tipo: [*Mya striata* Montagu, 1815 (= *Mya norwegica* Gmelin, 1971); por

monotipia]; viviente en las costas de Inglaterra (Cox et al., 1969, p. N846).

Sinónimos: *Hiatella* Brown, 1827 (non Bosc, 1801) (objetivo); *Magdala* Brown, 1827 (non Bosc, 1801) (objetivo, por monotipia); *Osteodesma* Deshayes, 1830, auctt. (non De Blainville, 1825); *Myatella* Brown, 1833 (objetivo; por monotipia); *Pandorina* Scacchi, 1833 (non Bory St. Vincent, 1827) (objetivo; por monotipia) (véase Cox et al., 1969).

***Lyonsia* sp**

(Lám. 2, fig. 22)

**Descripción:** Conchilla pequeña (L= 10-20mm), inequilateral, subromboidal a subelíptica a oval-oblonga, elongada, frágil, muy delgada, translúcida. Extremidad posterior más alargada, truncada o recta. Margen posterodorsal subcóncavo. Margen ventral redondeado. Umbos salientes subcentrales o próximos al borde emidad anterior. Región umbonal inflada. Exterior liso, generalmente nacarado, brillante, con líneas de crecimiento bien marcadas, cruzadas por débiles líneas o costillas radiales. Dientes ausentes. Isomiaria. Seno paleal muy poco profundo.

**Distribución estratigráfica:** Holoceno. **Distribución geográfica:** costas atlánticas de Carolina del Norte (?), Brasil, Golfo San Matías. **Distribución fósil en la Argentina:** Holoceno Bonaerense (Mar Chiquita, Bahía Blanca).

### **Interpretación paleoambiental y paleoclimática del área**

Las diferencias cualitativas y cuantitativas entre las TM del Pleistoceno (TMIII, IV, V) y Holoceno medio (TMVI) vs. actualidad (Provincia Magallánica) (Tabla 2), junto con variaciones geográficas y cronológicas



en la morfología y tamaño de las conchillas de las especies dominantes (i.e., *Tegula* spp., *Crepidula* spp., *Nacella* spp.; *Brachidontes* spp., *Protothaca*), sugieren que además de cambios locales en la naturaleza del sustrato o energía del agua, la SST fue el factor principal de control de estas diferencias. Conclusiones similares para depósitos aproximadamente sincrónicos fueron señaladas por Aguirre y Whatley (1995) para el sector Bonaerense y Feruglio (1950) y Pastorino (2000) para distintos sectores patagónicos.

Para la TMIII (MOIS11; ca. 350-400 ka BP) los taxones exclusivos *Pectinidae*, *Ostrea tehuelcha* y *Mactra* cf. *patagonica*, junto con otros registrados por Feruglio (i.e., *Corbula patagonica*, *Diplodonta vilardeboana*) sugieren temperatura más alta que en la actualidad. Las ostras son dominantes y muy similares a las del Belgranense (Pleistoceno superior) del área Bonaerense (Aguirre y Whatley, 1995), tradicionalmente asignado al Último Interglacial, aunque atribuido a un episodio marino más antiguo según evidencias magnetoestratigráficas (Nabel, 2002). El Belgranense es correlacionable con el MOIS11 (Tonni, com. personal) y el MOIS11 fue propuesto como el más largo y cálido desde el Pleistoceno medio en Sudamérica (costa Pacífica) por Ortlieb *et al.*, 1996). Nuestros datos brindan la posibilidad de contrastar esta hipótesis para el margen atlántico de Sudamérica.

La asociación típica de TMIV (MOIS7?, ca. 225 ka BP), enormes *T. atra* - *P. antiqua*, junto con otros Veneroidea, sugieren SST similar a la del litoral moderno. La asociación de la TMV (MOIS5e?, 125ka BP) (*T. atra*, *T. patagonica*, *C. dilatata*, *M. edulis*, *B. purpuratus*, *P. antiqua*, *P. rostratus*) no es indicativa de un óptimo Climático como el inferido a nivel global para el máximo del Último Interglacial (MOIS5e) (Burckle, 1993; Winnograd *et al.*, 1997;

Zazo, 1999a, b; Muhs *et al.*, 2002; Kukla *et al.*, 2002).

La fauna de la TMVI (ca. 6.7 ka BP), caracterizada por *B. cf. purpuratus*, *N. (Patinigera) magellanica*, *N. (P.) deaurata*, *Trophon geversianus*, *Brachidontes purpuratus*, *A. atra*, contiene en términos amplios menor proporción de elementos fríos que en la actualidad (Fig. 1B). Esto apoya la influencia del Hypsitermal (óptimo Climático Holoceno) sobre las biotas litorales incluso en esta región, a lo largo del margen Atlántico del sur de Sudamérica. Se confirman así interpretaciones similares sobre la malacofauna de cordones del sector bonaerense y del norte de Patagonia (Aguirre, 1993; 2001). Este cambio climático habría sido sincrónico con el desplazamiento hacia el sur del Centro Anticiclónico del Atlántico Sur, de las masas de agua oceánica templado-cálidas y templadas, de las corrientes oceánicas y por consiguiente de los límites de las provincias zoogeográficas (Argentina, Magallánica).

Taxones exclusivos del litoral moderno como *Chlamys patagonicus*, *Panopea abbreviata*, *Lyonsia* sp. y *N. delicatissima*, confirman el carácter frío de las biotas modernas en el área de estudio, el que se habría establecido con posterioridad al Óptimo Climático del Holoceno medio (posteriormente a ca. 4,5 ka A.P.).

## Conclusiones

Los resultados obtenidos complementan estudios geológicos efectuados en el área y confirman evidencias paleoambientales referidas a otros sectores costeros de Argentina para el Holoceno medio y de Sudamérica para el Pleistoceno medio. Se corroboran variaciones en la composición y distribución de los moluscos entre nive-

les marinos del Holoceno medio (TMVI), Pleistoceno medio-tardío (TMIII, IV y V) presente (litoral moderno). Las interpretaciones paleoclimáticas generales confirman varias observaciones del esquema tradicional de Feruglio (1950), autor pionero en los estudios de las terrazas marinas patagónicas.

1- Parte de la fauna recolectada (34%) cuenta con registros que se remontan al Mioceno, 66% desde el Pleistoceno, 77% en el Holoceno. *Tegula atra* y *Ostrea tehuelcha*, dominante y exclusiva del Pleistoceno tardío y medio, carecen de representantes vivientes en el Atlántico Sudoccidental.

2- Nuevos registros en el área para el Pleistoceno tardío son: *C. aculeata* (Gm.), *C. oyx* Sow., *C. protea* d'Orb., *T. patagonica* (d'Orb.), *N. isabelleana* (d'Orb.), *B. rodriguezii* (d'Orb.), *A. tehuelchus* (d'Orb.), *C. gayi* (Hupé). Para el Holoceno: *F. oriens* Sow., *F. radiosa* Less., *P. deaurata* (Gm.), *T. varians* (d'Orb.) and *B. rodriguezii* (d'Orb.). Una especie extinta *Ostrea tehuelcha* d'Orb. y migraciones para *Tegula atra* (Lesson), *N. isabelleana* (d'Orb.), *B. rodriguezii* (d'Orb.), *C. patagonica* (d'Orb.), *D. vilardeboana* (d'Orb.).

3- De un total de 41 taxones (24 gastrópodos, 17 bivalvos), son característicos de la TMIV (MOIS7?, ca. 225 ka A.P.): *T. atra* (dominante y máximos tamaño) y *P. antiqua*; de la TMV (MOIS5?, 125ka A.P.): *T. atra*, *T. patagonica*, *C. dilatata*, *M. edulis*, *B. purpuratus*, *P. antiqua* y *P. rostratus*.

4- En la TMIII (MOIS11?; ca. 350-400 ka A.P.) dominan *O. tehuelcha*, *M. cf. patagonica*, *C. patagonica*, *D. vilardeboana*. Se infieren SST más cálidas que las modernas vecinas. Las ostras dominantes de la TMIII permiten correlacionarla con el Belgranense (Pleistoceno superior) del sector Bonaerense.

5- En la TMVI (ca. 6.7 ka A.P.) dominan *N. (P.) magellanica*, *N. (P.) deaurata*, *T. geversianus*, *B. purpuratus* y *A. atra*.

6- *N. delicatissima* (Strebel), *Chlamys* sp., *Panopea abbreviata*, *Lyonsia* sp. caracterizan el litoral moderno.

7- Desde el Pleistoceno medio (ca. 400 ka AP) el escenario litoral original habría sido típico de sustratos duros rocosos, aguas euhalinas de alta energía, similar al nearshore moderno de Patagonia central en el SW del Atlántico Sur (Provincia Magallánica). Sólo ligeros cambios de SST habrían diferenciado los diferentes niveles altos del mar preservados en el área costera.

8- El Optimo Climático del Holoceno medio (5/6-8 ka) tuvo influencia sobre las biotas bentónicas litorales de este sector patagónico. Una SST ligeramente superior (1-2°C) implica cambios atmosféricos y palaeoceanográficos, i.e., el desplazamiento austral de masas de agua y corrientes oceánicas, y por lo tanto de los límites de las provincias malacológicas hasta su posición actual.

9- En suma, para la TMIII (MOIS11; ca. 350-400 ka BP), se infieren SST más cálidas que en la actualidad y en comparación con el MOIS5e. Las asociaciones típicas de TMIV (MOIS7?, ca. 225 ka BP) y TMV (MOIS5e?, 125ka BP) sugieren SST similares al litoral moderno. La fauna de la TMVI (ca. 6.7 ka BP) apoya la influencia de mayor SST durante el máximo transgresivo holoceno ya inferido para el sector bonaerense y norte de Patagonia.

10- Nuevas recolecciones, dataciones por métodos modernos y análisis de isótopos estables son indispensables para confirmar las interpretaciones alcanzadas y elaborar un marco paleoclimático de mayor precisión.

## Agradecimientos

Se agradece a los Dres. J. Codignotto y R. Kokot su ayuda para realizar trabajos de campo, a la Dra. C. Deschamps y Lic. E. Fucks para confección de ilustraciones. Estudio parcialmente financiado por subsidios de la Agencia de Promoción Científica-Conicet y UNLP. Contribución a los proyectos IGCP437 y N353 (Incentivos UNLP).

## Referencias

(Para ahorrar espacio, otras citas se hallan en Aguirre y Whatley, 1995; Aguirre y Farinati, 2000; Aguirre, 2003)

- Aguirre, M.L. 1993. Palaeobiogeography of the Holocene molluscan fauna from Northeastern Buenos Aires Province, Argentina: its relation to coastal evolution and sea level changes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 102: 1-26.
- Aguirre, M.L. 2001. Molluscs As Indicators Of Climatic Changes In The Marine Holocene Of Argentina (South America). Expanded Abstracts, V Iberian Quaternary Meeting and I Quaternary Congress of Countries of Iberian Languages. Lisboa. Julio 2001.
- Aguirre, M.L. 2003. Late Pleistocene and Holocene palaeoenvironments in Golfo San Jorge, Patagonia: molluscan evidence. *Marine Geology*, 194: 3-30.
- Aguirre, M.L. y Codignotto, J.O. 1998. Bivalvos y Gastrópodos del Cuaternario Marino (Pleistoceno y Holoceno) de Patagonia Central (Sur de Chubut y Norte de Santa Cruz), Argentina. VII Cong. Arg. Paleontología y Bioestratigrafía. Bahía Blanca. Resúmenes: 121.
- Aguirre, M.L. y Farinati, E.A. 2000. Moluscos del Cuaternario marino de la Argentina Boletín de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 64: 44 págs., 4 figs., 4 tablas, 15 láms. . Córdoba.
- Aguirre, M.L. y Whatley, R. C. 1995. Late Quaternary Marginal Marine Deposits From North-Eastern Buenos Aires Province, Argentina: A Review. *Quaternary Science Reviews*, 14: 223-254.
- Aguirre, M.L., Negro Sirch, Y. y Richiano, S. (in press). Late Quaternary Molluscan Assemblages From Bahía Bustamante coastal area (Patagonia, Argentina): Palaeoecology and Palaeoenvironments. *Journal of South American Earth Studies*.
- Burckle, L. 1993. Late Quaternary Interglacial Stages Warmer Than Present. *Quaternary Science Rev.*, 12: 825-831.
- Carcelles, A. 1950. Catálogo de los moluscos marinos de la Patagonia. Anales Museo Nacional Nahuel Huapi Perito Dr. Francisco P. Moreno 2: 41-100. Buenos Aires.
- Castellanos, Z.A. y Landoni, N. 1988-1993. Catálogo descriptivo de la Malacofauna Marina Magallánica Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires. La Plata.
- Codignotto, J.O. 1983. Depósitos elevados y/o de Acreción Pleistoceno-Holoceno en la costa Fueguino-Patagónica. Simposio Oscilaciones del Nivel del Mar Durante el Ultimo Hemiciclo Deglacial en la Argentina. (IGCP200), Univ. Nac. de Mar del Plata, Actas: 12-26.
- Codignotto, J.O. 1984. Estratigrafía y geomorfología del Pleistoceno-Holoceno costanero entre los 53°30'y 42°00'Sur, Argentina. IX Congreso Geológico Argentino (San Carlos de Bariloche, 1984), Actas III: 513-519. Buenos Aires.
- Codignotto, J.O. 1987. Cuaternario marino entre Tierra del Fuego y Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 42 (1-2): 208-212. Buenos Aires.
- Codignotto, J.O. 1988. Coastal forms, evolution and near-shore currents in San Sebastián Bay, Argentina. AGU Chapman Conference, Sediment Transport Processes in estuaries, Program: 25. Bahía Blanca.
- Codignotto, J.O. 1996. Cuaternario y dinámica costera. In: V. Ramos & M. Turic (eds.), *Geología y recursos naturales de la platafor-*

- ma continental Argentina. Relatorio 2, IX Congreso Geológico Argentino, Buenos Aires, 17-28.
- Codignotto, J.O. y Aguirre, M.L. 1993. Coastal evolution, changes in sea level and molluscan fauna in northeastern Argentina during the Late Quaternary. *Marine Geology*, 110: 163-175.
- Codignotto, J., Kokot, R. y Marcomini, S. 1992. Neotectonism and sea-level Changes in the zone of Argentina. *Journal of Coastal Research*, 8 (1): 125-133.
- Del Río, C. y Martínez, S. 1998. Moluscos marinos miocenos de la Argentina y del Uruguay. Monografías de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 15: 97p.
- D'Orbigny, A. 1834-1847. Voyage dans l'Amérique Méridionale. Mollusques. Tome V(3), xliii + 758 pps., atlas (Tome 9), 85 pls. París.
- Feruglio, E. 1933. Las terrazas marinas del Golfo San Jorge (Patagonia). Bol. Inform. Petrolíferas, IX, N° 89. Buenos Aires.
- Feruglio, E. 1950. *Descripción Geológica de la Patagonia*. Dirección General de Y.P.F., T 3, 431 pp. Buenos Aires.
- Forcelli, 2000. Moluscos Magallánicos.
- Gordillo, S. 1991. Paleocología de moluscos marinos del Holoceno medio de la Isla Grande, Canal de Beagle, Tierra del Fuego, Argentina. *Ameghiniana*, 28 (1-2): 127-133.
- Gordillo, S. 1998. Distribución biogeográfica de los moluscos holocenos del litoral Argentino-Uruguayo. *Ameghiniana*, 35(2): 163-180.
- Guzmán, N., Ortlieb, L., Díaz, A. y Llagosterra, A. 1995. Mollusks as indicators of paleoceanographic changes in northern Chile. Annual Meeting IGCP 367, Antofagasta, Chile. Abstracts: 43.
- Guzmán, N., Saá, S. y Ortlieb, L. 1998. Catálogo descriptivo de los moluscos litorales (Gastropoda y Pelecypoda) de la zona de Antofagasta, 23°S (Chile). *Estud. Oceanol.*, 17: 17-86.
- Kukla, G. et al., 2002. Last interglacial Climates. *Quaternary Research*, 58: 2-13.
- Maasch, K, Sandweiss, D. y Houk, S. 2001. Molluscan evidence for Mid-to-Late Holocene evolution of El Niño Conditions in coastal Peru. Actas V REQUI/I CQPLI, Lisboa, Portugal: 353.
- Martínez, S., Ubilla, M., Verde, M., Perea, D., Roja, A., Guerequiz, R. y Piñeiro, G. 2001. Paleocology and Geochronology of Uruguayan Coastal Marine Pleistocene Deposits. *Quaternary Research*, 55: 246-254.
- Muhs, D., Simmons, K. y Steinke, B. 2002. Timing and warmth of the Last Interglacial period: new U-series evidence from Hawaii and Bermuda and a new fossil compilation for North America. *Quaternary Science Reviews*, 21: 1355-1383.
- Nabel, P. 2002. Cambios del nivel del mar ocurridos durante el Cuaternario, registrados en la provincia de Buenos Aires. Actas Congreso Geológico Argentino, Tomo I: 566-567. Calafate.
- Ortlieb, L. y Díaz, A. 1991. Distribución de moluscos litorales del Perú en el Pleistoceno Superior: Primeras interpretaciones paleoceanográficas y paleoclimáticas. III Reunión Anual IGCP 281: Climas Cuaternarios de América del Sur. Resúmenes y Contribuciones: 39-55.
- Ortlieb, L., Guzmán, N. y Díaz, A. 1995. Variaciones en la composición de la malacofauna en la costa norte de Chile durante el Cuaternario. IX Jornadas de Ciencias del Mar, Coquimbo, Chile. Abstracts: 91.
- Ortlieb, L., Díaz, A. y Guzmán, N. 1996a. A Warm Interglacial Episode During Oxygen Isotope Stage 11 In Northern Chile. *Quaternary Science Reviews*, 15: 857-871.
- Ortlieb, L., Zazo, C., Goy, J., Dabrio, C. y Macharé, J. 1996b. Pampa del Palo: an anomalous composite marine terrace on the uprising coast of southern Peru. *Journal of South American Earth Science*, 9(5/6): 367-379.
- Pastorino, G. 2000. Asociaciones de moluscos de las terrazas marinas cuaternarias de Río Negro y Chubut. *Ameghiniana*, 37(2): 131-156.

- Rostami, K., Peltier, W.R. y Mangini, A. 2000. Quaternary marine terraces, sea-level changes and uplift history of Patagonia, Argentina: comparisons with predictions of the ICE-4G (VM2) model of the global process of glacial isostatic adjustment. *Quaternary Science Reviews*, 19: 1495-1525.
- Rutter, N., Radtke, U. y Schnack, E. 1990. Comparison of ESR and Amino Acid Data in Correlating and Dating Quaternary Shorelines Along The Patagonian Coast, Argentina. *Journal of Coastal Research*, 6 (2): 391-411.
- Sandweiss, D., Maasch, K., Belknap, D., Richardson III, J. y Rollins, H. 1998. Discussion of Lisa E. Wells, 1996: The Santa beach Ridge Complex, *Journal of Coastal research*, 12(1): 1-17. *Journal of Coastal Research*, 14: 367-373.
- Schellmann, G., Radtke, U. y 2000. ESR dating of stratigraphically well-constrained marine terraces along the Patagonian Atlantic coast (Argentina). *Quaternary International*, 68-71: 261-273.
- Winnograd, et al., 1997. Duration and Structure of the Past Four Interglaciations. *Quaternary Research*, 48: 141-154.
- Zazo, C. 1999a. El Clima Holoceno. *Rev. Acad. Cienc. Exact. Fis. Nat. (Esp.)*, 93 (1): 21-28.
- Zazo, C. 1999b. Interglacial sea levels. *Quaternary International*, 55: 101-113.



## APÉNDICE

Lista de especies de moluscos tratadas (fuente completa de información sobre sinonimias y detalles sistemáticos en Aguirre & Farinati, 2000; Aguirre, 2003).

Phylum Mollusca Linné, 1758  
 Clase Gastropoda Cuvier, 1797  
 Subclase Prosobranchia Milne Edwards, 1848  
 Orden Archaeogastropoda Thiele, 1925  
 Superfamilia Fissurellidaceae Fleming, 1822  
 Familia Fissurellidae Fleming, 1822  
 Subfamilia Fissurellinae Fleming, 1822  
 Género *Fissurella* Bruguière, 1789  
 Subgénero *Fissurella* s.s.  
*Fissurella picta* (Gmelin, 1791)  
*Fissurella oriens* G. B. Sowerby I, 1835  
*Fissurella radiosa* Lesson, 1831  
 Superfamilia Patelacea Rafinesque, 1815  
 Familia Patellidae Rafinesque, 1815  
 Subfamilia *Nacellinae* Thiele, 1929  
 Género *Nacella* Schumacher, 1817  
 Subgénero *Patinigera* Dall, 1905  
*Nacella (Patinigera) magellanica* (Gmelin, 1791)  
*Nacella (Patinigera) deaurata* (Gmelin, 1791)  
*Nacella delicatissima* (Strebel, 1907)  
 Superfamilia Trochacea Rafinesque, 1815  
 Familia Trochidae Rafinesque, 1815  
 Subfamilia Tegulinae Kuroda, Habe & Oyama, 1971  
 Género *Tegula* Lesson, 1835  
 Subgénero *Agathistoma* Olsson & Harbison, 1953  
*Tegula (A.) patagonica* (d'Orbigny, 1835)  
 Subgénero *Chlorostoma* Swainson, 1840  
*Tegula (Chlorostoma) atra* (Lesson, 1830)  
 Orden Mesogastropoda Thiele, 1925  
 Superfamilia Calyptraeacea Blainville, 1824  
 Familia Calyptracidae Blainville, 1824  
 Subfamilia Crepidulinae Fleming, 1822  
 Género *Crepidula* Lamarck, 1799  
*Crepidula aculeata* (Gmelin, 1791)  
*Crepidula protea* d'Orbigny, 1841  
*Crepidula onyx* Sowerby, 1824  
*Crepidula dilatata* Lamarck, 1822  
*Crepidula cf. unguiformis* (Lamk.)  
 Género *Trochita* Schumacher, 1817  
*Trochita pileus* (Lamarck, 1822)  
 Superfamilia Naticacea Forbes, 1838  
 Familia Naticidae Forbes, 1828  
 Subfamilia Naticinae Swainson, 1840  
 Género *Natica* Scopoli, 1777  
 Género *Natica* Scopoli, 1777  
*Natica isabelleana* d'Orbigny, 1835  
 Orden Neogastropoda Wenz, 1938  
 Superfamilia Muricacea da Costa, 1776  
 Familia Muricidae Rafinesque, 1815  
 Subfamilia Trophoninae Cossmann, 1903

*Trophon varians* (d'Orbigny, 1841)  
*Trophon geversianus* (Pallas, 1774)  
 Familia Thaididae Roding, 1798  
 Género *Acanthina* Fischer von Waldheim, 1807  
*Acanthina monodon* (Pallas, 1774)  
 Superfamilia Volutacea Rafinesque, 1815  
 Familia Volutidae Rafinesque, 1815  
 Volutidae indet.  
 Subfamilia Odontocymbiolinae Clench y Turner, 1964  
 Género *Odontocymbiola* Clench y Turner, 1964  
*Odontocymbiola magellanica* (Gmelin, 1791)  
 Superfamilia Buccinacea Rafinesque, 1815  
 Familia Buccinidae Rafinesque, 1815  
 Género *Pareuthria* Strebel, 1905  
*Pareuthria plumbea* (Philippi, 1844)  
 Familia Nassariidae Iredale, 1916  
 Subfamilia Bullinae Allmon, 1990  
 Género *Buccinanops* d'Orbigny, 1841  
*Buccinanops globulosus* (Kiener, 1834)  
*Buccinanops* sp.  
 Subclase Pulmonata Cuvier, 1817  
 Orden Basommatophora A. Schmidt, 1855  
 Familia Siphonariidae Gray, 1840  
 Género *Siphonaria* G.B. Sowerby I, 1824  
 Subgénero *Talisiphon* Iredale, 1940  
*Siphonaria lessoni* (Blainville, 1824)

Clase BIVALVIA  
 (Buonanni, 1681) Linné, 1758

Subclase Pteriomorphia Beurlen, 1944  
 Orden Mytiloida Férrussac, 1822  
 Superfamilia Mytilacea Rafinesque, 1815  
 Familia Mytilidae Rafinesque, 1815  
 Género *Mytilus* Linné, 1758  
 Subgénero *Mytilus (Mytilus)* Linné, 1758  
*Mytilus (Mytilus) edulis* Linné, 1758  
 Género *Brachidontes* Swainson, 1840  
 Subgénero *Brachidontes* s.s.  
*Brachidontes (Brachidontes) rodriguezi* (d'Orbigny, 1846)  
*Brachidontes (B.) purpuratus* (Lamarck, 1797)  
 Género *Aulacomya* Mörch, 1853  
*Aulacomya atra* (Molina, 1782)  
 Orden Pterioidea Newell, 1965  
 Suborden Pteriina Newell, 1965  
 Superfamilia Pectinacea Gray, 1847  
 Subfamilia Chlamydiae Korobkov, 1960  
 Género *Aequipecten* Fischer, 1887  
*Aequipecten tehuelchus* (d'Orbigny, 1846)  
 Suborden Ostreina Férrussac, 1822  
 Superfamilia Ostreacea Rafinesque, 1815  
 Familia Ostreidae Rafinesque, 1815  
 Subfamilia Ostreinae Rafinesque, 1815  
 Género *Ostrea* Linné, 1758

- Subgènere *Ostrea (Ostrea)* Linné, 1758  
***Ostrea tehuelcha*** Feruglio, 1950  
 Subclase Heterodonta Neumayr, 1884  
 Orden Veneroida H. Adams & A. Adams, 1856  
 Superfamília Lucinacea Fleming, 1828  
 Família Ungulinidae Adams & Adams, 1857 (= Diplodontidae Dall, 1895)  
 Gènere *Diplodonta* Bronn, 1831  
 Subgènere Diplodonta (*Diplodonta*) s.s.  
***Diplodonta (Diplodonta) vilardeboana*** (d'Orbigny, 1842)  
 Superfamília Mactracea Lamarck, 1809  
 Família Mactridae Lamarck, 1809  
 Subfamília Mactrinae Lamarck, 1809  
 Gènere *Maetra* Linné, 1767  
 Subgènere *Maetra (Maetra)* Linné, 1767  
***Maetra cf. patagonica*** d'Orbigny, 1842  
 Superfamília Veneracea Rafinesque, 1815  
 Família Veneridae Rafinesque, 1815  
 Subfamília Pitarinae Stewart, 1930  
 Gènere *Pitar* Römer, 1857  
 Subgènere *Pitar (Pitar)* Römer, 1857  
***Pitar (Pitar) rostratus*** (Koch in Philippi, 1844)  
 Subfamília Tapetinae Adams y Adams, 1857  
 Gènere *Eurhomalea* Cossmann, 1920  
***Eurhomalea exalbida*** (Dillwyn, 1817)
- Subfamília Chioninae Frizzell, 1936  
 Gènere *Protothaca* Dall, 1902  
***Protothaca antiqua*** (King, 1832)  
***Clausinella gayi*** (Hupé, 1854)  
 Orden Myoida Stoliczka, 1870  
 Suborden Myina Stoliczka, 1870  
 Superfamília Myacea Lamarck, 1809  
 Família Corbulidae Lamarck, 1818  
 Subfamília Corbulinae Gray, 1823  
 Gènere *Corbula* Bruguière, 1797  
 Subgènere *Corbula* s.s.  
***Corbula (Corbula) patagonica*** d'Orbigny, 1846  
 Superfamília Hiatellacea Gray, 1824  
 Família Hiatellidae Gray, 1824  
 Gènere *Panopea* Ménard, 1807  
***Panopea abbreviata*** Valenciennes, 1839  
 Subclase Anomalodesmata Dall, 1889  
 Orden Pholadomyoida Newell, 1965  
 Superfamília Pandoracea Rafinesque, 1815  
 Família Lyonsiidae Fischer, 1887  
 Gènere *Lyonsia* Turton, 1822  
 Subgènere *Lyonsia (Lyonsia)* Turton, 1822  
***Lyonsia*** sp.

# Sea level change at Capo Caccia (NW Sardinia) and Mallorca (Balearic Islands) during oxygen isotope substage 5e, based on Th/U datings of phreatic overgrowths on speleothems

Paola TUCCIMEI, Joan J. FORNÓS, Àngel GINÉS, Joaquín GINÉS,  
Francesc GRÀCIA and Mauro MUCEDDA

SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA  
NATURAL DE LES BALEARS

Tuccimei, P., Fornós, J.J., Ginés, A., Ginés, J., Gràcia, F. and Mucedda, M. 2007. Sea level change at Capo Caccia (NW Sardinia) and Mallorca (Balearic Islands) during oxygen isotope substage 5e, based on Th/U datings of phreatic overgrowths on speleothems. *In*: Pons, G.X. i Vicens, D. (Edit.). *Geomorfologia Litoral i Quaternari. Homenatge a Joan Cuerda Barceló*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 14: 121-135. ISBN 84-96376-13-3. Palma de Mallorca.

Sea level changes during Last Interglacial (substage 5e) have been documented in two sites of the Western Mediterranean area: Mallorca Island (Balearic Archipelago) and Capo Caccia area (NW Sardinia). Past sea stands have been recorded by overgrowths of phreatic crystallizations developing around previously formed vadose speleothems. These carbonate coatings have been U-series dated, mostly using multicollector inductively coupled mass spectrometry. Two high sea stands have been recognised along the eastern coast of Mallorca at about 1.5 - 3 metres a.p.s.l. from 135 to 109 ka B.P., with a rapid episode of regression around 125 ka. The average duration of the older high stand episode can be estimated at 9.5 ka and that of the younger at 12.8 ka. So far only the younger stand has been found in Capo Caccia area at 4.3 m a.p.s.l., with a minimum duration of 3 ka. The difference in elevation of late 5e high stand, recorded at Mallorca and Capo Caccia, can be only partly justified by neotectonic activity and is probably the result of different responses of the two areas, (owing to their different crustal thickness) to the change in the water loading characterising the glacial-interglacial cycles.

**Keywords:** Mallorca, Sardinia, sea level change, speleothems, Th/U datings.

CANVIS DEL NIVELL DE LA MAR A CAPO CACCIA (NW SARDENYA) I A MALLORCA (ILLES BALEARS) DURANT EL SUBESTADI ISOTÒPIC 5e, BASAT EN LES DATACIONS Th/U D'ESPELEOTEMES FREÀTICS. Els canvis del nivell de la mar durant el darrer interglacial (subestadi isotòpic 5e) han estat documentats en dues àrees de la Mediterrània occidental: l'illa de Mallorca (Illes Balears) i la zona de Capo Caccia, a l'Alguer (NW de Sardenya). A les coves costaneres d'aquestes illes, antigues estabilitzacions del nivell marí es troben enregistrades mitjançant sobrecreixements de cristallitzacions freàtiques que es desenvoluparen al voltant d'espeleotemes vadosos preexistents. Aquests recobriments de carbonats s'han datat amb el mètode de les sèries de l'Urani, majoritàriament usant tècniques MC-ICPMS (*multicollector inductively coupled mass spectrometry*). Al llarg de la costa oriental de Mallorca, ha estat possible reconèixer dos episodis transgressius que assoleixen 1,5 - 3 m per sobre de l'actual nivell marí, ocorreguts entre 135 i 109 ka BP, separats per una ràpida regressió al voltant dels 125 ka. La durada de la pulsació transgressiva més antiga pot ésser estimada en 9,5 ka.

mentre que la duració de la més recent seria de 12,8 ka. Fins al moment, tans sols la transgressió més recent es troba documentada a l'àrea de Capo Caccia a +4,3 m amb una durada mínima de 3 ka. La diferència d'altitud de l'episodi transgressiu més recent dins el subestadi 5e, enregistrat a Mallorca i a Capo Caccia (Sardegna), pot ésser tan sols parcialment justificada per l'activitat neotectònica i és probablement el resultat de respostes diferents de les dues àrees (atribuïbles a les distintes gruixes de l'escorça continental) als canvis en la càrrega d'aigua marina que caracteritzen els cicles climàtics pleistocènics.

**Paraules clau:** Mallorca, Sardenya, canvis del nivell de la mar, espeleotemes, datacions Th/U.

*Paola TUCCIMEI, Dipartimento di Scienze Geologiche, Università "Roma Tre", Largo San Leonardo Murialdo 1, 00146 Roma, Italy E-mail addres: tuccimei@uniroma3.it ; Joan J. FORNÓS and Joaquín GINÉS Departament de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears, 07122 Palma de Mallorca, Spain; Àngel GINÉS Museu Balear de Ciències Naturals, Sóller, Mallorca, Spain; Francesc GRÀCIA Grup Nord de Mallorca, Pollença, Mallorca, Spain; Mauro MUCEDDA Gruppo Speleologico Sassarese, Via Pietro Canalis 10, 07100 Sassari, Italy.*

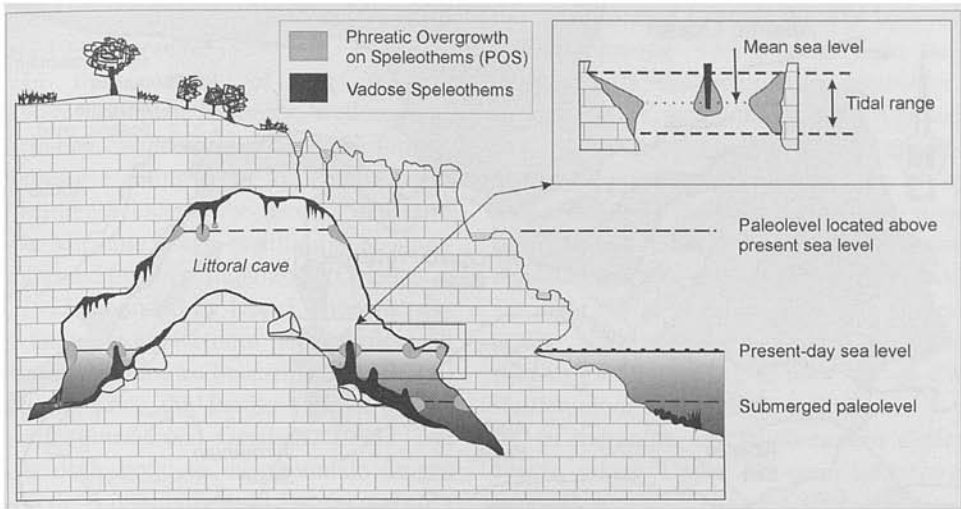
## Introduction

In the major islands of the Western Mediterranean area, karst caves are a frequent occurrence at the existing limestone outcrops. Specifically, the littoral of eastern Mallorca (Balearic Islands, Spain), as well as that of Capo Caccia (north-western coast of Sardinia, Italy) lodges several coastal caves, that supply valuable information about the Quaternary sea level history in this basin.

The main interest in these littoral caves is the presence, inside them, of *Phreatic Overgrowths on Speleothems* (POS) generated at the surface of brackish cave pools (Ginés *et al.*, 1981b; Pomar *et al.*, 1979). These deposits consist in subaqueous crystalline coatings (calcite and/or aragonite, mainly), whose elevation is fully controlled by the sea level position. The resulting overgrowths define strictly horizontal bands that develop on cave walls or whatever suitable support, like conventional vadose speleothems (for example, stalactites) previously formed during low sea stands. Phreatic speleothems of this kind are nowadays growing at the surface of present-day

cave ponds, which are clearly sea-controlled since they experience tidal and barometric daily fluctuations. As these subactual POS record the current sea level position, equally ancient crystallizations - situated both above and below  $\pm 0$  metres a.s.l. (Fig.1) - are an excellent record of the elevation of past coast lines (Ginés *et al.*, 1981a; Pomar *et al.*, 1987). This geomorphical setting is well documented in Mallorcan caves (see a complete bibliographic revision in Ginés, 2000), where some Th/U dating programmes were performed, since the eighties, in order to correlate POS paleolevels with sea level fluctuations along Middle and Upper Pleistocene (Hennig *et al.*, 1981; Ginés and Ginés, 1989; Tuccimei *et al.*, 1997).

The isotopic investigations undertaken in the last years on the POS from Mallorca, represent a promising approach to Pleistocene paleoclimate and sea level change studies, as it is evidenced in several recent papers on this topic (Ginés *et al.*, 2003; Fornós, *et al.*, 2002; Vesica *et al.*, 2000). These tasks have been recently extended to some Sardinian caves (Tuccimei *et al.*, 2000), within a geomor-



**Fig. 1.** Schematic representation of a littoral karst cave, outlined in an ideal cross section. Note the presence of phreatic overgrowths on speleothems related with present and past sea levels.

*Fig. 1.* Representació esquemàtica d'una cova càrstica littoral, perfilada en una secció ideal. Notis la presència de sobrecreixements freàtics sobre els espeleotemes relacionats amb el nivell de la mar actual i pretèrits.

phological framework similar to that of Mallorca. Th/U datings of POS from both geographical areas have supplied new informations about eustatic change during Last interglacial (isotopic substage 5e) and neotectonics, on the base of this remarkable karst record. The Phreatic Overgrowths on Speleothems prove to be a new source for Quaternary studies, complementary to more conventional indicators as fossil beaches or other evidences of past coast lines.

### Geological and geomorphological setting

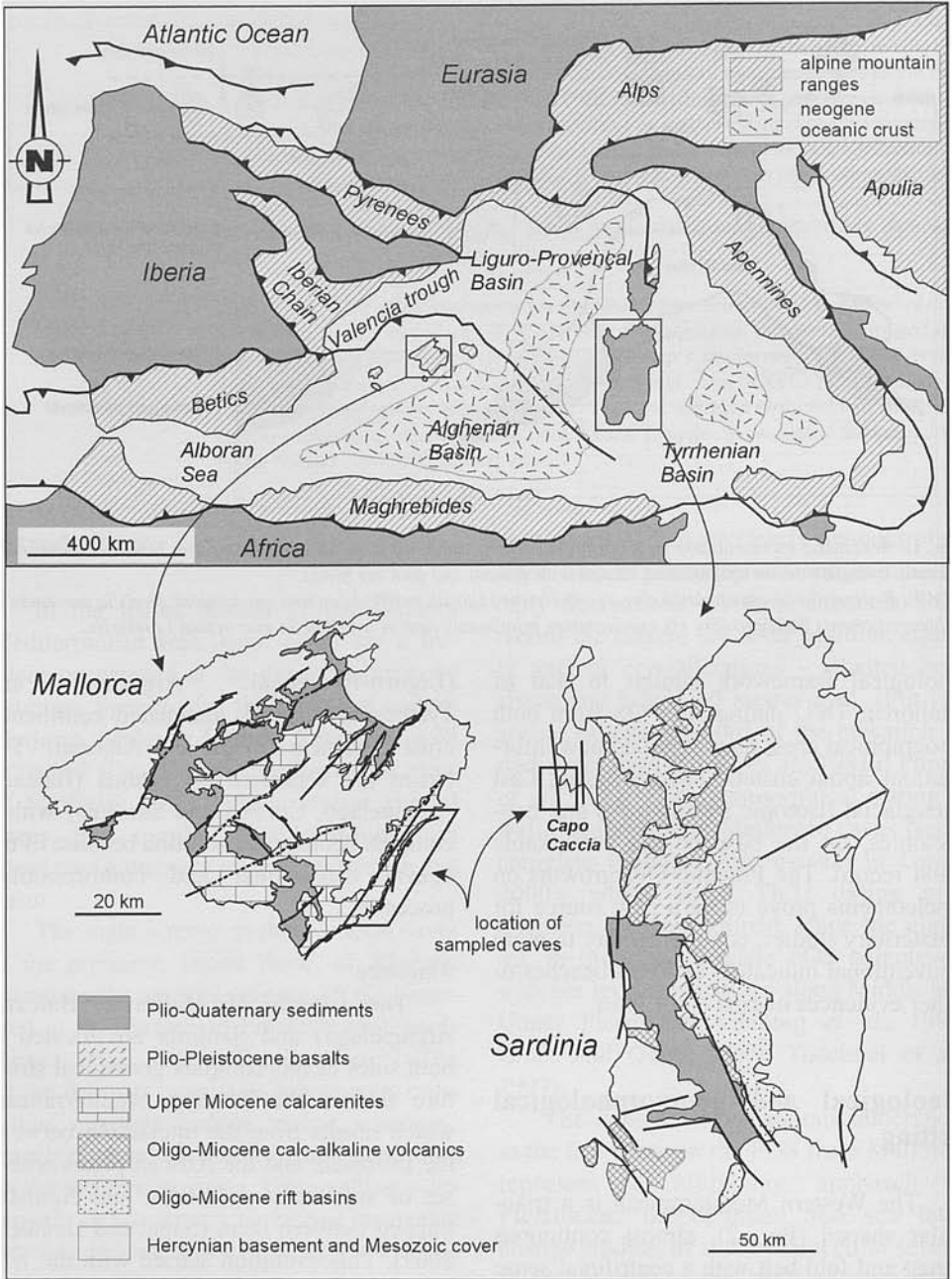
The Western Mediterranean is a triangular shaped (Fig. 2), almost continuous thrust and fold belt with a centrifugal sense of thrusting emplacement (Alpine Corsica, Apennines, Maghrebides, Rif, Betics and Balearic Promontory), which surrounds extensional basins partially oceanic

(Liguro-Provençal, Algerian and Tyrrhenian) or with attenuated continental crust (Valencia trough and Alboran). The basins are separated by islands (Balearic Archipelago, Corsica and Sardinia) with a complex geological evolution because of the coeval extensional and compressional processes.

### Mallorca

The islands of Mallorca (Balearic Archipelago) and Sardinia are located at both sides of this complex geological structure that is the Western Mediterranean, which results from the interaction between the European and the African plates with a set of small plates (Iberian and Apulian) trapped between them (Sàbat and Gelabert, 2003). This evolution started with the NE-SW Africa-Europe convergence, which originated the opening of the Valencia trough-Gulf of Lyon basin (30-20 Ma) and lead (20-10 Ma) to the differential eastward





**Fig. 2.** Simplified tectonic map of the Western Mediterranean and geological sketch maps of Sardinia and Mallorca islands with the location of the sampled caves.

*Fig. 2.* Mapa tectònic simplificada del Mediterrani occidental i mapes geològics esquemàtics de les illes de Sardenya i Mallorca on es mostra la localització de les coves que s'han mostrejat.

migration of Corsica and Sardinia (Gueguen *et al.*, 1997; Séranne, 1999).

In the context of the Western Mediterranean plate tectonics, Mallorca was affected by two tectonic phases: the former, compressive acting from the Paleogene to the Middle Miocene, the second, extensive Upper Miocene in age, resulting in a structure formed by horst and graben (Gelabert *et al.*, 1992) bounded by Upper Miocene normal faults. Both tectonic phases affect all carbonate lithologies occurring almost continuously since the Permo-Triassic to the Present (Fornós and Gelabert, 1995). The horsts correspond to the mountain ranges (Serra de Tramuntana and Llevant) and consist of an imbricate thrust sheet system facing NW. The grabens correspond to the basins (Pla and Migiorn) filled with tabular postorogenic sediments, mainly Upper Miocene to Quaternary in age.

Sediments deposited after the Middle Miocene are considered post-orogenic and do not present evident compressive structures. Consequently, Mallorca must be considered stable since the Upper Miocene.

Most of the evidences of recent tectonic activity in Mallorca are located in the centre of the island (Giménez, 2003) and are related with NE-SW normal fault neogene structures (Gelabert, 1998), due to the opening of the Valencia Trough (Giménez *et al.*, 2002), and fault-propagation folds trending NW-SE, perpendicular to the normal faults (Rohdenburg and Sabelberg, 1973). The coeval occurrence of distensive and compressive structures, means that neogene extension has finished and the Plio-Quaternary regime is closer to a strike-slip field (Giménez, 2003).

Nevertheless some evidences of weak tectonic movements must be considered. Fornós *et al.* (2002) point out a general tectonic tilting with a progressive lowering of

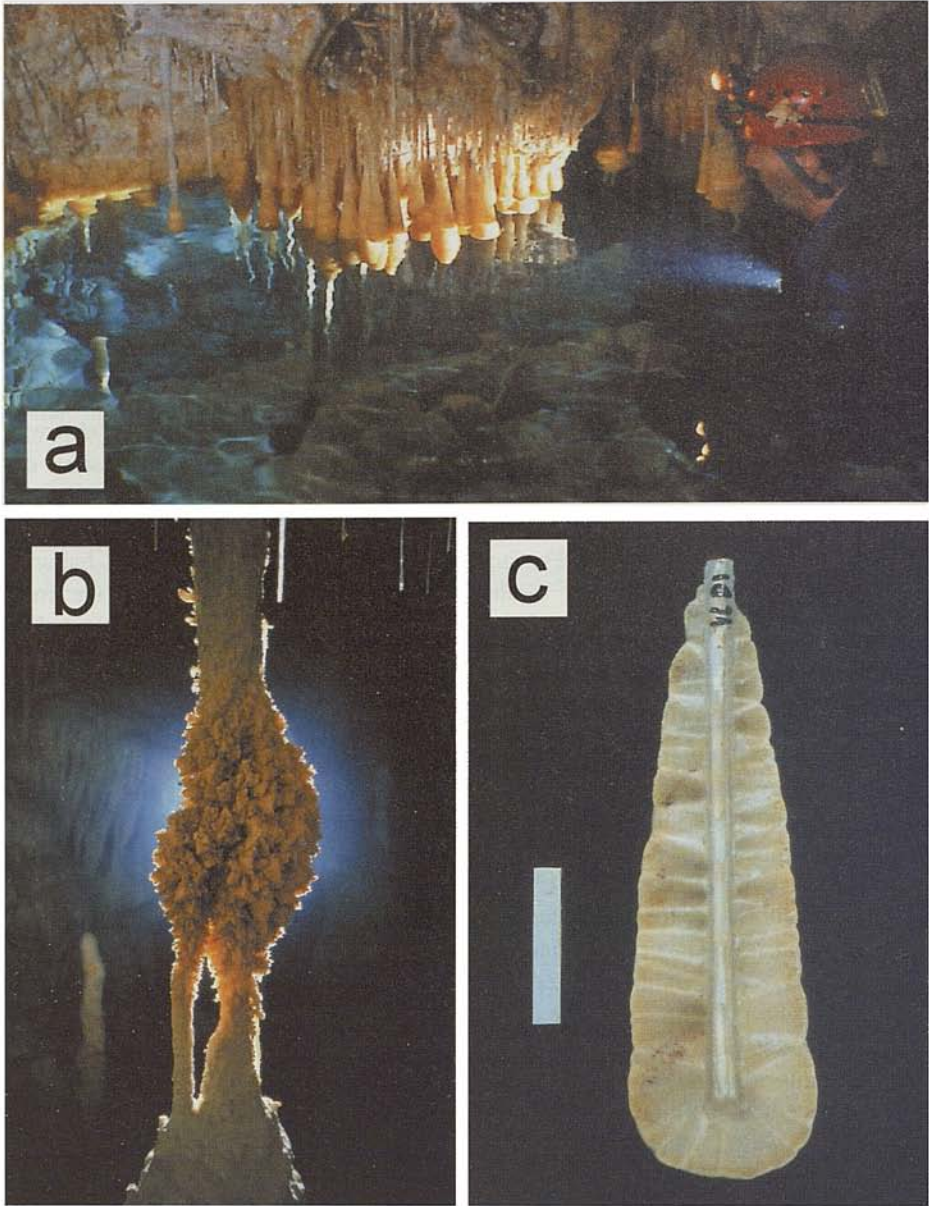
the areas located towards the SW by comparing phreatic speleothems ages and heights with the regionally established eustatic curves, supported by other regional, stratigraphical, sedimentological, tectonic and geomorphologic evidences. The tilting was continuous from oxygen isotope stage (OIS) 5a until now, and originates a normal displacement that can be estimated in about 1.5 m of the northeastern part with respect to the southwestern end. This tilting is roughly parallel and agree with the NE-SW shortening direction mentioned above.

In the south and south-eastern cliffed coasts, where Upper Miocene limestones and calcarenites crop out (Pomar *et al.*, 1990), a wide set of endokarst features are remarkable (Ginés, 1995) in the form of solutional voids and caves originated in the littoral phreatic zone by mixing of fresh and sea waters. The caves act as a register of the complex Pleistocene sea level history (Ginés and Ginés, 1995) showing several phases of infillings, collapse and breccia formation and several periods of deposition of both vadose and phreatic speleothems.

#### *Capo Caccia area*

Sardinia is a large rectangular island located in the Western Mediterranean Sea off the coast of Italy. It stands on the eastern margin of the Provençal basin, which represents the southern part of a regional rift system active in western Europe during the Cenozoic (Le Pichon *et al.*, 1971; Burrus, 1984; Casula *et al.*, 2001). According to Burrus and Audbert (1990), the Sardinian margin underwent about 100 m of subsidence associated with cooling of the lithosphere since the end of the Messinian, which correspond to an average rate of 2 cm/ka.

Capo Caccia area is located in the NW edge of Sardinia and is made up with limestone, Cretaceous in age, dissected by sys-



**Fig. 3.** a) Morphology of present-day phreatic overgrowths in a littoral cave pool from eastern Mallorca, in a low tide situation (photo: K. Downey); b) detail of a calcite overgrowth on a column corresponding to a past sea high stand (note the maximum thickness of the POS corresponding to the coeval mean sea level -photo: A. Merino); c) section of an aragonite overgrowth showing the vadose stalactite that acts as a support of the POS (scale bar: 5 cm).  
**Fig. 3.** a) Morfologia d'un sobrecreixement freàtic actual en una llac d'una cova litoral de l'est de Mallorca, en una situació de mar baixa (Foto: K. Downey); b) detall d'un sobrecreixement de calcita sobre una columna que correspon a un nivell de mar elevat pretèrit (notis el màxim espessor del POS que correspon al nivell mig de la mar corresponent - foto: A. Merino); c) secció d'un sobrecreixement d'aragonita mostrant com l'estalactita vadosa actua de suport del POS (escala de la barra: 5 cm).



Table 1 - U-series data of phreatic overgrowths on speleothems (POS) from Mallorca Island and Capo Caccia area

Sample	Cave	Elevation (m)	ppb U	$(^{234}\text{U}/^{238}\text{U})$	$(^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th})$	$(^{230}\text{Th}/^{234}\text{U})$	Age (yr)	$(^{234}\text{U}/^{238}\text{U})_{\text{initial}}$
MALLORCA								
GL-D7*	Cova de sa Gleda	-13.5	272 ± 2	1.667 ± 0.003	42 ± 1	0.661 ± 0.022	107,400 ± 2,800	1.903 ± 0.008
DI-D1-1*	Cova del Dimoni	+2.5	2531 ± 7	1.273 ± 0.002	236 ± 2	0.654 ± 0.004	109,900 ± 1,100	1.372 ± 0.003
DI-D3*	Cova del Dimoni	+2.5	2050 ± 6	1.192 ± 0.001	2834 ± 55	0.664 ± 0.003	114,200 ± 900	1.265 ± 0.001
DI-D1-2*	Cova del Dimoni	+2.5	1254 ± 5	1.087 ± 0.001	5231 ± 62	0.670 ± 0.003	118,400 ± 900	1.122 ± 0.014
PO-D2*	Cova des Pont	+2.1	347 ± 1	1.381 ± 0.003	529 ± 9	0.704 ± 0.006	122,700 ± 1,900	1.539 ± 0.005
VB-D5*	Cova de Cala Varques B	-16.5	786 ± 2	1.822 ± 0.003	891 ± 11	0.730 ± 0.003	124,700 ± 900	2.169 ± 0.005
VB-D3*	Cova de Cala Varques B	-14	680 ± 2	1.881 ± 0.020	320 ± 14	0.735 ± 0.007	125,000 ± 2,000	2.256 ± 0.028
OX-D1*	Cova de s' Ònix	+3	254 ± 1	1.443 ± 0.002	37 ± 0.5	0.727 ± 0.008	128,500 ± 2,500	1.637 ± 0.005
SE-D2*	Cova des Serral	+1.5	198 ± 1	1.521 ± 0.009	591 ± 5	0.736 ± 0.005	130,200 ± 1,600	1.752 ± 0.013
PI-D1*	Coves del Pirata	+2.1	300 ± 1	1.649 ± 0.006	1681 ± 20	0.751 ± 0.006	133,000 ± 1,900	1.945 ± 0.01
GE-D1*	Cova Genovesa	+2	179 ± 1	1.102 ± 0.003	59 ± 0.9	0.729 ± 0.007	138,000 ± 2,800	1.151 ± 0.004
GL-D2*	Cova de sa Gleda	-14	505 ± 1	1.968 ± 0.004	242 ± 2	0.796 ± 0.005	143,400 ± 1,600	2.45 ± 0.009
GE-D2*	Cova Genovesa	-13	244 ± 1	1.233 ± 0.005	38 ± 0.4	0.756 ± 0.012	143,600 ± 4,600	1.349 ± 0.009
SARDINIA								
GN-D3-1§, #	Grotta di Nettuno	+4.20	271 ± 10	1.050 ± 0.03	95 ± 21	0.690 ± 0.02	125,000 ± 7,000	1.07 ± 0.04
GN-D3-2°	Grotta di Nettuno	+4.30	212 ± 2	1.203 ± 0.004	100 ± 5	0.677 ± 0.045	117,000 ± 2,000	1.283 ± 0.007
GN-D4°	Grotta di Nettuno	+4.30	175 ± 3	1.160 ± 0.013	170	0.682 ± 0.007	120,000 ± 2,000	1.225 ± 0.018
GN-D6 #	Grotta di Nettuno	+4.30	226 ± 5	1.130 ± 0.02	75 ± 28	0.680 ± 0.03	120,000 ± 9,000	1.18 ± 0.03

\* stands for MC-ICPMS, ° refers to TIMS analyses, # stands for AC § vadose speleothem

Table 1. U-series data of phreatic overgrowths on speleothems (POS) from Mallorca Island and Capo Caccia area. Errors are quoted as 2 sigma. Taula 1. Dades de la sèrie del U de sobrecreixements freàtics a espeleotemes (POS) de la illa de Mallorca i de l'àrea del Capo Caccia (Sardenya). Error expressat com a 2 sigma.

tems of normal faults with a downthrow westward and south-westward. Along these structural features karst phenomena developed and a large number of littoral caves occur. Inside the caves, POS around cave walls or pre-existing supports are observed.

It is important to stress that the promontory of Capo Caccia is cut at about 4-5 m a.p.s.l. by a wave-cut notch attributed to substage 5e. The notch is recorded at decreasing elevations northward, from 5.40 to about 3.45 m a.p.s.l. This is an evidence of a descendent metric tilting from E to W (Antonioli *et al.*, 1998) with an average rate of about 0.02 mm/yr.

## Sampling

Among the very abundant littoral caves found in both geographical areas (Mallorca and NW Sardinia), the sites containing POS - in the form of horizontal alignments of subaqueous crystallizations - were firstly identified (Fig. 3); as it has been exposed before, these deposits are clear indicators of ancient sea levels. The exploration of the cavities required the use of conventional caving techniques, together with specialized scuba-diving in the cave ponds for sampling regressive paleolevels. The recognized POS alignments were sampled collecting preferentially those zenital speleothems (phreatic overgrowths coating vadose stalactites) which are of easier recollection (Fig. 3c); the detailed sampling methodology is described in Ginés (2000).

Samples have been always collected as close as possible to the upper limit of the subaqueous overgrowth, being them -in this manner- unequivocally indicative of the maximum elevation attained by the sea-controlled phreatic level at the moment of the speleothems deposition. The elevation of

sampled POS alignments was topographically determined inside the subaerial part of the caves (estimated error  $\pm 0.10$  meters). In the submerged sections, the depth was measured with the pressure depth-meter used by the divers. In both cases, the elevation of POS paleolevels is referred to the current mean sea level, being the obtained figures rounded to 0.5 meters for the submerged samples.

Thirteen POS specimens from 8 different caves in eastern Mallorca and four speleothems from Grotta di Nettuno (NW Sardinia) have been collected. The elevation of these samples range from +2.5 to -16,5 meters a.p.s.l. in Mallorcan sites (table I), whereas the sampled POS from Sardinia have an elevation of +4.3 metres. These samples are included in an extensive POS study programme that has investigated more than 20 caves in both islands, furnishing a lot of Th/U datings ranging from 3.9 ka to >350 ka BP (Ginés *et al.*, 2003; Hennig *et al.*, 1981; Tuccimei *et al.*, 1997; Vesica *et al.*, 2000). In this paper the attention is focused to speleothems ranging in age from about 150 to 100 ka BP and belonging to the Last Interglacial.

The speleothems were sectioned in the laboratory and samples of the POS extracted with a table micro-drill for mineralogical and isotopical investigations. All the samples were obtained avoiding any existing altered or recrystallized area. When possible, several sub-samples of the main different growing layers have been identified and dated (Tuccimei *et al.*, 2006).

## Analytical procedure

Thirteen samples from Mallorca Island and four from Sardinia were U-series dated using mostly multicollector inductively-



coupled mass spectrometry (MC-ICPMS - twelve speleothems), secondarily thermal ionisation mass spectrometry (TIMS - three POS) and alpha-counting (AC - two samples). Data referred to samples from Mallorca are from Tuccimei *et al.* (2006). U-series data of speleothems from Capo Caccia area are new data.

As far as samples analysed by MC-ICPMS are concerned, aliquots of 200 mg were spiked with about 0.1 g of a mixed  $^{236}\text{U} + ^{229}\text{Th}$  spike solution and dissolved in 7.5 N  $\text{HNO}_3$ .  $^{236}\text{U}$  and  $^{229}\text{Th}$  concentrations in the tracer solution were equal to 4.84 and 0.0457 pmol/g, respectively. The sample solutions were directly loaded onto anion

exchange columns (Dowex 1x8) to separate U from Th. After washing out matrix elements (Ca, Mg etc.), uranium was eluted with 7.5 N  $\text{HNO}_3$  and thorium with 0.5 N  $\text{HNO}_3$ . U and Th fractions were dried and redissolved with about 0.5 mL of nitric acid.

U and Th solutions were measured at the Laboratory for Isotope Geology (Institute of Geological Sciences), University of Bern (Switzerland) on "Nu Plasma", an inductively coupled plasma double focusing magnetic sector multicollector mass spectrometer, designed and manufactured by Nu Instruments Ltd.

The program measures  $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{236}\text{U}$  and  $^{238}\text{U}$  in static mode.  $^{234}\text{U}$  and  $^{236}\text{U}$  are

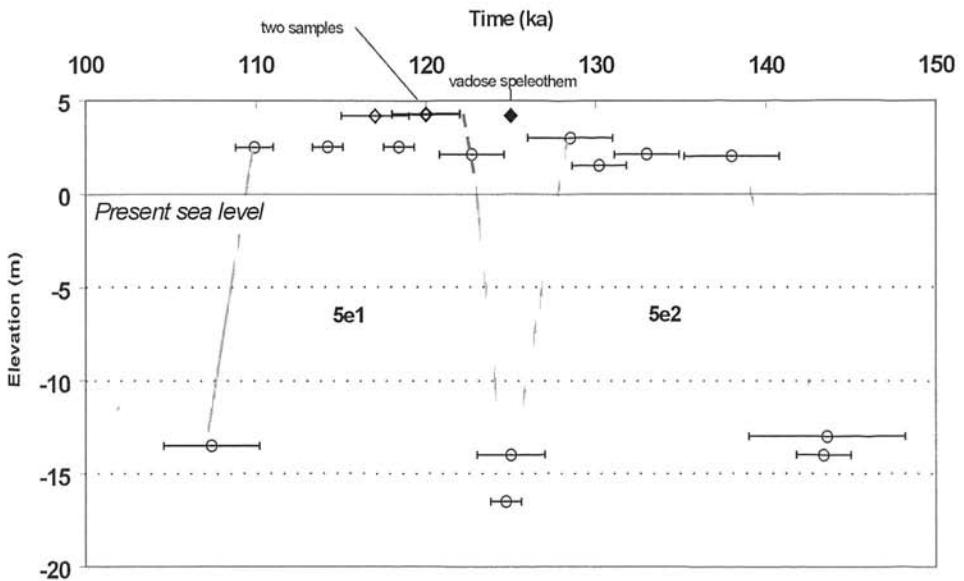


Fig. 4. Last Interglacial high sea stands at Mallorca (Balearic Archipelago) and Capo Caccia area (NW Sardinia) based on Th/U datings of phreatic overgrowths on speleothems. Open circles and solid lines refer to POS from Mallorca, open squares and dashed lines to POS from Capo Caccia and the single closed square to a vadoso support in Grotta di Nettuno, Sardinia, (GN-D3-1) around which POS GN-D3-2 formed. The error bar of the vadoso speleothem,  $\pm 9$  ka (2 sigma), is not reported.

Fig. 4. Nivells màxims del nivell de la mar a Mallorca (Arxipèlag Balear) i àrea del Capo Caccia (NW de Sardenya) basats en datacions Th/U de sobrecreixements freàtics a espeleotemes (POS). Els cercles i línies contínues corresponen als POS de Mallorca; els quadrats i les línies discontinues als POS del Capo Caccia, i el rombe al suport vadós dins la Grotta di Nettuno, Sardenya (GN-D3-1), sobre el qual va créixer el POS GN-D3-2. La barra d'error de l'espeleotema vadós,  $\pm 9$  ka (2 sigma), no s'indica.

measured in ion counters. The  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$  ratio is used for fractionation correction. Ion counters gain calibration is done using the U050 standard (NIST). In order to cancel out any memory effect, a 5-10 minute wait between individual runs is required during which the system is flushed with clean 0.5 N nitric acid.

For Th runs, the  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$  ratio is used for fractionation correction and U960 must be added to the sample. The program has two cycles in which  $^{229}\text{Th}$  and  $^{230}\text{Th}$  are alternatively measured in ion counter #1. In order to prevent damage to the electron multipliers due to the high  $^{232}\text{Th}$  beam, the  $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$  ratio is not measured directly, but is calculated via  $^{238}\text{U}$ . Gain calibration is done using a standard, Th from MOSS, best diluted 1:50 in 0.5 N  $\text{HNO}_3$ . It has a  $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$  ratio of  $1.560 (\pm 0.003) \times 10^{-4}$  (1 standard deviation, 24 runs). If samples with little  $^{232}\text{Th}$  are run after such a gain calibration run, it is important to allow time to let the  $^{232}\text{Th}$  memory die down. This mostly takes at least 10 minutes and can be helped by nebulizing some 2N HCl for a while.

The two samples analysed by TIMS were prepared and measured according to the analytical procedures described in Edwards et al. (1986-1987) and in Tuccimei et al. (2004).

AC dated samples were prepared following the procedure described in Bishoff et al. (1988).

The age and the initial ( $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ) activity ratios of all samples were calculated by means of ISOPLOT, a plotting and regression program designed by Ludwig (1994) for radiogenic-isotope data. U-series data are reported in Table 1. Errors are always quoted as 2 ?.

## Last Interglacial high stands

Timing of Last Interglacial period (known as substage 5e) has been controversial. Some studies suggest a relatively short duration that is orbitally forced (CLIMAP Project Members, 1984; Martinson *et al.*, 1987) and others indicate a long duration that is at most only partly related to orbital forcing (Lorius *et al.*, 1985; McManus *et al.*, 1994; Winograd *et al.*, 1992, 1997; Jouzel *et al.*, 1993; Szabo *et al.*, 1994; Kukla *et al.*, 1997). In addition, Maslin and Tzedakis (1996) report evidence of a sudden, short-lived (< 1 ka long) chill, during oxygen isotope substage 5e, at about 122 ka B.P. Other authors indicate that a short low sea stand episode has occurred during OIS 5e in the mediterranean region (Hearty *et al.*, 1986; Hearty, 1987; Hillaire-Marcel *et al.*, 1996; Zazo *et al.*, 1997; Vesica *et al.*, 2000; Dai Pra and Ozer, 1984; Riccio *et al.*, 1999; Hearty, 2002; Jedoui *et al.*, 2003), as well as in other areas of the world (Chen *et al.*, 1991; Zhu *et al.*, 1993; Neumann and Hearty, 1996; Hearty, 1998; Israelson and Wohlfarth, 1999).

This section is focused on sea level changes during Last Interglacial in two sites of the Western Mediterranean, Capo Caccia area (NW Sardinia) and Mallorca (Balearic Islands), based on U-series dating of phreatic overgrowths on speleothems.

### Mallorca

At Mallorca U-series ages indicate two high sea stands during the Last Interglacial (Tuccimei *et al.*, 2006) that may have occurred from 135 to 109 ka (Fig. 4):

-a first stand at 1.5-3 metres above present sea level (a.p.s.l.), with an earlier possible beginning at 140.8 and a later start at 135.2 ka B.P. The conclusion of this episode can be set from 131 to 126 ka, resulting in a possible duration of a minimum of 4.2 ka

and a maximum of 14.8 ka (average value = 9.5 ka);

-a second stand apparently longer than the first, at 2.5 metres a.p.s.l., with an earlier possible beginning at 124.6 ka and a later start at 120.8 ka B.P. The end of this stand fall from 111 to 108.8 ka, lasting a minimum of 9.8 ka and a maximum of 15.8 ka (average value = 12.8 ka);

The two high stands are separated by a low stand at a maximum depth of 16.5 m around 125 ka.

Two high sea stands during oxygen isotope substage 5e have been found in beach deposits from Mallorca Island also by Hearty (1986), Hearty et al. (1987) and Hillaire-Marcel et al. (1996). Th/U measurements by TIMS on mollusc shells from unconformably superimposed indurated littoral conglomerates and beach-rocks yielded ages of 135 and 117 ka (Hillaire-Marcel et al., 1996).

### *Capo Caccia*

In Capo Caccia area (NW Sardinia), only an episode of high sea stand has been recorded at 4.3 m a.p.s.l. According to the ages of POS (120 - 117 ka), a minimum duration of 3 ka can be estimated for this episode. It can be correlated with the late substage 5e found at Mallorca (5e1 in Fig.4). The age of 125 ka obtained for a vadose speleothems (GN-D3-1) representing the support of POS GN-D3-2 and located at 4.3 m a.p.s.l. suggests that around that age the sea level was lower than 4.3 m a.p.s.l. The large error ( $\pm 9$  ka) associated with this age does not allow any further temporal consideration.

On the basis of the collected data, there are no evidences of the early 5e high sea stand (5e2 in Fig. 4) in the area of Capo Caccia, but it is not possible to exclude that this is due to a lack of sampling.

Consequently only the data referred to the more recent high stand will be discussed.

## Discussion

On the basis of the data available so far (Fig. 4) the high sea stand referred to late substage 5e is recorded at higher elevation on the north-western coast of Sardinia with respect to the eastern coast of Mallorca. The two sites can be considered substantially stable, even if minor post-120 ka tilting phenomena have affected similarly both sites (Fornós et al., 2002; Antonioli et al., 1998). In both cases, the sea level change can be considered to follow, in a first approximation, the eustatic sea level fluctuations in the Western Mediterranean, since Sardinia and Mallorca are located sufficiently far from former Penultimate Glacial Maximum ice sheets and are not significantly affected by glacial unloading. Further away from the ice sheets, regional differences in sea level changes are mainly controlled by the unloading and the loading of the seafloor as ocean volumes change (Lambeck and Bard, 2000). The small difference in elevation, from a maximum of 3.3 to a minimum of about 1 m (Fornós et al., 2002; Antonioli et al., 1998) recorded for the Last Interglacial sea stand at Mallorca and Capo Caccia could be due, besides to tectonics, to the different responses of the two sites to the uplift and subsidence processes induced by changes in the loading of the central basin of the Western Mediterranean seafloor during the last two glacial-interglacial cycles Lambeck and Bard (2000, Figure 10) report a map of predicted sea level in the Western Mediterranean at the time of Last Glacial Maximum (based on EO earth model parameters). The EO earth model describes the mantle as a three spherical layer, compress-

ible body, comprising a lithosphere (with a given elastic thickness), an upper mantle and a lower mantle (with given different average effective viscosities). By changing the value of the elastic lithospheric thickness, different predictions of sea level come out. This means that a different lithospheric thickness can induce different responses to changes in the water loading.

In the above mentioned map, the eastern coast of Mallorca is approached by a -120 m contour line and Capo Caccia area is crossed by a -115 m line. In addition, the two sites are characterised by a different crustal thickness. Mauffret *et al.* (1996) show that the Moho depth is about 25 km along the eastern margin of the Provençal Basin where Mallorca is located, but the contour line of 25 km in the Capo accia area is locally displaced westward, suggesting that a thicker crust is present in NW Sardinia. These findings could justify the different responses of Mallorca and Capo Caccia area to the water loading that followed the Last Glacial Maximum, with a stronger subsidence of Mallorca, where the crustal thickness is lower, with respect to Capo Caccia.

If similar processes were active also during previous glacial-interglacial cycles, they could also justify the lower elevation of late 5e high sea stand at Mallorca with respect to Capo Caccia area.

## Acknowledgements

This paper is part of the project: DGI, BTE2002-04552-C03-02 and CGL2006-11242-CO3-01. Thanks to B. Gelabert for comments that have improved the final text. Many thanks are also due to C. Zazo and C. Hillaire-Marcel for stimulating discussion during IGCP 437 Project, Final Conference,

Otranto, September 2003. The Authors are very grateful to G. Mastronuzzi and P. Sansò for the effective and nice organization of the Conference and related field trips.

## References

- Antonioli, A., Ferranti, L. and Lo Schiavo, F. 1998. The submerged Neolithic burials of Grotta Verde at Capo Caccia (Sardinia, Italy). Implication for the Holocene sea level rise. *Memorie Descrittive del Servizio Geologico Nazionale*, 52: 290-312.
- Bishoff, J.L., Rosenbauer, R.J., Tavoso, A. and Lumley, H. 1988. A test of uranium-series dating of fossil tooth enamel: results from Tautavel cave, France. *Applied Geochemistry*, 3: 145-151.
- Burrus, J. 1984. Contribution to a geodynamic synthesis of the Provencal Basin (north-western Mediterranean). *Marine Geology*, 55: 247-269
- Burrus, J. and Audebert, F. 1990. Thermal and compaction processes in a young rifted basin containing evaporates - Gulf of Lyons, France. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.*, 74: 1420-1440.
- Casula, G., Cherchi, A., Montadert, L., Murru, M. and Sarria, E. 2001. The Cenozoic graben system of Sardinia (Italy): geodynamic evolution from new seismic and field data. *Marine and Petroleum Geology* 18, 863-888
- Chen, J.H., Curran, H.A., White, B. and Wasserburg, G.J. 1991. Precise chronology of the last interglacial period:  $^{234}\text{U}/^{230}\text{Th}$  data from fossil coral reefs in the Bahamas. *Bulletin of the Geological Society of America* 103, 82-97.
- CLIMAP Project Members, 1984. The last interglacial ocean. *Quaternary Research*, 21: 123-224.
- Dai Pra, G. and Ozer, A. 1984. Les encoches de corrosion: indice de stabilité du littoral exemple du Lazio meridional (Italie). *Annales de la Societé Geologique de Belgique*. 108, 93-97.

- Fornós, J.J. and Gelabert, B. 1995. Lithology and tectonics of the majorcan karst. In: Ginés A. and Ginés, J. (Eds.) Karst and caves in Mallorca, *Endins, 20/Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 3: 27-43.
- Fornós, J.J., Gelabert, B., Ginés, A., Ginés, J., Tuccimei, P. and Vesica, P.L. 2002. Phreatic overgrowths on speleothems: a useful tool in structural geology in littoral karstic landscapes. The example of Eastern Mallorca (Balearic Islands). *Geodinamica Acta*, 15(2): 113-125.
- Gelabert, B. 1998. *La estructura geológica de la mitad occidental de la Isla de Mallorca*. ITGE, Colección Memorias, Madrid, 1-129 p.
- Gelabert, B., Sàbat, F. and Rodríguez-Perea, A. 1992. An structural outline of the Serra de Tramuntana of Mallorca (Balearic Islands). *Tectonophysics*, 203: 167-183.
- Giménez, J. 2003. Nuevos datos sobre la actividad post-Neógena de la Isla de Mallorca. *Geogaceta*, 33: 79-82.
- Giménez, J., Fornós, J.J. and Gelabert, B. 2002. Análisis de la fracturación de los materiales calcáreos neógenos de la costa sudoriental de Mallorca. *Geogaceta*, 31: 127-130.
- Ginés, A. and Ginés, J. 1989. Absolute dating of phreatic speleothems from coastal caves of Mallorca (Spain). *Proc. 10th Int. Congress Speleol.*, 1: 191-193. Budapest.
- Ginés, A., Ginés, J. and Pomar, L. 1981a. Phreatic speleothems in coastal caves of Majorca (Spain) as indicators of Mediterranean Pleistocene paleolevels. *Proc. 8th Int. Congress Speleol.*, 2, 533-536. Bowling Green.
- Ginés, J. 2000. *El karst litoral en el levante de Mallorca: una aproximación al conocimiento de su morfogénesis y cronología*. Unpublished PhD Thesis. Universitat de les Illes Balears, Palma de Mallorca. 595 pp.
- Ginés, J. 1995. Mallorca's endokarst: the speleogenetic mechanisms. In: Ginés A. and Ginés, J. (Eds.) Karst and caves in Mallorca. *Endins, 20/Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 3: 71-86.
- Ginés, J., Ginés, A. and Pomar, L. 1981b. Morphological and mineralogical features of phreatic speleothems occurring in coastal caves of Majorca (Spain). *Proc. 8th Int. Congress Speleol.*, 2: 529-532. Bowling Green.
- Ginés, J. and Ginés, A. 1995. Speleochronological aspects of karst in Mallorca. In: Ginés A., Ginés, J. (Eds.) Karst and caves in Mallorca. *Endins, 20/Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 3: 99-112.
- Ginés, J., Tuccimei, P., Fornós, J.J., Ginés, A., Gràcia, F. and Vesica, P.L. 2003. The upper Pleistocene sea-level history in Mallorca (western Mediterranean) approached from the perspective of coastal phreatic speleothems. In: Ruiz, M.B., Dorado, M., Valdeolmillos, A., Gil, M.J., Bardají, T., de Bustamante, I. and Martínez, I. (eds.) *Quaternary climatic changes and environmental crises in the Mediterranean region*. Universidad de Alcalá - Ministerio de Ciencia y Tecnología - INQUA. 241-247. Alcalá de Henares, Madrid.
- Gueguen, E., Doglioni, C. and Fernández, M. 1997. Lithospheric boudinage in Western Mediterranean back-arc basins. *Terra Nova*, 9: 184-187.
- Hearty, P.J. 1987. New data on the Pleistocene of Mallorca. *Quaternary Science Reviews*, 6: 245-257.
- Hearty, P.J. 1998. The geology of Eleuthera Island, Bahamas: a Rosetta Stone of Quaternary stratigraphy and sea-level history. *Quaternary Science Reviews*, 17: 333-355.
- Hearty, P.J. 2002. Revision of the late Pleistocene stratigraphy of Bermuda. *Sedimentary Geology*, 153: 1-21.
- Hearty, P.J., Miller, G.H., Stearns, C.E. and Szabo, B.J. 1986. Aminostratigraphy of Quaternary shorelines in the Mediterranean basin. *Geological Society of America Bulletin*, 97: 850-858.
- Hennig, G.J., Ginés, A., Ginés, J. and Pomar, L. 1981. Avance de los resultados obtenidos mediante datación isotópica de algunos espeleotemas subacuáticos mallorquines. *Endins*, 8: 91-93.
- Hillaire-Marcel, C., Garipey, C., Ghaleb, B., Goy, J-L., Zazo, C. and Cuerda J. 1996. U-series measurements in Tyrrhenian deposits



- from Mallorca. Further evidence for two last-interglacial high sea levels in the Balearic Islands. *Quaternary Science Reviews*, 15: 53-62.
- Israelson, C. and Wohlfarth, B. 1999. Timing of the Last-Interglacial High Sea Level on the Seychelles Islands, Indian Ocean. *Quaternary Research*, 51, 306-316, doi: 10.1006/qres.1998.2030.
- Jedoui, Y., Reyss, J-L., Kallel, N., Montacer, M., Ismail, H.B. and Davaud, E. 2003. U-series evidence for two high Last Interglacial sea levels in southeastern Tunisia. *Quaternary Science Reviews*, 22: 343-351.
- Jouzel, J., Barkov, N.I., Barnola, J.M., Bender, M., Chappellaz, J., Genthon, C., Kotlyakov, V.M., Lipenkov, V., Lorius, C., Petit, J.R., Raynaud, D., Raisbeck, G., Ritz, C., Sowers, T., Stievenard, M., Yiou, F. and Yiou, P. 1993. Extending the Vostok ice-core record of paleoclimate to the penultimate glacial period. *Nature*, 407-412.
- Kukla, G., McManus, J.F., Rousseau, D.-D. and Chuine, I. 1997. How long and how stable was the last interglacial? *Quaternary Science Reviews*, 605-612.
- Lambeck, K. and Bard, E. 2000. Sea-level change along the French Mediterranean coast for the past 30,000 years. *Earth and Planetary Science Letters*, 175: 203-222.
- Le Pichon, X., Pautot, G., Auzende, J.M. and Olivet, J.L. 1971. La Méditerranée occidentale depuis l'Oligocène, schéma d'évolution. *Earth Planetary Science Letters*, 13: 145-152.
- Lorius, C., Jouzel, J., Ritz, C., Merlivat, L., Barkov, N.I., Korotkevich, Y.S. and Kotlyakov, V.M. 1985. A 150,000-year climatic record from Antarctic ice. *Nature*, 591-596.
- Ludwig, K.R. 1994. Isoplot. A Plotting and Regression Program for Radiogenic-Isotope Data. Version 2.75. U.S. Geological Survey, Open-File Report, 91-445.
- Ludwig, K.R., Mush, D.R., Simmons, R.B., Halley, R.B. and Shinn, E.A. 1996. Sea level records at 80 ka from tectonically stable platforms: Florida and Bermuda. *Geology*, 24: 211-214.
- Martinson, D.G., Pisias, N.G., Hays, J.D., Imbrie, J., Moore, T.C. and Shackleton, N.J. 1987. Age dating and the orbital theory of the ice ages: development of a high-resolution 0 to 300,000-year chronostratigraphy. *Quaternary Research*, 1-29.
- Maslin, M., and Tzedakis, C., 1996. Sultry Last Interglacial gets sudden chill. *EOS, Transactions American Geophysical Union*, 77(37): 353-354.
- Mauffret, A., Pascal, G., Maillard, A. and Gorini, C. 1996. Tectonics and deep structure of the north-western Mediterranean Basin. *Marine and Petroleum Geology*, 12: 645-666.
- McManus, J.F., Bond, G.C., Broecker, W.S., Johnsen, S., Labeyrie, L. and Higgins, S. 1994. High-resolution climate records from the North Atlantic during the last interglacial. *Nature*, 326-329.
- Neumann, A.C. and Hearty, P.J. 1996. Rapid sea level changes at the close of the last interglacial (substage 5e) recorded in the Bahamian island geology. *Geology*, 24 (9): 775-778.
- Pomar, L., Ginés, A. and Ginés, J. 1979. Morfología, estructura y origen de los espeleotemas epiacuáticos. *Endins*, 5-6: 3-17.
- Pomar, L., Rodríguez, A., Fornós, J.J., Ginés, A., Ginés, J., Font, A. and Mora, A. 1987. Phreatic speleothems in coastal caves: a new method to determine sea-level fluctuations. In: *Late Quaternary sea-level changes in Spain* (C. Zazo, ed.). Museo Nacional de Ciencias Naturales C.S.I.C. Trabajos sobre Neógeno-Cuaternario, 10, 197-224. Madrid.
- Pomar, L., Rodríguez-Perea, A., Sàbat, F. and Fornós, J.J. 1990. Neogene stratigraphy of Mallorca Island. In: Agustí, J.; Domènech, R.; Julià, R., Martinell, J. (Eds): *Iberian Neogene Basins, Field Guidebook. Paleontología i Evolució* (Mem. Esp.) 2: 271-320.
- Riccio, A., Riggio, F. and Romano, P. 1999. Upper Pleistocene sea level history: new data from geomorphology, stratigraphy and sedimentology on fossil shorelines in Sorrento Peninsula (Southern Italy). *FIST, GeoItalia 1999*, riassunti 1, 226-227.

- Rohdenburg, H. and Sabelberg, U. 1973. Quartäre Klimazyklen im Westlichen Mediterraneengebiet und ihre Auswirkungen auf die Relief und Bodenentwicklung. *Catena*, 1: 71-180.
- Sàbat, F. and Gelibert, B. 2003. Late Cenozoic Geodynamic evolution of the Western Mediterranean. A.A.P.G. Int. Conf., Barcelona., ppA83.
- Séranne, M. 1999. The Gulf of Lyon continental margin (NW Mediterranean) revisited by IBS: an overview. Geological Society, London, Special Publications, 156, 15-36.
- Szabo, B.J., Ludwig, K.R., Muhs, D.R. and Simmons, K.R. 1994. Thorium-230 ages of corals and duration of the last interglacial sea-level high stand on Oahu, Hawaii. *Science*, 93-96.
- Tuccimei, P., Antonioli, F., Delitala, C., Fornós, J.J., Ginés, A., Ginés, J., Mucedda, M., Orrù, P. and Taddeucci, A. 2000. Sea level changes during oxygen isotope stage 5 at Capo Caccia (Alghero, Sardinia), based on U/Th datings of phreatic overgrowths on speleothems and geomorphological evidences. *L'Eemiano e il Tirreniano in Italia*. Convegno Associazione Italiana per lo Studio del Quaternario, 24-26. Verona.
- Tuccimei, P., Ginés, J., Ginés, A. and Fornós, J.J. 1997. Th/U dating of sea level-controlled phreatic speleothems from coastal caves in Mallorca (Western Mediterranean). *Proc. 12th Int. Congress Speleol.*, 1: 37-40. La Chaux-de-Fonds.
- Tuccimei, P., Ginés, J., Delitala M.C., Ginés, A., Gracia, F., Fornós J.J. and Taddeucci, A. (2006). Last interglacial sea level changes in Mallorca island (Western Mediterranean). High precision U-series data from phreatic overgrowths on speleothems. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 50 (1): 1-21.
- Vesica, P.L., Tuccimei, P., Turi, B., Fornós, J.J., Ginés, A. and Ginés, J. 2000. Late Pleistocene paleoclimates and sea-level change in the Mediterranean as inferred from stable isotope and U-series studies of overgrowths on speleothems, Mallorca, Spain. *Quaternary Science Reviews*, 19: 865-879.
- Winograd, I.J., Coplen, T.B., Landwehr, J.M., Riggs, A.C., Ludwig, K.R., Szabo, B.J., Kolesar, P.T. and Revesz, K.M. 1992. Continuous 500,000-year climate record from vein calcite in Devils Hole, Nevada. *Science*, 255-260.
- Winograd, I.J., Landwehr, J.M., Ludwig, K.R., Coplen, T.B. and Riggs, A.C. 1997. Duration and structure of the past four interglaciations. *Quaternary Research*, 141-154.
- Zazo, C., Goy, J. L., Hillaire-Marcel, C., Hoyos, M., Cuerda, J., Ghaleb, B., Bardayi, T., Dabrio, C. J., Lario, J., Silva, P. G., González, A., González, F. and Soler, V. 1997. El nivel del mar y los interglaciales cuaternarios: su registro en las costas peninsular y insulares españolas. *In: Cuaternario Ibérico*. AEQUA Mon., 23-32.
- Zhu, Z.R., Wyrwoll, K.H., Collins, L.B., Chen, J.H., Wasserburg, G.J. and Eisenhauer, A. 1993. High-precision U-series dating of Last Interglacial events by mass spectrometry: Houtman Abrolhos Islands, Western Australia. *Earth and Planetary Science Letters*, 118: 281-293.



# Aportaciones al conocimiento de la biología, ultraestructura y micropaleontología del *Corallium rubrum* (L.) y de algunas otras variedades (*C. konojoi*, *C. elatius* y "coral fósil") en uso en la industria coralígena

Guillem MATEU

SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA  
NATURAL DE LES BALEARS

Mateu, G. 2007. Aportaciones al conocimiento de la Biología, Ultraestructura y Micropaleontología del *Corallium rubrum* (L.) y de algunas otras variedades (*C. konojoi*, *C. elatius* y "coral fósil") en uso en la industria coralígena. In: Pons, G.X. i Vicens, D. (Edit.). Geomorfologia Litoral i Quaternari. Homenatge a Joan Cuerda Barceló. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 14: 137-154. ISBN 84-96376-13-3. Palma de Mallorca.

Se aportan observaciones propias y de otros autores sobre la biología, paleoecología, ultraestructura, fisiología del Coral rojo (*Corallium rubrum*) y de otras "variedades" utilizadas en joyería e industria del coral. El "coral fósil" de Sciaccia y el coral-rosa (*konojoi*) y coral blanco-japonés ("*elatius*") han acrecentado su uso ante la sobre-explotación y escasez del coral rojo en el Mediterráneo. Nuevos conocimientos bioquímicos obligan a un replanteamiento sobre el proceso de biomineralización del eje esquelético y de las espículas del *C. rubrum* que son distintos y no que el eje esquelético proceda de la recristalización de espículas o escleritos originados por escleroblastos mesogleicos de los pólipos. Fenómenos geotectónicos y climáticos, Pliocuaternarios obligaron al *Corallium rubrum* a un cierto estancamiento en el área mediterránea.

**Palabras clave:** *Corallium rubrum*, "coral fósil", coral rosa o *konojoi* y coral blanco *elatius*, biología, ultraestructura, industria.

APORTACIONES AL CONEIXEMENT DE LA BIOLOGIA, ULTRAESTRUCTURA I MICROPALAEONTOLOGIA DEL *Corallium rubrum* (L.) I D'ALTRES VARIETATS (*C. konojoi*, *C. elatius* I "CORALL FÒSSIL") A L'ÚS DE LA INDÚSTRIA CORAL-LÍGENA. Observacions pròpies i bibliogràfiques ens ajuden a conèixer millor la biologia, ecologia, ultraestructura i biomineralització del *C. rubrum*. A més a més, l'aprofitament del "Coral fòssil" i de varietats rossa i blanca ens ajuden a resaltar la necessitat de regular la sobreexplotació del *C. rubrum*, del que nous estudis bioquímics han descobert que les espínules mesogleiques són independents de la biomineralització de l'eix esquelètic del corall. Causes geotectòniques i climàtiques tenen molt a veure amb l'acantonament mediterrani del *C. rubrum*.

**Paraules clau:** *Corallium rubrum*, "corall fòssil", corall rosa o *konojoi* i corall blanc *elatius*, biologia, ultraestructura, indústria.

Guillem MATEU, Laboratori de Micropaleontologia; Edifici Guillem Colom - UIB.

## Introducción

Desde aquella Primera Consulta Técnica sobre el *Corallium rubrum*, celebrada por el CGPM en Palma de Mallorca (13-16 Diciembre de 1983), se fueron desarrollando investigaciones pluridisciplinares acerca de la Biología, Micropaleontología, Paleocología y Diagenesis mineralógica de este Antozoario, de gran interés en el mundo del arte y de la industria. Pero fue, sobre todo a partir de las publicaciones de diferentes autores, como fruto de un programa de investigación del Instituto Español de Oceanografía (I.E.O., 1986) lo que, temporalmente, reavivó en nuestro país el interés por el estudio de coral. Posteriormente tales investigaciones fueron expuestas en la segunda Consulta Técnica del Consejo General en Pesca del Mediterráneo (C.G.P.M.) de la FAO (Mateu, 1988), celebrada en septiembre de 1988 en Torre del Greco (Italia), ciudad cercana a Nápoles, centro mundial de la industria y del arte coralígenos (Liverino, 1984).

A todos aquellos estudios e investigaciones sobre el coral rojo hay que añadir otras más recientes innovaciones bioquímicas, paleoecológicas y ultraestructurales mediante microscopia electrónica sobre este polipero, material cada vez más escaso debido a la sobrepesca y tan difícil de cultivar que los industriales tienen que acudir al uso de formas exóticas y hasta a la explotación de yacimientos fósiles o subfósiles (Allemand *et al.*, 1990; 1994; Grillo *et al.*, 1990; Russo, 1995; Sartoretto, 1995, etc.).

## Biología del Coral

En el estudio multidisciplinar del coral durante estas dos últimas décadas se han aportado datos nada despreciables sobre su

bioecología, destacando que sus condiciones óptimas de vida se cumplen debajo de la termoclina de verano, en niveles con irradiación inferior a 130 cal/cm<sup>2</sup>/año, en aguas poco agitadas, en ausencia de sedimentos y a profundidades óptimas de 60 a 100 m (Stiller *et al.*, 1983).

Además, ahora van conociéndose mejor las estrategias reproductoras del *C. rubrum*, ya que a la sabida colonización por larvas plánulas hay que añadir las observaciones de Lasker (1984) (*in* Russo, 1995) sobre la propagación asexual del coral. Si las larvas alcanzan grandes distancias, la forma asexual por propágulos o fragmentos autotómicos coloniza espacios más próximos y a la vez vigoriza con mutantes obtenidos por vía sexual la larga vida y las exigencias ecológicas de tales octocoralaris que se localizan, sobre todo, en rendijas y grutas sciafilas y en espacios libres de algas del nivel infralitoral.

Frente a la sobre-explotación de los fondos coralígenos un mayor conocimiento de la dinámica de implantación de sus larvas y del desarrollo de sus colonias puede acercarnos al difícil cultivo industrial del coral, teniendo en cuenta que el tiempo excesivo en la obtención de individuos de 15 cm de altura exigirán unos 25 años para su desarrollo y posterior utilización en joyería.

La preferencia de sus larvas (plánulas, ciliadas y libres) para fijarse sobre "coralígeno" o sustrato orgánico endurecido, no sólo implica el conocimiento previo de las diversas especies que forman las comunidades de dichos ecosistemas y la estratificación de sus poblaciones (Gili y Ros, 1984; Mateu *et al.*, 1986b), sino que el tiempo y lugar de desprendimiento de larvas por las colonias de *C. rubrum* nos indica que las cerca de 2000 larvas/colonia desprendidas, suelen desarrollar su vida pelágica entre junio y setiembre (Stiller *et al.*, 1983) y que



su posterior implantación no puede desvincularse de un sustrato biogénico específico y de cierto grado de porosidad de la roca, en áreas posiblemente vinculadas a fenómenos volcánicos (Sanz, 1983).

El crecimiento alométrico del coral implica un desarrollo distinto no sólo entre las ramas principales (0,2 - 0,5 cm/año) y secundarias (0,1 - 0,81 cm/año), sino también entre el esqueleto axial y el cenosarco, que crece más rápidamente. Además el desarrollo diametral del coral (*Corallium rubrum*) de unos 2 mm/año (García-Rodríguez *et al.*, 1986) supone unos ritmos de crecimiento, controlados por factores genéticos y ambientales y expresados en aquellas bandas concéntricas del esqueleto axial, donde el color claro, hialino y poco denso de las bandas estivales, indicarían mayor contenido orgánico y el color opaco y oscuro y más denso de las bandas invernales, correspondería a un mayor contenido en carbonatos (García-Rodríguez y Massó, 1986).

De ahí que la colonia de pólipos del Coral alternaría un proceso larvario veraniego con una mayor actividad de biocalcificación invernal, dentro de unos parámetros de acidez, temperatura y salinidad compatibles con la formación de carbonatos y teniendo en cuenta el grado de competencia que sobre el Ca tienen sobre todo el Sr y el Mg, que ofrecen un factor de discriminación, menor en el estroncio que en el magnesio en los corales calcítico-ahermatípicos, mientras en las formas aragonítico arrecifales, como los Heliopóridos, prevalece el Sr sobre el Mg (Mateu *et al.*, 1986a).

Una línea muy interesante de investigación es la que actualmente se sigue en el Museo Oceanográfico de Mónaco en la búsqueda de un modelo biológico para interpretar la biocalcificación de estos octocoralarios (Grillo *et al.*, 1990; Allemand *et al.*,

1990; 1994). Con la tradicional observación del microscopio fotónico el eje esquelético del coral aparece enfundado en el cenosarco que comprende ectodermo periférico y monoestratificado, mesoglea y células en contacto con el mismo eje esquelético (Lacaze-Duthiers, 1864). Ya destacamos el papel bioconstructor de estos pólipos en régimen colonial y comunicados por canales longitudinales periaxiales y canaliculos anastomosados a través de la masa cristalina axial que dimos por micrita (Mateu, 1986) y que Grillo *et al.* (1990) definen como calcita fibrosa, cuya materia orgánica (0,50%) juega un importante papel en la biocalcificación de los corales, que como vamos a ver, es diferente en el esqueleto axial y en las espículas.

Allemand *et al.* (1994), al diferenciar las estructuras calcíticas del esqueleto y de las espículas o escleritos del *C. rubrum* y analizar sus respectivas matrices orgánicas concluyen lo siguiente: 1) que la sulfatoglicosamina se da en la matriz de las espículas y no aparece en la matriz de los esqueletos, 2) que tanto la materia soluble de la matriz como la insoluble, es menor en el esqueleto que en las espículas y sólo estas últimas contienen sulfato-glicosaminoglicans (GAGS), y 3) que la matriz orgánica sólo alcanza el 1,6% del *C. rubrum*, con un 75% de materia insoluble y un 25% de materia soluble, el primero rico en aminoácidos no polares (glicina) y el segundo en ácido aspártico. Todo esto hace pensar que tanto en el esqueleto como en las espículas, los procesos de biomineralización, tanto cualitativos como cuantitativos, son distintos, ya que las matrices mineralizadoras son distintas, el ectodermo "secretor" de eje y espículas es diferente y las macromoléculas orgánicas realizan un papel distinto en la biomineralización del eje esquelético y de las espículas. Ambos tienen proteínas, carbohi-

dratos, glicosaminoglicans (GAG), pero sólo las espículas tienen sulfatoglicosaminoglicans (GAGS) tanto en su fracción soluble como en la insoluble. Lo que supone que el esqueleto axial no proviene de un proceso de recristalización biomicrobiana de espículas o escleritos, como antes se pensaba (Mateu *et al.*, 1986b).

Interesa incrementar los conocimientos sobre la Biología del coral con su metabolismo, sus exigencias tróficas y biotópicas, sus modos y tiempos de reproducción sobre todo teniendo en cuenta el desprendimiento e implantación de larvas sobre determinadas coberteras biogénicas, sin descuidar el grado de mortandad natural y/o provocada. Temas a ensayar en una difícil acuicultura de unos Antozoarios cuya lentitud de creci-

miento se contrapone a su gran demanda industrial.

En el Mediterráneo, con biotopos coralígenos generalmente por debajo de la termoclina veraniega y con una media anual de 15 a 16° C de temperatura, se dan casos de mortandad de *C. rubrum* si las temperaturas de verano fueron excesivamente elevadas (Stiller y Riniere, 1983). Además se ha observado un cierto geonegativismo de larvas plánulas del coral cuando remontan a la superficie a fines de junio, mientras, a finales de setiembre se han recogido larvas en aguas más profundas. Esta vida planctónica libre puede durar unos 15 días, dando paso a la vida bentónica del coral a partir de una masa discoidal con depresión central que se fija en el sustrato "coralígeno" (Lámina 1),



**Lámina I**

**Fig. 1.** Coralígeno de sedimento orgánico compactado y consolidado con serpulidos, briozoos, etc. sobre el que crecen varios estolones de *Corallium rubrum*.

**Fig. 2.** Ejemplar de *C. rubrum* de 9 cm de alto x 10,5 cm de ancho, procedente de Punta del Vent (Formentor - Mallorca). Profundidad 60 m. (Fotos: G. Mateu Vicens).





**Lámina II**

**Fig. 1.** *Corallium rubrum* con epibiontes (serpúlidos) y desgastado su cenosarco por esponjas y organismos endolíticos (Sa Foradada, Deya. Mallorca). Profundidad 30 m.

**Fig. 2.** *C. rubrum* de unos 20 mm de diámetro en su zona de máximo grosor, por pertenecer a la VI clase de edad de *C. rubrum* de Harding (In: García-Rodríguez & Massó, 1986) tendría de 10 a 15 años.

formando colonias, que por gemación pueden alcanzar el número de hasta 136 por m<sup>2</sup> en las anfractuosidades y unos 19 por m<sup>2</sup> en paredes verticales o subverticales, siendo nula su presencia en áreas de régimen hidrodinámico fuerte (Harmelin, 1983).

No solamente la hidrodinámica incide en la vida coralígena, también la competición interespecífica, la ruptura de la fijación en el sustrato, el acúmulo de sedimentos, la predación no humana y la invasión de organismos endolíticos y epibiontes como las esponjas que, atacando el cenosarco erosionan la estructura calcárea del esqueleto. Además de otros pequeños organismos sésiles como briozoos, serpúlidos, foraminíferos, hidrozoos, etc.

Hay registrados episodios de mortandad catastrófica como aquel del siglo XIX de Sciacca (Liverino, 1984) (Láminas IX y X), de carácter vulcano-sísmico-sedimentario y con casi 11 millones de kg de coral, o más recientemente en agosto del 83, la muerte de las colonias de *C. rubrum* de las costas de Provenza, por el excepcional recalentamiento de las aguas superiores a los 32 m. Otras causas letales relacionadas con la contaminación, podrían favorecer un desequilibrio competitivo del ecosistema coralígeno motivando una masiva reproducción de organismos epibiontes e incrustantes que, como pasa con los serpúlidos (v.g. del género *Filograna*) rebajan sobremanera la vitalidad del coral (Harmelin, 1983).

### **Paleoecología del Coral**

La distribución mediterránea del coral (Marchetti, 1965) parece estar relacionada a las áreas volcánicas y sísmicas de un mar (Hsü *et al.*, 1978), cuyo origen y desarrollo del ecosistema ahermatípico, hay que vincularlo a la continentalización plio-pleistocé-

nica del mismo. Convertido en doble cubeta termostática, con temperaturas meso-batipelágicas no superiores a los 15° C y con aguas epipelágicas sujetas a los cambios climáticos atlánticos perialpinos, que son incompatibles con los ecosistemas maduros del sistema aragonítico-arrecifal de los países tropicales (Mateu, 1991).

Los factores geotectónicos finimiocénicos, sobre todo en Alborán y Gibraltar (Campillo *et al.*, 1992) y las fluctuaciones glacioeustáticas pleistocénicas han hecho posible el acantonamiento coralígeno en el Mediterráneo cuya línea de costa ha sufrido regresiones aproximadas de casi -125 m (Mateu *et al.*, 1984) con la franja infra-circalitoral, sujeta a condiciones subáreas en los estadios pleniglaciares y actualmente ocupada por el ecosistema coralígeno de los tiempos interglaciares.

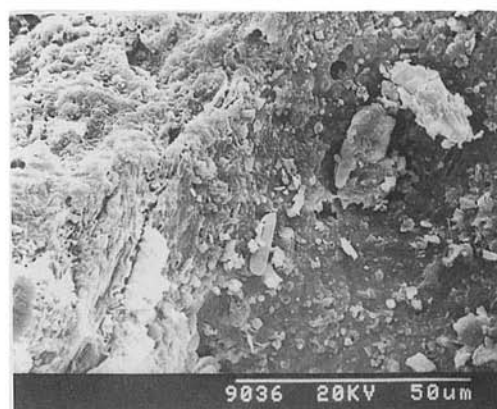
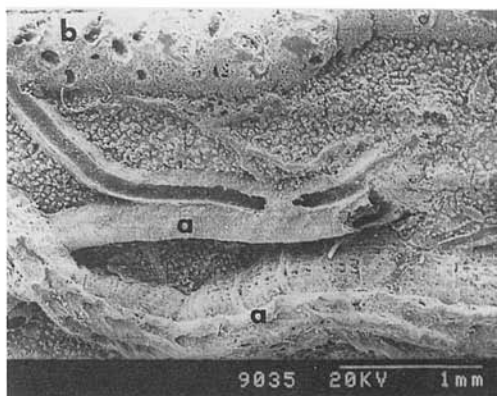
En el contexto paleoecológico del Holoceno (10.000 a. B.P.) y más concretamente a partir de la Transgresión Flandriense de hace unos 7000 a. B.P. (Mateu *et al.*, en prensa) el ecosistema coralígeno, en general se ha mantenido ya que su actividad genética y biocenótica parece compatible con los gradientes de variación batimétrica y eustática de sus áreas de producción (Wells, 1957), a nivel local y de forma esporádica alterados, por ejemplo, por los citados episodios catastróficos de Sciacca (Sicilia) posiblemente vinculados a la geotectónica del todavía activo arco calabro-tunecino (Genesseeux *et al.*, 1983). Como tampoco puede olvidarse que la hipohalinización de las aguas mediterráneas respecto de las atlánticas en los momentos de máxima deglaciación podría haber alterado el modelo hidrodinámico a través de Gibraltar (Caralp, 1988) causando estagnación y depleción de oxígeno en el Mediterráneo, favorables a la precipitación de calcita magnésica como el que hubo en el

área tirrénica y del estrecho de Sicilia (Vergnand-Grazzini *et al.*, 1988), donde se produjo el enorme yacimiento de "coral fósil" explotado después por la industria italiana (Peruzy, 1923).

Los componentes químicos del coral (82 a 87% de  $\text{CO}_3\text{Ca}$ ; 7% de  $\text{CO}_3\text{Mg}$  y el resto de  $\text{SO}_3\text{Ca}$ , fosfatos, materia orgánica, etc.), su nivel de dureza de 3,3 a 3,4 de la escala de Mohr y su peso específico que oscila entre 2,6 a 2,7, exigen de este antozooario una notable estenohalinidad y un nivel térmico relativamente estable. De ahí que el excesivo aporte de aguas de lluvia y fluviales puede alterar la salinidad de los ecosistemas coralígenos y el rápido aumento de producción planctónica de dinoflagelados ("marea roja") pudo no ser ajeno a ciertas alteraciones paleoecológicas del coral, como lo fueron de otros grupos estenohalinos a través de la historia biológica marina (Erba 1994).

### Micropaleontología del Coral

El coral rojo, *Corallium rubrum*, crece sobre sustrato orgánico más o menos endurecido llamado "coralígeno" (Lámina 1) que, junto con el sedimento de sus oquedades e intersticios nos dio un contenido protistológico y microalgal de 85 especies de foraminíferos y 16 formas de cocolitofóridos. El estudio taxonómico, ecológico e "histórico" de 45.200 individuos de estos microorganismos asociados al coral rojo (Mateu y Gazá, 1986) nos permitió ver que sólo un 47% de foraminíferos proceden del antiguo ecosistema arrecifal balear de hace unos siete millones de años, o sea que pasaron la crisis evaporítica mediterránea del Mesiniense y viven hoy adaptados al nivel infra-circalitoral donde se reproduce el coral rojo. Las demás especies del coralígeno



#### Lámina III

**Fig. 1.** *Corallium rubrum* atacado por epibiontes sobre todo poliquetos (serpúlidos) (a) y briozoos (b) y otros microorganismos endolíticos que degradan el coral. (Microscopía electrónica de barrido, M.E.B.).

**Fig. 2 y 3.** Cocolitofóridos y otros microorganismos adheridos al *C. rubrum* (M.E.B.).



no son plio-pleistocénicas o sea propias de un Mediterráneo abiohermático o sea no arrecifal ni tropical, convertido hoy en mar semicerrado y termostato del Atlántico. Desaparecieron los macroforaminíferos arrecifales y finimiocénicos (*Amphistegina*, *Heterostegina*, etc.) y tan solo ciertos Soritidae (*Peneroplis*, *Amphisorus*, *Dendritina*, etc.) evocan entre el bentos aquellas condiciones fitotropicales de fines del Terciario, como la abundancia de determinadas formas planctónicas sedimentadas entre el sustrato coralígeno, unas (*Gobigerinoides trilobus*, *G. ruber*, *Orbulina universa*, etc.) recuerdan las comunidades epipelágicas anteriores a la desecación mediterránea y otras como la exuberante presencia de *Globorotalia inflata*, forma sinistrorsa y mesoepipelágica está relacionada con el marcado enfriamiento superopliocénico del Mediterráneo de 3,2 a 2,5 millones de años B.P. (Mateu y Gazá, 1986b).

La evolución micropaleontológica del Plioceno y del Pleistoceno, en los niveles infra-circalitorales del Mediterráneo, va ligada a la gradual implantación del ecosistema coralígeno, donde se reproduce el *C. rubrum* y cuyas biofacies están dominadas ahora por foraminíferos bentónicos calcáreo-perforados (Homotrematidae, Discorbidae, Cibicididae, Ephidiidae), calcáreo-porcelanoides (Hauerinidae, antes Miliolidae) y aglutinados (Textulariidae) además de tantas otras especies, cuya sistemática y ecología ya tenemos descrita, sobre todo a partir de aquellos datos radiométricos de Kukla et al. (1979) que sitúan el límite Plioceno/Pleistoceno en los depósitos de los "solitary corals" (*C. rubrum*?) de Santerno, en la costa italiana del Adriático y cuya antigüedad de  $1.85 \pm 0.1$  m. a. B.P., situaríamos ahora en el Plioceno superior, siguiendo la Comisión Internacional de Estratigrafía (1989) que coloca el límite Plioceno/

Pleistoceno en los 1.6 Ma. B.P. o sea casi 200.000 años más "moderno" de lo tradicionalmente establecido. Límite entre el Terciario y el Cuaternario que con la "astronomically calibration Timescale" de Lourens et al. (1996), basado en la precesión solar registrada en los ciclos sedimentarios de sapropeles y carbonatos marinos del SE. de Calabria, vuelve a una mayor antigüedad de 1,806 Ma. B.P. la edad del Cuaternario, más conforme con los datos radiométricos de Kukla et al. (1975) de aquellos depósitos coralígenos provenientes del mismo Adriático italiano.

### Ultraestructura del Coral

Precisamente el análisis con microscopio electrónico de barrido (scanning) y la difracción con RX del "coral fósil" de Sciacca (Láminas IX y X), ofrece un esqueleto axial (Lám. X, fig. 1) recubierto de una funda roja (a) a manera de cenosarco que recubre un anillo de material compacto (b) que envuelve una serie de canalículos longitudinales, entorno a unos septos secundarios (d) entre grandes espacios longitudinales libres de calcita. La ultraestructura del anillo compacto (b) aparece en fig. 3 más o menos fibrosa, mientras que en fig. 4 y 5 a unos 2500 aumentos, aparece la estructura micrítica de la calcita de un coral con escasa compactividad axial. Aquí tendríamos que relacionar esto con procesos lentos de disolución que han permitido conservar los grandes rasgos de su estructura y cuya cubierta roja nos recuerda aquellos procesos de estructuras orgánicas mineralizadas donde un medio sedimentario sobresaturado de  $\text{CO}_2\text{Ca}$ , en su primer momento y en exceso de iones de magnesio podría inhibir la precipitación de la calcita y favorecer la conservación de la envoltura orgánica o

cenosarco con la progresiva formación de núcleos microcristalinos entre las capas proteicas (Mateu *et al.*, 1980; 1986a).

Las ultraestructura del "coral fósil" (Lámina X) podemos compararla con las correspondientes al "coral rosa" o *C. elatius* (Láminas IV y V) y al "coral blanco" o *C. konojoi* (Láminas VII y VIII) y vemos que, la estructura fibroso-cristalina del esqueleto axial es en ambos de una gran compatividad, detalle que posiblemente guarda una determinada relación con el porcentaje de matriz orgánica en espículas y esqueleto axial.

Y como caso curioso ofrecemos un ejemplar de coral rojo cubierto de epibiontes (Lámina II, Fig. 1) donde la presencia de poliquetos (Lámina III, Fig. 1) y cocolitofóridos (Lámina III, Fig. 2 y 3) suponen un deterioro progresivo del cenosarco y cuya notable tasa de mortandad, como hemos observado en ciertas áreas del litoral de Mallorca, se debe a la invasión de organismo sesiles (esponjas, poliquetos, etc.), favorecida por la alteración natural y/o antropológica del medio marino.

## Discusión y perspectivas

En base a los datos antecedentes, de cosecha ajena y propia, sobre el coral no parece inoportuno destacar la importancia de su estudio para racionalizar su explotación y profundizar en su biología y ecología tratándose de un organismo de alto valor industrial y de difícil cultivo. Estas y otras razones nos mueven a destacar lo siguiente:

1.- El avance en las investigaciones del *C. rubrum* sobre todo de aquellos aspectos bioquímicos (enzimas que regulan la calcificación, cinética de intercambio de iones, matriz orgánica, etc.), embriológicos (eclosiones larvares, periodicidad, selectividad

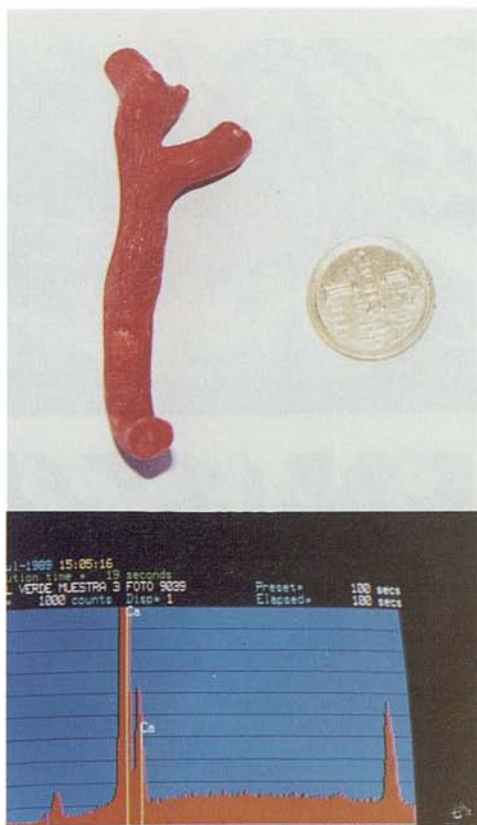


Lámina IV *Corallium "elatius"* - Coral rosa (Boke) del mar del Japón. Profundidad 250 m.

Fig. 1. Fragmento de 65 mm de largo y 7 mm de ancho, de *C. elatius* o coral rosa.

Fig. 2. Microanálisis elemental del coral rosa, netamente calcítico y libre de otros elementos extraños.

en su implantación, etc.), ecológicos (competencia interespecífica, límites de tolerancias a temperatura, salinidad, etc.), son de capital importancia para la difícil acuicultura del coral rojo.

2.- Los estudios paleobiogeográficos y micropaleontológicos del "coral fósil", con la incidencia de los episodios geotectónicos y paleoceanográficos, en el origen y evolución de tales yacimientos, sobre todo sirviéndonos de registros geoacústicos de los

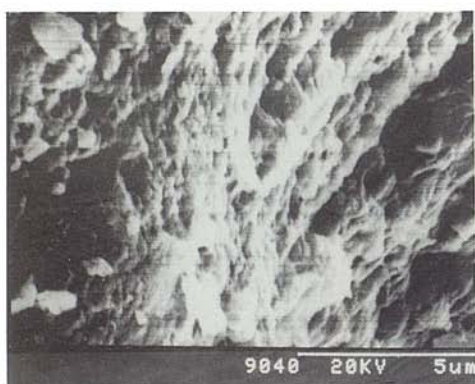




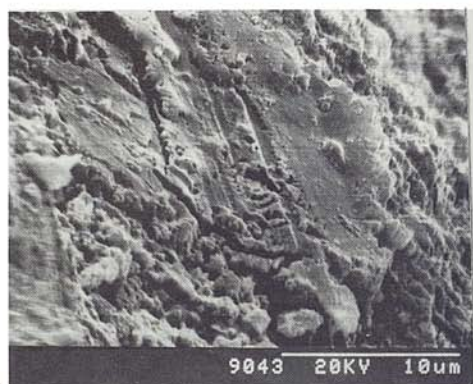
1



2



3



4



5

Lámina V

Fig. 1 a 5. Ultraestructura fibroso-cristalina y naturaleza calcítica del "coral rosa", con un alto grado de compactividad, muy apreciada en joyería (M.E.B.).

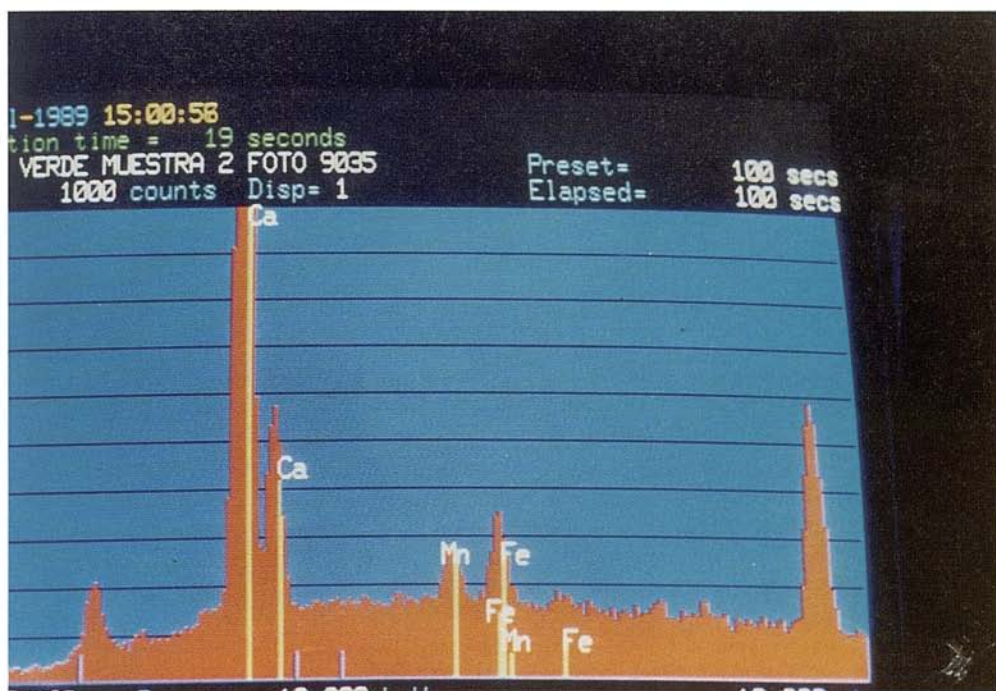


Lámina VI

Fig. 1. *Corallium elatius* con epibiontes (M.E.B.).

Fig. 2. Microanálisis elemental del *C. elatius* con epibiontes, de los que podría depender la presencia de Mn y Fe.



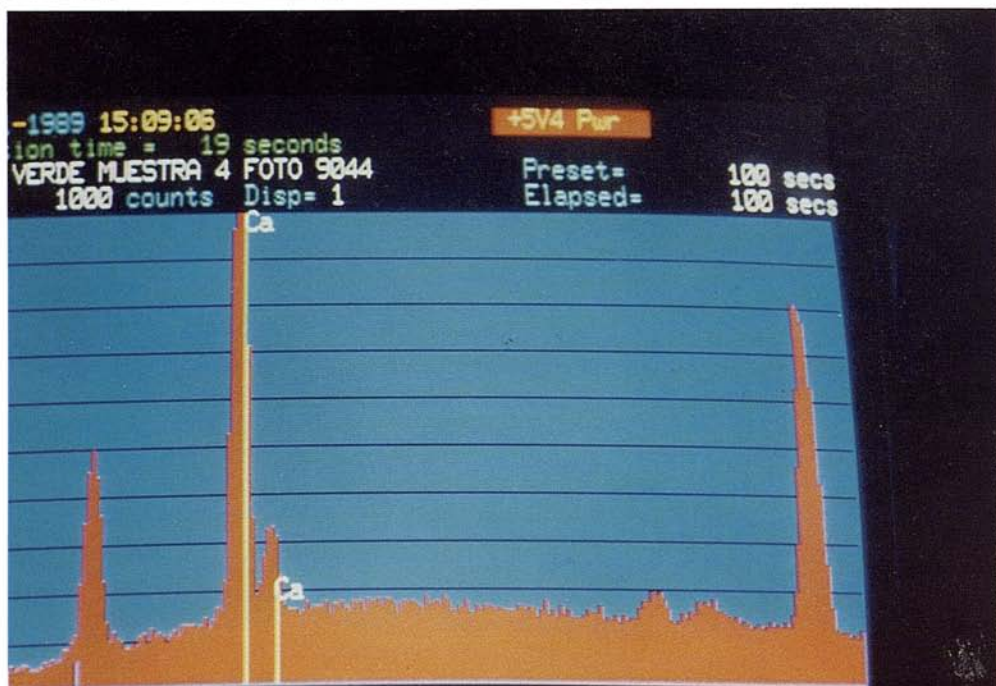


Lámina VII

Fig. 1. Fragmento de unos 40 x 35 mm de *C. konojoi* o coral blanco japonés. Profundidad: de 100 a 200 m.  
Fig. 2. Microanálisis elemental del coral blanco o *konojoi*, sin epibiontes.





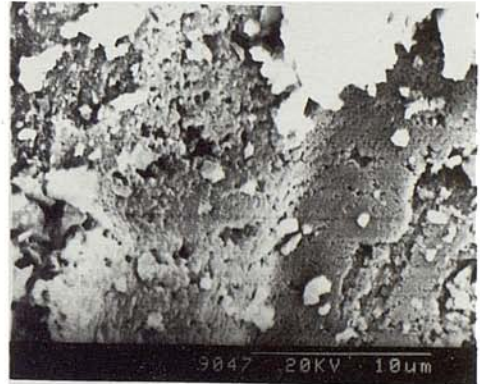
1



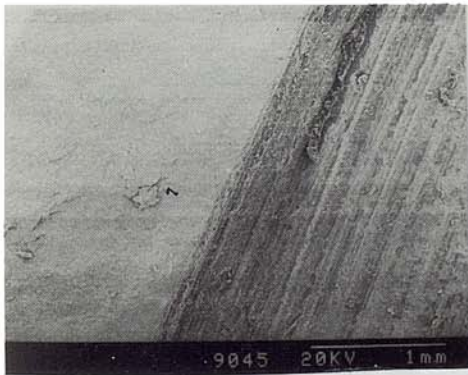
2



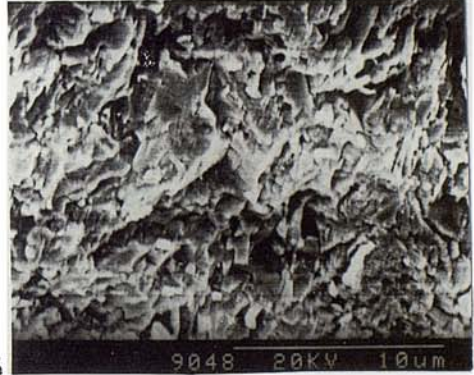
3



4



5



6

Lámina VIII Ultraestructura fibroso-cristalina del coral blanco o japonés (*C. konojoi*) con microscopio electrónico de barrido. (Figs. de 1 a 6).

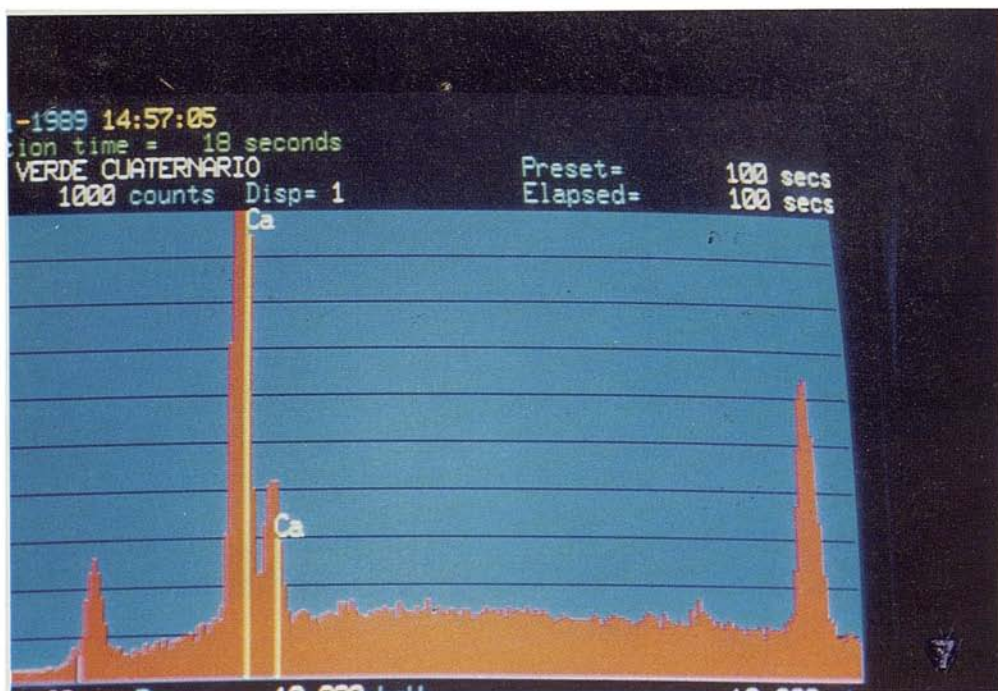
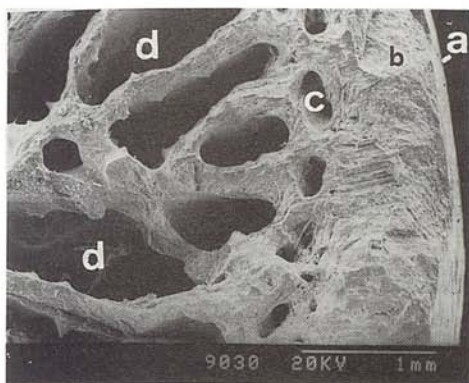


Lámina IX

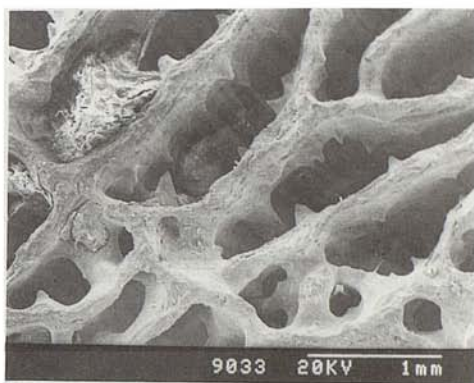
Fig. 1. "Coral fósil" de Sciacca (Sicilia), antes de su "relleno" artificial de sus oquedades internas, para su uso en la industria coralígena.

Fig. 2. Microanálisis elemental del "coral fósil".

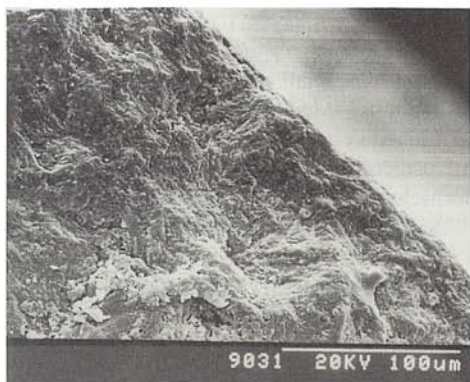




1



2



3



4



5



6

Lámina X Diversos aspectos ultraestructurales del "coral fósil", con M.E.B.

Fig. 1. Visión conjunta con la envoltura mineralizada de color rojo que evoca el cenosarco (a) del coral rojo. Aquí recubre un anillo calcítico compacto (b) que rodea un círculo de canales paralelos (c) al eje, con el área interna del endoesqueleto lleno de lagunas irregulares (d), con pérdida extraordinaria del elemento calcítico original.

Fig. 2. Detalle del área interna descalcificada formando trabéculas más o menos anastomosadas.

Fig. 3 y 6. Estructura fibroso-cristalina del coral internamente descalcificado por procesos tafonómicos y medio-ambientales.

Fig. 4 y 5. Aspecto micrítico de la calcita ya que los cristales, al parecer, no sobrepasan las 4 micras de tamaño.

fondos marinos y de sus correspondientes estudios biocronoestratigráficos.

3.- Los análisis con microscopía electrónica y röntgenografía de las diversas "variedades" del coral, pueden servirnos de pauta para su aprovechamiento industrial, siempre buscando formas más compactas o ensayando técnicas de regeneración artificial de su complejo cristalino deteriorado por el tiempo. Aquí un estudio radio-isotópico de tales formas podría orientarnos sobre la edad de los mismos y determinar la tasa de deposición de la cobertera sedimentaria, cuyas posibles causas geofísicas y/o tectonoglacioestáticas se tendrían que esclarecer.

4.- La cartografía biogeográfica de áreas coralígenas y los posibles ecosistemas de niveles batimétricos más profundos, son tareas muy costosas, pero de gran interés para la industria del coral, ante una difícil acuicultura coralígena, cuya lenta tasa de crecimiento de los individuos, no está en consonancia con la abundante demanda industrial de una materia prima, que con criterios ecologistas hay que proteger y racionalizar.

## Agradecimientos

A D. Carlos Massó, oceanógrafo del Instituto Español de Oceanografía, coordinador de los estudios de coral rojo en el seno del I.E.O., por su interés en proporcionar medios y materiales.

Al Prof. Dr. B. Liverino de Torre del Greco (Italia) por sus libros y materiales.

Al Dr. Ferrán Hierro, del Servicio de Microscopía electrónica de la Universitat Illes Balears, por la colaboración en microscopía electrónica y microanálisis.

A la Srta. M<sup>a</sup> Cruz Iglesias, del Centro Oceanográfico de Baleares, por la transcripción del original.

## Bibliografía

- Allemand, D. y Grillo, M.CH. 1990. La biocalcification chez le Corail rouge: *C. rubrum*. Aproxes Biochimique et Physiologique. *Rapp. Comm. int. Mer Méd.*, 32, 1 (M-VIII).
- Allemand, D., Cuif J.P., Watabe N., Ioshi M. y Kawaguchi T. 1994. The organic matrix of skeletal structures of the Mediterranean Red coral, *Corallium rubrum* Stratigraphy of the Western Mediterranean and Southern Calabrian ridges, Eastern Mediterranean. *Bull. Inst. Oceanogr. Monaco*, 14(1): 129-139.
- Blechs Schmidt, G., Cita M.B., Mazzei, R. y Salvatorini G., 1982. Stratigraphy of the Western Mediterranean and Southern Calabrian ridges. Eastern Mediterranean. *Mar. Micropal.*, 7: 101-134.
- Campillo, A.C., Maldonado A. y Manffret A. 1992. Stratigraphic and Tectonic Evolution of the Western Alboran Sea: late Miocene to Recent. *Geo-marine Letters*, 12 (2/3): 165-172.
- Caralp, M.H. 1988. Late Glacial to Recent deep-sea benthic Foraminifera, from N.E. Atlantic and Western Mediterranean. *Mar. Micropal.*, 13: 265-289.
- Erba, E. 1994. Nannofossils and superplumes: the Early Aptian "nannoconid crisis". *Paleoceanography*, 9(3): 483-501.
- García Rodríguez, M. y Masso, C. 1986. Algunas bases para determinación directa de la edad del coral rojo (*C. rubrum*). *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 3 (4): 65-74.
- García Rodríguez, M. y Masso, C. 1986. Estudio biométrico de poblaciones de coral rojo (*C. rubrum*) del litoral de Gerona. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 3 (4): 61-64.
- Genesseeaux, M.G. y Stanley, D.Y. 1983. Neogene to Recent displacement and contact of Sardinian and Tunisian marginal. *Smith Contrib. Mar. Sc.*, 23: 1-20.

- Gili, G.M. y Ros, J.D. 1984. In: *Les sistemas naturals de les Illes Medes*. Ros, Olivella i Gili Eds. Institut Estudis Catalans, 38: 677-705.
- Grillo, M.CH. y Allemand, D. 1990. La Biocalcification chez le corail rouge *Corallium rubrum*. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 32,1 (B-III13).
- Harmelin, J.G., 1983. Biologie du corail rouge. Parametres de populations, croissance et mortalité naturelle. Etat des connaissances en France. *FAO Rapp. Pêche*, 306: 99-103.
- Hsu, K.J., Montadert, L., Bernoulli, D., Cita, M.B., Erickson, A., Garrison, R.E., Kidd, R.B., Melieres, F., Muller, C. y Wright 1978. *History of the Mediterranean salinity crisis*. In: *Inst. Rep. D.S.D.P.*, Vol. XLII. Kidd R.B. and Worstell p. Eds. pp. 1053-1078.
- I.E.O. 1986. Boletín Instituto Español de Oceanografía, 3(4): 1-114.
- Kukla, G., Collins, B.P. y Bender, M.L., 1979. Radiometric age of the *Artica islandica* in Italy: 2 m.y. *Ann. Geol. Pays Hele.*, Tom. hors serie, fasc. II: 699-309.
- Lacaze-Duthiers, H. 1864. Histoire naturelle du corail. J.B. Bailière ed. Paris, 371p.
- Lasker, H.R. 1984. *Mar. Ecol. Progr. Serv.*, 19: 261-268.
- Lourens, L.J., Antonarakou, A., Hilgen, F.J., Van Hoof, A.A.M., Vergnaud-Grazzini, C. y Zachariasse, W.J. 1996. Evaluation of the Plio-Pleistocene astronomical timescale. *Paleoceanography*, 11(4): 391-413.
- Liverino, B. 1984. *I corallo*, Analisi Trend, Bologna, 229 págs.
- Maldonado, A. 1992 (edit.). Alboran Sea. *Geo-Marine Letters*, 12(2/3).
- Marchetti, R. 1965. Recherche and corallo rosso della costa ligure e toscana. Distribuzione geografica. *Rend. Inst. Lomb. Lett.* (B. Sci. Biol. Medi.), 99.
- Mate, P., Revenga, S. y Masso, C. 1986. Estudio preliminar de la composición química del coral rojo (*C. rubrum*) de distintas zonas del Mediterráneo. *Bol. Inst. Españ. Oceanogr.*, 3(4): 53-61.
- Mateu, G. 1988. Consideraciones sobre la biología, la paleoecología y la ultraestructura del *C. rubrum*. Alternativas de la coralicultura y del aprovechamiento industrial del coral fósil. *FAO Fisheries Report*, 413: 61-66.
- Mateu, G. 1991. *Micropaleontología sedimentaria del Caribe y sus afinidades con las formaciones arrecifales del Mioceno terminal de Mallorca*. Publ. Govern balear - Palma de Mallorca: 128 pág.
- Mateu, G. y Fontarnau, R. 1980. Contribución al conocimiento de las oolitas del Mar Menor (Murcia, España). *Bol. Geol. Min.* XCI-III: 441-457.
- Mateu, G., Rey, J. y Díaz del Río, V. 1985. Les paleolits de la Baie de Palma de Mallorca: interpretation sismique et datation biochronologique. *Rapp. Com int. Mer Médit.*, 29(2): 39-45.
- Mateu, G., Travería, A., Fontarnau, R. y Masso, C. 1986a. Biodiagénesis mineralógica del *Corallium rubrum*. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 3(4): 1-12.
- Mateu, G. y Gazá, M. 1986b. Micropaleontología circalitoral y coralígena, Foraminíferos y cocolitofóridos asociados a *Corallium rubrum* (L.): Sistemática, ecología y evolución paleoceanográfica. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 3(4): 13-52.
- Mateu G., Viñals, M.J., Moreiro, M. y Nadal, G. La Transgresión Flandriense a través de los Foraminíferos bentónicos del mar Balear. (En prensa).
- Perutzy, L. 1923. I corallo e la sua Industria - Napoli, 79 págs. "Biblioteca Storica del Coralo (edit. 1988).
- Russo, G.F. 1995. Autotomi and induced fragmentation in the red coral (*Corallium rubrum*). *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 34, 42.
- Sartoretto, St. 1995. Preliminari results of the growth rates of Deep "coralligene" algal banks in the Bay of Marseille - radiocarbon dating. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 34, 43.
- Sanz, J.L. 1983. Utilización de técnicas geofísicas en la prospección de coral rojo. Posible asociación bio-ecológica. *FAO Rapp. Pêche*: 306: 97-98.
- Stillier, M.A. y Rivoire G. 1983. Biologie et ecologie du corail rouge en Méditerranée française. *FAO Rapp. Pêche*: 306: 89-93.



- Vergnaud-Grazzini, C., Borsetti, A.M., Cati, F.,  
Colantoni, P., d'Onofrio, S., Saliege, J.F.,  
Sartori, R. y Tampieri, R. 1988. Palaeoceanographic record of the Last  
deglaciation in the Strait of Sicily. *Mar. Micropal.*, 13: 1-21.
- Wells, M.W. 1957. Coral reefs. *Geol. Soc. Amer.*,  
67 (1): 609-631.

# El significado de *Myotragus batei* y *M. binigausensis* en la evolución del género *Myotragus* (Bovidae, Mammalia) en las islas Baleares

Salvador MOYÀ-SOLÀ, Meike KÖHLER, David M. ALBA y Joan PONS-MOYÀ

SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA  
NATURAL DE LES BALEARS

Moyà-Solà, S., Köhler, M., Alba, D.M. y Pons-Moyà, J. 2007. El significado de *Myotragus. batei* y *M. binigausensis* en la evolución del género *Myotragus* (Bovidae, Mammalia) en las islas Baleares. In: Pons, G.X. i Vicens, D. (Edit.). Geomorfologia Litoral i Quaternari. Homenatge a Joan Cuerda Barceló. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 14: 155-180. ISBN 84-96376-13-3. Palma de Mallorca.

En este artículo pretendemos discutir la hipótesis de Bover y Alcover (2000) que propone sinonimizar *M. batei* Crusafont y Angel (1966) de Mallorca con *M. binigausensis* Moyà-Solà y Pons-Moyà (1980) de Menorca. Esta hipótesis taxonómica está fundamentada en una re-diagnosi de *M. batei* y a su vez esta se sustenta en una hipótesis de homología dentaria propuesta por los mismos autores y que mantiene que las especies más recientes del género *Myotragus*, *M. kopperi*, *M. batei* y *M. balearicus* eran monofodontas. Por tanto, en primer lugar discutiremos esta última hipótesis, y analizaremos con detalle las homologías entre los dientes de la serie incisivo-canina de las diferentes especies del género *Myotragus* y los bóvidos actuales. En segundo lugar analizamos la nueva diagnosi de *M. batei* propuesta por estos autores y, finalmente, discutimos la propuesta de sinonimia. Concluimos que la hipótesis de homologar los dientes incisiviformes de los adultos de *Myotragus* a la dentición de leche es incorrecta, que la diagnosi propuesta por estos autores para *M. batei* también y por tanto la sinonimia propuesta no es considerada como válida. Se discuten las implicaciones taxonómicas y evolutivas del modelo que emerge de este estudio.

**Palabras clave:** *Myotragus batei*, *M. binigausensis*, evolución, homología.

EL SIGNIFICAT DE *Myotragus batei* I *M. binigausensis* EN L'EVOLUCIÓ DEL GÈNERE *Myotragus* (BOVIDAE, MAMMALIA) A LES ILLES BALEARS. En aquest article es discuteix sobre la hipòtesi de Bover i Alcover (2000) que proposen sinonimitzar *M. batei* Crusafont y Angel (1966) de Mallorca amb *M. binigausensis* Moyà-Solà & Pons-Moyà (1980) de Menorca. Aquesta hipòtesi taxonòmica està fonamentada en una re-diagnosi de *M. batei* i a la vegada aquesta se sustenta en una hipòtesi d'homologia dentària proposada pels mateixos autors i que manté que les espècies més recents del gènere *Myotragus*, *M. kopperi*, *M. batei* i *M. balearicus* eren monofodontes. Per tant, en primer lloc es discuteix sobre aquesta última hipòtesi, i s'analitza amb detall les homologies entre les dents de la sèrie incisiva-canina de les diferents espècies del gènere *Myotragus* i els bòvids actuals. En segon lloc, s'analitza la nova diagnosi de *M. batei* proposada per aquests autors i, finalment, es discuteix la proposta de sinonímia. Es conclou que la hipòtesi d'homologar les dents incisiviformes dels adults de *Myotragus* a la dentició de llet és incorrecta, que la diagnosi proposada per aquests autors per a *M. batei* també i per tant la sinonímia no és considerada vàlida. Se discuteixen les implicacions taxonòmiques i evolutives del model que emergeix d'aquest estudi.

**Paraules clau:** *Myotragus batei*, *M. binigausensis*, evolució, homologia.

THE SIGNIFICANCE OF *Myotragus batei* AND *M. bingausensis* ON THE EVOLUTION OF THE GENUS *Myotragus* (BOVIDAE, MAMMALIA) IN THE BALEARIC ISLANDS. The goal of this paper is to discuss the recently proposed synonymy between *M. batei* Crusafont & Angel (1966) and *M. binigausensis* Moyà-Solà & Pons-Moyà (1980), proposed by Bover & Alcover (2000). This hypothesis is based on a re-diagnosis of *M. batei* based on the recently proposed hypothesis of Bover & Alcover (1999, 2000) that suggest that the more recent species of *Myotragus*, *M. kopperi*, *M. batei* y *M. balearicus* are monofidont and the incisiviform teeth of the adults of these species are the deciduous or primary teeth. To discuss adequately the synonymy, first we present a revision of the homologies of the adult incisiviform teeth of the endemic insular bovid of the Balearic islands *Myotragus* and recent bovids. The results of this analysis permit to clearly conclude that the hypothesis of homology proposed by Bover & Alcover (1999, 2000) is incorrect, fact that leads these authors to propose an inaccurate diagnosis of *M. batei*. Thus, the synonymy between *M. batei* and *M. binigausensis* is not admitted. The taxonomic and evolutive implications of this study are discussed.

**Keywords:** *Myotragus batei*, *M. binigausensis*, evolution, homology.

Salvador MOYÀ-SOLÀ, Meike KÖHLER i David M. ALBA, Institut de Paleontologia "Miquel Crusafont", Carrer Escola Industrial 23; 08201 Sabadell (Barcelona). E-mail: moyass@diba.es

## Introducción

En las ciencias de la vida, una taxonomía bien fundamentada es una condición necesaria, y obviamente previa, a cualquier tipo de análisis evolutivo o biogeográfico. En los últimos 25 años se han realizado grandes progresos en el conocimiento de la taxonomía y evolución del género *Myotragus*, un bóvido endémico del plio-Pleistoceno de Mallorca y Menorca (Crusafont y Angel, 1966; Pons-Moyà, 1977; Pons-Moyà y Moyà-Solà, 1977; 1981; Moyà-Solà y Pons-Moyà, 1980; 1982; 1986; Köhler y Moyà-Solà, 2004). La descripción de los diferentes estadios evolutivos de *Myotragus* entre el Plioceno y Pleistoceno entre los años 1966 y 1986, ha permitido que se propongan modelos taxonómicos, evolutivos y biogeográficos alternativos y que su discusión se haya también incrementado notablemente en los últimos años (Moyà-Solà y Pons-Moyà, 1980; Alcover *et al.*, 1981; Bover y Alcover, 2000; Quintana, 2000). En particular dos hipótesis paleogeográficas, mutuamente excluyentes,

se han propuesto para las faunas del plio-Pleistoceno de las Baleares. Unos autores mantienen que durante gran parte del Plioceno y del Pleistoceno inferior las islas de Menorca y Mallorca han estado aisladas, sin posibilidad de intercambios faunísticos (Moyà-Solà y Pons-Moyà, 1980; Alcover *et al.*, 1981). Estos autores fundamentaron su hipótesis en la interpretación taxonómica del material de *Myotragus* del yacimiento de Barranc de Binigaus (Menorca, Moyà Solà y Pons Moyà, 1980). El material existente permitía atribuirlo a una nueva especie, *Myotragus binigausensis* Moyà-Solà y Pons-Moyà (1980) que presentaba una combinación de caracteres desconocida en el filum de Mallorca.

Sin embargo, recientemente estos restos del Barranc de Binigaus (Menorca) han sido reanalizados por otros autores (Bover y Alcover, 2000) llegando a la conclusión de que son idénticos a la especie *M. batei* (Crusafont y Angel, 1966) de la isla de Mallorca. Por tanto proponen sinonimizar *M. binigausensis* con esta especie de la isla mayor.

La taxonomía del género *Myotragus* se ha fundamentado desde su descripción por Bate (1909), en los caracteres morfológicos y cuantitativos de la dentición. El esqueleto postcranial de las diferentes especies es relativamente homogéneo (Alcover et al., 1981; Moyà Solà y Pons Moyà, 1982), lo que ha derivado la atención de los taxónomos a la dentición que, por el contrario, muestra diferencias considerables entre los diferentes taxones a lo largo del tiempo.

*Myotragus* Bate (1909) es un rupicaprini (Caprinae, Bovidae, Mammalia) fósil, endémico del plio-Pleistoceno de las islas Baleares (Mallorca y Menorca). Su registro fósil es bien conocido (más de 120 localidades que cubren todo el plio-Pleistoceno) (Moyà-Solà y Pons-Moyà, 1979), aunque el registro está descompensado a favor de Mallorca. Durante el plio-Pleistoceno se ha documentado una sucesión de crono-especies, caracterizada por una reducción gradual, y en algunos casos perdida, de dientes (Moyà-Solà y Pons-Moyà, 1982). Desde *M. peptonella* (Moyà-Solà y Pons-Moyà, 1982) con la dentición completa (C0/1 I0/3 P3/3 M3/3) pero con la estructura esquelética típica de *Myotragus*, en particular con las extremidades, y sobre todo los metápodos (Mc y Mt) cortos. En las especies posteriores, *M. antiquus* (Pons-Moyà, 1977), *M. kopperi* (Pons-Moyà y Moyà-Solà, 1981), *M. batei* (Crusafont y Angel, 1966), *M. balearicus* (Bate, 1909) asistimos a una paulatina reducción de premolares, un incremento en la hipsodontia de los incisivos hasta llegar al crecimiento continuo en el I1, y la reducción de las demás piezas incisiformes, hasta adquirir la típica dentición de *M. balearicus*, caracterizada por un solo incisivo inferior de crecimiento continuo, dos premolares superiores y un único premolar inferior. Es importante resaltar que en la línea evolutiva de Mallorca la apari-

ción del crecimiento continuo en el I1 se produce antes de la desaparición del I3 e I2 así como del P2/ y P/3. Esta es la información clave que proporciona *M. batei* del yacimiento de Génova (Mallorca). Precisamente en la diacronía entre la reducción de premolares e incisivos y la aparición del carácter de crecimiento continuo por parte del I1 entre *M. batei* y *M. binigausensis*, se fundamenta la hipótesis que considera la línea evolutiva de *M. binigausensis* de Menorca como independiente de la de Mallorca (Moyà-Solà y Pons-Moyà, 1980).

La propuesta de Bover y Alcover (2000) de sinonimizar *M. binigausensis* con *M. batei*, no se fundamenta exclusivamente en el análisis morfológico de los restos fósiles de ambas especies, sino también en una reinterpretación de las homologías de los dientes de la serie incisivo-canina entre *Myotragus* y los bóvidos continentales (Bover y Alcover, 1999). En base a ella cambian la diagnosis de *M. batei* y en base a esta nueva definición concluyen que *M. binigausensis* y *M. batei* pertenecen a la misma especie. Al ser la hipótesis taxonómica absolutamente dependiente de una hipótesis previa de homología dentaria, vamos a iniciar la discusión de este problema con un análisis crítico de la hipótesis de homología propuesta por los anteriores autores.

## Material y métodos

Para este trabajo se ha estudiado el material de *Myotragus* de los yacimientos siguientes: *M. antiquus* (Cap Ferrutx), *M. kopperi* (Pedrera de S'Onix, Nivell E Cova de Canet) *M. batei* (Genova), *Myotragus* sp. (Cap des Pinar), *M. balearicus* (Llenaire, Son Maiol, Muleta, Cova des Moro), todos ellos de Mallorca, y el material de *M. binigausensis* (Barranc de Binigaus) y de

*Myotragus* sp. de Sant Joan de Missa en Menorca. El material procede de tres colecciones: Colección Joan Pons, depositada en la Societat d'Història Natural de les Balears (Ciutat de Mallorca), del Institut de Paleontologia Miquel Crusafont (Sabadell, Barcelona) y colección J. Quintana (Ciutadella, Menorca).

Para las descripciones se han usado los convenios habituales. En particular como dentición primaria se hace referencia a la dentición de leche o decidua, y secundaria a la definitiva o adulta.

Abreviaturas. dI: diente incisiforme primario; dp: premolar primario; P-/ , premolar secundario superior; M/- molar secundario inferior.

### **Las homologías de los dientes de la serie incisiforme de *Myotragus***

Tradicionalmente el incisivo grande y de crecimiento continuo presente en los individuos adultos de *M. balearicus* ha sido considerado un I/1 (Andrews, 1915; Adrover y Angel, 1968; Moyà-Solà, 1979; Alcover *et al.*, 1983). Esta asignación ha llevado implícita la aceptación de que su origen se debe a la desaparición de las demás piezas incisiformes (Adrover y Cuerda, 1968; Moyà-Solà 1979, Alcover *et al.*, 1983). La única excepción a esta interpretación es Adrover y Cuerda (1968) que propusieron la hipótesis alternativa de una fusión entre el I/1 e I/2 como origen del gran incisivo de *M. balearicus*. Esta hipótesis fue descartada en trabajos posteriores debido a la falta de evidencias empíricas a su favor (Alcover *et al.*, 1983). En algunos casos infrecuentes un segundo (Pons-Moyà y Moyà-Solà, 1976; Waldren, 1962) o más excepcionalmente un tercer incisivo (Moyà-Solà, 1979) han sido descritos en *M. balearicus*.

Estas piezas dentarias han sido consideradas como I2, dI2, I3 o incluso caninos (ver Adrover y Cuerda, 1968).

Bover y Alcover (1999) han propuesto una hipótesis novedosa y radicalmente diferente a la actualmente aceptada. Según estos autores el gran incisivo de crecimiento continuo de *M. balearicus* no sería un I/1 de la dentición secundaria (definitiva), sino un dI/2 de la dentición primaria (decidua). Sugieren que *M. balearicus* era una forma monofiodonta en que los dientes incisiformes definitivos no llegaban a salir nunca. Bover y Alcover (1999) explican este fenómeno mediante el proceso heterocrónico de neotenia.

Esta hipótesis tiene como punto de partida la homologación de las piezas incisiformes de los ejemplares juveniles de *M. balearicus* (Bover y Alcover, 1999). Estos autores observan que el ejemplar MNM 39318 del yacimiento del Pleistoceno superior de Son Maiol (Establiments, Mallorca), que ontogenéticamente debe corresponder a un individuo recién nacido o incluso en las últimas fases de la vida fetal (los premolares primarios están incompletamente emergidos), posee dos dientes incisiformes. El primero grande, ancho y el segundo situado encima del anterior y de menor tamaño. Ambos poseen raíz y están incompletamente emergidos. En los ejemplares un poco más adultos de la misma especie, donde el M/1 ya ha emergido, (como en MNM 46501, 48059, 49203 y 49205, de los yacimientos de Cova Estreta y Cova des Moro, Mallorca), emerge un nuevo incisivo, que corresponde al gran incisivo de crecimiento continuo presente en los adultos de *M. balearicus*.

Bover y Alcover (1999) correctamente comentan que la interpretación clásica admitiría que el primer incisivo en aparecer sería atribuible a un dII, cuya existencia fue



postulada por autores anteriores (Andrews, 1915, Waldren, 1982), y que sería reemplazado por el I1 de la dentición secundaria. Sin embargo, estos autores afirman que esta interpretación es discutible por una serie de razones. En primer lugar porque ambos dientes se encuentran en alveolos diferentes; en segundo lugar, porque no hay reabsorción de la base de la raíz del dI1, y en tercer lugar, por la diferente localización de la base de ambos incisivos en el ejemplar MNCM 48059. Por estos motivos sugieren que lo observado en el desarrollo ontogenético de la serie incisiviforme de *M. balearicus* no es la substitución de un incisivo primario por otro secundario, sino "a horizontal displacement of a tooth by the corresponding neighbour" (Bover y Alcover, 1999).

Después de plantear estos argumentos, estos autores concluyen que el primer incisivo que aparece es el dI1, que el pequeño que emerge al mismo tiempo o poco después y encima del anterior debe ser homologado al dc y que el tercero, que emerge más tarde debe ser atribuido al dI2. Esta interpretación lleva a la conclusión que en *Myotragus* no hay dientes incisiviformes secundarios, por lo que estaríamos delante de un caso de monofodontia, ejemplo único entre los rumiantes (Bover y Alcover, 1999).

Antes de iniciar la discusión de esta hipótesis queremos constatar que, sea cual sea la hipótesis de homología correcta de los dientes incisiviformes de *M. balearicus*, parece ser que en esta especie se han alterado los ritmos de erupción relativa de los dientes incisiviformes. La simple observación de los momentos erupción de los incisivos en respecto a la dentición muestra que el incisivo de crecimiento continuo del adulto no sigue las pautas de erupción ni de un dI2 ni de un I1 de un bóvido continental estándar. En el primer caso erupcionaría demasia-

do tarde, ya que en los bóvidos lo hace coincidiendo con el nacimiento, mucho antes de la erupción del M/1, mientras que en el segundo caso lo haría demasiado temprano, con anterioridad a la erupción del M/2, que es cuando aparece en los bóvidos actuales. Este último hecho es usado por Bover y Alcover (1999) para apoyar su hipótesis, cuando en realidad no pueden descartar, de partida, la primera alternativa.

En primer lugar, consideramos que para homologar correctamente el único incisivo de los adultos de *M. balearicus* solamente disponemos de dos fuentes de información: por una parte disponemos de la secuencia ontogenética de erupción de los diferentes dientes de *Myotragus* y de la secuencia de acontecimientos evolutivos observable en el registro fósil. Por otra, disponemos de una información muy valiosa con el desarrollo ontogenético de la serie incisiviforme de los bóvidos actuales. Hay que usarla como marco de referencia para identificar las homología de la dentición de *Myotragus*. Admitir cualquier desviación del patrón observado en los bóvidos actuales ha de estar muy bien fundamentado por evidencias indiscutibles procedentes de la propia evolución de *Myotragus* y, por tanto procedentes del registro fósil.

### **Las homología a partir de la ontogenia de la serie incisiviforme en los bóvidos actuales**

El conocimiento detallado que se tiene de la anatomía de los animales domésticos y de su ontogenia ha permitido conocer con precisión los tiempos y la secuencia de erupción de los dientes en los bóvidos. Son particularmente relevantes en este sentido los trabajos, ya clásicos, de Sisson y Grossman (1975). A partir de estos autores, sabemos

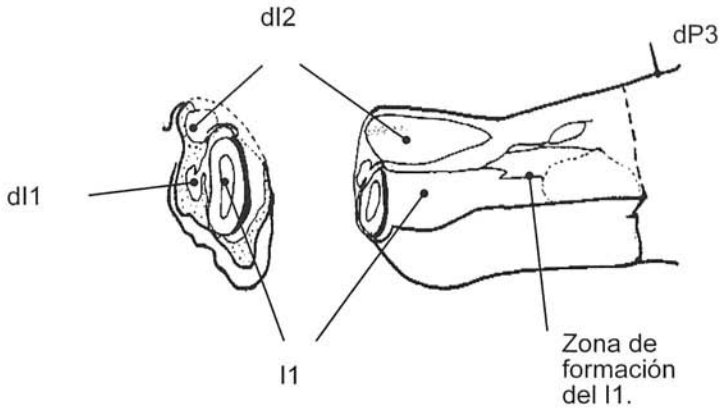
que entre el nacimiento y las dos semanas se produce la erupción de los incisivos primarios en una secuencia dI1, dI2, dI3 y dc. Al nacer los incisivos suelen ya exponer un cuarto o más de sus coronas, con lo que la erupción es un proceso casi simultáneo, con la excepción del canino que aparece unas dos semanas después (Sisson y Grossman, 1975). El desgaste diferencial que se observa en los incisivos primarios, sugiere un orden de erupción I1, I2, I3 (ver Sisson, 1975, fig. 29-11). La observación de mandíbulas de otros bóvidos neonatos actuales sugiere un patrón similar, ya que existe un ligero retraso relativo en la erupción de estas piezas cuando nos acercamos al dc (ver Bover y Alcover, 1999, fig. 9).

Con posterioridad y una vez formados los incisivos y caninos secundarios en sus criptas, estos inician su erupción con un orden determinado y un espaciado temporal mayor que en la serie primaria, siguiendo una secuencia I1, I2, I3, C. En *Bos*, por ejemplo, el proceso suele iniciarse entre 1.5 y 2 años y finaliza entre los 3.5 y los 4 años (Sisson y Grossman, 1975). Es interesante remarcar que las piezas secundarias emergen fuertemente inclinadas y giran en el alveolo asta adquirir su posición definitiva.

A partir de este modelo básico, estándar para todos los rumiantes y de hecho para todos los mamíferos, podemos intentar analizar críticamente las homologías propuestas por Bover y Alcover (1999) para la dentición incisiviforme de *M. balearicus*. Esta hipótesis tiene como punto de partida admitir que en el ejemplar de *M. balearicus* más joven de la muestra que han analizado (MNCM 39318) y que probablemente corresponde al final de la época fetal por homología con el momento de erupción de los incisivos primarios en rumiantes actuales (Bover y Alcover, 1999), de los únicos dos incisivos presentes, el inferior es atri-

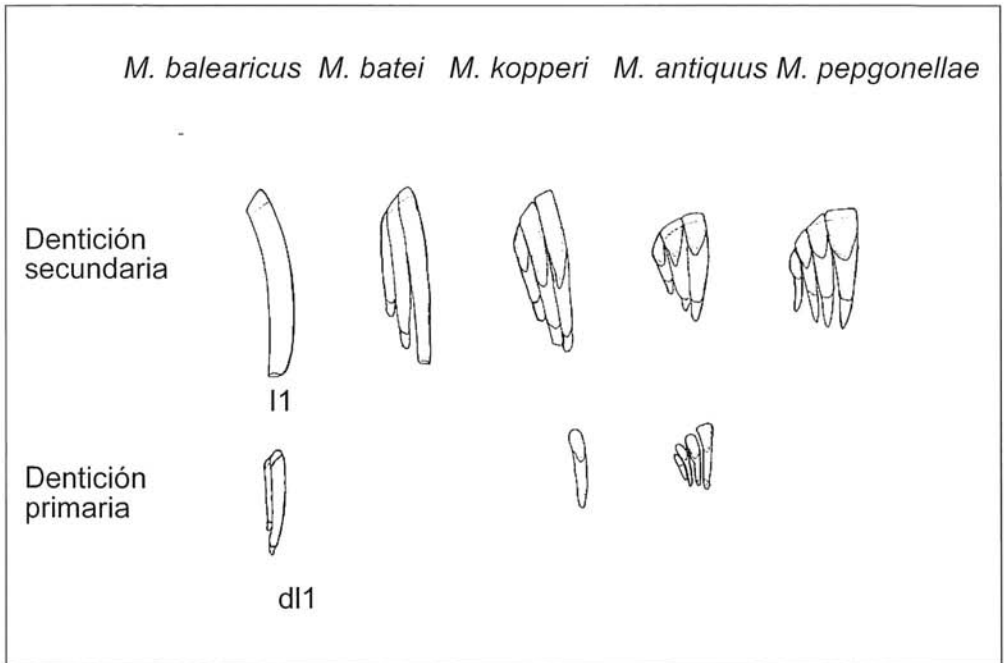
buido al dI1, mientras que el que le sigue es atribuido al dc. Por su posición es perfectamente argumentable que la pieza incisiviforme inferior, por ser el primero que aparece, se atribuya al dI1. Sin embargo, lo que ya no es tan fácilmente argumentable es la atribución de la pieza superior y consecutiva a la anterior al dc. Tal vez esta atribución ha venido influenciada por la aparente similitud morfológica y posicional de este diente con la pieza incisiviforme más superior de la mandíbula tipo de *M. batei*, atribuida a un posible canino por Adrover y Cuerda (1968) (hipótesis aceptada por Bover y Alcover, 1999). Sea cual sea la razón que ha inducido a estos autores a realizar esta atribución, su interpretación no tiene en cuenta que la secuencia de erupción de la serie incisiviforme en rumiantes es, como hemos dicho antes, dI1, dI2, dI3 y posteriormente, con un lapso de varias semanas (Sisson y Grossman 1975), erupciona el dc1.

Lo que sí parece claro con la evidencia presentada por Bover y Alcover (1999) es que la dentición primaria de *M. balearicus* posee solo dos piezas incisiviformes, pero no tenemos ningún otro argumento para homologar estos dientes que su posición y su secuencia de erupción. Así, no parece lógico atribuir la inferior al dI1 y la que le sigue a un dc. Por homología con los bóvidos actuales deberíamos atribuir la inferior al dI1 y el superior al dI2, ya que este es el diente que sucede al dI1. Distinto hubiera sido el caso si dispusiéramos de un registro fósil muy completo que permitiese establecer, sin asomo de duda, que durante la evolución de *Myotragus* el dI2 y dI3 se reducen hasta desaparecer y el dI1 y dc se mantienen. Al no ser este el caso, no hay ninguna evidencia empírica que permita suponer que en *M. balearicus*, por algún motivo, después del dI1 emerge el dc, tal y como proponen Bover y Alcover (1999). Por tanto, la hipó-



**Fig. 1.** Dibujo de la sínfisis mandibular de la mandíbula juvenil de *M. balearicus* del yacimiento de Son Mayol. Las diferentes roturas permiten observar con claridad el I1, los restos del alveolo del dI1 y el del dI2. Al mismo tiempo se observa la zona de formación del I1, situada muy por delante del dP3.

*Fig. 1.* The symphysis of the juvenile mandible of *M. balearicus* of the site of Son Mayol. The broken parts permit to observe the I1, vestiges of the alveolus of dI1 and the dI2. The formation area of the I1 is also observable.



**Fig. 2.** Dibujo esquemático de la evolución de la dentición incisiviforme en el género *Myotragus*. Solamente están representados aquellos dientes de los cuales se tienen evidencias fósiles. (Más explicaciones en el texto).

*Fig. 2.* The evolution of the incisiviform dentition in the genus *Myotragus*. Only the teeth known by fossil evidence are represented (Text for more details).

tesis más razonable es admitir que en el ejemplar MNM 39318 de Cova Estreta los dos incisivos corresponden al dI1 y al dI2.

El segundo problema en la hipótesis de homología de Bover y Alcover (1999) es atribuir a un dI2 la siguiente (tercera) pieza incisiforme que aparece durante la ontogenia de *M. balearicus*. A partir de un conjunto de mandíbulas de *M. balearicus* correspondientes a un estadio ontogenético posterior al de la mandíbula MNM 39318 (que corresponde a la erupción del M1), observan que, coincidiendo con la caída del diente que ellos atribuyen al dc, se inicia la erupción de una nueva pieza incisiforme, de mucho mayor tamaño, que corresponde al diente de crecimiento continuo que caracteriza a los adultos de *M. balearicus*. Sin ningún argumento concreto y sin tener en cuenta la secuencia de erupción en los bóvidos actuales, atribuyen esta pieza al dI2 o segundo incisivo primario o de leche. Esta atribución va en contra de lo que sabemos del orden de aparición de estas piezas dentarias en los bóvidos, rumiantes i mamíferos en general. En los bóvidos actuales, el dI2 nunca aparece después de la erupción, y por supuesto después de la caída del dc.

El "mecanismo" propuesto por Bover y Alcover (1999) para explicar la observación empírica de que el dI1 es expulsado por el gran incisivo de crecimiento continuo no es la substitución de un incisivo primario por otro secundario, sino más bien "a horizontal displacement of a tooth by the corresponding neighbour" es completamente descocido en los rumiantes actuales y probablemente también en los mamíferos.

¿Qué criterios podemos usar para homologar el gran incisivo de crecimiento continuo de *M. balearicus*? Si por un momento, aun que sea solo a título de ejercicio, aceptásemos este punto de vista y considerásemos la pieza incisiforme supe-

rior (la segunda en aparecer) como el dc, la nueva pieza que aparece después (la tercera en aparecer) solo podría ser interpretada como el I1 ya que no hay ninguna otra opción posible. Bajo el punto de vista de su propia hipótesis, este diente en ningún caso puede homologarse al dI2. En cualquier caso, como hemos comentado antes, con la información disponible solo podemos estar seguros de que el tercer incisivo que emerge durante la ontogenia de *M. balearicus* no es el dI1 o el dI2, por lo que solo puede atribuirse, al dI3, dc o al I1.

Para atribuir el tercer incisivo en aparecer durante la ontogenia en *M. balearicus* a una pieza primaria concreta existen otras dificultades añadidas. En primer lugar, en los bóvidos todas las piezas incisiformes primarias han emergido ya durante la fase fetal final o en el momento del nacimiento, antes de que los premolares primarios inicien su desgaste y antes de que el M1 haya hecho su aparición (Sisson y Grossman, 1977). A partir de esta información, el gran incisivo de los adultos de *M. balearicus* no podría atribuirse a un diente primario, ya que emerge notablemente más tarde, al mismo tiempo que el M1, por lo que, en este caso, la única atribución posible de este diente sería a un I1. Sin embargo, esta atribución también presenta algunos problemas. En particular que la erupción del I1 se produciría muy tempranamente durante la ontogenia, simultáneamente a la erupción del M1, como ya hemos comentado antes. Si se acepta esta última hipótesis tendríamos que admitir que el I1 de *M. balearicus* ha acelerado su aparición, fenómeno heterocronico opuesto al de ontogenia. Estas cuestiones sobre heterocronía serán discutidas ampliamente más adelante.

Bover y Alcover (1999) han usado como argumentos para no homologar el tercer incisivo a un I1 tres hechos. Primero que

el dcl y el presunto I1 (según la hipótesis clásica) o dI2 (según su hipótesis) se encuentran en alveolos diferentes, segundo que no hay reabsorción de la base de la raíz del dI1 y tercero que la localización de la base de ambos incisivos es diferente en el ejemplar MNM 48059. Si bien estos argumentos podrían ser considerados en el caso de una serie incisiva estándar de un bóvido continental, su aplicabilidad al caso de *M. balearicus* ofrece ciertas dudas. Ni los incisivos primarios, ni el gran incisivo de crecimiento continuo de los adultos poseen la morfología habitual de sus homólogos de los bóvidos continentales. Los incisivos de *M. balearicus* se caracterizan por su gran hipsodontia y el de los adultos por su enorme tamaño y crecimiento continuo, llegando a ocupar todo el espacio disponible de la sínfisis mandibular (Fig. 2). Necesariamente, este hecho debe condicionar el proceso de generación y erupción de estos dientes. El enorme tamaño del incisivo definitivo condiciona que durante el proceso de erupción este no emerja por el alveolo del diente primario ya que su calibre es mucho más pequeño (seis veces menor, ver Bover y Alcover 1999, figura 5) que el necesario para dar salida al gran incisivo de crecimiento continuo. Por otra parte, no es exacto que la localización de la base de ambos incisivos sea muy diferente. Bover y Alcover (1999) comparan la posición de la base de la raíz de un dI1 a punto de ser expulsado por el siguiente incisivo, con la base de un incisivo a punto de emerger y de crecimiento continuo. No es pues sorprendente que sus raíces estén ubicadas en puntos diferentes.

A este respecto, Waldren (1982) estudió con cierto detalle la ontogenia de la dentición de *M. balearicus* a partir de los materiales encontrados en el yacimiento de Moleta (Sóller, Mallorca). A partir de las

radiografías publicadas por este autor (Waldren, 1982), puede constatar que el área de origen del dI1, situado justo por delante del dp3 es idéntico al del incisivo de crecimiento continuo. Por otra parte, en una mandíbula de un individuo infantil de *M. balearicus* con el M/1 recién emergido, procedente del yacimiento de Son Mayol (Establiments, Mallorca, Fig. 1), puede observarse con claridad como se inicia la erupción del gran incisivo de crecimiento continuo. Se observa como el área de generación del I1 se sitúa en el área de la sínfisis mandibular cercana al foramen mentoniano, y como el incisivo ocupa la práctica totalidad del espacio disponible en la sínfisis mandibular. Se observa también como el alveolo del dI1 es desplazado por la salida del I1 y como queda, en la parte superior el alveolo del dI2 (Fig.2).

La afirmación de Bover y Alcover (1999) de que no hay indicios de reabsorción en la raíz de los dI1 es inexacta. Estos mismos autores mencionan y figuran (Fig. 9) que muchos de los dI1 estudiados presentan la raíz abierta (ejemplares de Cova Estreta MNM 48165 y 48166), signo inequívoco de reabsorción. Hay que recordar que la reabsorción de la raíz es un proceso que no implica la desaparición de la raíz, sino simplemente la desaparición, en grados diferentes, de su extremo apical lo que se traduce en la apertura de la misma. Incluso la propia descripción que hacen de las relaciones que durante la ontogenia existen entre el incisivo adulto de *M. balearicus* y el dI1 son congruentes con las anteriores consideraciones. Bover y Alcover (1999) describen con detalle que cuando el incisivo adulto de *M. balearicus* erupciona, empuja sobre la raíz del dI1, y sugieren, muy acertadamente en nuestra opinión, que esta debe ser la causa de la concavidad presente en la zona postero-lingual de este diente. Final-



mente, el dI1 cae como consecuencia de la presión ejercida por el gran incisivo saliente (Bover y Alcover, 1999). Curiosamente, esta descripción corresponde, hasta en sus más pequeños detalles, a lo que ocurre cuando erupciona un incisivo secundario (de la dentición definitiva), pero nunca a lo que ocurre cuando emerge un dI2, que como es lógico, nunca tiene como consecuencia la caída del dI1. El mecanismo propuesto por Bover y Alcover (1999) para explicar que el desplazamiento y expulsión del dI1 por parte del dI2 es completamente desconocido en los rumiantes actuales. El único diente que provoca la caída del dI1 es el I1.

En su intento de establecer las homologías en la serie incisiva de *Myotragus* no han considerado las pautas de crecimiento de las especies actuales, base para proponer cualquier hipótesis de homología dentaria. El patrón de erupción en los bóvidos actuales contradice sus conclusiones y sugiere que los tres incisivos de *M. balearicus* deben ser atribuidos a un dI1, a un dI2 y a un I1. Al mismo tiempo queda establecido que en *M. balearicus* el dI3 y dC no llegan a salir y el I1 emerge muy tempranamente en la ontogenia, al mismo tiempo que el M/1 y no como en los demás bóvidos, coincidiendo con la erupción del M/2. De hecho estas son las únicas desviaciones del patrón general de los bóvidos actuales. En este punto es interesante remarcar que la reducción de la serie incisiviforme secundaria es más fuerte que la primaria. El I2, I3 y C secundarios no llegan a salir nunca, aunque los dos primeros tienen un precedente primario.

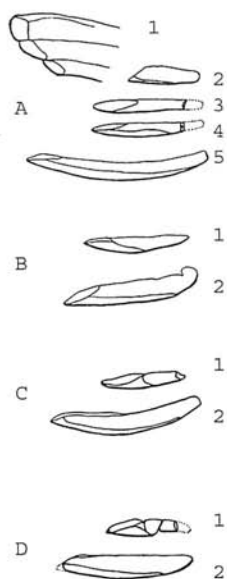
## Las homologías a partir de la evolución de la serie incisiviforme en *Myotragus*. El registro fósil

Bover y Alcover (1999) trasladan su interpretación de la dentición de *M. balearicus* a las demás especies del género. Así, reinterpretan la dentición incisiviforme de *M. kopperi* proponiendo que las tres piezas incisiviformes que aparecen en el adulto (Pons-Moyà y Moyà-Solà, 1981) deben homologarse a, la mayor y más lingual a un dI2, y hacia mas labial a un dI3 y un dc. Estos autores también especulan que los ejemplares más juveniles deberían haber tenido un dI1 que perderían durante el crecimiento por el empuje del dI2.

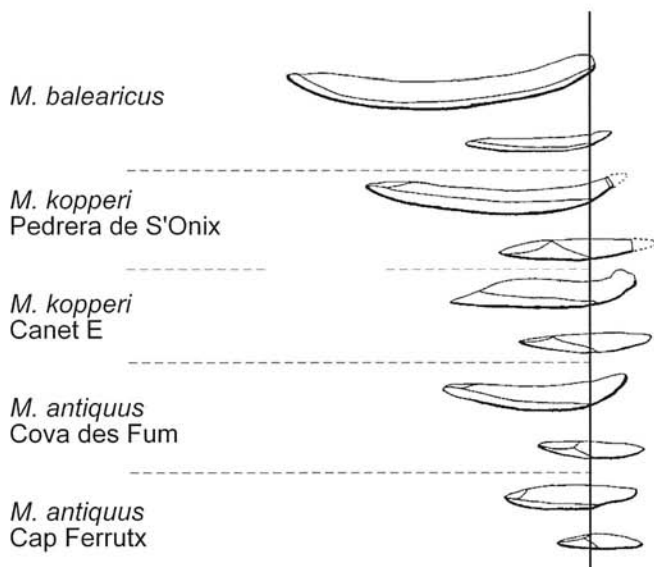
*M. batei* es interpretado de manera análoga, con la única diferencia de que el primer incisivo, topográficamente hablando, es de crecimiento continuo como en *M. balearicus*. Según Bover y Alcover (1999) las especies más antiguas del género, *M. peponellae* y *M. antiquus*, poseerían dentición primaria y secundaria como cualquier bóvido actual.

La segunda fuente de información a la cual tenemos acceso para establecer correctamente las homologías de la dentición de *Myotragus* es el propio proceso evolutivo de *Myotragus*, y la posibilidad de constatar los cambios estructurales y morfológicos ocurridos a través del tiempo y su conservación en el registro fósil. Por fortuna el abundante registro del género *Myotragus*, especialmente en Mallorca, ha permitido conocer con bastante precisión las pautas de evolución de estos dientes.

Durante la evolución de la serie incisiviforme, desde las especies primitivas de *Myotragus*, el patrón seguido es el siguiente: *M. peponellae*, del Plioceno inferior posee 3 incisivos y un canino secundarios



**Fig. 3.** Incisivos de la dentición primaria y secundaria de diferentes especies de *Myotragus*. A. *M. kopperi* de la localidad de Sa Pedrera de S'Ònix: 1. Serie I1, I2, I3 de un mismo individuo (Colección J. Pons 65.668), del cual en 5 se dibuja en toda su longitud el I3; 2. Incisivo definitivo muy desgastado; 3 y 4, incisivo de la dentición primaria en vista oclusal (Colección J. Pons 65.678) (3) y lateral (4), donde puede observarse la superficie oclusal sin desgaste y la relativamente larga raíz en relación a la longitud de la corona, que contrasta fuertemente con los incisivos definitivos. B. *M. aff. kopperi* de Canet E, 1, incisivo de la dentición primaria, 2, incisivo de la dentición secundaria. C. *M. antiquus* de la Cova des Fum, 1, incisivo de la dentición primaria, 2, incisivo de la dentición secundaria. D. *M. antiquus*, 1, incisivo de la dentición primaria, 2, incisivo de la dentición secundaria. **Fig. 3.** Incisives of the primary and secondary dentition of the different *Myotragus* species. A. *M. kopperi* from the locality of Sa Pedrera de s'Ònix, I. I1, I2 and I3 of a single individual (Collection J. Pons 65.668), that in 5 the complete length of the I3 is presented; 2. Definitive incisor with high wear; 3 and 4 incisive of the primary dentition in occlusal view (J. Pons collection 65.678) (3) and lateral (4), where the occlusal surface without wear and a long root are observable. B. *M. aff. kopperi* from Canet E, 1, Incisive of the primary dentition, 2, incisive of the secondary dentition. C. *M. antiquus* from Cova des Fum, 1, incisive of the primary dentition, 2, incisive of the secondary dentition. D. *M. antiquus* from Cap Ferrutx, 1, incisive of the primary dentition, 2, incisive of the secondary dentition.



**Fig. 4.** Evolución de la hipsodontia de la serie incisiviforme de *Myotragus*. La línea vertical marca el punto en el que se acaba el esmalte de la corona y se inicia la raíz. Obsérvese la paulatina reducción de la raíz, tanto en los incisivos primarios (abajo) y los secundarios (arriba).

**Fig. 4.** The evolution of the hipsodonty of the incisiviform complex of *Myotragus*. The vertical line specify the point where the finish the enamel and the root begin. Observe the root reduction on primary (bottom) and secondary (upper).

por hemimandíbula, con una hipsodontia similar a la del género *Capra* actual (Moyà-Solà y Pons-Moyà, 1982). La dentición primaria no se conoce. La especie siguiente en el tiempo, *M. antiquus* (Pons-Moyà, 1977) se diferencia de la anterior, por la desaparición del canino y porque sus incisivos secundarios son todos más hipsodontos que en la especie precedente. La dentición primaria de esta especie es bien conocida y es completa (Ginés y Fiol, 1981; Bover y Alcover, 1999). La dentición de la especie que le sigue en el tiempo, *M. kopperi* (Moyà-Solà y Pons-Moyà, 1981) se caracteriza por una mayor hipsodontia de los tres incisivos con respecto a la especie precedente. En este punto consideramos necesario remarcar el hecho de que los tres incisivos presentes en los adultos, no han dejado de incrementar su hipsodontia durante toda la evolución de *Myotragus*. La siguiente especie es *M. batei* y presenta un conjunto de diferencias con la anterior, particularmente el I1 de crecimiento continuo, el I2 mantiene la hipsodontia y el I3 empieza a reducir su tamaño. Finalmente, en *M. balearicus* de I1 aumenta su tamaño y desaparecen I2 e I3 (Fig. 2).

Así, las tendencias evolutivas durante la evolución de la serie incisiviforme de *Myotragus* son: entre *M. peptonellae* y *M. balearicus* el aumento de hipsodontia y finalmente adquisición del crecimiento continuo del I1, hasta *M. batei* del I2 y hasta *M. kopperi* del I3 y la reducción a partir de *M. batei* del I2, y de *M. kopperi* del I3. Guiándonos por esta tendencia establecida a partir de los datos empíricos proporcionados por el registro fósil, es completamente razonable, como han hecho con anterioridad muchos autores (Andrews, 1915; Pons-Moyà, 1977; Moyà-Solà y Pons-Moyà, 1982; Alcover *et al.*, 1981), atribuir el dien-

te incisiviforme de crecimiento continuo de los adultos de *M. balearicus* al I1.

Considerando la interpretación propuesta por Bover y Alcover (1999) en la que se admite que *M. balearicus* es monofiodonto y que las especies más antiguas de *Myotragus* (*M. peptonellae* y *M. antiquus*) poseen dentición primaria y secundaria como cualquier otro bóvido continental (Ginés y Fiol, 1981; Bover y Alcover, 1999), teóricamente en algún momento de la evolución de *Myotragus*, la dentición secundaria fuertemente hipsodonta presente en los adultos de *M. antiquus* habría sido substituida por los dientes primarios, mucho menos hipsodontos y de menor tamaño que los definitivos. Si esto hubiera ocurrido, con un registro fósil tan completo como el que existe en Mallorca, este evento evolutivo debería haber quedado registrado como una alteración (de hecho regresión) en la tendencia al aumento de hipsodontia en la dentición incisiviforme de los individuos adultos, entre *M. antiquus* y *M. kopperi*.

Sin embargo, no hay ninguna evidencia empírica de que esto haya tenido lugar. Ello nos lleva a afirmar que la hipótesis de Bover y Alcover (1999) no es congruente con el registro fósil de la evolución de *Myotragus*. Bien al contrario, si existen evidencias de que durante la evolución de *Myotragus* se ha producido un incremento paulatino de la hipsodontia de las piezas incisiviformes primarias y secundarias. Esta constatación apoya, nuevamente, la hipótesis que el incisivo de crecimiento continuo de *M. balearicus* es el I1 y no el dI2.

La hipótesis de la monofiodonta en las especies recientes de *Myotragus* se fundamentada también en el estudio que Bover y Alcover (1999) hacen del material de *M. kopperi*, la primera especie teóricamente monofiodonta del phylum de *Myotragus*.



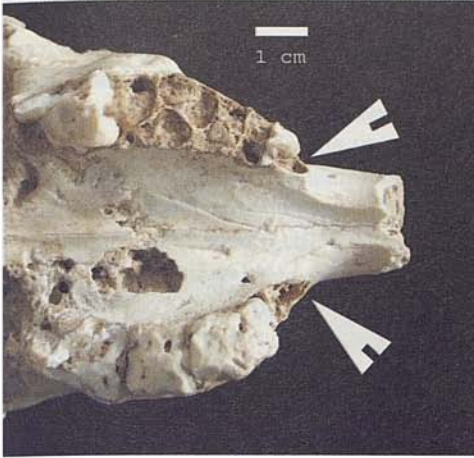


Fig. 5. Paladar de *M. batei* procedente del yacimiento de Génova. Corresponde a un individuo senil, atendiendo al fuerte desgaste del M3/. Las flechas señalan la posición de los alveolos de los P2/.

Fig. 5. *M. batei* palate from the site of Genova. It belongs to a senile individual, if we consider the very advanced wear of the M3/. The arrows indicates the position of the alveoli of both P2/.

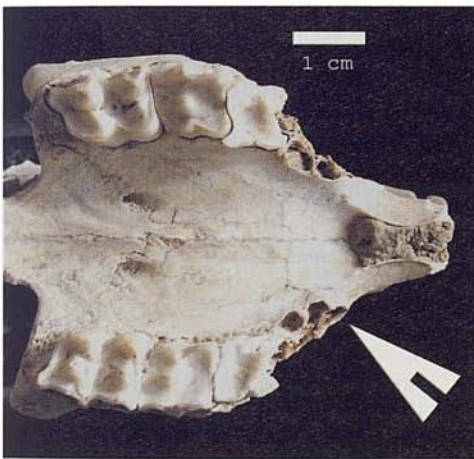


Fig. 6. Paladar de *M. batei* procedente del yacimiento de Génova. La serie molar se encuentra fuertemente desgastada evidenciando la avanzada edad del individuo. El margen alveolar de la serie premolar derecha se encuentra deteriorada, pero en la serie izquierda pueden observarse los alveolos del P4/, P3/ y P2/.

Fig. 6. *M. batei* palate from the site of Genova. It belongs also to a senile individual, if we consider the very advanced wear of the molars. The arrow indicates the position of the alveoli of the left P2/.

Estos autores afirman, correctamente, que *M. kopperi* ha sido encontrado en dos yacimientos de Mallorca, Sa Pedrera de S' Ònix (Manacor) (Pons-Moyà y Moyà-Solà, 1981) y Nivel E de La Cova de Canet (Esporles) (Pons-Moyà et al., 1980). Bover y Alcover (1999) aseguran que después de su revisión del material de Sa Pedrera de S' Ònix (sin mencionar el del nivel E de Sa Cova de Canet) no han encontrado dos tipos de dentición, como ocurre en el caso de *M. antiquus*. Interpretan este hecho como evidencia de que *M. kopperi* era monofiodonto y la dentición del adulto (la única existente según estos autores) es interpretada, de manera análoga a la de *M. balearicus*, como la primaria. En caso de ser esto cierto, esta presunta ausencia de dos tipos de dentición, en el yacimiento de Sa Pedrera de S' Ònix sería el mejor argumento del que disponen Bover y Alcover (1999) para demostrar su hipótesis de la monofiodontia mediante el registro fósil de *Myotragus*.

Existen algunos criterios que permiten distinguir los dientes primarios de los secundarios en los bóvidos. En particular el menor tamaño y las coronas relativamente pequeñas en relación a la raíz de los dientes primarios en comparación con los secundarios (Sisson y Grossman, 1975). Nosotros hemos estudiado no solamente todo el material existente de *M. kopperi* de Sa Pedrera de S' Ònix, sino también todo el material del nivel E de Sa Cova de Canet (colecciones Joan Pons y la del IPMC de Sabadell). En ambos yacimientos, todas las piezas incisiformes encontradas son más hipsodontas que las de *M. antiquus*, lo que hace, al menos teóricamente, difícil separar dientes primarios de algunos I3 muy desgastados. Sin embargo algunos ejemplares pequeños poseen una notable desproporción entre la longitud de la corona y de la raíz a favor de esta última, característica típica de los inci-

sivos primarios y que no encontramos en los incisivos secundarios, donde la raíz es proporcionalmente muy pequeña. Además, estos dientes a pesar de ser muy cortos no están desgastados. Esto permite afirmar que tanto en el material de *M. kopperi* de Sa Pedrera de S'Ònix como en el de Canet E hemos identificado la dentición primaria y secundaria (Fig. 3, 4). La existencia de dos tipos de dentición en *M. kopperi* es congruente con la existencia de una tendencia evolutiva en *Myotragus* al aumento de hiposodontia de los incisivos sin ningún tipo de regresión, como nuestra hipótesis admite.

En conclusión, tanto la evidencia proporcionada por la secuencia de erupción de la serie incisiviforme de los bóvidos actuales, como la evidencia procedente de las tendencias evolutivas observadas en el registro fósil, son congruentes entre sí y permiten descartar la hipótesis de homología propuesta por Bover y Alcover (1999). Por lo tanto la fórmula dentaria de *M. balearicus* queda establecida, como  $dI0/2 \ dc0/0 \ dp2/2$  para la dentición primaria y  $I \ 0/1 \ C \ 0/0 \ P \ 2/1 \ M3/3$  para la secundaria, como había propuesto Andrews (1915).

### Los premolares anteriores de *M. batei*

Otro aspecto que ineludiblemente hay que discutir con anterioridad a entrar en la discusión de la sinonimia propuesta por Bover y Alcover (2000) entre *M. batei* y *M. binigausensis* es el de la homología de los pequeños premolares anteriores (superior e inferior) presentes en el holotipo de *M. batei*.

El holotipo de *M. batei*, un cráneo asociado a una de sus mandíbulas en magnífico estado de conservación (guardado en la colección del Colegio La Salle, Palma de

Mallorca y actualmente depositado en la Soc. Hist. Nat. Balears), presenta un conjunto de diferencias notables, tanto con *M. balearicus*, su descendiente, como con *M. kopperi*, su ancestro. Además de la presencia de tres incisivos, que después de la discusión anterior deben atribuirse a, de abajo a arriba, un I1 de crecimiento continuo, un I2 y un I3, posee tres premolares superiores y dos inferiores, con un P2/ y un P3 muy reducidos si los comparamos con los de *M. kopperi*. En la descripción original, estos dos dientes fueron identificados como el P2/ y el P3 respectivamente (Crusafont y Angel 1966), hipótesis ampliamente aceptada por autores posteriores (Pons-Moyà y Moyà-Solà, 1981; Moyà-Solà y Pons-Moyà, 1982; Alcover *et al.*, 1981). Sin embargo, recientemente, Bover y Alcover (1999; 2000) han propuesto una atribución diferente. Interpretan estos dientes como dp2/ y dp3 respectivamente. El único criterio que estos autores usan para tal atribución es la inmadurez del ejemplar tipo de *M. batei*.

Si bien es cierto que el holotipo de *M. batei* pertenece a un individuo joven, hay que señalar que el holotipo de *M. batei* no es un individuo infantil, sino solamente subadulto. En los bóvidos, el P2/ y el M3/ son los dientes yugales definitivos que erupcionan más tarde y lo hacen de manera más o menos simultánea (Sisson y Grossman, 1977). En el ejemplar tipo de *M. batei* el M3/ prácticamente había finalizado ya su proceso de erupción y además presentaba ya un ligero desgaste. En este estadio ontogenético, si como suponen Bover y Alcover (1999; 2000), estas piezas dentarias anteriores fuesen dp2/3 deberían, al menos, estar fuertemente desgastadas. Este es el criterio mínimo que estos autores deberían haber comprobado antes de proponer tal hipótesis. Sin este requisito, estos dientes no puede ser nunca considerados primarios. Sin embargo,



ambas piezas, superior e inferior no presentan ningún tipo de desgaste. Por lo tanto la única conclusión posible es que estos dientes estén recién emergidos, como ocurre con los M3/3, y se trataría de los premolares anteriores secundarios y no los de leche.

Esta interpretación viene confirmada también por la misma secuencia de erupción

en *Myotragus*. En *M. balearicus*, por ejemplo, dp2/ y dp/3 primarios caen en el estadio ontogenético 4 de Bover y Alcover (1999), mucho antes de la erupción del M3!. Por lo tanto, no es lógico atribuir los premolares anteriores de *M. batei* a los dientes primarios, cuando el M/3 ya presenta un ligero desgaste.

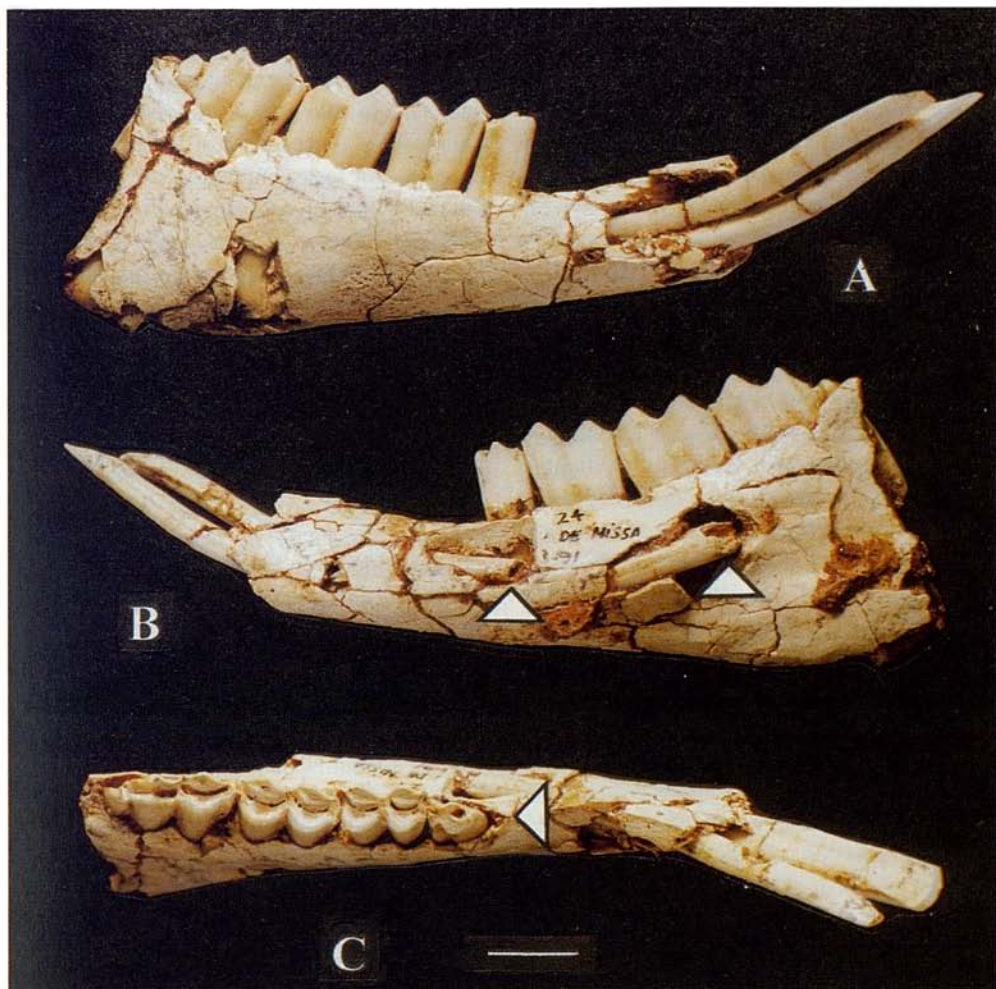


Fig. 7. Mandíbula de *Myotragus* sp. Del yacimiento de Sant Joan de Missa (Ciutadella de Menorca). Vista labial (A), lingual (B) y oclusal (C). Las marcas triangulares indican la parte posterior del I/1, del I/2 (B) y el pequeño alveolo para el P/3 (C).

Fig. 7. Mandible of *Myotragus* sp. from the site of Sant Joan de Missa (Menorca). Labial view (A), lingual view (B), and occlusal view (C). The triangular marks indicate that the posterior part of the I/1, of I/2 (B) and the small alveolus for the P/3 (C).

Aparte de este importante hecho, la morfología de estos dientes nos ofrece otra pista interesante. Tanto en el premolar inferior como en el superior, su morfología es simplemente cónica, más ancha en la base que en el ápice, notablemente más reducidos que los premolares secundarios (P2/ y P/3) de *M. kopperi*. Este hecho es perfectamente lógico ya que, atendiendo a la tendencia a la reducción de estos premolares en *Myotragus* (Moyà-Sola y Pons-Moyà, 1982), *M. batei* es el descendiente de *M. kopperi*. Sin embargo, lo que ya no es tan lógico es que si estos dientes se atribuyen al dp2 y dp3, *M. batei*, como ancestro de *M. balearicus*, tenga premolares primarios anteriores más pequeños que los de su descendiente *M. balearicus*, cuando la tendencia evolutiva observada va, precisamente, en la dirección opuesta.

Otro argumento ha considerar a la hora de atribuir estos premolares a la dentición primaria o secundaria, es si estos dientes están o no presentes en individuos adultos o viejos. Aunque los autores anteriormente citados no hablan de la existencia de otros especímenes de *M. batei*, lo cierto es que se han publicado 3 cráneos más y una mandíbula procedentes de la misma localidad tipo, Pedrera de Génova (Adrover, 1967). Dos cráneos conservan los hocicos con parte de la dentición y en su defecto los alvéolos. Por fortuna, estos dos cráneos pertenecen a individuos totalmente adultos (M3 con fuerte desgaste), e incluso uno de ellos, atendiendo al avanzado desgaste del M3, podría atribuirse a un individuo senil (Fig. 5). En ambos cráneos se conservan perfectamente los alveolos de los P2/ (Fig. 5, 6). La edad avanzada de ambos individuos nos indica que bajo ninguna circunstancia estos dientes pueden ser atribuidos a dientes primarios. La mandíbula inferior sin embargo no posee P3. A este respecto hay que mencionar que

esta mandíbula es patológica, ya que presenta la sínfisis mandibular sin alvéolos (Adrover, 1967), factor que hace difícil dar alguna significación a la ausencia del P/3 en este ejemplar.

Estos hechos invalidan completamente la interpretación realizada por Bover y Alcover (1999; 2000) de los premolares anteriores de *M. batei*, y permiten seguir considerando estos como pertenecientes a la dentición secundaria, como han venido haciendo la mayoría de autores desde que Crusafont y Angel (1966) describieran esta especie. En este contexto, es interesante comentar que el espécimen atribuido a *M. batei* por Bover y Alcover (1999, fig 13), del yacimiento del Cap des Pinar y que no posee ni P/3 ni I3 no puede ser atribuida a *M. batei*. Probablemente se trataría de una forma entre *M. batei* y *M. balearicus*.

### **La sinonimia entre *M. batei* y *M. binigausensis***

Considerando los datos existentes en la actualidad sobre la ontogenia de la dentición de los bóvidos actuales y considerando la secuencia de cambios morfológicos ocurridos durante la propia evolución de *Myotragus*, ha podido establecerse una hipótesis de homología de la serie incisiforme y de los premolares anteriores de *Myotragus* que permite abordar la cuestión de la sinonimia entre *M. binigausensis* y *M. batei* propuesta de Bover y Alcover (2000).

La idea original de la atribución del material de Barranc de Binigaus a una especie diferente a las conocidas en Mallorca (Moyà-Solà y Pons-Moyà, 1980) se basaba en que la asociación de caracteres presentes en *M. binigausensis* no se correspondía con la de ninguna otra especie de *Myotragus*. La especie del Barranc de Binigaus (Menorca)

fue diagnosticada del modo siguiente: I/1 muy hipsodonto, sin llegar a ser de crecimiento continuo, I2 muy hipsodonto, ausencia de I3, P/3 y P2/. La originalidad de esta asociación de caracteres reside en el hecho de que en el filum de Mallorca la pérdida de P2/ y P/3 e I3 se produce con posterioridad a la adquisición del crecimiento continuo por parte del I1, al contrario de lo que se observa en *M. binigausensis* donde estos dientes ya faltan y el I1 posee todavía raíz.

Sin embargo, Bover y Alcover (2000), basándose en su hipótesis de homología de la serie incisiva, proponen una nueva interpretación de la dentición de *M. batei*, lo que, en su opinión conllevaría la necesidad de una revisión del significado taxonómico de *M. binigausensis*. De acuerdo con la interpretación de la dentición incisiviforme de estos autores, *M. batei* se caracterizaría por tener exclusivamente dos dientes incisiviformes en el estado adulto, que serían dI2 y dI3 ya que presuponen, (sin ningún material que lo confirme), que lo que ellos atribuyen al dc se perdería en el estadio adulto. También suponen que los ejemplares juveniles deberían tener un dI1 (aunque este nunca ha sido encontrado). Asimismo interpretan los premolares anteriores reducidos de *M. batei* como los deciduos. Finalmente, también ponen en duda que la raíz abierta, y por tanto el crecimiento continuo del I1 (que ellos atribuyen al dI2) sea un carácter permanente y que debía perderse en estadios ontogenéticos avanzados. Ningún ejemplar permite confirmar esta suposición.

Con esta re-interpretación de la dentición de *M. batei*, Bover y Alcover (2000) modifican la diagnosis original de esta especie y proponen la siguiente: se caracteriza por poseer exclusivamente dos incisiviformes en el estado adulto, dI2 y dI3. dI3 con raíz cerrada y dI2 con raíz abierta pero se sospecha que la raíz se cerraba en el estadio

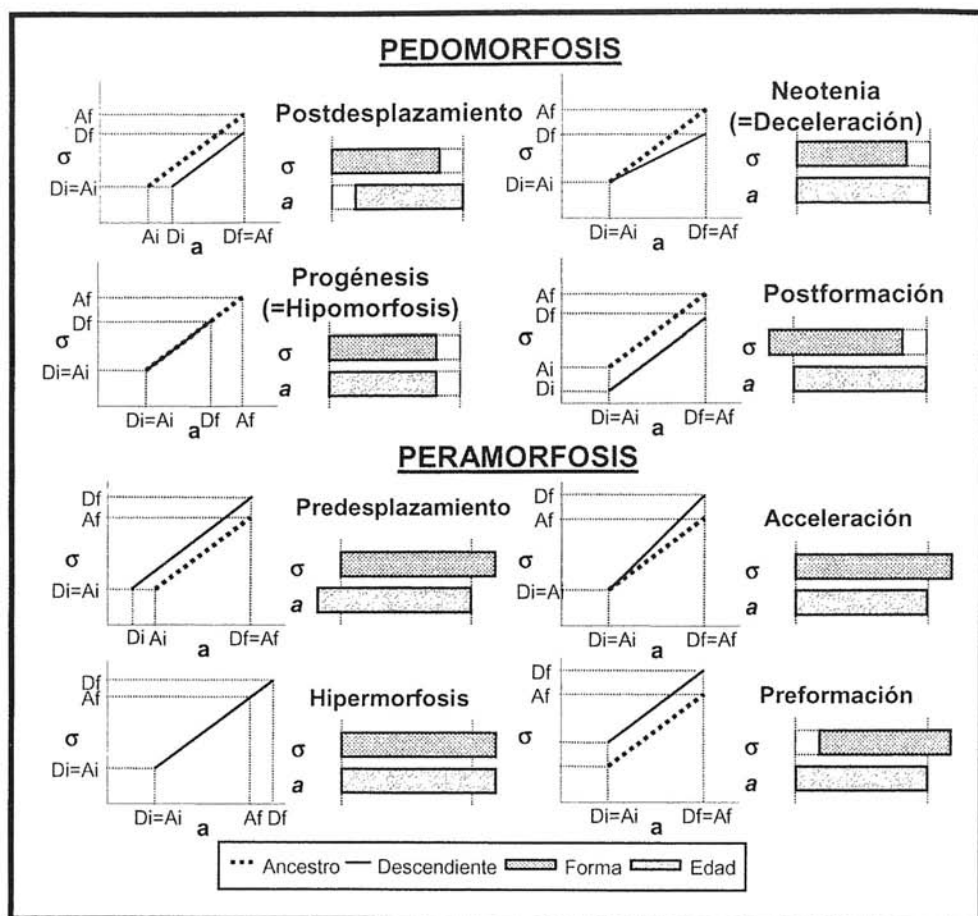
adulto; presentan un dp/3 y un dp2/, sin P2/ ni P3/. Con esta nueva diagnosis es obvio que las diferencias entre *M. batei* y *M. binigausensis* se evaporan y por tanto, desde este punto de vista una sinonimia entre ambas parece una conclusión inevitable.

Sin embargo, como hemos demostrado anteriormente, en *M. batei* ni el I3 puede homologarse al dc, ni el P2/ al dp2/, ni el P/3 al dp/3 y por lo tanto no se perderán en un estadio ontogenético posterior como una consecuencia natural del desarrollo ontogenético. El único punto que podría incidir en los criterios taxonómicos es si el grado de regresión de estos dientes está tan avanzado que su presencia o ausencia deba ser considerado un carácter variable y, por tanto, si tiene valor diagnóstico. Este planteamiento es completamente distinto al propuesto por Bover y Alcover (1999; 2000) donde la ausencia en los adultos se acepta como un hecho solo porque es la consecuencia natural de su propia condición primaria. La única manera de comprobar esta cuestión es estudiar la variabilidad en la propia especie *M. batei*. Con el material de *M. batei* conocido de la localidad tipo de Génova, de tres cráneos existentes, y pertenecientes a edades ontogenéticas diferentes, los tres poseen P2/. De las dos mandíbulas inferiores existentes, una presenta P/3 y otra no, aunque esta última presenta algunas características patológicas (Adrover, 1967). En modo alguno estos datos permiten excluir de la diagnosis de *M. batei* a estos reducidos premolares anteriores y por tanto deben figurar en ella. Tampoco hay ninguna evidencia de que el I1 del holotipo de *M. batei* vaya a cerrar su raíz en estadios ontogenéticos adultos, como estos autores parecen adivinar. El holotipo de *M. batei* es prácticamente adulto y la raíz del I1 esta ampliamente abierta como en *M. balearicus* (Crusafont y Angel, 1966).

Por tanto, consideramos que a partir de las propuestas no se observan razones objetivas para modificar la diagnosis original de *M. batei*. Así pues, la sinonimia propuesta por Bover y Alcover (2000), fundamentada en la homologación de los dientes entre la dentición primaria y secundaria, con el material actualmente existente, no puede ser aceptada. Ello nos lleva a desestimar la sinonimia entre *M. binigausensis* con *M. batei*.

## La mandíbula de Sant Joan de Missa (Menorca)

*M. binigausensis* es hasta ahora la única evidencia disponible de un filum de *Myotragus* independiente al de la isla de Mallorca (Moyà-Solà y Pons-Moyà, 1981). Sin embargo, un hallazgo realizado por Josep Quintana en base un material fuera del contexto (pared seca) en calcarenitas del Mioceno cerca de Sant Joan de Missa,



**Fig. 8.** Ocho tipos de heterocronía pura según Alba (2002). Leyenda: s=forma; S=tamaño; D=descendiente; A=ancestro; i=inicial; f=final.

**Fig. 8.** The eight basic types of heterochrony following Alba (2002). Legend: s=form; S=size; D=descent; A=ancestor; i=initial; f=final.



podría ayudar a comprender mejor este aspecto de la evolución del género *Myotragus*. El yacimiento proporcionó un escaso, pero interesante material de *Myotragus*. El ejemplar más interesante es una mandíbula inferior con dos incisivos, un diminuto alveolo para el P3, y la serie P4-M3 (Fig 7).

La mandíbula perteneció a un animal de edad subadulta, similar a la que tiene el holotipo de *M. batei*. Posee dos incisivos, I1 e I2, sin rastro de I3 ni de su alveolo. Los dos incisivos son excepcionalmente hipsodontos. El I1 alcanza la parte posterior del M2, casi con el límite con el M3, y el I2 la zona entre P4 y M1. En ambos dientes el esmalte, que habitualmente cubre la cara ínfero-labial del diente, llega hasta el límite más posterior del diente, sin ninguna traza de raíz y en su lugar hay una amplia abertura por la cual el diente supuestamente crecería. Esta morfología sugiere que

ambos incisivos son de crecimiento continuo, como ocurre con el I1 de *M. batei*. El I1 y el I2 son relativamente estrechos, similares a los de *M. batei* y *M. binigausensis*.

En *M. batei*, la radiografía de la mandíbula muestra que la raíz del I2 está cerrada (Moyà-Solà y Pons-Moyà, 1982). En formas más recientes, como el ejemplar de *M. balearicus* de Llenaire (Moyà-Solà, 1979) que aún conserva el I2 este posee una raíz y además es mucho más corto. En el ejemplar de *M. aff. balearicus* primitivo de Cap des Pinar (que Alcover et al., 1999, atribuyen a *M. batei*) el tamaño del I2, más reducido que en *M. batei* sugiere que tampoco era de crecimiento continuo. Por tanto en todas las especies de Mallorca, el I2 cerraba tempranamente la raíz, hecho que confirma la excepcionalidad del espécimen de SJM.

Los dos incisivos de *M. binigausensis* poseen raíces y los incisivos son extremadamente hipsodontos (Moyà-Solà y Pons-

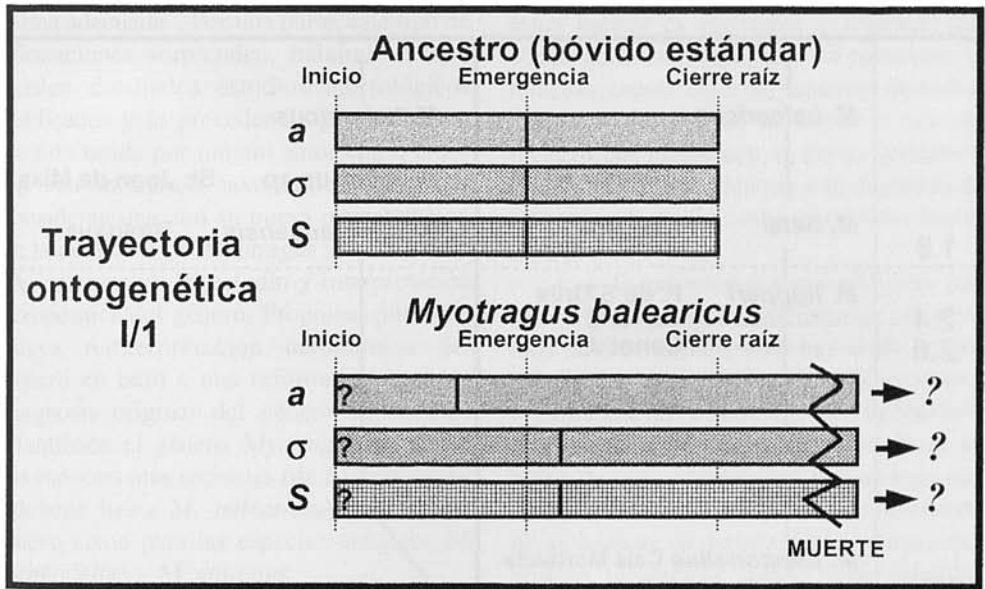


Fig. 9. Heterocronía dental en *Myotragus* por lo que respecta al incisivo de crecimiento continuo. Leyenda: a: edad; s=forma; S=tamaño.

Fig. 9. I1 heterochrony in *Myotragus*. Legend: a: age; s=form; S=size.





nueva forma que permita confirmar esta hipótesis.

## Implicaciones taxonómicas y evolutivas

### Taxonomía del género *Myotragus*

Recientemente los mismos autores fundamentándose nuevamente en su hipótesis de homología dentaria, proponen una reorganización taxonómica del género *Myotragus*. Consideran que, desde la creación del género por Bate (1909), las incorporaciones de nuevas especies al género *Myotragus* se han hecho básicamente en función de la procedencia geográfica de los materiales y no en base al análisis de sus caracteres morfológicos. Bover y Alcover (2001) "consideran obvio que la inclusión de nuevas especies en el género derivaba en una ampliación de su contenido, cosa que nunca ha sido presentada ni contrastada de forma adecuada". Por una parte, este tipo de afirmaciones sorprenden, máxime cuando existen detallados estudios morfológicos publicados y la procedencia geográfica no ha sido usada por ningún autor como criterio con influencia taxonómica. Por otra, consideran que con su nueva interpretación de la dentición de *Myotragus* se abren nuevas perspectivas al estudio y interpretación taxonómica del género. Proponen pues una nueva reinterpretación taxonómica del género en base a una reformulación de la diagnosis original del género *Myotragus*. Mantienen el género *Myotragus* solo para las especies más recientes (de *M. kopperi* en adelante hasta *M. balearicus*) y crean un nuevo taxon para las especies antiguas, *M. peptonellae* y *M. antiqus*.

Aunque este nuevo género no ha sido todavía propuesto formalmente, parece obvio que si consideramos discutible la

nueva hipótesis de homología dentaria propuesta por estos autores, consideremos que con la información de que disponemos en la actualidad la subdivisión en dos géneros del Philum de *Myotragus* no sea una necesidad que ayude a describir la evolución de este taxón y que la inclusión en *Myotragus* de todas las especies conocidas es la opción más razonable.

### Heterocronía y evolución en *Myotragus*

Bover y Alcover (1999) interpretan que todos los cambios en el campo de crecimiento de la serie incisiviforme (monofiodoncia, incisivo de crecimiento continuo, y forma del dentario) reflejan un mismo proceso de neotenia en *Myotragus*. Ciertamente, no hay duda de que el progresivo incremento de la hipsodoncia del incisivo durante la evolución de *Myotragus*, que culmina en la pérdida del cierre de la raíz, es un ejemplo de evolución heterocrónica; sin embargo, la interpretación que hacen de estos hechos es discutible y requiere una clarificación más detallada. En particular, la relación causal entre la supuesta monofiodoncia y el hecho de no cerrar la raíz del incisivo que establecen es, como veremos a continuación, muy dudosa, y la diagnosis de este segundo hecho como un carácter neoténico es discutible.

Las disquisiciones terminológicas han sido siempre el gran problema de los estudios heterocrónicos, y no hay duda de que no se debería dar a tales discusiones mayor importancia que a la descripción de los cambios acaecidos y su interpretación desde un punto de vista adaptativo. Sin embargo, una taxonomía de las modificaciones heterocrónicas básicas (o heterocronías puras) que pueden producirse resulta imprescindible para saber de qué estamos hablando. La heterocronía es el fenómeno de evolución morfológica debido a la selección sobre

variabilidad resultante de cambios en la temporización del desarrollo, resultando así en la producción de paralelismos entre ontogenia y filogenia (véanse revisiones en Gould, 1977; McKinney y McNamara, 1991; Klingenberg, 1998; Alba, 2002). Estos paralelismos pueden ser de tipo pedomórfico (juvenilización) o peramórfico (sobredesarrollo) (Alberch *et al.*, 1979). Según Alba (2002), sobre la base de la morfogénesis y a la maduración, y realizando una doble estandarización de las trayectorias ontogenéticas (al principio y al final de las mismas), podemos definir hasta ocho tipos distintos de heterocronía pura (Fig. 8): progénesis o hipomorfosis (aceleración de la maduración, es decir, avance del final de la trayectoria ontogenética), postdesplazamiento (retraso del inicio de la trayectoria ontogenética), neotenia o deceleración (retraso de la morfogénesis), y postformación (retraso de la forma al inicio de la trayectoria ontogenética), conduciendo a pedomorfosis; y sus opuestos, hiper morfosis (retraso de la maduración), predesplazamiento (aceleración del inicio de la trayectoria ontogenética), aceleración (aceleración de la morfogénesis) y preformación (aceleración de la forma al inicio de la trayectoria ontogenética), conduciendo a peramorfosis.

La adquisición de una supuesta monofiodoncia en *Myotragus* implicaría que la dentición definitiva no llega a formarse ni a emerger, y que por lo tanto la dentición primaria (decidua) se retiene en el estadio adulto. Esto es obviamente un hecho pedomórfico, puesto que la condición adulta del descendiente recuerda la condición infantil o juvenil ancestral. En este sentido, la apreciación de Bover y Alcover (1999) es parcialmente correcta, incluso si no aceptamos su hipótesis de monofiodoncia, puesto que es indiscutible que a lo largo de la evolución de *Myotragus* se van perdiendo diversos

dientes, tanto primarios como secundarios (según nuestra interpretación, dI3, dC1, I2, I3 y C). Otra cosa distinta es que el fenómeno pueda calificarse como neotenia. De los ocho tipos puros de heterocronía que hemos visto, la neotenia hace referencia a un decremento en las tasas de desarrollo, es decir, de la velocidad de cambio de forma (e.g. Gould, 1977; Alberch *et al.*, 1979; Godfrey y Sutherland, 1996). Dicho en pocas palabras, la neotenia es “pedomorfosis mediante desarrollo lento” (Godfrey y Sutherland, 1996, p. 22). En el caso de la pérdida evolutiva de dientes, sean primarios o secundarios, ni tan sólo tiene sentido hablar de tasa de desarrollo, puesto que la estructura no llega ni a formarse. Podemos entender el desarrollo de un diente como comprendido a lo largo de dos intervalos ontogenéticos, marcados por tres eventos de la maduración: 1) inicio de la formación del diente; 2) emergencia del diente; 3) cierre de la raíz del diente. En tal caso, vemos que lo que se produce en el caso de la pérdida de un diente es un postdesplazamiento del estadio de desarrollo inicial (y de los posteriores), que se ven pospuestos indefinidamente (es decir, retrasados más allá de la muerte del individuo), con lo que la pedomorfosis resultante es extrema.

Bover y Alcover (1999) argumentan que “la evolución de la dentición de *Myotragus* en el hecho de retener un incisivo primario con una raíz abierta en el estadio adulto es un claro caso de neotenia”. Estos autores concluyen que “los mismos procesos de neotenia que han llevado a la adquisición de la monofiodoncia podrían haber ayudado a posponer el cierre de las raíces en los dientes primarios, y así conducir a una hipsodoncia incrementada para los incisivos” (op. cit.). Como hemos visto, la retención de un incisivo primario en el estadio adulto no sería un caso de neotenia (con-

tra Bover y Alcover, 1999), pero al menos sí de pedomorfosis, es decir, de juvenilización. Sin embargo, ni tan sólo esto es cierto para la adquisición de un incisivo de crecimiento continuo, puesto que el cierre de la raíz no constituye, como en el caso anterior, el inicio de la trayectoria ontogenética del diente, sino más bien el final de la misma. Además, la interpretación de la adquisición evolutiva de un incisivo de crecimiento continuo en *Myotragus* desde una perspectiva heterocrónica debería ser la misma independientemente de que este diente se considere homólogo con un I1 (como creemos) o con un dI2 (como consideran Bover y Alcover, 1999). Este hecho no puede considerarse pedomórfico simplemente porque la condición abierta de la raíz recuerde los estadios infantiles del ancestro. Antes bien al contrario, lo que ocurre es que el evento ontogenético final (el cierre de la raíz) se ve pospuesto de forma infinita en el tiempo (de nuevo, va más allá de la muerte del individuo, al menos en *M. balearicus*), con lo que el diente dispone de más tiempo para crecer y desarrollarse. Este cambio debe considerarse un caso de hiper morfosis, que conduce, como es obvio, a un sobredesarrollo del diente (peramorfosis), unido en este caso a un tamaño mayor (gigantismo).

Esto puede verse si nos fijamos en los cambios morfogenéticos que experimenta un incisivo a lo largo de su desarrollo. La forma de un diente puede aproximarse mediante algún tipo de variable adimensional, como por ejemplo un índice de hipsodancia  $H=h \cdot w$ , donde  $h$  es la altura del diente y  $w$  la anchura. Claramente,  $h$  incrementa a lo largo de una gran parte de la trayectoria ontogenética del incisivo sin cambios significativos en  $w$  hasta que se cierra la raíz. Esto es menos evidente de lo que podría ser debido al desgaste dental durante la ontogenia, pero el desgaste no es un proceso mor-

fogenético. En otras palabras,  $h$  incrementa con alometría positiva respecto de  $w$ , de manera que deberíamos esperar que un incisivo juvenilizado fuese más corto con relación a la anchura, es decir, menos hipsodonto. Sin embargo, justo lo contrario puede encontrarse en *Myotragus*: al cerrarse más tarde la raíz, o incluso no cerrarse, el incisivo dispone de un mayor tiempo para crecer y desarrollarse, con lo que el incisivo de crecimiento continuo se vuelve extremadamente hipsodonto. En otras palabras, el incisivo de crecimiento continuo de *Myotragus* no está juvenilizado (no es pedomórfico), sino sobredesarrollado (es peramórfico), y por lo tanto no puede atribuirse a neotenia, no importa como ésta se defina. La interpretación de Bover y Alcover (1999) puede tal vez, atribuirse a la confusión entre un evento ontogenético (el cierre de la raíz) con una forma (la hipsodancia). Gould (1977) distinguió tres aspectos distintos del desarrollo (los llamados procesos ontogenéticos fundamentales): el desarrollo en sentido estricto o morfogénesis; el crecimiento; y la maduración. Mientras que la morfogénesis representa el cambio de forma y el crecimiento el cambio de tamaño, la maduración representa el paso del tiempo ontogenético (medido mediante la edad a la que se producen los distintos eventos del desarrollo). En este sentido, la adquisición de un incisivo de crecimiento continuo implica un retraso ontogenético, pero no en el cambio de forma (morfogénesis), sino en la temporización de los eventos ontogenéticos (maduración), y por lo tanto conduce a peramorfosis en lugar de pedomorfosis.

Este retraso de la maduración del incisivo de crecimiento continuo en *Myotragus* no afecta por igual a toda su trayectoria ontogenética, lo cual queda bien patente si nos fijamos en el evento ontogenético intermedio antes mencionado, esto es, la emer-

gencia del diente. Desconocemos si en *Myotragus* el incisivo de crecimiento continuo (que nosotros consideramos I1) se empieza a formar a la misma edad que en su ancestro (supuestamente, equivalente a un bóvido estándar) o no. Sin embargo, la emergencia se produce antes en el tiempo, coincidiendo con el M1 en lugar de con el M2, como sería de esperar en un bóvido convencional. Esto constituye un fenómeno de progénesis, que en principio habría de conducir a pedomorfosis. Lo que ocurre es que, cuando emerge, este diente no está menos desarrollado que en el ancestro (más bien al contrario), lo cual indica que simultáneamente se ha producido un fenómeno de aceleración, que compensa e incluso invierte la pedomorfosis que sería de esperar debido a esta aceleración de la emergencia. En otras palabras, el incisivo de crecimiento continuo de *Myotragus* está sobredesarrollado también debido a un incremento en la tasa de cambio de forma que afecta, como mínimo, a la porción de tiempo ontogenético comprendida hasta la emergencia de dicho diente. Como vemos, este fenómeno heterocrónico es precisamente el opuesto a la neotenia, y de hecho la mencionada progénesis (aceleración de la emergencia) podría interpretarse como un efecto colateral del gigantismo que acompañó a la aceleración e hiper morfosis respecto el cierre de la raíz en el incisivo de *Myotragus*, que habría conllevado notables constricciones de espacio, y que también explicaría la no emergencia de dI3 y dC1, según nuestra interpretación. Podemos ver un resumen de la heterocronía dental en *Myotragus* en la Fig. 9.

En resumen, el principal cambio de temporización que permitió la adquisición de un incisivo de crecimiento continuo fue un cambio relacionado con la duración de la trayectoria ontogenética (retraso de la

maduración), lo que explica el progresivo incremento de hispodoncia hasta el extremo de acaecer antes la muerte, y no un cambio en la tasa de desarrollo (retraso de la morfogénesis), que en caso de haberse producido habría sido precisamente contrario al postulado por Bover y Alcover (1999), es decir, aceleración en lugar de neotenia. Efectivamente, durante la evolución del I1 de *Myotragus*, el evento ontogenético final (el cierre de la raíz) fue progresivamente pospuesto, lo que explica el progresivo incremento de hispodoncia, hasta el extremo de que en *M. balearicus* (y quizás incluso en *M. batei*) la muerte acaecía antes de que tal evento ontogenético final llegase a producirse.

## Conclusiones

En este trabajo hemos revisado la propuesta realizada por Bover y Alcover (2000) de sinonimizar *M. batei* y *M. binigausensis*. Al estar esta hipótesis taxonómica fundamentada en una re-diagnóstico de *M. batei* y a su vez esta se sustenta en una hipótesis de homología dentaria propuesta por los mismos autores (Bover y Alcover, 1999) que mantiene que las especies más recientes del género *Myotragus*, *M. kopperi*, *M. batei* y *M. balearicus* eran monofiodontas, en primer lugar hemos revisado esta propuesta.

Analizadas con detalle las homologías entre los dientes de la serie incisivo-canina de las diferentes especies del género *Myotragus* y los bóvidos actuales y las evidencias de los cambios filéticos acaecidos durante la evolución del género, tal y como se observa en el registro fósil, llegamos a la conclusión que al contrario de lo que proponen los autores antes mencionados, el género *Myotragus* es difiodonto y la dentición de los adultos no es la primaria. Por este moti-



vo la nueva diagnosis de *M. batei* propuesta por estos autores no se acepta lo cual conduce a rechazar la sinonimia propuesta entre *M. batei* y *M. binigausensis*. Se discuten las implicaciones taxonómicas y evolutivas del modelo que emerge de este estudio.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto MCYT project BTE 2001 - 1076. Durante la finalización de este trabajo ha fallecido uno de los autores, Joan Pons-Moyà. El resto de los autores quieren aprovechar este apartado para rendir un sentido homenaje a un paleontólogo vocacional, cuya aportación ha representado un punto y aparte al conocimiento de los vertebrados fósiles de las Baleares.

## Bibliografía

- Adrover, R. 1967. Estudio comparativo de los restos craneanos de *Myotragus* procedentes de la sima de Génova (Palma de Mallorca). *Bol. Soc. Hist. Nat. Baleares*, 13: 99-116.
- Alba, D.M. 2002. Shape and stage in heterochronic models. In: N. Minugh-Purvis & K.J. McNamara (Ed.) *Human Evolution through Developmental Change*, pp. 28-50. Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- Alberch, P., Gould, S. J., Oster, G. F. y Wake, D. B. 1979. Size and shape in ontogeny and phylogeny. *Paleobiology*, 5: 296-317.
- Alcover, J. A., Moyà-Solà, S. y Pons-Moyà, J. 1981. Les quimeres del passat. Els vertebrats fòssils del Plio-pleistocè de les Balears i Pitiussos. Editorial Moll. Palma de Mallorca: 1-260
- Andrews, Ch. 1915. A description of the skull and skeleton of a peculiar modified rupicaprine antelope (*Myotragus balearicus* Bate) with a notice on a new variety, *Myotragus balearicus* var. *major*. *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, 206: 281-305.
- Bate, D. 1909. A new artiodactyle from Majorca. *Geol Mag. N.S.*5,6: 385-388.
- Bover, P. y Alcover, J. A. 1999. The evolution and ontogeny of the dentition of *Myotragus balearicus* Bate, 1909 (Artiodactyla, Caprinae): evidence from new fossil data. *Biological Journal of the Linnean Society*, 68: 401-428.
- Bover, P. y Alcover, J. A. 2000. La identitat taxonòmica de *Myotragus binigausensis* Moyà-Solà i Pons-Moyà 1980. *Endins*, 23: 83 - 88.
- Bover, P. y Alcover, J. A. 2000. Extreme insular evolution in *Myotragus balearicus* Bate 1909 (Artiodactyla, Caprinae). *Tropics* 10, (1): 189-201.
- Bover, P. y Alcover, J. A. 2001. Una nova proposta taxonòmica per els caprins insulars de les Gimnèsies. *III Jor. Med. Amb. Illes Balears*, 94.
- Crusafont, M. y Angel, B. 1966. Un *Myotragus* (Mammifere, Ruminant) dans le Villafranchien de l'île de Majorque: *Myotragus batei* nov. sp. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 206: 2012-2014.
- Cuerda, J. 1975. *Los tiempos cuaternarios en las Baleares*. Ed. Inst. Est. Baleares, 304 pp. Ciutat de Mallorca.
- Ginés, A. y Fiol, Ll. A. 1981. Estratigrafia del yacimiento de la Cova des Fum (Sant Llorenç, Mallorca). *Endins*, 8: 25-42.
- Godfrey, L. R. y Sutherland, M. R. 1996. The paradox of peramorphic paedomorphosis: Heterochrony and human evolution. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 99: 17-42.
- Gould, S.J. 1977. *Ontogeny and Phylogeny*. Ed. The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge.
- Klingenberg, C.P. 1998. Heterochrony and allometry: the analysis of evolutionary change in ontogeny. *Biol. Rev.*, 73: 79-123.
- Köhler, M. y Moyà-Solà, S. 2004. Size reduction of the brain and sense organs in the fossil insular bovid *Myotragus*: parallel patterns under insularity and domestication, and the role of predation in the evolution of

- the central nervous system. *Brain, Behaviour and Evolution*, 63: 125-140.
- McKinney, M. L. y MacNamara, K.J. 1991. *Heterochrony: The Evolution of Ontogeny*. Ed, Plenum Press, New York.
- Mercadal, B. 1959. Sobre la existencia de restos de terrazas tyrenienses en la costa sur de Menorca. *Bol. Soc. Hist. Nat. Baleares*, 5: 39-44.
- Mercadal, B. 1967. Nuevos yacimientos de *Myotragus* en Menorca y su cronología. *Bol. Soc. Hist. Nat. Baleares*, 13: 63-74.
- Mercadal, B., Obrador, A. y Rosell, J. 1972. Fauna malacológica del Cuaternario de Menorca. *Rev. Men.*, 54: 148-162.
- Moyà-Solà, S. 1979. Un caso de hiperodoncia en una mandíbula de *Myotragus balearicus* BATE, 1909. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 11(1-2): 55-59.
- Moyà-Solà, S. y Pons-Moyà, J. 1979. Catálogo de los yacimientos con fauna de vertebrados del Plioceno, Cuaternario y Holoceno de las Baleares. *Endins*, 6-7: 59-74.
- Moyà-Solà, S. y Pons-Moyà, J. 1980. Una nueva especie de *Myotragus* Bate, 1909 (Mammalia, Bovidae) en la isla de Menorca: *Myotragus binigaussensis* nov.sp. Implicaciones paleogeográficas. *Endins*, 7: 37-47.
- Moyà-Solà, S. y Pons-Moyà, J. 1982. *Myotragus peponellae* nov sp., un primitivo representante del género *Myotragus* Bate, 1909. *Act. Geol. Hisp.*, 17(1-2): 77-87.
- Moyà-Solà, S., Quintana, J. Alcover, J. A. y Köhler, M. 1999. Endemic Island Faunas of the Mediterranean Miocene. In: *The Miocene Land Mammals of Europe*. Ed. G. E. Rössner & K. Heissig, 516 p. Verlag Fritz Pfeil.
- Pons-Moyà, J. 1977. La nouvelle espèce *Myotragus antiquus* de l'île de Majorque (Balears). *Proc. Konink. Ned. Akad. v. Wetenchappen*, B. 80,3: 215-221. Amsterdam.
- Pons-Moyà, J. y Moyà-Solà, S. 1977. Presencia de I2 y sus características en diferentes mandíbulas de *Myotragus balearicus* Bate. *Endins*, 3: 37-42.
- Pons-Moyà, J. y Moyà-Solà, S. 1980. Nuevo representante del género *Nesiotites* Bate, 1914, *N. melousae* (Insectivora, Soricidae) de los relleños cársticos del Barranc de Binigauss (Mercadal, Menorca). *Endins*, 7: 53-56.
- Pons-Moyà, J. y Moyà-Solà, S. 1981. *Myotragus kopperi*, une nouvelle espèce de *Myotragus* Bate, 1909 (Mammalia, Artiodactyla, Rupicaprini). *Proc. Konin. Neder. Akad. Wétens.* 84 (1): 57-69.
- Pons-Moyà, J. Agustí, J. y Moyà-Solà, S. 1985. The Mio-pliocene insular faunas from the west mediterranean. Origin and distribution factors. *Paleobiol. cont.*, 14(2): 347-357.
- Pons-Moyà, J., Moyà-Solà, S. y Kopper, S. 1980. La fauna de mamíferos de la cueva de Canet y su cronología. *Endins*, 6-7: 55-58.
- Quintana, J. 2000. Estudio morfológico y funcional del cráneo y la mandíbula de *Nuralagus rex* nov.gen., nov.sp. (Mammalia, Lagomorpha, Leporidae). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Barcelona.
- Sisson, S. y Grossman, J. D. 1975. *The anatomy of domestic animals*. W. B. Saunders Company, Philadelphia and London, 1211 pp.
- Waldren, W. 1982. Balearic Prehistoric Ecology and Culture. The Excavation and Study of Certain Caves, rock shelters and Settlements. *Brith. Arch. Reports*, 149: 773 pp.

# Freqüència, magnitud i escala en la morfodinàmica de les costes rocoses: observacions a s'Alavern (S de Mallorca, Mediterrània occidental)

Lluís GÓMEZ-PUJOL, Pau BALAGUER i Joan J. FORNÓS

## SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA  
NATURAL DE LES BALEARS

Gómez-Pujol, Ll., Balaguer, P. i Fornós, J.J. 2007. Freqüència magnitud i escala en la morfodinàmica de les costes rocoses: observacions a s'Alavern (S de Mallorca, Mediterrània occidental). In: Pons, G.X. i Vicens, D. (Edit.). Geomorfologia Litoral i Quaternari. Homenatge a Joan Cuerda Barceló. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 14: 181-199. ISBN 84-96376-13-3. Palma de Mallorca.

S'avalua la magnitud dels processos erosius que actuen sobre els penya-segats carbonatats de s'Alavern (Sud de Mallorca) alhora que es detallen les seves components temporals i d'escala. Així el debat actual en geomorfologia litoral sobre la preponderància dels agents marins (acció hidràulica i mecànica) sobre els subaeris o d'alteració o viceversa (alteració física-química-biològica i moviment de masses) queda condicionat per l'escala temporal i l'efecte sobre el relleu. Mentre que a s'Alavern les taxes de denudació globals són de l'ordre de 0,004 a 0,310, les taxes de bioerosió per a les comunitats de gasteròpodes de *Melaraphe neritoides* i per al conjunt de pegellides -majoritàriament *Patella rustica*- són de 0,007 i 0,369. Els texts d'exposició aboquen taxes d'erosió on no hi participa l'abrasió entre 0,18 i 0,50 en funció de la posició respecte a la línia de costa. Les taxes de disgregació granular de la façana del penya-segat de s'Alavern són de l'ordre de 0,117 amb una evident relació amb els episodis de pluges intenses i forts vents. Els moviments de masses han implicat la caiguda de fragments del penya-segat suposa volums d'esbaldregalls al voltant de 40 m<sup>3</sup>, mentre que el trencament de fragments de la plataforma varia de 0,86 m<sup>3</sup> a 10 m<sup>3</sup>. Tot plegat ens ajuda a construir un vector negatiu a un gràfic on contrastam la freqüència (escala temporal) i la magnitud (escala de volum) de retrocés de la costa rocosa, tot posant de manifest que el debat dels agents o processos marins vs. l'alteració és un artefacte que depèn únicament i exclusiva de l'escala d'anàlisi i de la posició dels investigadors en la sistematització de les seves observacions. A la vegada el vector que relaciona freqüència i magnitud ens planteja l'escenari òptim per relacionar els estudis de morfodinàmica de les costes rocoses amb les aproximacions de tipus evolutiu.

**Paraules clau:** taxes d'erosió, costes rocoses, processos marins, processos terrestres.

FREQUENCY, MAGNITUDE AND SCALE IN ROCK COAST MORPHODYNAMICS: OBSERVATIONS AT S'ALAVERN SEA CLIFFS (SOUTHERN MALLORCA, WESTERN MEDITERRANEAN). The goal of this paper is to assess the role of erosion processes at s'Alavern sea cliffs pointing up the temporal and scale components of erosion rates. Thus the current debate concerning with the main role of wave processes (hydraulic and mechanic action) vs. subaerial and weathering (physical, chemical and biological weathering and mass movements) is overthrust by the analysis of the temporal and influence on landform of each process. At s'Alavern denudation rates obtai-

ned through laser scanner and MEM range from 0.004 to 0.310, bioerosion mean rates by small snails (*Melaraphe neritoides*) or limpets (mainly *Patella rustica*) are respectively of 0.007 and 0.369. On the other hand, exposition tests offer erosion rates from 0.18 to 0.50 according to their position across the shore platform. Sediment traps inform us about granular disintegration close to 0.117 triggered by rainfall episodes, seabreezes and winds. Finally, mass movement can imply from cliff wall falls of 40 m<sup>3</sup> to shore rock platform fragments detachment of 0.86 to 10 m<sup>3</sup>. All these erosion rates represented in a frequency vs. magnitude graph help to build a negative vector that point up that the debate on the main role of marine vs. subaerial processes is an artefact because much of the arguments of authors correspond to their position on temporal and spatial scale analysis. Also this vector, relating frequency and magnitude, can help rock coast geomorphologists to link the morphodynamical approach to the evolution approach to the rock coast.

**Keywords:** *erosion rates, rock coasts, marine processes, terrestrial processes.*

Lluís GÓMEZ-PUJOL i Joan J. FORNÓS, *Departament de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears, Cra. Váldemossa, km 7.5, 07122 Palma (Illes Balears); Pau BALAGUER, IMEDEA (CSIC-UIB), Institut Mediterrani d'Estudis Avançats, Miquel Marquès 21, 07190 Esporles (Illes Balears)*

## Introducció

L'estudi dinàmic de les costes rocoses consisteix a identificar els processos i agents de meteorització i erosió; així com quantificar-ne la seva contribució en la formació del relleu. Ara bé, la caracterització dels agents d'alteració i l'erosió sobre substrats rocosos topa amb entrebancs de tipus metodològic i instrumental. En primer lloc existeix certa dificultat per tal de discernir entre els elements del binomi alteració-erosió, de forma intel·ligible, en els processos geomòrfics que operen a les situacions reals; no teòriques (Goudie i Viles, 1999). Aquesta situació respon al fet que l'alteració consisteix en un gran nombre de mecanismes, sovint interrelacionats i encara poc compresos, que contribueixen a l'alteració de la roca. Molts, per no dir bona part dels processos de meteorització -meteorització per sals, per radiació tèrmica, canvis en la fase de l'aigua, etc- i en especial aquells en els quals juga un paper important la biologia, se coneixen en estructura de caixa negra. És a dir, partim de l'estadi inicial i n' intuïm la situació final que se'n deriva; però no sabem ben bé, o de forma instru-

mental, com s'ha produït l'alteració del substrat (Viles, 2004). Fet al qual s'ha d'afegir que molts processos s'han inferit a partir de les formes i aquestes no són sempre un indicador prou sòlid dels processos i la seva importància relativa en els ambients litorals (Trenhaile, 1987; Spencer, 1988 i Stephenson, 2000). Així mateix, també juguen el seu paper en aquesta distorsió les velocitats a les quals els mecanismes de meteorització actuen i la seva materialització com a retrocés o desmanegament de la costa. En efecte, l'alteració desenvolupa un doble paper en l'evolució del relleu: d'una banda hi ha mecanismes d'alteració l'efectivitat dels quals en termes de disgregació del rocam destaca a escales temporals curtes, mentre que d'altres tenen transcendència en escales temporals i espacials llargues (de Boer, 1992). Un exemple prou evident són els treballs d' Spencer (1981) a la costa de l' Illa de Grand Cayman. Les calcarenites que estudia es desmantellen per desintegració granular. Els agents de meteorització ataquen el ciment que uneix el grans fins que queden solts. Però en termes de canvis en la microtopografia, aquests estan relacionats amb esdeveniments climàtics com les tempestes

o els forts vents. Per si no n'hi havia prou, s'afegeix la complexitat espacial en el sentit de les dificultats que cal considerar quan es pretén relacionar l'escala a la qual s'observa un mecanisme de meteorització o un procés erosiu i l'escala en la qual aquest opera i com afecta, tot plegat, a la formació de relleu (Viles, 2001).

Hom agrupa els processos que actuen a les costes rocoses en cinc grans grups, tot i que a vegades no sigui senzill discernir on comença l'acció d'un o on acaba la de l'altre, o les sinèrgies que es donen entre ells (Griggs i Trenhailes, 1994; Woodroffe, 2003). Aquests són l'acció hidràulica, l'acció mecànica, l'acció físico-química, l'acció biològica i l'acció gravitatòria de més a més d'altres processos propis dels vessants subaeris.

Les forces hidràuliques produïdes per l'onatge inclouen la pressió hidrostàtica, relacionada amb la massa d'aigua, i les pressions dinàmiques relacionades amb el moviment de l'aigua. La pressió hidrostàtica s'exerceix per la columna d'aigua que hi ha sobre una superfície de roca submergida i augmenta així com ho fa la profunditat. Així a la costa hi ha superfícies de roca que romanen tot el temps submergides, però d'altres que experimenten la pressió hidrostàtica de forma alterna; de manera que aquest joc de càrrega i descàrrega de la superfície rocosa pot contribuir al seu debilitament (Trenhaile, 1987). La pressió dinàmica com a agent de la meteorització-erosió de les costes rocoses involucra a les forces de tensió i fricció de l'aigua amb la roca i amb el material solt. L'acció d'impacte continuat sobre la façana del penya-segat amb onatges de tipus estacionari -clapoteig- es coneix com a martelleig o impacte hidràulic (*water hammer*), aquest procés també actua en situacions de rompent; tot i que en un segon terme després de l'abració hidràulica o aquàtica (*wave quarrying*) que es produeix arran de les for-

ces de compressió, fricció i tensió que exerceix el moviment de l'aigua. Sunamura (1982) mitjançant simulacions de laboratori posa de manifest que l'acció de l'onatge, per ell mateix és baix i que la capacitat erosiva augmenta -com a mínim el doble- si implica transport de material. És a dir, facilita els processos d'erosió mecànica. Les dades empíriques de Blackmore i Hewson (1984) apunten en la mateixa línia, si bé destaquen que com més turbulent sigui l'onatge se redueix la pressió del seu impacte sobre la roca arran de la gran quantitat d'aire capturat dins la massa d'aigua; o bé que la distribució de la pressió mitjana en la vertical de la rompent és més o menys constant. A les forces estrictament hidràuliques cal confegir les pneumàtiques derivades de la interacció entre aigua i aire, especialment a esquerdes, canals i conductes amb grans efectes sobre les comunitats biològiques (Gaylord, 1999) o en el desmatellament de fragments de roca de mida variable, a la seva vegada afavorit pel diaclassament o la presència d'esquerdes (Noormets *et al.*, 2004; Trenhaile i Layzell, 1981); o els efectes del col·lapse de la bombolles d'aire a gran pressió que es coneix com a cavitació i al que se li suposa una acció de desgast de la roca de caràcter físic i també químic (Kaye, 1957).

L'acció mecànica la duu a terme l'onatge quan carrega o desplaça material sedimentari; aquesta inclou els processos d'abració i d'atrició marines. L'abració marina és l'erosió de la roca causada pel frec i el xoc pels materials transportats per les ones (Jones i Williams, 1991); mentre que l'atrició marina és el procés pel qual les partícules de sediment colpejant la roca i arran de l'impacte la fragmenten (Williams i Roberts, 1995). La comparació de les taxes d'erosió entre costes rocoses (penya-segats i plataformes litorals) amb presència de materials susceptible d'actuar com a agents ero-



sius (e.g. arenes i graves de platja) posa de manifest la importància de l'acció mecànica. Així a la costa oriental d'Anglaterra Robinson (1977) posa de manifest que les taxes d'erosió sobre un substrat de turbidites liàssiques és quinze vegades major a les localitats amb disponibilitat de sediment, que no allà on no apareixen platges. En la mateixa línia apunten els resultats de Trudgill (1976) tot i que amb ordres de magnitud menors, d'1/4 per a les costes rocoses de l'illa oceànica d'Aldabra desenvolupades sobre calcarenites força més dures.

Els processos físics i químics relacionats amb l'aigua marina queden sota l'epígraf d'acció físico-química. Són molts els processos d'alteració que actuen sobre el rocam a la costa, i no sempre en tenim un coneixement ni complet, ni prou sòlid. De més a més, sovint estan tan interrelacionats que costa destriar-los (Bland i Rolls, 1998). La meteorització per l'acció de l'aigua a baixes temperatures és un clàssic a latituds on les temperatures fluctuen amb freqüència per sobre i per sota del punt de congelació. L'aigua pot augmentar un 9% el seu volum quan es congela, generant una acció de fatiga de la roca que pot arribar a donar taxes d'erosió de 0,3 a 2,5 mm/a (Hall, 1988). La meteorització per sals és un dels processos més recurrents a les costes rocoses (Goudie i Viles, 1997) i té el seu origen en el creixement de cristalls de sals a partir de les solucions que circulen per les esquerdes o saturen la porositat de la roca. Són molts els factors que hi intervenen des dels canvis en els paràmetres ambientals com la temperatura (Goudie, 1994) o la humitat (Goudie, 2000), tot augmentant les dimensions dels cristalls i la pressió que exerceixen sobre la porositat de la roca. Mottershead (1989) dona taxes d'erosió relacionades amb l'aportació de sals pel ruixim marí de l'ordre de 0,6 mm/a. Un altre procés d'alteració física fa referèn-

cia a la humidificació i dessecació de la superfície de les roques arran dels cicles mareals, curts períodes de pluja o temporals. És especialment significativa sobre minerals argilosos o roques amb una porositat baixa; i està interrelacionat amb la meteorització per sals (Hall i Hall, 1996). L'alteració per humidificació i dessecació s'empra tot sovint com argument de la meteorització de les costes rocoses, tot i que no hi ha cap evidència empírica de la seva efectivitat sobre substrats més o menys durs (Stephenson i Kirk, 2000b). Entre els processos químics hom en destaca la hidratació, la dissolució, la carbonatació, la hidròlisi així com els processos d'oxidació i reducció. Pel que toca a les costes rocoses trobam pocs treballs que analitzin o intentin caracteritzar instrumentalment els processos químics d'alteració. De la mateixa manera com passava amb alguns processos físics, aquests s'expliquen o s'interpreten des d'una estructura conceptual de caixa negra. Tal vegada la carbonatació és un dels processos que agrupa més estudis, especialment a partir de l'impuls dels estudis del micromodelat de les costes rocoses carbonatades (Lundberg, en premsa). La carbonatació està relacionada amb els efectes del diòxid de carboni (CO<sub>2</sub>) present en solucions aquoses i que interacciona amb el carbonat càlcic en un conjunt de reaccions reversibles en funció de la saturació respecte CO<sub>2</sub> o CaCO<sub>3</sub>. En principi l'aigua de mar està sobresaturada de carbonat càlcic (Trudgill, 1985) pel que no té capacitat de dissoldre la roca; no obstant si que té capacitat agressiva pel que toca al Mg (Trugill, 1979).

L'acció biològica fa referència a la influència dels organismes en l'alteració, erosió i forma de la costa rocosa. Aquesta acció pot tenir diferents signes pel que hom parla de bioerosió, bioprotecció i bioconstrucció (Naylor *et al.*, 2002) tant per als pro-

cessos de tipus bioquímics com per als bio-mecànics. Alguns organismes poden entapissar -rodofícies, crustacis filtradors, esculls de bivalves- la superfície de la costa i protegir-la de l'acció mecànica i de la hidràulica; d'altres arran del seu comportament etològic agraten la roca per tal d'obtenir el seu aliment o bé n'ataquen la superfície amb àcids orgànics (Andrews i Williams, 2000; McLean, 1967). També hi ha organismes que tenen el seu nínxol ecològic a la roca i per tal de protegir-se dels depredadors o arran el seu creixement alteren la roca (Pohl i Schneider, 2002; Viles, 1987).

Finalment cal esmentar l'acció dels processos subaeris i de vessant. Aquells que desenvolupen la seva acció als penya-segats i plataformes litorals abracen des de la caiguda de petits fragments de roca o la reptació dels vessants fins als grans moviments de masses. Els processos subaeris que operen a les costes estan relacionats amb l'aportació d'aigua de precipitació i d'escolament. De fet bona part dels moviments de masses semblen ser la resposta a la càrrega

hidràulica de la roca (Duperret et al., 2002) mediatitzada per l'estructura i el diaclasmament de la roca (Blanco, 2001; Dibb et al., 1983; Jones i Williams, 1991). Cal posar de manifest que tant l'aigua d'escolament, com la de precipitació també juga un paper important pel que fa als mecanismes d'alteració físico-química.

Un dels debats encara vigents entre les diferents escoles que aborden la morfodinàmica de les costes rocoses és el de la preponderància dels processos de meteorització subaeris i/o físico-químics-biològics sobre l'acció hidràulica i viceversa (Trenhaile, 2002; Stephenson i Kirk, 2000a; Stephenson i Brander, 2003). Així doncs el present treball pretén avaluar el paper dels processos subaeris i de meteorització, respecte els hidràulics i mecànics als penya-segats carbonatats meridionals de Mallorca.

## Àrea d'estudi

La costa a s'Alavern destaca per la presència d'una línia contínua de penya-

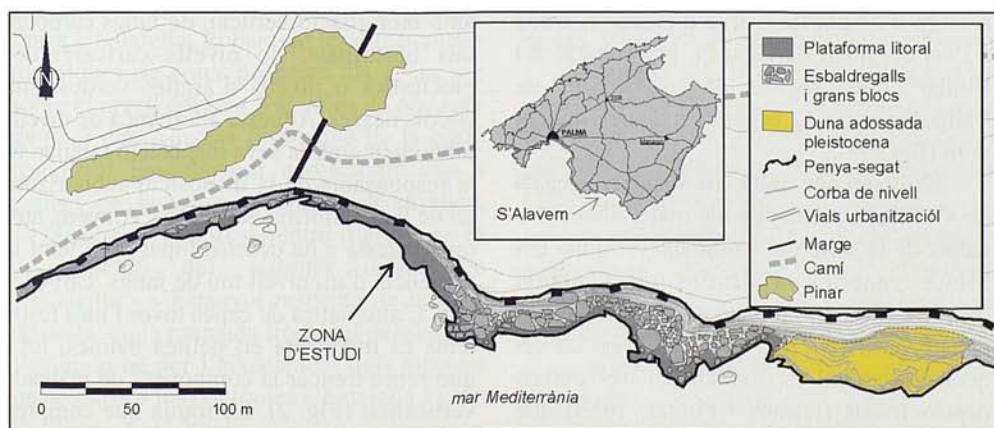


Fig. 1. Croquis geomorfològic de s'Alavern.  
Fig. 1. Geomorphological sketch of s'Alavern.



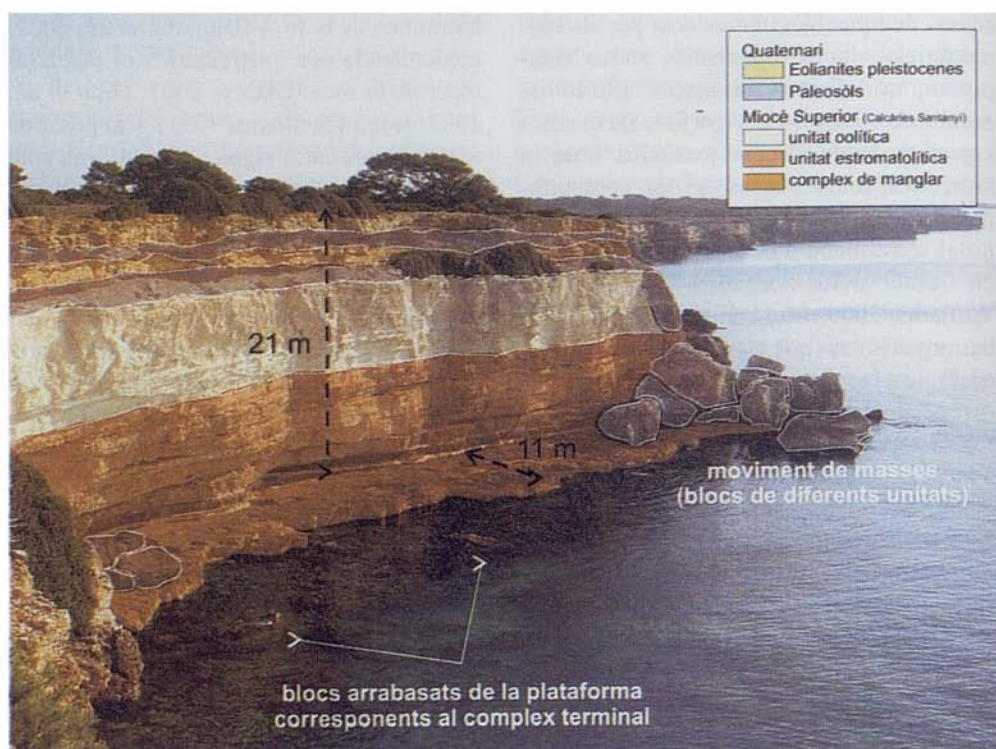


Fig. 2. Croquis geològic de s'Alavern.  
Fig. 2. Geological sketch of s'Alavern.

segats verticals de 15 a 20 m d'alçària que descansen sobre una plataforma litoral de 3 a 10 m d'amplària. L'àrea d'estudi es troba a l'est del nucli de Cala Pi, just a tocar del llindar que separa la possessió de Vallgornera de la urbanització del mateix nom (Fig.1).

El rocam que dona cos als penya-segats de s'Alavern correspon als materials carbonatats de la sèrie del Complex Terminal del Miocè superior -Calcàries de Santanyí (Fornós, 1983)- així com a les eolianites pleistocenes (Nielsen *et al.*, 2004). La seqüència general es divideix en tres unitats deposicionals (Fornós i Pomar, 1983) que de base a sostre són: el Complex de Manglar, que a la zona d'estudi, s'alça a prop de 8 m des del nivell marí. És un nivell

poc uniforme i l'integren diferents nivells d'estructura tabular bé de biocalcarenites amb bioturbació vertical, de fangs carbonatats bioturbats, de nivells calcarenítics bioclàstics o nivells d'argiles verdes amb còdols negres. Aquesta alternança de nivells juntament amb la seva disposició tabular, és la responsable de la disposició subhoritzontal de la plataforma litoral de s'Alavern, atès que aquesta s'ha desenvolupat aprofitant la presència d'un nivell tou de fangs carbonatats. L'alternança de capes toves i més resistents es manifesta en petites balmes, tot i que sense trencar la component de marcada verticalitat (Fig. 2). La franja que comprèn dels 8 als 11 m snm correspon als materials de la següent unitat, l'Estromatolítica Inferior, sobre els quals amb una potència

que oscil·la des dels 13 als 16 snm tenim els materials de la Unitat Oolítica; unes biocalcarenites amb abundants estructures de corrent d'aparença cohesiva que accentuen la verticalitat dels penya-segats. Sobre elles i després d'un contacte erosiu topam amb la seqüència alternant de paleosòls i nivells dunars del Pleistocè mitjà (Cuerda, 1975; Nielsen *et al.*, 2004). Són abundants, encara que d'extensió reduïda, els exemples de dunes adossades als penya-segats que fossilitzen antigues posicions d'aquests o de la pròpia plataforma litoral que apareix activa a d'altres indrets. Aquestes dunes, probablement, podrien correspondre al Pleistocè Superior atenent a criteris de context (Clemmensen *et al.*, 2001). Aquest fet, juntament amb la presència de marmites fossilitzades a les plataformes antigues, apunta cap a la conclusió que les plataformes litorals de s'Alavern són formes heretades que han estat reactivades per l'actual nivell marí.

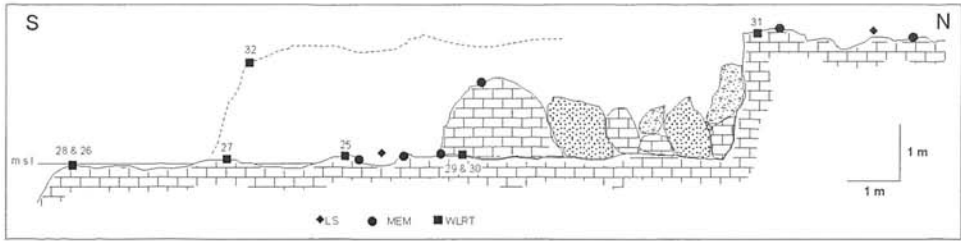
La línia de costa de s'Alavern és força rectilínia, quasi bé controlada exclusivament per fractures de direcció de 058° que sols queden articulades per una segona família de fractures de menys importància amb 137° de direcció mitjana. L'alçària del penya-segat disminueix des de Vallgornera fins a s'Estalella, trobant-se les dunes pleistocèniques de cotes properes als 15 m per sobre el nivell del mar a alçàries de poc més de pocs cm. Aquesta disposició de la costa respon al basculament neotectònic cap a ponent de la zona (Servera i Rodríguez, 1998) que es manifesta entre d'altres en la desconnexió del sistema dunar de s'Estalella - s'Estanyol respecte de la línia de costa; en la marcada linealitat dels cursos fluvials o bé per l'aixecament dels dipòsits quaternaris a les contrades s'Estalella i Cala Pi (Zazo *et al.*, 2003).

Pel que fa als agents climàtics, les temperatures mitjanes són de l'ordre de 17,5°C

i les precipitació anual de 700 mm (Guijarro, 1986). Durant els mesos freds les temperatures mitjanes no són inferiors als 7,4°C, mentre que els més calorosos arriben a mitjanes de 30,2°C. Pel que fa a les condicions marines es tracta d'un ambient relativament tranquil amb alçària d'onada significativa de l'ordre de 0,73 m, tot i que els paràmetres més freqüents de 0 o 0,5 m. Això no obstant, durant els temporals, amb direccions de propagació habituals de SW i SE, l'alçària màxima d'ona pot arribar als 5,12 m a mar oberta.

## Mètode

El treball desenvolupat als penya-segats de s'Alavern integra des de tècniques instrumentals per a la monitorització de la denudació del rocam, tests d'exposició, trampes de sediments, càlcul de la magnitud de la bioerosió i la quantificació de la tipologia i els volums de roca mobilitzats en els moviments de masses (Fig. 3). Els principis operatius de les tècniques instrumentals utilitzades es troben descrits a Gómez-Pujol *et al.* (2002c); es tracta de la monitorització de la denudació de la roca mitjançant el micròmetre d'erosió de dial fix (High i Hanna, 1970) en intervals d'1 a 1,5 m al llarg d'un perfil transversal de la plataforma litoral durant un any i mig. També s'han monitoritzat dues superfícies de 400 cm<sup>2</sup> mitjançant l'escàner làser (Swantesson, 1994) i el càlcul de les diferències de microtopografia entre aixecaments successius de la mateixa superfície. Els tests d'exposició (*weight-loss rock tablets*) consisteixen en sotmetre una peça de roca a un determinat ambient dinàmic, la diferència en pes de la peça de roca n'indica l'ordre de magnitud dels processos (Moses, 2000). A la zona d'estudi s'han exposat un total de 105 pastilles de 20 mm



**Fig. 3.** Dispositiu de mostreig a s'Alavern. LS: escàner làser; MEM: micròmetre d'erosió; WLRT: tests d'exposició

**Fig. 3.** *Sampling desing at s'Alavern: LS: laser scanner; MEM: micro-erosion meter; WLRT: weight-loss exposition tests*

de diàmetre i 5 mm d'alçària; la roca utilitzada és la mateixa que constitueix la plataforma litoral, una biocalcarenita amb un elevat grau de micritització i una porositat intergranular parcialment ocupada per cristalls de calcita amb un contingut en carbonats del 70% i una porositat del 28% (Gómez-Pujol i Fornós, 2004). Les pastilles s'han ubicat protegides per una xarxa de niló, amb un ordit de 63  $\mu$ m, i subjectades per una placa de PVC al llarg d'un perfil perpendicular a la mar i amb dispositius de 15 pastilles en intervals de 2 a 3 metres. Per al càlcul de la desintegració granular contínua s'han utilitzat trampes de sediment per gravetat. Es tracta de recipients col·locats al peu dels penya-segats als quals s'associa una superfície del penya-segat i a partir de la qual es relaciona el pes del sediment acumulat al recipient per tal d'obtenir-ne taxes de retrocés. La funció utilitzada, així com la justificació de la seva expressió matemàtica es troben descrites a Balaguer i Fornós (2003). Els moviments de masses o despreniment de fragments de roca s'han calculat a partir dels eixos màxims dels blocs caiguts dels penya-segats o de les cicatrius que han deixat tant a la façana del penya-segat com al límit exterior de la plataforma. Es prenen en consideració criteris com la densitat de la roca, o el volum de porositat del con de

derrubis per tal d'establir-ne les taxes d'erosió que ens permetin comparar-ho amb els altres processos (Balaguer *et al.*, 2002; Lahousse i Pierre, 2003). Finalment, el càlcul de les taxes relacionades amb l'activitat dels organismes -bioerosió- s'han centrat en els gasteròpodes perquè són els més abundants a la zona d'estudi, i s'han obtingut a partir del recompte de les densitats dels organismes al llarg del perfil, la zonació d'aquest i l'obtenció d'una mostra representativa d'individus per a cada una de les zones i el càlcul del contingut lític de les seves restes fecals d'acord amb Torunski (1979) i Gómez-Pujol *et al.* (2000b).

## Resultats

### *Taxes de denudació*

Les taxes d'erosió relatives a la denudació general de la plataforma litoral són poc significatives en el sentit que els ordres de magnitud resultant són propers a la pròpia font d'error del MEM (Stephenson i Kirk, 1996), de més a més s'observa com la desviació estàndard entre les tres lectures del MEM augmenta així com és més rugosa la superfície de la roca. De mar cap a terra les taxes de denudació (Taula 1) no canvien gaire i s'han d'interpretar amb precaució.



	Distància al mar (m)	Taxa erosió (mm any <sup>-1</sup> )	Zonació biològica	Zonació hidrodinàmica	Observacions
MEM 1	1,50	n.a.	A	batuda	Afectat per blocs caiguts
MEM 2	3,07	- 0,0036	A	batuda	
MEM 3	4,01	+ 0,0002	B	esquits	
MEM 4	4,92	- 0,0035	C	ruixim	
MEM 5	8,76	- 0,0008	C	ruixim	
MEM 6	11,84	+ 0,0032	C	ruixim	
LS 1	4,00	- 0,310	B	esquixs	Presència gasteròpodes
LS 2	10,50	- 0,250	C	ruixim	

**Taula 1.** Taxes d'erosió obtingudes mitjançant micròmetre (MEM) i escàner làser (LS) a S'Alavern.

**Table 1.** Micro-erosion meter (MEM) and laser scanner (LS) erosion rates at s'Alavern.

L'erosió tant al domini de batuda com al d'esquits és de l'ordre de 0,0035 mm/a, mentre que a la zona d'abast del ruixim hi tenim des de taxes d'erosió nul·les, 0,0008 mm/a i per sota de l'interval de confiança instrumental, fins a increments -moviment en positiu- de la superfície equivalents a les taxes de denudació. Aquest fet s'ha identificat a d'altres ambients litorals (Mottershead, 1989; Stephenson i Kirk, 2001) i es coneix com a bombament de la superfície rocosa o variacions de microtopografia (Gómez-Pujol et al., en premsa); tot i que no es té un coneixement prou exhaustiu del que succeeix sovint s'atribueix aquesta fluctuació de superfície als fenòmens tèrmics de contracció i expansió de la roca, la variació de volum de les sals o al creixement de biofilms sobre i sota els primers mil·límetres de la superfície de la roca. Les taxes de denudació calculades mitjançant l'escàner làser ofereixen uns valors força més grans; així per a la superfície escanejada localitzada a la zona d'esquits la taxa és de 0,310 mm/a, mentre que la superfície de la zona afectada sols pel ruixim és de 0,250 mm/a (Swantesson et al., en premsa). La representació grà-

fica de les diferències entre les successives microtopografies, posa de manifest la dispersió dels punts on s'ha produït l'erosió arran de la superfície. Aquest patró sembla estar relacionat amb la naturalesa eogenètica de les roques carbonatades, principalment miocenes i quaternàries. Les estructures i fàcies sedimentàries, així com el grau de porositat faciliten aquest tipus de patró erosiu poc definit (Taborossi et al., 2004).

#### Taxes de bioerosió

A la zona d'estudi sols s'ha calculat la taxa d'erosió relativa als dos gasteròpodes majoritaris, *Melaraphe neritoides* i *Patella* sp., principalment *P. rustica*, encara que també abunden els exemplars de *P. ullysiponensis*. Aquests organismes es distribueixen de manera desigual al llarg del perfil d'estudi. Així a la zona més terrestre del perfil, aquella afectada pel ruixim, hi trobam entre 290 i 350 individus de *Melaraphe neritoides* per m<sup>2</sup>, amb una densitat més elevada durant la primavera i l'hivern (Taula 2). Ben important és la presència d'aquest petit gasteròpode a la zona afecta pels esquits de l'onatge on s'arriben a comptar densitats mitjaneres de

Zonació biològica	Densitat <i>Melaraphe neritoides</i> (ind m <sup>-2</sup> )				Taxes d'erosió (mm any <sup>-1</sup> )				Mitjana mm any <sup>-1</sup>
	Primavera	Estiu	Tardor	Hivern	Primavera	Estiu	Tardor	Hivern	
A	195	183	113	192	0,0002	0,0002	0,0001	0,0002	0,0008
B	1903	1379	1522	1015	0,0029	0,0019	0,0019	0,0019	0,0085
C	345	293	335	348	0,0004	0,0001	0,0005	0,0006	0,0004

**Taula 2.** Densitat de *Melaraphe neritoides* i taxes d'erosió associades a S'Alavern.

**Table 2.** *Melaraphe neritoides* abundance and erosion rates at s'Alavern.

Zonació biològica	Densitat <i>Melaraphe neritoides</i> (ind m <sup>-2</sup> )				Taxes d'erosió (mm any <sup>-1</sup> )				Mitjana mm any <sup>-1</sup>
	Primavera	Estiu	Tardor	Hivern	Primavera	Estiu	Tardor	Hivern	
A	183	151	126	150	0,107	0,074	0,100	0,088	0,369

**Taula 3.** Densitat de *Patella* sp. i taxes d'erosió associades a S'Alavern.

*Table 3.* *Patella* sp. abundance and erosion rates at s'Alavern.

1000 a 2000 exemplars per m<sup>2</sup>. A la zona de batuda els exemplars de *M. neritoides* disminueixen la seva presència dramàticament fins al centenar d'individus, mentre el grup de les *Patella* sp. apareix amb nivells de 125 a 200 individus per m<sup>2</sup> (Taula 3). Aquesta distribució que respon a la forma del perfil de costa i a la humedificació per l'onatge que la forma de la costa implica (Palmer *et al.*, 2003) té una important transcendència pel que toca a les taxes d'erosió de la plataforma litoral. Així, a la zona de batuda les taxes de bioerosió de *Patella* sp. són de l'ordre de 0,369 mm/a i les de *M. neritoides* de 0,001 mm/a; ja a la zona d'esquits les taxes mitjanes d'erosió de *M. neritoides* són de 0,008 mm/a i a la zona de ruixim de 0,005 mm/a (Taula 2 i 3).

#### Taxes d'erosió per tests d'exposició

A s'Alavern les diferències de volum de les peces de roca exposades durant un any tenen valors mitjans de 0,25 mm/a; tot i que el rang fluctua de 0,004 mm/a a 0,765 mm/a. Des del contacte mar-terra s'observa una disminució de les taxes d'erosió; així les taxes registrades a la zona més propera a la mar donen valors de 0,450 mm/a, mentre que aquelles que es troben quasi bé al peu del penya-segat són de l'orde d'una tercera

o quarta part menors, amb valors mitjans de 0,180 mm/a (Taula 4).

#### Taxes d'erosió per desintegració granular

Les taxes mitjanes d'erosió de la façana dels penya-segats expressades com el retrocés lineal homogeni de la façana del penya-segat a partir de la distribució del sediment capturat a cada trampa en funció de la seva àrea de captura ens presenten taxes que oscil·len entre 0,009 mm/a i 0,248 mm/a, situant-se les taxes d'erosió mitjanes en 0,080 mm/a. Les taxes màximes de retrocés es registren durant els intervals temporals on augmenta la mitjana o bé la intensitat de les precipitacions (Fig. 4). El material recollit a les trampes de sediment de s'Alavern és de textura grollera, grànuls i palets de forma laminar i aparença angulosa, tot i que també hi ha una component considerable de materials fins. De fet, aquesta dicotomia respon a l'alternança i tipologia de materials que componen els penya-segats. Mentre les calcarenites aboquen la major part dels elements grollers, els paleosòls que queden entre els nivells d'eolianites pleistocenes constitueixen l'aportació principal de fins ja que tenen un color vermellós característic que en permet fer-ne l'assignació en aquestes unitats del penya-segat.

Distància al mar	0 a 2 m	2 a 4 m	4 a 6 m	6 a 8 m	8 a 10 m
Taxa mitjana (mm any <sup>-1</sup> )	0,4957	0,1753	0,2470	0,2143	0,1808
Taxa mínima (mm any <sup>-1</sup> )	0,2892	0,0380	0,0188	0,0731	0,0827
Taxa màxima (mm any <sup>-1</sup> )	0,7658	0,7156	0,3813	0,4796	0,2482

**Taula 4.** Taxes de meteorització obtingudes mitjançant tests d'exposició a S'Alavern.

*Table 4.* Weight-loss exposition tests (WLT) erosion rates at s'Alavern.

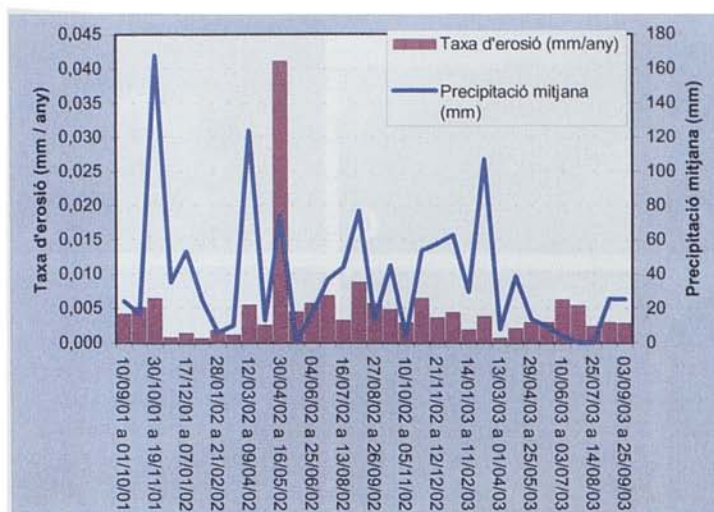


Fig. 4. Relació entre desintegració granular i precipitacions intenses a s'Alavern.

Fig. 4. Relationship between granular desintegration and intense rainfalls at s'Alavern.

### Taxes relacionades amb l'acció mecànica de l'aigua

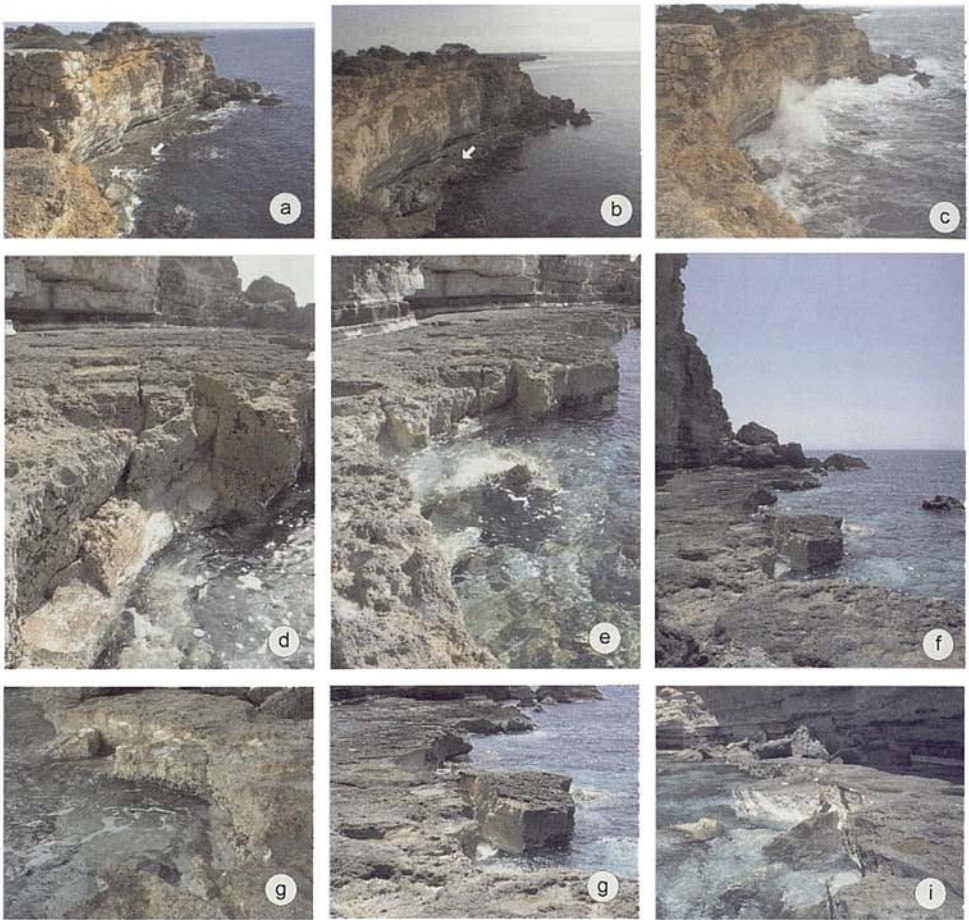
La visita periòdica als penya-segats de s'Alavern ha permès comprovar l'acció de dinàmica marina. Durant la darrera setmana de febrer i primera de març del 2002 es succeïren varis episodis de mar grossa que es traduïren a la línia de costa amb varies mossegades d'entre 8 i 16 m<sup>3</sup>. Amb posterioritat s'han anat arrabassant altres blocs, alguns de dimensions ben considerables com el del mes de maig de 2003 que suposa un volum de 35 m<sup>3</sup> (Fig. 5). Les mossegades i l'arrabassament de blocs té un marcat control estructural. D'una banda l'onatge aprofita les línies de contacte entre capes desenvolupant un *notch*. Mentre que la component vertical, que determina la forma dels blocs arrabassats que queden just sota el cantell exterior de la plataforma litoral, ve condicionada per un joc de diaclasi de 058° i 137°.

### Moviment de masses

El mes de desembre de 2001 a s'Alavern es produí una caiguda de blocs que afectà a 40 m<sup>3</sup> de materials procedents dels nivells superiors quaternaris de la sèrie

del penya-segat (paleosòls, encrostaments i dunes). Tres sistemes de fractures amb direccions mitjanes de 058°, 003° i 137° estan implicades en el col·lapse i afavoreixen la inestabilització d'aquells blocs de roca que estan en voladís arran de l'erosió dels paleosòls més tous i per tant menys resistents que els encrostaments i les eolianites fòssils. L'erosió diferencial, doncs, afavoreix la inestabilització dels blocs. Les precipitacions tenen un paper important com a catalitzadors de la inestabilització dels vessants. Els valors de precipitació mitjana de s'Alavern són de 342 mm (Guijarro, 1986) però la mitjana per a l'any 2001 ha incrementat fins a 458 mm, prop de 100 mm més. Però això no és tot, cal observar que sols entre novembre i desembre de 2001s'ha recollit el 43% de les precipitacions de tot l'any, i per tant en pocs mesos s'ha incrementat sobtadament la càrrega hidràulica de la roca. Només en tres mesos, els blocs que havien caigut de la façana del penya-segat sobre la plataforma han estat rentats per l'acció marina i les evidències de desplaçament per tracció dels blocs sobre la plataforma són ben minses.





**Fig. 5.** Moviments de massa i blocs arrasats a s'Alavern. a) març 2002; b) desembre 2004; c) temporal del gener de 2003; d, g, i) detall de les cicatrius dels blocs arrasats; e i f) trencament i desplaçament d'un fragment de plataforma de grans dimensions. Imatges corresponent al març de 2002 i el juny de 2004.

**Fig. 5.** Mass movements and rock detachment at s'Alavern shore platforms. a) march 2002; b) december 2004; c) sea storm during January 2003; d, g, i) detached rock platform fragments and scars details. e and f) Detachment of a big rock platform fragment. Images correspond to march 2002 and july 2004.

## Discussió

La representació gràfica que relaciona la magnitud de les taxes d'erosió i la freqüència amb què els processos i agents que les causen actuen sobre el rocam litoral (Fig. 6) posa de manifest l'existència d'un gradient, una jerarquia pel que toca a l'aportació en el desmantellament de la línia de

costa a s'Alavern. Aquelles taxes d'erosió relacionades amb els processos fisico-químics, l'acció biològica o els canvis de microtopografia suposen ordres de magnitud en les taxes d'erosió que poden arribar a ser cent, mil o milions de vegades més petits que no aquells que es deriven de l'acció hidràulica o els moviments de masses. No obstant, aquest gradient s'inverteix en el

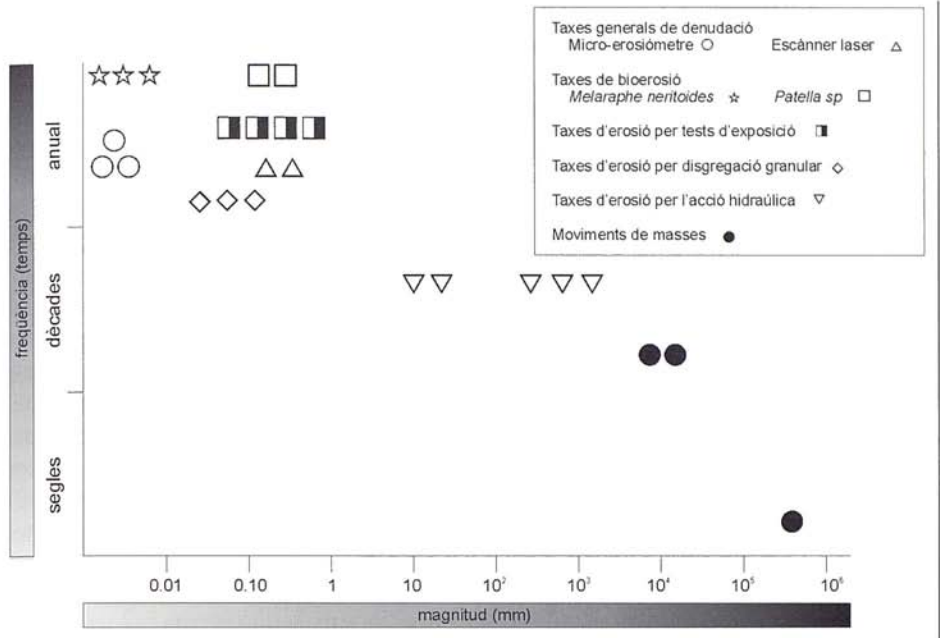


Fig. 6. Freqüència i magnitud en la morfodinàmica de les costes rocoses.

Fig. 6. Frequency and magnitude in rock coast morphodynamics.

vector temporal. Els processos i agents d'alteració i erosió físico-químics o biològics actuen a una escala diària, sinó d'hores (Stephenson *et al.*, 2004), i el rentat del material que disgreguen bé per les pluges, bé per l'acció del vent o del propi onatge es tradueix en una taxa d'erosió (Balaguer i Fornós, 2003; Woodroffe, 2003). Diferent és el que passa amb els moviments de masses o l'arrabassament de blocs per l'acció hidràulica les escales temporals dels quals són més amples, i la distància entre episodis relativament llarga, d'anys, dècades o segles i que estan relacionats amb la ciclicitat i recurrència de fenòmens climàtics (Viles i Goudie, 2003). Des de 1998 els autors monitoritzen la costa meridional mallorquina i són pocs els moviments de masses inventariats (Balaguer *et al.*, 2002); en el cas de s'Alavern tant els moviments de masses com l'acció hidràulica alliberen materials

fins que el volum de roca alterada o el pla de fractura queden completament desmantellats i exposat el rocam fresc als processos i agents de meteorització que actuen amb major freqüència i que impliquen la remonició de volums de material discrets. En termes d'ecologia podríem parlar d'un període de reixtàsia molt acotat en el temps i separat per llargs períodes biostàtics (Brundsen, 2002). En aquest sentit també apunten els treballs de Lahousse *et al.* (2003a i 2003b) on a medis semblants identifiquen intervals entre els moviments de masses generalitzats de prop de vint-trenta anys. Així doncs ens trobam davant dos grups d'agents i processos en el binomi alteració-erosió: aquells que operen de forma contínua però que suposen l'alliberament de quantitats petites de material o un retrocés de la costa discret; front a d'altres grups d'agents i processos que operen d'una forma discontinua però



que per contra són més efectius en el retrocés de la costa. Fet i fet, ens trobam amb dues sèries temporals d'erosió superposades de període i longitud diferents. La de menor amplitud i període -alteració físico-química, biològica, etc.- com que és induïda pel rentat constant de la superfície de la roca no es troba quasi mai en una situació d'equilibri i podríem parlar d'una rexistàsia ininterrompuda; mentre que els moviments de masses que representarien la sèrie temporal de major amplitud i longitud pateix episodis de biostàsia ben definits, com succeeix en d'altres medis on l'alteració-erosió disminueix en funció de la variable temps (Colman, 1981).

La consideració de les variables de freqüència i magnitud en les taxes calculades ens ajuda a plantejar el debat entorn l'acció predominant de l'acció de l'onatge i de la meteorització a les costes rocoses. Aquest debat que ha centrat bona part de les discrepàncies dels geomorfòlegs (Stephenson, 2000; Trenhaile, 2002) apareix aquí com un artefacte en el sentit en què la preponderància d'un o altre depèn de la posició de l'investigador en l'escala temporal i la resolució dels estudis. El desplaçament en el vector negatiu que indica la Fig. 6 ens marca la transició des de la perspectiva dinàmica a l'evolutiva en l'estudi de les costes rocoses. Tot i que aproximacions de tipus evolutiu per al cas de la costa rocosa meridional de Mallorca atorguen als moviments de masses i la desintegració granular un paper suficient per explicar el retrocés de la costa (Fornós *et al.*, 2005), també és cert que aquests no es poden deslligar de la influència de l'onatge o de processos com els de bioerosió i/o bioprotecció. Més encara quan els estudis recents posen de manifest la necessitat d'entendre les costes com a ecosistemes (geosistemes) complexos amb relacions multicausals i multidireccionals entre els seus com-

ponents, especialment a les costes carbonatades (Gómez-Pujol i Fornós, 2004a; Naylor *et al.*, 2002; Viles *et al.*, 2000)

Un altre fet que cal posar de manifest arran dels resultats obtinguts a s'Alavern és la dificultat per integrar els resultats obtinguts mitjançant diferents tècniques i el seu significat real. Aquest problema no és nou (Trudgill, 1977) i arrenca de les diferents tècniques emprades, del seu grau de resolució i error i d'allò que realment permeten avaluar. Així les taxes obtingudes amb el MEM són realment baixes i properes al límit de confiança de l'error instrumental. El MEM, ateses les seves característiques i limitacions, només mesura tres punts d'alçària relativa i preferentment a superfícies planes. Per tant queden excloses del mostreig esquerdes, superfícies verticals, extraploms i zones on abunden els organismes com *Melaraphe neritoides* o *Patella* sp. amb taxes d'erosió més grans que les del MEM. L'escàner làser amb una capacitat de mostreig espacial major ens aboca resultats més propers als assignats a la bioerosió o als tests d'exposició. Aquests darrers, no obstant, plantegen el dubte d'allò que s'està mesurant. Es pot descartar l'acció de l'abrasió, però com destriar entre allò que correspon a bioerosió per cianobacteris, l'atac químic, l'acció de les sals, etc. En realitat no és gens senzill, i encara que es poden fer extrapolacions a partir d'experiments de laboratori, sempre hi ha el problema de relacionar els paràmetres del model amb els de la realitat (Trudgill i Viles, 1998). Els entrebancs per homogeneïtzar els resultats de les tècniques esmentades amb els de les trampes de sediment, o el càlcul del volum dels moviments de masses o arrabassament de blocs són els mateixos. Així doncs, el criteri que hom accepta per superar aquest entrebanc és el de comparar els ordres de magnitud, més que no les taxes d'erosió (Trudgill, 2000). En

aquest sentit allò que destaca és la importància en una escala de temps curta dels processos d'erosió lligats a la meteorització química i a la biològica en la component horitzontal de les costes rocoses. Els ordres de magnitud de les taxes de bioerosió i les dels tests d'exposició són semblants i vénen a coincidir amb la quantificació de l'acció de tots els processos que habitualment s'assigna al resultat del escàner làser (Williams *et al.*, 2000). La preponderància de l'alteració no ve de nou perquè és manifesta en el mateix modelat de la costa de s'Alavern, destacant-ne l'abundant nombre de cocons i la rugositat de la microtopografia potenciada per la naturalesa de la roca. Els moviments de masses o l'arrabassament si s'homogeneïtzessin, això seria assignar el volum de roca després de forma homogènia a la superfície de plataforma, considerant-ne una recurrència que d'acord amb la bibliografia ens donaria taxes a comparar de l'orde de la centèsima de mil·límetre de rebaixament. Ordre de magnitud que convergeix amb el domini de l'alteració química i biològica i amb el perquè de l'aspecte rugós de la superfície de la roca. D'altra banda, la tècnica instrumental de la qual es disposa avui per avui, no permet d'estudiar la façana dels penya-segats com es fa amb la component horitzontal. Així doncs, tot i que els estudis de desintegració granular no ens permeten inferir quins agents actuen sobre el penya-segat en relació a les escales d'acció temporals i espacials petites, sí que per analogia amb d'altres estudis duts a termes en ambients molt semblants sobre façanes d'elements arquitectònics històrics (Gómez-Pujol *et al.*, 2002a) podem inferir que els processos d'alteració físico-química tenen una importància igual o molt semblants als descrits a les zones de ruïnim de la plataforma litoral.

## Conclusions

A la costa de S'Alavern s'han quantificat dos grups de processos erosius d'acord amb els seus patrons temporals i la magnitud de la seva acció. L'erosió relacionada amb l'acció biològica, la meteorització físico-química i la desintegració granular de les façanes dels penya-segats oscil·len entre la centèsima del mil·límetre i el mil·límetre anual de denudació i actuen d'una forma contínua en una escala temporal diària o mensual. En canvi, l'erosió quantificada a partir dels moviments de masses o l'acció hidràulica de l'onatge, tot i implicar ordres de magnitud força majors que els descrits anteriorment (de l'ordre de deu i cent vegades majors), no tenen una abast temporal tan continu i el seu comportament és més episòdic. Aquestes circumstàncies permeten dibuixar un vector entre l'erosió freqüent i poc important en termes de denudació i l'esporàdica i a considerar com a retrocés de costa, que posa en entredit el debat entre la preponderància dels processos mecànics vs. els de meteorització en funció de l'investigador a un o altre extrem d'aquest vector. Les diferents tècniques utilitzades posen de manifest la necessitat de gestionar les taxes obtingudes amb certa cura, i considerar més l'ordre de magnitud de la taxa d'erosió que no el valor per ell mateix.

## Agraïments

El present treball és una contribució al projecte de la Direcció General d'Investigació del Ministeri de Ciència i Tecnologia CGL2006-11242-C03-01 i BTE2002-04552-C03-02: "El modelado kárstico y la evolución morfológica y sedimentaria del litoral en las Baleares, Valencia y Cerdeña, como resultado de las oscilaciones del nivel

marino". Lluís Gómez-Pujol és becari del programa FPI de la Direcció General de R+D+I del Govern de les Illes Balears.

## Bibliografia

- Andrews, C. i Williams, R.B.G. 2000. Limpet erosion on chalk shore platforms in southeast England. *Earth Surface Processes and Landforms*, 25: 1371-1381.
- Balaguer, P. i Fornós, J.J. 2003. Processos erosius als penya-segats costaners del SE de Mallorca (Illes Balears, Mediterrània Occidental): dades preliminars de l'erosió contínua per disgregació granular. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 46: 37-50.
- Balaguer, P., Fornós, J.J. i Gómez-Pujol, L. 2002. Retroceso de los acantilados del Mioceno Superior en la costa del sureste de Mallorca: los casos de Estret des Temps i S'Alavern. In Serrano, E., García de Celis, A., Guerra, J.C., Morales, C.G. i Ortega, M.T. (eds). *Estudios recientes (2000-2002) en Geomorfología. Patrimonio, Montaña, Dinámica Territorial*: 341-350. SEG, Universidad de Valladolid. Valladolid.
- Blackmore, P.A. i Hewson, P.J. 1984. Experiments on full-scale wave impact pressures. *Coastal Engineering*, 8: 331-346.
- Blanco, R. 2001. Procesos de erosión en costas rocosas. *Xeogràfica*, 1: 39-59.
- Bland, W. i Rolls, D. 1998. *Weathering, an Introduction to the Scientific Principles*. Arnold. London. 271 pp.
- Brunsdén, D. 2001. A critical assessment of the sensitivity concept in geomorphology. *Catena*, 42: 99-123.
- Clemmensen, L.B., Lisborg, T., Fornós, J.J. i Bromley, R.G. 2001. Cliff-front aeolian and colluvial deposits, Mallorca, Western Mediterranean: a record of climatic and environmental change during the last glacial period. *Bull. Soc. Geol. Denmark*, 48: 217-232.
- Colman, S.M. 1981. Rock weathering rates as functions of time. *Quaternary Research*, 15: 250-264.
- Dibb, T.E., Hughes, D.W. i Poole, A.B. 1983. The identification of critical factors affecting rock durability in marine environments. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 16: 149-161.
- de Boer, D.H. 1992. Hierarchies and spatial scale in process geomorphology: a review. *Geomorphology*, 4: 303-318.
- Duperret, A., Genter, A., Mortimore, R.N., Delacourt, B., de Pomerai, M.R. 2002. Coastal rock cliff erosion by collapse at Puys, France: The role of impervious marl seams within chalk of NW Europe. *Journal of Coastal Research*, 18: 52-61.
- Fornós, J.J. 1983. *Estudi sedimentològic del Miocè Terminal de l'illa de Mallorca*. Tesi de Llicenciatura. Universitat de Barcelona. Barcelona.
- Fornós, J.J., Balaguer, P., Gelabert, B. i Gómez-Pujol, L. 2005. Pleistocene formation, evolution, retreat rates and processes in carbonate coastal cliff (Mallorca Is., Western Mediterranean). *Journal of Coastal Research. Special Issue 49*: 15-21.
- 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*. Guía de las Excursiones del X Congreso de Sedimentología: 177-206. Institut d'Estudis Balearics, Universitat de les Illes Balears. Palma.
- Gaylord, B. 1999. Detailing agents of physical disturbance: wave-induced velocities and accelerations on a rocky shore. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 239: 85-124.
- Guijarro, A. 1986. *Contribución a la bioclimatología de las Baleares*. Tesi de Doctorat. Universitat de les Illes Balears. Palma.
- Gómez-Pujol, L. Balaguer, P. i Fornós, J.J. 2002a. Meteorización del patrimonio histórico en ambientes costeros marinos: el caso de la Torre d'en Beu (Santanyí, Mallorca). In: Serrano, E., García de Celis, A., Guerra, J.C., Morales, C.G. i Ortega, M.T. (eds). *Estudios recientes (2000-2002) en Geomorfología. Patrimonio, Montaña, Dinámica Territorial*: 403-413. SEG, Universidad

- de Valladolid. Valladolid.
- Gómez-Pujol, L., Balaguer, P., Baldo, M., Fornós, J.J., Pons, G.X. i Villanueva, G. 2002b. Patronos y tasas de erosión de *Melaraphe neritoides* (Linneo, 1875) en el litoral rocoso de Mallorca: resultados preliminares. In: Pérez-González, A., Vegas, J. i Machado, M. (eds). *Aportaciones a la Geomorfología de España en el Inicio del Tercer Milenio*: 351-354. ITGME. Madrid.
- Gómez-Pujol, L., Balaguer, P., Baldo, M., Fornós, J.J., Pons, G.X. i Villanueva, G. 2002c. Técnicas instrumentales para el estudio de la meteorización y la erosión de las costas rocosas. In: Pérez-González, A., Vegas, J. i Machado, M. (eds). *Aportaciones a la Geomorfología de España en el Inicio del Tercer Milenio*: 345-350. ITGME. Madrid.
- Gómez-Pujol, L. i Fornós, J.J. 2004a. Forma, procesos y zonación en el lapiaz -karrenlitoral del sur de Menorca, 2: observaciones mediante microscopía electrónica de barrido (SEM). In: Benito, G. i Díez Herrero, A. (eds). *Contribuciones Recientes Sobre Geomorfología*: 357-364. SEG, CSIC. Madrid.
- Gómez-Pujol, L. i Fornós, J.J. 2004b. Tasas de meteorización química en la costa carbonatada de Mallorca. Evaluación preliminar mediante tests de exposición (weight-loss rock tablets). In Blanco, R., Pérez, A. i López, J. (eds). *Procesos geomorfológicos y evolución costera. Actas de la II Reunión de Geomorfología Litoral*: 405-414. Universidad de Santiago de Compostela. SEG. Santiago de Compostela.
- Gómez-Pujol, L., Stephenson, W.J. i Fornós, J.J. En prensa: Two-hourly rock surface change on supra-fidal rock (Marengo, Victoria, Australia).
- Goudie, A.S. 1994. Salt attack on buildings and other structures in arid lands. In: Fookes, P.G. i Parry, R.H.G. (eds). *Engineering Characteristics of Arid Soils*: 15-28. Bakelma. Rotterdam.
- Goudie, A.S. 2000. Experimental physical weathering. *Z. Geomorph. N.F. Suppl. Bd.*, 120: 133-144.
- Goudie, A.S. i Viles, H.A. 1997. *Salt Weathering Hazards*. John Wiley & Sons, Chichester, 241 pp.
- Goudie, A.S. i Viles, H.A. 1999. The frequency and magnitude concept in relation to rock weathering. *Z. Geomorph. N.F. Suppl. Bd.* 115: 175-189.
- Griggs, G.B. i Trenhaile, A.S. 1994. Coastal cliffs and platforms. In: Carter, R.W.G. i Woodroffe, C.D. (eds). *Coastal Evolution. Late Quaternary shoreline morphodynamics*: 425-450. Cambridge University Press. Cambridge.
- Hall, K. 1988. A laboratory simulation of rock breakdown due to freeze-thaw in maritime Antarctic environment. *Earth Surface Processes and Landforms*, 13: 369-382.
- Hall, K. i Hall, A. 1996. Weathering by wetting and drying: some experimental results. *Earth Surface Processes and Landforms*, 21: 365-376.
- High, C.J. i Hanna, F.K. 1970. A method for the direct measurement of erosion on rock surfaces. *Brit. Geomorph. Res. Group. Tech. Bull.*, 5: 1-25.
- Jones, D.G. i Williams, A.T. 1991. Statistical analysis of factors influencing cliff erosion along a section of the West Wales coast, UK. *Earth Surface Processes and Landforms*, 16: 95-111.
- Kaye, C.A. 1957. The effect of solvent motion on limestone solution. *Journal of Geology*, 65: 35-46.
- Lahousse, P. i Pierre, G. 2003a. The retreat of chalk cliffs at Cape Blanc-Nez (France): autopsy of a erosional crisis. *Journal of Coastal Research*, 19: 431-440.
- Lahousse, P. i Pierre, G. 2003b. Vitesse, rythme et modalités du recul des falaises crayeuses du cap Blanc-Nez (Pas de Calais, France). *Z. Geomorph. N.F.*, 47: 215-234.
- Lundberg, J. En prensa. Coastal karren. In: Dreybrodt, W., Ginés, A. Knez, M. i Slabe, T. (eds). *Karst Rock Features. Karren Sculpturing*. ZRC SAZU. Postojna.
- McLean, R.F. 1967. Measurement of beach rock erosion by some tropical marine gastropods. *Bulletin of Marine Science*, 17: 551-561.
- Moses, C.A. 2000. Field rock block exposure trials. *Z. Geomorph. N.F. Suppl. Bd.*, 120:

- 33-50.
- Mottershead, D.N. 1989. Rates and patterns of bedrock denudation by coastal salt spray weathering: a seven year record. *Earth Surface Processes and Landforms*, 14: 383-398.
- Naylor, L.A., Viles, H.A. i Carter, N.E.A. 2002. Biogeomorphology revisited: looking towards the future. *Geomorphology*, 47: 3-14.
- Nielsen, K.A., Clemmensen, L.B. i Fornós, J.J. 2004. Middle Pleistocene magnetostratigraphy and susceptibility stratigraphy: data from a carbonate aeolian system, Mallorca, Western Mediterranean. *Quaternary Science Reviews*, 23: 1733-1756.
- Noormets, R., Crook, K.A.W. i Felton, E.A. 2004. Sedimentology of rocky shorelines, 3: Hydrodynamics of megaclasts emplacement and transport on a shore platform, Oahu, Hawaii. *Sedimentary Geology*, 172: 41-65.
- Palmer, M., Fornós, J.J., Balaguer, P., Gómez-Pujol, L., Pons, G.X. i Villanueva, G. 2003. Spatial and seasonal variability of the macro-invertebrate community of a rocky coast in Mallorca (Balearic Islands): implications for bioerosion. *Hydrobiologia*, 501: 13-21.
- Pohl, W. i Schneider, J. 2002. Impact of endolithic biofilms on a carbonate rock surfaces. In: Siegesmund, S., Weiss, T. i Vollbrecht, A. (eds). *Natural Stone, Weathering Phenomena, Conservation Strategies and Case Studies*. Geological Society, London. Special Publications, 205: 177-194.
- Robinson, L.A. 1977. Marine erosive processes at the cliff foot. *Marine Geology*, 23: 257-271.
- Servera, J. i Rodríguez-Perea, A. 1999. Geomorfologia costanera de s'Estalella. *L'entorn de Lluçmajor: estudis i comentaris*, 1: 9-30.
- Spencer, T. 1981. Microtopographic change on calcarenites, Grand Cayman Island, West Indies. *Earth Surface Processes and Landforms*, 6: 85-94.
- Spencer, T. 1988. Limestone coastal geomorphology: the biological contribution. *Progress in Physical Geography*, 12: 66-101.
- Stephenson, W.J. 2000. Shore platforms: a neglected coastal feature?. *Progress in Physical Geography*, 24: 311-327.
- Stephenson, W.J. i Brander, R.W. 2003. Coastal geomorphology into the twenty-first century. *Progress in Physical Geography*, 27: 607-623.
- Stephenson, W.J. i Kirk, R.M. 1996. Measuring erosion rates using the micro-erosion meter: 20 years of data from shore platforms, Kaikoura Peninsula, South Island, New Zealand. *Marine Geology*, 131: 209-218.
- Stephenson, W.J. i Kirk, R.M. 2000a. Development of shore platforms on Kaikoura Peninsula, South Island, New Zealand, 1: the role of waves. *Geomorphology*, 32: 21-41.
- Stephenson, W.J. i Kirk, R.M. 2000b. Development of shore platforms on Kaikoura Peninsula, South Island, New Zealand, 2: the role of subaerial weathering. *Geomorphology*, 32: 43-56.
- Stephenson, W.J. i Kirk, R.M. 2001. Surface swelling of coastal bedrock on inter-tidal shore platforms, Kaikoura Peninsula, South Island, New Zealand. *Geomorphology*, 41: 5-21.
- Stephenson, W.J., Taylor, A.J., Hemmingsen, M.A., Tsujimoto, H. i Kirk, R.M. 2004. Short-term microscale topographic changes of coastal bedrock on shore platforms. *Earth Surface Processes and Landforms*, 29: 1663-1673.
- Sunamura, T. 1982. A wave tank experiment on the erosional mechanism at a cliff base. *Earth Surface Processes and Landforms*, 7: 333-343.
- Swantesson, J.O.H. 1994. Micro-mapping as a tool for the study of weathered rock surfaces. In: Robinson, D.A. i Williams, R.G.B. (eds). *Rock weathering and landform evolution*: 209-222. Wiley. Chichester.
- Swantesson, J.O.H., Gómez-Pujol, L., Cruslock, E., Fornós, J.J. i Balaguer, P. En premsa. Processes and patterns of erosion and down-wearing on micro-tidal rock coasts in



- Sweden and the Western Mediterranean. 14 pp. *Z. Geomorph. N.F. Suppl. Bd.*
- Taborossi, D., Jenson, J.W. i Mylroie, J.E. 2004. Karren features in island karst: Guam, Mariana Islands. *Z. Geomorph. N.F.*, 48: 369-389.
- Torunski, H. 1979. Biological erosion and its significance for the morphogenesis of limestone coasts and for nearshore sedimentation (Northern Adriatic). *Senckenbergiana Marit.*, 11: 193-265.
- Trenhaile, A.S. 1987. *The Geomorphology of Rock Coasts*. Oxford University Press. Oxford 384 pp.
- Trenhaile, A.S. 2002. Rock coast, with particular emphasis on shore platforms. *Geomorphology*, 48: 7-22.
- Trenhaile, A.S. i Layzell, M.G.J. 1981. Shore platform morphology and the tidal duration factor. *Transactions of the Institute of British Geographers N.S.*, 6: 82-102.
- Trudgill, S.T. 1976. The marine erosion of limestone on Aldabra atoll, Indian Ocean. *Z. Geomorph. N.F. Suppl. Bd.*, 26: 164-200.
- Trudgill, S.T. 1977. Problems in the estimation of short-term variations in limestone erosion processes. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2: 251-256.
- Trudgill, S.T. 1979. Spitzkarren on calcarenites, Aldabra Atoll, Indian Ocean. *Z. Geomorph. N.F., Suppl. Bd.*, 32: 67-74.
- Trudgill, S.T. 1985. *Limestone Geomorphology*. Longman. London.
- Trudgill, S.T. 2000. Weathering overview: measurement and modelling. *Z. Geomorph. N.F. Suppl. Bd.*, 120: 187-193.
- Trudgill, S.T. i Viles, H.A. 1998. Field and laboratory approaches to limestone weathering. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 31: 333-341.
- Viles, H.A. 1987. Blue-green algae and terrestrial limestone weathering on Aldabra atoll: an SEM and light microscope study. *Earth Surface Processes and Landforms*, 12: 319-330.
- Viles, H.A. 2001. Scale issues in weathering studies. *Geomorphology*, 41: 63-72.
- Viles, H.A. 2004. Implications of future climate change for stone deterioration. In: Siegesmund, S., Weiss, T. i Vollbrecht, A. (eds). *Natural Stone, Weathering Phenomena, Conservations and Case Studies*. *Geological Society, London, Special publications*, 205: 407-418.
- Viles, H.A. i Goudie, A.S. 2003. Interannual, decadal and multidecadal scale climatic variability and geomorphology. *Earth-Science Reviews*, 61: 105-131.
- Viles, H.A., Spencer, T., Teleki, K. i Cox, C. 2000. Observations on 16 years of microfloral recolonization from limestone surfaces, Aldabra Atoll, Indian Ocean: Implications for biological weathering. *Earth Surface Processes and Landforms*, 25: 1355-1370.
- Williams, A.T. i Roberts, T.G. 1995. The measurement of pebble impacts and wave action on shore platforms and beaches: the swash force transducer (swashometer). *Marine Geology*, 129: 137-143.
- Williams, R.B.G., Swantesson, J.O.H. i Robinson, D.A. 2000. Measuring rates of surface downwearing and mapping microtopography: the use of micro-erosion meters and laser scanners in rock weathering studies. *Z. Geomorph. N.F. Suppl. Bd.*, 120: 51-66.
- Woodroffe, C.D. 2003. *Coasts. Form, Process and Evolution*. Cambridge University Press. Cambridge. 623 pp.
- Zazo, C., Goy, J.L., Dabrio, C.J., Bardají, T., Hillaire-Marcel, C., Ghaleb, B., González-Delgado, J.A., Soler, V. 2003. Pleistocene raised marine terraces of the Spanish Mediterranean and Atlantic coasts: records of coastal uplift, sea-level highstands and climate change. *Marine Geology*, 194: 103-133.



# Inventari quantitatiu de les costes rocoses de Mallorca

Pau BALAGUER

## SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA  
NATURAL DE LES BALEARS

Balaguer, P. 2007. Inventari quantitatiu de les costes rocoses de Mallorca. *In*: Pons, G.X. i Vicens, D. (Edit.). Geomorfologia Litoral i Quaternari. Homenatge a Joan Cuerda Barceló. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 14: 201-230. ISBN 84-96376-13-3. Palma de Mallorca.

En aquest treball es descriuen les principals característiques de les costes rocoses de Mallorca d'acord amb la seva forma, altura i litologia. La longitud total de la línia de costa de Mallorca s'ha establert en 626 km, aquesta longitud no comprèn els illots propers ni les estructures artificials construïdes a l'interior dels ports i clubs nàutics. Les costes rocoses són el 81% del total de la costa de Mallorca, les costes formades per materials no consolidats suposen el 9% i les línies de costa modificades per l'home el 10%. La disposició i forma de les costes guarden una estreta relació amb les unitats de relleu a la qual pertanyen, per aquest motiu, s'han analitzat les característiques de les costes rocoses que conformen els litorals de la Serra de Tramuntana, Serres de Llevant, relleus tabulars postorogènics i de les conques postorogèniques.

**Paraules clau:** *costa rocosa, classificació de costes, anàlisi quantitatiu.*

QUANTITATIVE INVENTORY OF ROCKY COAST OF MALLORCA. In this work there are described the principal characteristics of the rocky coasts of Mallorca of agreement with its form, height and litology. The total length of the Mallorca coastline has been established in 626 km, this extension includes neither the nearby islands nor the man-made structures constructed inside ports and marinas. Rock coasts occupy 81% of the whole of the coast of Mallorca, the coasts formed by unconsolidated materials there suppose 9% and the lines of coast modified by the man 10%. The disposition and the form of the coasts have a narrow relationship with the unit of relief to which they belong, for this reason, there have been analyzed the characteristics of the rocky coasts developed on Serra de Tramuntana, Serres de Llevant, tabular post-orogenic platforms and post-orogenic basins.

**Keywords:** *Rock coast, coast classification, quantitative analysis.*

Dept. de Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears. Cra. Valldemossa, km 7,5. Edifici Guillem Colom. 07122. Palma de Mallorca (Balears). e-mail: [vdctpbh4@uib.es](mailto:vdctpbh4@uib.es)

La figura de Joan Cuerda és un referent mundial a l'estudi del Quaternari, la gran quantitat de publicacions (entorn a 116) en forma d'articles i llibres donen fe de la important aportació d'aquesta figura científica i de la influència exercida sobre importants investigadors del nostre temps. Els seus estudis basats en datacions ecoestratigràfiques dels jaciments litorals quaternaris de les Balears serveixen de referència als investigadors actuals per a corroborar o modificar alguns aspectes a partir de datacions radiomètriques. Vaig tenir l'oportunitat de visitar la seva casa i observar la seva col·lecció de fòssils l'any 1999 amb motiu del curs "Els Fòssils una mirada al passat per a entendre el futur" organitzat per la Societat d'Història Natural de les Balears, a on vaig poder comprovar l'entorn en el qual s'havia elaborat "Los Tiempos Cuaternarios de Baleares" obra de referència obligada durant els meus estudis de geografia a la UIB És per això que considero un privilegi poder participar en un llibre homenatge a un dels referents i pioners de l'estudi del Quaternari a l'Estat Espanyol.

## Introducció

Les zones costaneres són zones limítrofes entre els ambients subaeris i ambients marins. Aquesta condició de gradient i d'equilibri entre ambdós ambients prou diferenciats, confereix a la costa un caràcter dinàmic. Segons Carter (1988) les zones costaneres estan caracteritzades segons criteris físics, biològics o culturals i aquests no tenen perquè coincidir, la qual cosa, contribueix a conferir una pluralitat que es tradueix en tota una sèrie de dificultats a l'hora de definir-la.

Aquestes característiques impliquen que la influència dels factors marins no serà la mateixa en una costa espadada que en una costa baixa i amb un pendent suau que en una costa espadada elevades. En el cas de Mallorca el gradient establert entre ambdós factors presenta prou diferències depenent de la vessant litoral, la zona costanera de la Serra de Tramuntana, amb predominància de costes espadades de perfil vertical i còncav dona poc marge de penetració terra endins als factors de caire marí (humitat, salinitat, gradient tèrmic, caracterització biològica, etc.), en canvi les zones litorals localitzades en els fons de les grans badies, caracteritzades per presentar costes baixes de tipus còncav i esglaonat, permeten una major penetració dels factors marins cap a l'interior, establint-se així una frontera-gradient o àrea d'influència entre els factors marins i subaeris més ampli.

A Mallorca l'home ha tingut una relació quasi bé obligada amb la línia de costa, entre d'altres raons, la més important, és la condició d'insularitat del territori. En un principi la costa era refusada per ésser considerada com a un territori perillós davant possibles invasors i també perquè les seves terres eren de baix rendiment productiu. Els assentaments litorals pre-turístics de Ma-

llorca (abans de la segona meitat dels anys 50 del segle XX), eren molt localitzats. Amb l'arribada del turisme de masses, la costa s'anà convertint en un actiu de primer ordre. Avui en dia la costa de les nostres illes és un recurs disponible per a tots i forma part del pilar bàsic de la nostra economia.

Donada la seva complexitat, abans d'estudiar i entendre els processos que afecten la línia de costa, es precis descriure l'àmbit en el qual es desenvoluparan les nostres investigacions. D'acord amb això, considerem necessari la realització d'un estudi de classificació de les costes rocoses de Mallorca com a primer pas per intentar esbrinar alguns aspectes sobre la seva dinàmica i evolució.

En aquest capítol s'exposen els resultats obtinguts a partir d'una anàlisi quantitativa dels tipus de costes rocoses de l'illa de Mallorca. Cal assenyalar que l'estudi i mostreig també ha contemplat les costes formades per materials no consolidats (litorals de platja, sistemes platja-duna i platges de còdols) però que no han sigut caracteritzades ja que, almenys pel que fa referència a les costes arenoses han sigut estudiades a fons per Servera (1997).

## criteris de classificació

Els criteris de classificació de les costes és en funció de la seva forma, altura i litologia. Les formes assenyalades a la figura 1 tenen una estreta relació amb els processos que han intervingut en el seu modelat, depenent de la litologia i de la seva disposició estructural. Aquests processos, que han donat una certa identitat a les nostres costes, es divideixen en dos grans grups: processos marins i processos subaeris. El grau d'intensitat amb el qual han operat algun d'aquests processos es reflecteix a les sis morfologies

proposades (Fig. 1) per Emery i Kuhn (1982) i Trenhaile (1987):

- Costes amb perfil vertical (forma 1, Fig. 1). Els processos marins són dominants independentment de la duresa dels materials que conformen la línia de costa.

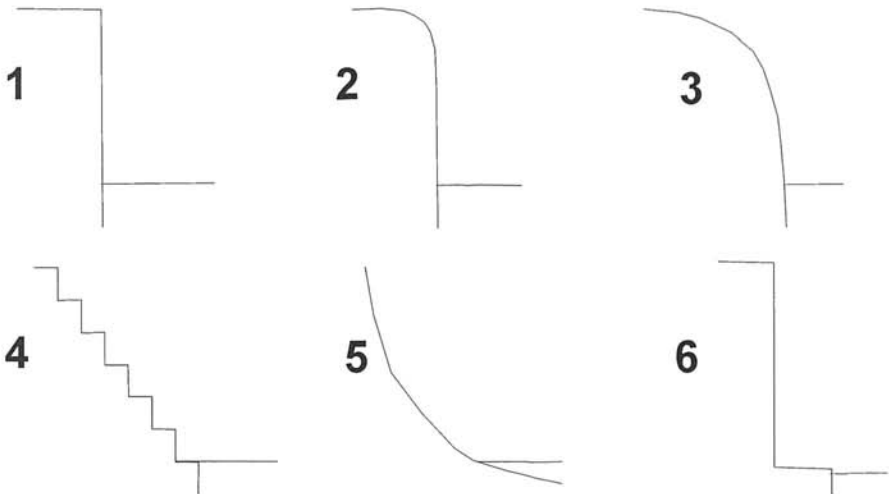
- Costes amb perfil vertical amb la part superior convexa (forma 2, Fig. 1). Els processos subaeris actuen amb una certa intensitat, però els processos marins continuen essent determinants a l'hora de configurar la fesomia de la línia de costa. Els exemples més clars s'observen allà a on els materials més resistents es troben a la base.

- Costes amb perfil convex (forma 3, Fig. 1). En aquests casos existeix una certa equitat entre els processos marins i subaeris.

Les costes constituïdes per materials homogenis constitueixen els millors exemples.

- Costes amb perfil esglaonat (forma 4, Fig. 1). Es solen manifestar a les costes formades per materials amb diferent resistència front als agents erosius. En el cas de Mallorca, aquests tipus de costes són l'empremta deixada per la successió dels canvis del nivell de la mar, associats a les glaciacions del Quaternari, en forma de rases d'abrasió penjades a diferents altures sobre el nivell de la mar.

- Costes amb perfil còncav (forma 5, Fig. 1). Es manifesten quan els processos subaeris prevaleixen sobre els marins. A Mallorca, aquests tipus de morfologies, es desenvolupen sobre els nivells d'eolianites Quaternàries disposades, de forma adossa-



**Fig. 1.** Tipus de formes proposades per a la classificació de costes rocoses de Mallorca. 1.- costes amb perfil vertical; 2.- costes amb perfil vertical amb la part superior convex; 3.- costes de perfil convex; 4.- costes amb perfil esglaonat; 5.- costes amb perfil còncav; 6.- costes amb perfil vertical associats a una rasa d'abrasió heretada. A partir d'Emery i Kuhn (1982) i Trenhaile (1987).

*Fig. 1. Types of propose forms for the classification of the rocky coasts of Majorca. 1. - Coasts of vertical profile; 2. - coasts of vertical and convex profile; 3. - coasts of convex profile; 4. - coasts of stepped profile; 5. - coasts of concave profile; 6. - coasts of vertical perfil with an inherited shore platform. Extracted of Emery & Kuhn (1982) and Trenhaile (1987).*



da, sobre paleo-penya-segats, normalment formats per les calcàries i calcarenites del Miocè Superior.

- Costes amb perfil vertical associats a una rasa d'abració heretada (forma 6, Fig. 1) responen a un tipus de costa específica molt comuna a les costes formades pels materials carbonatats postorogènics del Miocè Superior. Aquestes tenen una elevada densitat en el sector comprès entre Cala Màrmols i les Cales de Manacor. En molts de casos la rasa sol respondre al contacte entre les calcàries massives del Complex Escullós i les calcarenites pròpies del Complex Terminal, o bé, a diferències en les característiques texturals dels materials d'ambdues unitats.

Les altures considerades són de 0 a 3 m, de 3 a 5 m, de 5 a 15 m, de 15 a 30 m, 30 a 60 m, 60 a 120 m i majors de 120 m. El criteri de distribució de les altures s'ha elaborat a partir de les classificacions de les costes de Mallorca de Butzer (1962) i Rosselló (1964, 1975) que estableixen el límit entre costes altes i costes baixes a partir dels 3 m d'altura.

### Mètode

La classificació de les costes rocoses de Mallorca segons els criteris establerts, s'ha realitzat a partir de l'observació directa al camp i la utilització de la fotografia obliqua

Forma	Extensió (km)	%	Altura (m)	Extensió (km)	%
vertical	184,9	29	0-3	94,8	15,2
vertical + convex	34,1	5,4	3-15	135,2	21,6
convex	79,2	12,6	15-30	137,8	22,3
esglaonat	93,2	14,9	30-60	64,9	10,4
còncav	103,8	16,6	60-120	38,8	6,2
vertical + rasa	9,5	1,6	> 120	33,1	5,3
Antròpic	62,5	10			
no consolidat	58,7	9,9			

Materials	Extensió (km)	%	Materials	Extensió (km)	%
Quaternari	128,8	20,5	Juràssic Dogger-Malm	13,7	2,2
Pliocè	0,7	0,1	Juràssic Lias	152,4	24,2
Miocè Superior	117,7	18,8	Triàsic Retià	24,3	3,9
Miocè Mitjà	13,5	2,2	Triàsic Keuper	11,5	1,8
Miocè Inferior	7,1	1,1	Triàsic Muschelkalk	6,8	1,1
Oligocè	5,1	0,7	Triàsic Buntsandstein	11,4	1,8
Eocè	1,2	0,2	Paleozoic Carbonífer	0,06	0,01
Cretaci	10,2	1,5	<b>Total</b>	<b>504,68</b>	<b>80,11</b>

**Taula 1.** Longitud de les costes rocoses de Mallorca segons la forma, altura i edat dels materials. Cal tenir en compte que els percentatges s'han calculat segons la longitud total de la costa de Mallorca (626 km).

*Table 1.* Length of the rocky coasts of Majorca according to the form, height and age of the materials. Percentages has calculated on the basis of the length overall of the coast of Majorca (626 km).

de la costa de Mallorca realitzades durant l'any 2001 pel Departament de Demarcació de Costes de les Balears. Les dades obtingudes s'han anotat a la cartografia d'escala 1/5.000 del Govern de les Illes Balears.

Per calcular les extensions de cada un dels tipus de costa, s'ha utilitzat el programa Arc View de tractament i anàlisi cartogràfica. Un cop obtingudes les dades quantitatives de longitud de cada un dels tipus de costa, s'han traslladat a un full de càlcul, en què s'han agrupat les dades en cinc columnes en les que es reflecteix: a) el full UTM (escala 1/5.000) en el qual s'han realitzat les mesures, b) el tipus de morfologia de cada tram de costa, c) longitud (m) de la morfologia, d) el tipus d'estructura, e) la litologia i f) l'altura. L'organització de les dades dins del full de càlcul ens ha permès relacionar, amb major facilitat, les variables tractades.

## Resultats

L'illa de Mallorca té 626 km lineals de costa, un 81% de les costes són considerades costes rocoses. Més de la meitat de les costes de Mallorca poden ésser considerades com a costes altes (altures majors a 3 m). Les formes adoptades més comuns són les de perfil vertical, còncav, esglaonat i convex. Els materials que conformen al voltant del 60% del litoral mallorquí són, de major a menor importància, calcàries i dolomies del Juràssic Inferior (Lias), dipòsits d'eolianites, bretxes, conglomerats, arenes i argiles del Quaternari i calcàries i calcarenites del Miocè Superior.

Cal tenir en compte que la longitud i característiques de la línia de costa de les illes i illots que envolten Mallorca i l'arxipèlag de Cabrera no s'ha comptabilitzat en aquest treball. La longitud de les illes i illots (excepte l'arxipèlag de Cabrera) és de

39,5 km lineals de costa. Si consideram els litorals corresponents a les illes i illots propers i la totalitat de les estructures artificials construïdes a l'interior dels ports com a part de la línia de costa de Mallorca, s'obté que la longitud actual de la costa és de 721 km.

## Característiques generals de les costes de Mallorca

La longitud de les costes rocoses de Mallorca segons l'altura, forma, disposició i edat dels materials es reflexa a la Taula 1. Les costes antropitzades, enteses com a aquelles en les que l'activitat humana ha modificat el seu traçat, són esmentades amb més detall a les següents línies.

### *Les costes antropitzades*

Entenem com a costes antropitzades aquelles en les que l'activitat humana ha modificat la seva línia de costa, és a dir, el contacte de la mar i la terra. Aquests tipus de costa, amb els seus traçats modificats per materials de construcció amb un comportament molt paregut al de les costes rocoses, tenen una longitud de 62,5 km el que representa el 10% del total de la línia de costa. Les modificacions efectuades per l'home són en forma de diques, passeigs marítims, esculleres, murs de contenció i ports esportius, aquestes construccions i obres públiques es realitzen amb la finalitat de prevenir els riscos d'inundació i desmantellament del relleu litoral, esplai, lleure, turístic i esportiu. Els materials emprats normalment per a construir aquests equipaments són el ciment, formigó, fragments rocosos, metalls i fusta, els dos darrers solen ésser emprats com a elements d'ornamentació als passeigs marítims i ports esportius en forma de passadissos i elements d'il·luminació. Les zones que presenten una modificació més notable i intensa de la línia de costa són:

a) Les zones de la Badia de Palma que engloba part dels municipis de Calvià, Palma i Lluçmajor en els que s'han construït diversos ports esportius, el port comercial de Palma, passeigs marítims i esculleres de protecció de vials o platges.

b) Alguns punts de la costa del Llevant de Mallorca com els casos de Portopetro (Santanyí), Portocolom (Felanitx), Portocristo (Manacor) en els que s'han construït dics i esculleres i s'han aprofitat l'interior d'algunes cales per la construcció de petits molls i ports esportius.

c) La Badia de Cala Millor que engloba part dels litorals de Son Servera i Sant Llorenç, en els que trobem un petit port, passeigs marítims i esculleres de protecció de platges.

d) La zona de Cala Rajada (Capdepera) al Nord-est de l'illa en la qual s'ha modificat a partir de la construcció d'un passeig marítim i construcció d'un port esportiu i de pescadors.

e) La Badia d'Alcúdia amb litorals pertanyents als municipis d'Artà, Santa Margalida, Muro i Alcúdia, amb la presència de varis ports esportius, dics de platja i de desembocadura de torrent i el port comercial d'Alcúdia.

f) La Badia de Pollença que engloba zones costaneres dels municipis d'Alcúdia i Pollença i en la que s'observa la presència de passeigs marítims, ports esportius i una base militar de l'exèrcit de l'aire.

g) El Port de Sóller, dins del qual hi ha dics de protecció de platja i un port esportiu.

h) Alguns sectors de la costa sudoccidental de Mallorca, entorn als municipis d'Andratx i Calvià, els exemples més notables són el Port d'Andratx, Cala Fornells, Santa Ponça i El Toro a on s'han construït esculleres de protecció de platges, dics, passeigs marítims i ports esportius.

## **Les costes de les unitats de relleu de Mallorca**

La disposició de les diferents unitats de relleu de les que es compona l'illa de Mallorca permet diferenciar àrees constituïdes per materials afectats per deformacions orogèniques (orogènia Alpina) i àrees conformades per materials postorogènics, no afectats per processos orogènics. La Serra de Tramuntana, Unitat d'Alcúdia i Serres de Llevant, conformen, a grans trets, el primer tipus d'àrees. Les conques postorogèniques de Inca-Sa Pobla, Campos i Palma i els relleus tabulars postorogènics conformats per materials corresponents al Miocè Superior (en el Migjorn i Llevant de l'illa) i Pliocè i Miocè Superior (a les immediacions del Cap de Cala Figuera, El Toro i Magalluf) representarien el segon tipus d'àrees. Per tant, les zones costaneres presentaran prou diferències segons la unitat de relleu a la que pertanyin i segons els materials que la conformin.

Dels 626 km totals de línia de costa de Mallorca, incloses les costes formades per materials no consolidats, antropitzades i rocoses, 239,8 km (38,3%) pertanyen a les costes corresponents a la Serra de Tramuntana, 54,5 km (8,7%) es corresponen a la vessant marítima de les Serres de Llevant, 37,6 km (6%) són els corresponents a la Unitat d'Alcúdia, 124,4 km (19,8%) de costa pertanyents a les conques post-orogèniques i 169,5 km (27,1%) restants corresponen a les costes formades per relleus tabulars postorogènics.

### *Les costes de la Serra de Tramuntana*

La Serra de Tramuntana constitueix la unitat de relleu amb una major proporció de línia de costa, els materials que conformen la Serra de Tramuntana afloren de manera

discontinua a l'extrem sudoccidental de la Badia de Palma, a tota la costa sudoccidental de l'illa, tota la vessant nord i a la vessant nordoccidental de la Badia de Pollença. Les costes formades pels materials pertanyents a la Serra de Tramuntana es troben als trams compresos entre la Platja de Cala Major i Punta des Marroig (Badia de Palma, Calvià) i al tram de costa comprès entre la Punta Malgrats (Costa sudoccidental de Mallorca, Calvià) i la Punta de l'Avançada (Badia de Pollença, en el terme municipal de Pollença). Els municipis que formen part d'aquest sector litoral són: Alcúdia, Pollença, Escorca, Sóller, Fornalutx, Deià, Valldemossa, Banyalbufar, Estellençs, Andratx, Calvià i Palma.

La Unitat d'Alcúdia, considerada com a part de la Serra de Tramuntana (del Olmo *et al.*, 1991; Gelabert, 1997) serà tractada per separat respecte de la Serra de Tramuntana degut a una sèrie de divergències respecte la seva organització estructural que històricament ha donat peu a interpretar-la com a part de les Serres de Llevant (Gil, 1994). Els materials corresponents a la Unitat d'Alcúdia afloren a la península d'Alcúdia entre la Punta de Sabellí (Badia de Pollença, terme municipal d'Alcúdia) i les instal·lacions del port comercial d'Alcúdia (Badia d'Alcúdia, Alcúdia). D'acord amb l'establert, en aquest apartat considerarem també a la península d'Alcúdia com una part més de la Serra de Tramuntana, amb certes particularitats que seran esmentades a les següents línies.

El Conjunt format per la Serra de Tramuntana i la Unitat d'Alcúdia tenen 277,4 km de costa que equival al 44,3% del total del litoral mallorquí, de manera que ens trobem davant la unitat de relleu més important, en quant a longitud de línia de costa de Mallorca.

La Serra de Tramuntana es correspon amb un sistema imbricat d'encavalcaments, generalment, dirigits de cap al NW, llur nivell basal el constitueixen les lutites i els guixos del Keuper (Triàsic Superior). És la serralada més gran de les Illes Balears i dins d'ella es troben les majors altures. Els materials que la conformen comprenen des del Paleozoic (Carbonífer) fins al Quaternari. L'estructura i organització dels relleus que conformen la Serra, a partir de la imbricació de sistemes d'encavalcaments amb eixos NE-SW i orientats cap al NW, te les seves conseqüències sobre el traçat de la línia de costa. La tendència general dels relleus és la de presentar fortes pendents a les vessants orientades cap al NW i pendents més suaus a les vessants orientades cap al SE.

Les característiques generals de les costes de la Serra de Tramuntana es caracteritzen per presentar una forta relació entre l'altura, la duresa dels materials, la disposició d'aquests i l'estructura dominant per a cada tram de costa. Els penya-segats majors a 120 m es troben arreu però presenten una forta concentració en el tram comprès entre el Port de Sóller i el Cap de Formentor. Per altra banda les costes més baixes es troben als extrems NE i SW, a l'interior de Cala Fornells, Port d'Andratx, Sant Elm i a l'interior de les badies de Palma i de Pollença en els indrets a on les vessants dels relleus que cabussen cap al SE aboquen a la mar. El 25% de les costes de la Serra de Tramuntana tenen altures inferiors als 15 m, la preponderància de costes espadades a la Serra ha fet que alguns autors (Rosselló, 1975; Barceló, 1992; Servera, 2000) qualifiquessin a aquestes com a una costa brava.

Els materials Quaternaris representen el 4,2% de la línia de costa, aquests es solen trobar al sector sudoccidental i a l'interior d'entrants i cales com és el cas de Cala Vall

de Bóquer, Cala Castell i Cala Sant Vicenç, solen formar relleus adossats als materials secundaris i donar lloc a tipus de costes baixes de perfil còncav degut a la naturalesa olistrostòmica de la major part dels seus materials. Els materials turbidítics del Burdigalià-Langià ocupen el 6,2% del litoral donant lloc a formes còncaves i verticals d'altures mitjanes compreses entre els 30 i els 60 m, s'observa una major presència d'aquests al sector sudoccidental i les zones de depressió entre encavalcaments a les zones d'Escorca i Pollença. Els conglomerats poligènics de l'Aquitanià s'estenen un 3,2% de la costa, donant lloc a costes de perfil vertical en els sectors central, sudoccidental i nordoriental. Els conglomerats, llims, argiles i calcàries de l'Oligocè ocupen el 2,3% de la costa normalment al sector sudo-

oriental amb costes de perfil còncav i altures no superiors als 30 m. Els gresos i conglomerats de l'Eocè donen lloc a costes de perfil vertical i convex, els principals afloraments costaners es troben al sector sudoccidental i a l'interior de Cala Fornells. Les margocalcàries del Cretaci són l'1,6% de la costa de la Serra, es concentren als municipi d'Andratx i Calvià en forma de penya-segats verticals i convexes d'altures normalment compreses entre els 15 i els 30 m. El Dogger-Malm, format per margues i margocalcàries, ocupa el 2,5% del litoral amb litorals de tipus còncav i de perfil vertical d'altures que oscil·len entre els 3 i els 15 m, la major part d'aquestes costes es troba al sector sudoccidental, en els termes municipals d'Andratx i Calvià. Les calcàries del Lias conformen el 50,4% de les costes, es troben

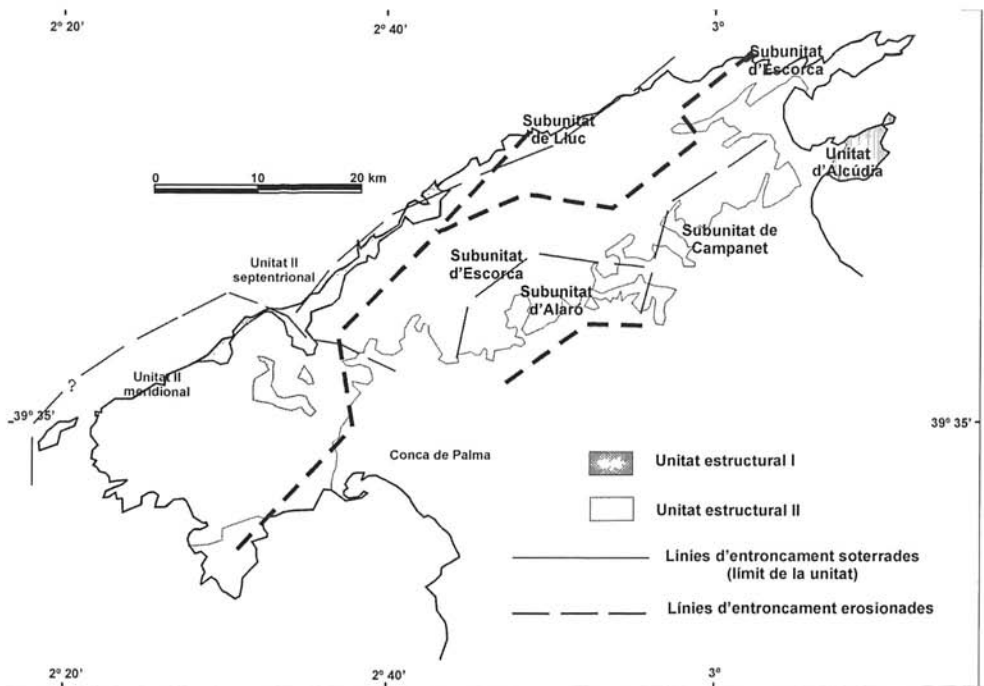


Fig. 2. Unitats estructurals de la Serra de Tramuntana. Segons Gelabert (1997).

Fig. 2. Structural units of the Serra de Tramuntana. According to Gelabert (1997).



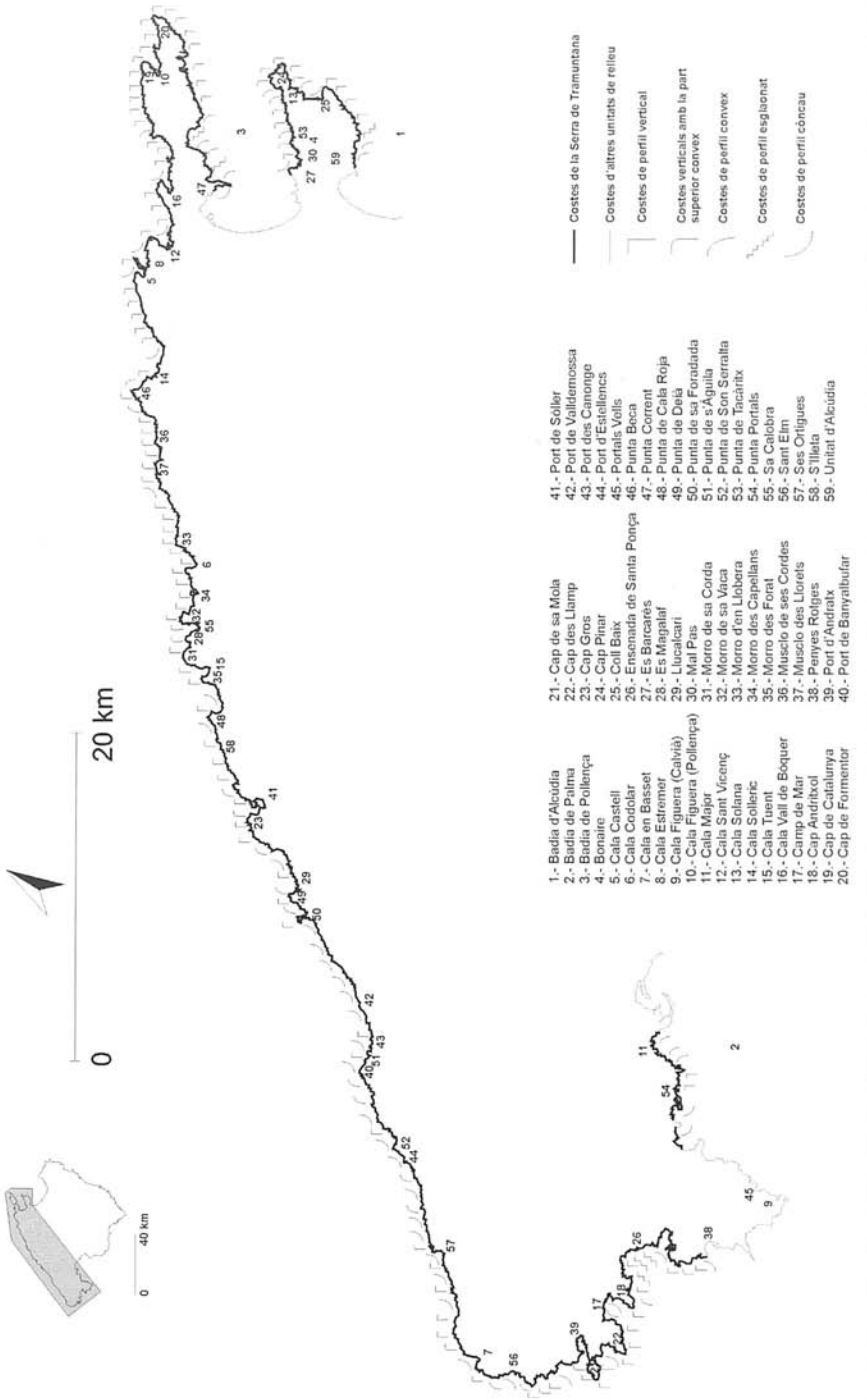


Fig. 3. Distribució de les formes adoptades per les vessants marítimes de la Serra de Tramuntana i Unitat d'Alcúdia (extrem nord-est).  
Fig. 3. Distribution of the marine slope forms of the Serra de Tramuntana and Alcúdia Unit (northeast zone).

arreu del litoral de la Serra però mostren una elevada concentració en forma de penya-segats verticals d'altures compreses entre els 15 i els 400 m al sector comprès entre el Port de Sóller i la Badia de Pollença. L'Infralias o Retià compost per calcàries i carniols suposen el 10%, les costes solen ésser de formes convexes i verticals d'altures superiors als 15 m, es reparteixen per tota la Serra especialment als sectors sudoccidental, central i nordoriental. Les costes formades pels materials corresponents al Triàsic i Carbonífer només es troben en el litoral del sector central de la Serra de Tramuntana. El seu emplaçament tan localitzat, respecte el conjunt de l'illa, es degut a la posició "bassal" de la unitat estructural a la que pertanyen. Les margues, guixos i nivells basàtics del Keuper representen el 5,2%, degut a la feblesa dels seus materials i localització al peu dels fronts d'encavalcaments, solen presentar costes de tipus còncav d'altures variables. Les dolomies i margues del *Muschelkalk* suposen el 3,13% i conformen costes convexes, còncaves i verticals d'altures inferiors als 30 m. Les quarsarenites del *Buntsandstein* conformen el 5,2% del litoral de la Serra en forma de penya-segats còncavs i verticals, la presència de nivells lutífics intercalats entre les quarsarenites i la seva posició basal segurament permet el desenvolupament de costes de perfil còncav. Finalment, les arenisques quarsítiques i lutites grises del Carbonífer únicament afluïren a un petit tram de costa localitzat a sa Cadireta (Valldemossa).

La morfologia, l'altura, composició i disposició dels materials que conformen les costes de la Serra de Tramuntana tenen una estreta relació amb l'organització estructural. Gelabert (1997) considera que la Serra es divideix en dues unitats estructurals (I i II), el límit de les quals ve marcat per una

superfície d'encavalcament que superposa la unitat II a sobre de la I (Fig. 2).

La unitat I aflora al llarg de la costa septentrional des d'Estellencs fins al Port de Sóller (Fig. 2), en aquesta es troben involucrats els materials corresponents al Paleozoic i Triàsic. La línia de costa corresponent a aquesta unitat té un recorregut de 46,3 km, en ella es troben els únics afloraments litorals del Paleozoic i del Triàsic excepte del Keuper que també ho fa de manera molt puntual a la costa de Capdepera. Gairebé la meitat de les costes presenten perfils de tipus còncav, segurament donat per la presència d'encavalcaments de direcció N-S i la presència de lutites intercalades entre els paquets calcaris del Triàsic i Miocè Inferior que, en contacte amb la línia de costa, amb direcció NE-SW, donen lloc a costes en les que sol haver platges de blocs i còdols i cons d'esbaldregament. Els exemples més significatius els tenim al Port des Canonge (Banyalbufar), el tram comprès entre el Racó de s'Algar (Estellencs) i la Pedra de s'Ase (Banyalbufar), platja d'Estellencs (Estellencs), Port de Valldemossa (Valldemossa), Lluçalcari (Deià) i Alconasser (Sóller). Els espadats verticals ocupen una tercera part d'aquest tram de costa, estan formats pels materials del *Buntsandstein*, *Muschelkalk*, Lias i Miocè Inferior, l'altura dels quals no supera en cap cas els 60 m.

La unitat II, superposada sobre de la I, abarca la resta de la Serra de Tramuntana, aquesta unitat es divideix en dos sectors, el meridional i el septentrional (Fig. 2). El sector meridional de la Unitat II es divideix en dos subsectors, el de la zona de na Burguesa-Calvià i el de la zona d'Andratx. El subsector de na Burguesa-Calvià presenten plegaments i encavalcaments amb orientació NE-SW, donant lloc a costes de baixa

altura i morfologia convexa a les vessants que aboquen a la Badia de Palma. La presència del Port d'Andratx, Cala Llamp, d'es Camp de Mar i de Santa Ponça s'han desenvolupat a zones de graben formades a partir de l'orientació NE-SW de principals línies de plegament i fracturació, a més a més la menor resistència dels materials eocens, oligocens i del Miocè Inferior que conformen les valls possibilita la configuració d'aquest tram de costa. No obstant, cal assenyalar la presència de grans penya-segats verticals desenvolupats sobre les calcàries del Lias al Cap de Sa Mola, Cap des Llamp i Cap Andritxol. El subsector d'Andratx es caracteritza per l'orientació N-S de bona part dels seus plecs i encavalcaments, probablement com a conseqüència de la presència de falles mesozoiques amb la mateixa orientació (Gelabert, 1997). Són freqüents les costes espadades d'altures superiors als 15 m de formes convexes, esglaonades i verticals, amb direcció meridiana, constituïdes per les calcàries del Lias, dipòsits turbidítics del Miocè Inferior, gresos i conglomerats de l'Oligocè. Els exemples més clars els trobem als trams compresos entre na Galinda i sa Galera Grossa i entre Cala en Basset i es Morro de sa Rajada, dins del terme municipal d'Andratx.

El sector septentrional de la unitat II es caracteritza per presentar un aflorament massiu dels materials corresponents al Retià i Lias, aquest fet, segons (Gelabert, 1997) es degut a un basculament del basament de cap al SE abans de la deposició de la Unitat Turbidítica de Banyalbufar (Miocè Inferior). L'orientació dels plecs i encavalcaments en aquest sector es NE-SW i es poden seguir els seus eixos al llarg de desenes de quilòmetres. Les costes pertanyents al sector septentrional de la unitat II de la Serra de Tramuntana es caracteritzen per presentar grans espadats,

més de 120 m d'altura (els majors de tota la Serra i de la resta d'illa) i per estar constituïts, quasi bé íntegrament, per les calcàries i carniols del Lias i Retià respectivament. La intersecció dels eixos dels encavalcaments amb la línia de costa dona lloc a la formació d'entrants, cales i arraconades, dels quals, els millors exemples els podem observar al sector nordoccidental entre Punta Beca i el Cap de Formentor (Pollença) aquests són: Cala Solleric, Cala Estremer, Cala Sant Vicenç, Cala Molins, Cala Carbó, Cala Vall de Bóquer, El Llamp, Cala Figuera i Racó del Xot.

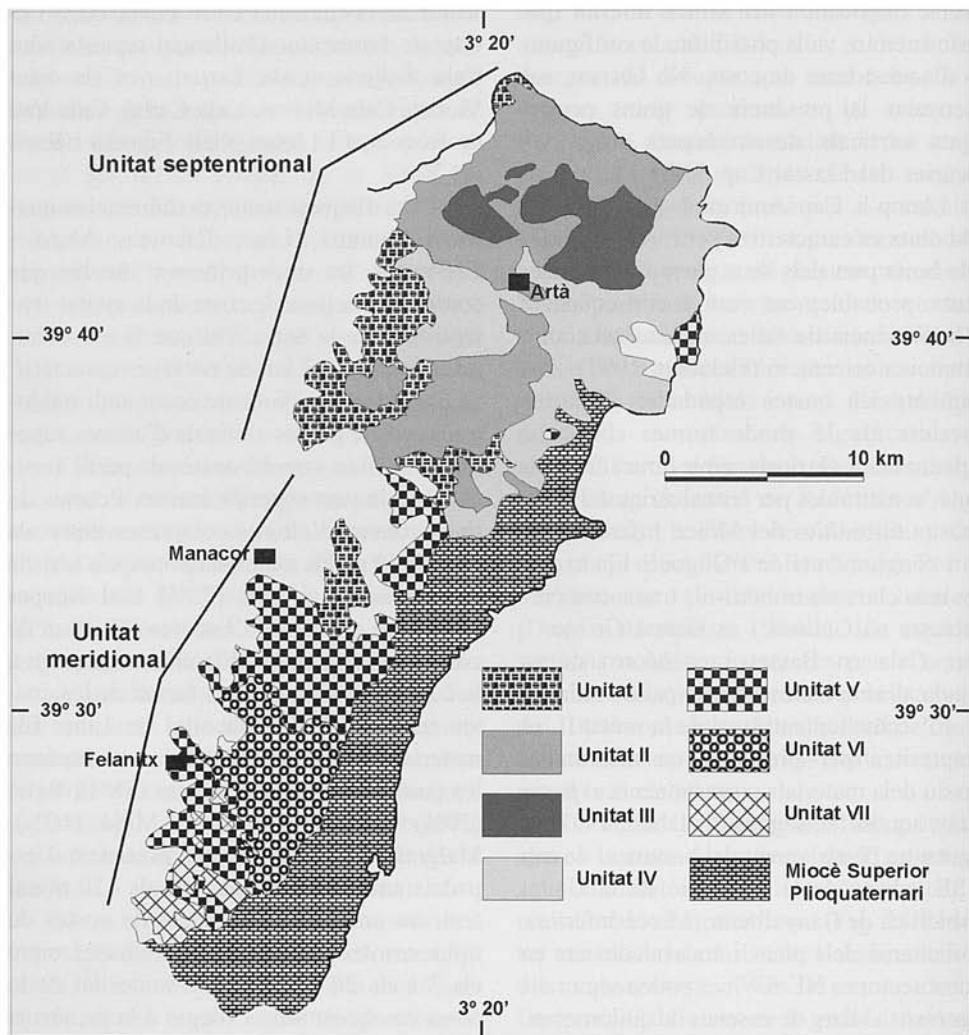
Dins d'aquest sector es diferencien quatre subunitats, Lluc, Escorca, Alaró i Campanet, les dues primeres són les que conformen la línia de costa de la meitat septentrional de la Serra. Pel que fa a la subunitat de Lluc (47 km de costa) es caracteritza per presentar línies de costa amb predominància de perfils verticals d'altures superiors als 30 m i també costes de perfil vertical amb la part superior convex i costes de tipus convex d'altures compreses entre els 15 i els 60 m, els materials principals són els corresponents al Lias (72%) i al Keuper (10%). La subunitat d'Escorca (62,4 km de costa) presenta certes diferències en quant a la composició litològica i forma de les costes respecte de la subunitat de Lluc. Els materials més importants que constitueixen les costes corresponen al Lias (58%), Retià (20%) i Miocè Inferior i Mitjà (10%). Malgrat hi hagi una elevada presència d'espadats amb altures superiors als 120 m cal tenir en compte la presència de costes de tipus convex amb altures compreses entre els 3 i els 30 m, la major sinuositat de la costa en aquest sector (degut a la presència de les cales i arraconades del sector nordoccidental), condiciona la presència de costes més suavitzades de perfil còncav, donant

lloc a àrees urbanes i a una important modificació artificial de certs punts de la línia de costa.

A la Fig. 3 es representa, de forma esquemàtica i generalitzada, la localització dels principals tipus de costa que es desenvolupen a la Serra de Tramuntana i Unitat d'Alcúdia.

La Unitat d'Alcúdia es troba a la península d'Alcúdia o des Cap Pinar que divideix les badies d'Alcúdia i de Pollença, a l'Oest limita amb la conca de Pollença i per l'Oest amb la Conca de Muro-Sa Pobla constituïdes per materials molt més joves.

L'estudi dels aspectes geològics d'aquest sector ha presentat diverses controvèr-



**Fig. 4.** Unitats estructurals de les Serres de Llevant i relleus del Miocè Superior i Plioquaternari segons Sàbat (1986).

*Fig. 4.* Structural units of the Serres de Llevant and reliefs of Upper Miocene and Plioquaternary according to Sàbat (1986).

sies, Fallot (1922) i Escandell i Colom (1961) ja observaren certes anomalies d'aquesta unitat respecte de la Serra de Tramuntana. Per si sola conforma una unitat tectònica que segons del Olmo *et al.* (1991) constitueix la unitat més elevada de les que componen la Serra de Tramuntana malgrat les relacions geomètriques amb aquestes no siguin totalment evidents pareix tenir un solapament amb l'unitat d'Alfàbia-Es

Barracar que ocupa bona part de la vall de Pollença. Gil (1994) admet que geogràficament es troba a la terminació oriental de la Serra de Tramuntana però que el tipus de fàcies corresponents al Juràssic Mitjà i Cretaci Inferior fan que geològicament pertanyin a les Serres de Llevant. Per la seva part Gelabert (1997) considera aquesta unitat com a part de la Serra de Tramuntana i atribueix la discordància estructural i litolò-

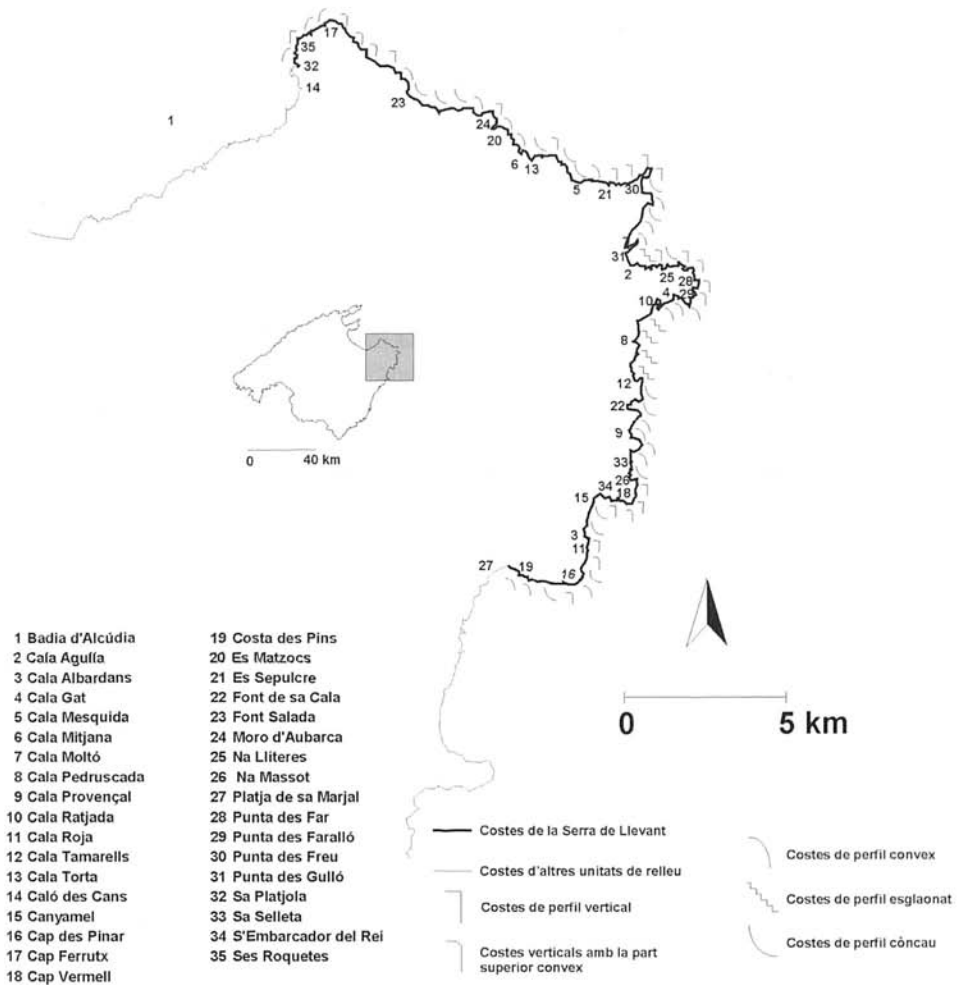


Fig. 5. Distribució de les formes adoptades per les vessants marítimes de les Serres de Llevant.  
 Fig. 5. Distribution of forms adopted by the marine slopes of the Serres de Llevant.



gica respecte aquesta degut a l'existència d'una falla mesozoica N-S, anterior al plegament terciari, que afecta als materials secundaris i que condicionà la direccionalitat N-S dels encavalcaments i la disposició dels materials del Dogger-Malm per sobre del Lias, donant lloc a un cas paregut al de la subunitat d'Andratx (Unitat II meridional).

Les costes formades pels materials pre-orogènics corresponents a aquesta Unitat s'estenen al llarg de 37,6 km. Els materials que conformen aquests tram de costa són del Quaternari (tant de tipus al·luvial, dunar com material acumulat al peu del vessant marítim), Juràssic Mitjà i Superior o Dogger-Malm, Juràssic Inferior o Lias i del Retià o Infralias del Triàsic Superior. Els materials que presenten una major presència són els corresponents al Quaternari (9,9 km), es tracta de dipòsits d'eolianites corresponents a dunes fòssils, conglomerats d'origen al·luvial i material desmantellat de les vessants, aquests es localitzen a les zones d'es Barcarès, Mal Pas, Bon Aire i Alcanada. Els segons en importància són els corresponents a les calcàries del Lias (9,4 km) que afloren des de Ses Caletes (Badia de Pollença) fins a Cala Solana (Badia d'Alcúdia) i des de La Platja des Coll Baix fins a sa Punta des Farallons (badia de Pollença). Les margocalcàries del Dogger-Malm (6,9 km) afloren des de la Punta de Tacàritx fins a Punta Corrent (Badia de Pollença) i entre cala Solana i la platja des Coll Baix (Badia d'Alcúdia). Les calcàries i carniols del Retià (2,7 km) afloren des de s'Illot fins a Punta Corrent (Badia de Pollença), puntualment a Cala Solana (Badia d'Alcúdia), i des d'Alcanada fins al port comercial d'Alcúdia. Les costes no consolidades (1,6%) es troben, formant petites platges d'arena, a la Badia de Pollença a certs trams de costa entre la Punta des Barcarès i sa Punta Llarga i a la platja des

Coll Baix en forma de platja de còdols. Les costes antropitzades (21,1%) ocupen una part important d'aquest sector litoral, les costes més modificades es troben a la zona del port comercial i esportiu d'Alcúdia, al port esportiu de Bonaire (Badia de Pollença) i a la vora de les zones de platja abans esmentades. Més del 40% de les costes tenen altures compreses entre els 0 i els 15 m, les costes amb majors altures es troben al tram comprès entre es Cap Pinar i la zona d'es Bancalets a on els penya-segats de perfil vertical presenten altures majors als 30 m. És a les immediacions del Cap de Menorca a on les costes espadades de perfil vertical sobrepassen els 120 m d'altura (Fig. 3).

#### *Les costes de les Serres de Llevant*

Les Serres de Llevant constitueixen el segon sistema de serralades més important de Mallorca, en el nostre cas, ocupen 54,5 km de línia de costa dels municipis de Son Servera, Capdepera i Artà, el que suposa el 8,7% del litoral de Mallorca. Segons Sàbat (1986), les Serres de Llevant s'organitzen d'acord amb dues grans unitats estructurals: la septentrional i la meridional (Fig. 4), aquestes es diferencien segons la disposició dels plecs i encavalcaments. El mateix autor defineix 7 sistemes d'encavalcaments imbricats que tenen el nivell de descenganxament en el Keuper. Només els materials de la unitat septentrional estan en contacte amb la mar (NE de Mallorca), per tant, ens centrarem únicament en les característiques d'aquesta unitat estructural respecte dels tipus de costa. La característica principal de l'estructura de la unitat septentrional és l'encreuament dels sistemes de fracturació i deformació que la componen amb direccions ortogonals NE-SW i NW-SE.

La Serra de Llevant es caracteritza per tenir més del 50% de les costes amb altures inferiors als 3 m (costes baixes) i per no pre-

sentar altures superiors, almenys amb l'aplicació dels nostres criteris, als 120 m. La major part de les costes són de tipus convex i còncav, les costes amb perfils verticals amb la part superior convexa no arriben al 20% (Fig. 5). Aquestes característiques donen lloc a unes costes més baixes i més accessibles a les que trobàvem a la major part de la Serra de Tramuntana, malgrat això només un 3% de la línia de costa ha estat modificada per l'home.

La columna estratigràfica dels materials que conformen les costes de la Serra de Llevant es bastant discreta degut a la poca "varietat" de litologies que hi trobem. Els materials corresponents al Quaternari ocupen el 15,6% de la costa d'aquesta unitat, els principals afloraments són en forma de dipòsits dunars fossilitzats, els exemples més evidents els trobem al sector septentrional, en el tram de costa situat entre la Platja de sa Font Salada (Artà) Cala Mesquida (Capdepera), a l'interior de Cala Agulla (Capdepera), el tram comprès entre Cala Pedruscada i Cala Tamarells (Capdepera) la zona costanera propera a Cala Provençal (Capdepera) i la zona de Canyamel (Capdepera). El següents materials per ordre d'antiguitat són les margocalcàries del Cretaci que afloren a un 13,2% del litoral, els afloraments principals els trobem entre la Platja de sa Font Salada i a les proximitats de Cala Mesquida, la suavitat del relleu ha permès la deposició, a sobre d'ells, dels dipòsits quaternaris. Altres afloraments litorals d'interès són els que es troben la vessant meridional de Cala Agulla, Punta des Faralló i Cala Gat, tots ells al terme municipal de Capdepera. Els materials Juràssics conformen més del 60% del litoral, existeixen dificultats a l'hora de reconèixer els materials corresponents als diferents estadis (Inferior, Mitjà i Superior), aquest fet es deu segons Bourrouilh (1973) a la dolomitització

secundària que afecta a les carniols, calcàries i margocalcàries del Retià, Lias, Dogger i Malm, donant lloc a una uniformització litològica. Del Olmo *et al.* (1991) atribueixen a aquest fenomen la impossibilitat d'aixecar una secció que tingui algun sentit estratigràficament i petrogràfica descriu tot el paquet com dolomies cristal·lines. D'acord amb l'esposat, les dolomies juràssiques amb límit inferior imprecís (Bourrouilh, 1973) ocupen el 57,4% del litoral de les Serres, els principals afloraments els trobem al tram comprès entre Sa Platjola (Badia d'Alcúdia, Artà) i sa Platja de sa Font Salada, a les immediacions de sa Punta des Freu (entre es Sepulcre i Cala Motlló), a la Punta des Gulló, afloraments dispersos al llarg del litoral meridional de Capdepera (entre Cala Rajada i Cap Vermell) i entre Cala Albardans (Capdepera i sa Platja de sa Marjal (Son Servera). Les calcàries bretxades del Juràssic Superior (Malm) afloren al 5%, els afloraments més importants són entorn al Cap Vermell, entre sa Selleta i na Massot i entre es Mollet i s'Embarcador del Rei. Els darrers materials, i més antics, corresponen als guixos i lutites dels Triàsic Superior (Keuper) que només afloren a un sector de la costa al llarg de poc mes d'un centenar de metres a la vessant meridional de sa Font de sa Cala (Capdepera).

En quant a la forma de la línia de costa cal assenyalar que s'observa una certa relació entre la litologia i el tipus de costa, la disposició dels materials dins de l'organització estructural de les Serres, així com també la naturalesa litològica, segurament expliquen aquest fet. Els penya-segats de majors altures (60-120 m) es desenvolupen sobre les dolomies juràssiques entorn del Cap Vermell, Cap Ferrutx i Cap des Pinar.

Les costes espadades d'altures compreses entre els 30 i els 60 m presenten formes

verticals i convexes, els materials que les constitueixen són les dolomies juràssiques i es localitzen a les proximitats dels penya-segats d'entre 60 i 120 m, al tram comprès entre la punta des Castellés i Cala Agulla, i entre Cala Moltó i sa Pesquera de Don Jaume (al SW de sa Punta des Freu).

Les costes amb altures compreses entre 15 i 30 m solen presentar un cert polimorfisme de costes de perfils verticals, convexes i còncaves formades principalment per les dolomies juràssiques i les margoclàries del Cretaci. Les costes de perfil vertical es localitzen als extrems o de forma intercalada entre les costes espadades d'altures compreses entre els 30 i els 120 m, excepte alguns casos com el de la Pedrera des Provençals, i les de perfil convex, es localitzen aleatòriament entre la Punta des Faralló i na Lliteres (Cala Agulla). Les costes amb perfil convex afloren a petits trams del litoral septentrional. Les costes de perfil còncau solen ésser la prolongació de les vessants suaus que vergeixen cap a la mar, és el cas d'alguns trams compresos entre el Cap des Pinar i la Platja des Marjal, les rodalies de Cala Roja i a la vessant meridional de Cala Agulla.

Les costes amb altures compreses entre els 3 i els 15 m es troben repartides per tot el litoral de les Serres de Llevant, es presenten amb morfologies còncaves, convexes i verticals. Les costes de tipus còncau estan formades per eolianites i rudites del Quaternari, margocalcàries cretàiques i dolomies juràssiques. Pel que fa a les compreses per litologies quaternàries i cretàiques, es localitzen a la vessant septentrional (entre sa Platja de sa Font Salada i Cala Mesquida). Les formades per les calcàries del Lias apareixen al fons de les cales formades dins dels espadats de la zona de sa Punta des Freu. Les de tipus convex es troben a la costa septentrional (les formades

pels materials Cretacis) i a la Costa dels Pins (les formades per les dolomies juràssiques).

Les roques amb altures compreses entre 0 i 3 m (costes baixes), majoritàriament amb formes esglaonades i còncaves compostes per dipòsits quaternaris, es localitzen a la costa de Llevant, entorn al Caló de sa Fusta, Font de sa Cala, Cala Tamarells, Platja de Son Moll, i a la costa septentrional entorn a Cala Torta, Cala Mitjana i de manera discontinua en el tram comprès entre es Morro d'Aubarca i sa Platja de sa Font Salada.

A la Fig. 5 es representa la distribució generalitzada dels principals formes de la costa de les Serres de Llevant.

#### *Les costes dels relleus tabulars postorogènics*

Es consideren relleus tabulars postorogènics a les plataformes estructurals, formades per les calcàries i calcarenites dels Miocè Superior i pels nivells de calcarenites del Pliocè, que no han sigut afectats per moviments de compressió i que presenten grans afloraments a la zona del llevant, migjorn i part sudoccidental de Mallorca.

Aquests relleus conformen 175,8 km, el que suposa el 28,1% del total de les costes de Mallorca. Es poden diferenciar tres zones litorals, separades per àrees de conca rebllides per dipòsits Plioquaternaris. La primera i més extensa és la que es localitza a la part del llevant de Mallorca, en els municipis de Santanyí, Felanitx, Manacor, Sant Llorenç i Son Servera, comprèn 103,3 km de costa i la conformen els materials calcaris corresponents al Complex Escullós i a les Calcàries de Santanyí, ambdós del Miocè Superior i per dipòsits dunars fossilitzats del Quaternari disposats a diferents nivells i de forma adherida respecte dels anteriors. La segona es localitza a la part del migjorn de l'illa, en el municipi de Lluçmajor, i les

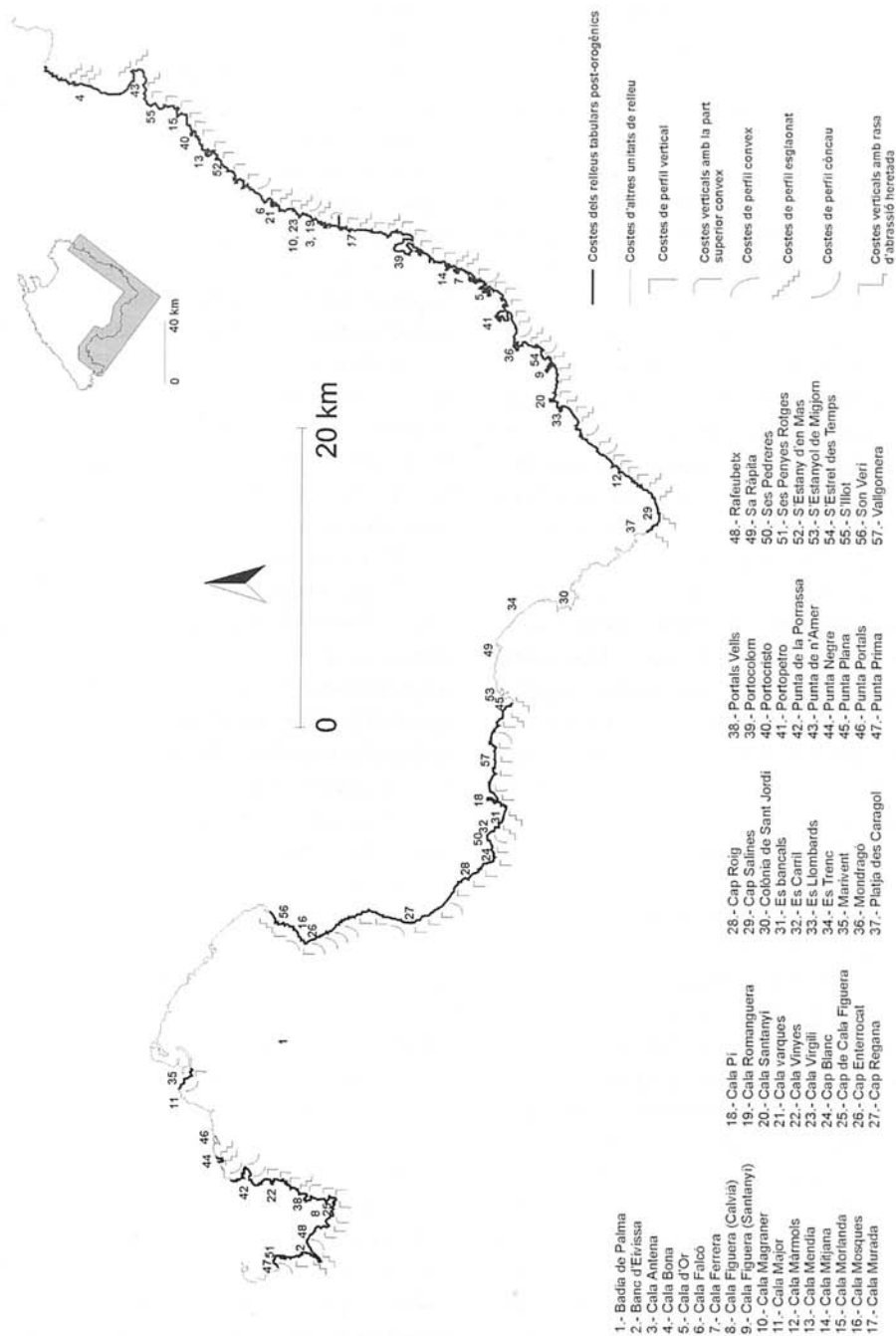


Fig. 6. Distribució de les formes adoptades per les vessants marítimes dels relleus tabulars postorogènics d'edats compreses entre el Miocè Superior i el Quaternari.  
 Fig. 6. *Distribution of forms of the marine slopes of the post-orogenics tabular reliefs with ages between Upper Miocene and Quaternary.*

seves costes tenen una longitud de 41,2 km, aquestes estan formades, majoritàriament, pels materials corresponents al Complex Escullós i per nivells d'eolianites del Quaternari. La tercera franja litoral es localitza de manera discontinua a la part occidental de la Badia de Palma (municipis de Palma i Calvià) i en el SW de Mallorca, té una longitud de 31,3 km i la constitueixen els materials del Miocè Superior, del Pliocè i del Quaternari.

Algunes característiques generals d'aquest conjunt de costes, en quant a formes, són la predominància de perfils verticals, còncaus i esglaonats, també adquireixen una notable importància, sobretot pel que fa a l'àrea del Llevant, les costes amb perfil vertical i plataforma litoral adherida (Fig. 6). La proporció de línies de costa modificades per l'home és del 6,2%, les principals manifestacions es troben als municipis de Calvià, Santanyí, Felanitx i Manacor. Les costes arenoses ocupen el 5% i es limiten a aparèixer en el fons de les cales més importants.

En quant a altures cal assenyalar que aquest tram de costa es pot considerar format per costes altes (altures superiors als 3 m), les costes rocoses amb altures inferiors als 3 m representen l'11% (19,4 km) i solen adoptar formes esglaonades i convexes. Les costes amb altures entre 3 i 15 m, són les més extenses, representen el 34,1% (59,9 km) i adopten formes verticals i esglaonades. Les costes entre 15 i 30 m representen el 23% d'aquest sector (41,1 km) i es manifesten amb formes verticals, còncaues i penya-segats associats a rases d'abrasió, la seva localització es centra a les zones de Palma-Calvià i del Llevant. Les d'altures compreses entre els 30 i els 60 m són el 6,4% (11,4 km) i solen ésser penya-segats de perfil vertical, espadats amb la part superior convex i vessants de tipus còncau, bona part d'aquestes es troben a la zona sudocci-

dental i al Llevant de Mallorca. Les costes d'altures entre els 60 i 120 m representen l'11,8% (20,7 km), bona part d'elles es troben a la zona d'es Migjorn, principalment amb formes verticals i còncaues. Finalment, les costes amb altures superiors als 120 m es troben molt localitzades al municipi de Calvià, representen el 2,2% (3,9 km) amb costes de tipus còncau.

Les calcàries i calcarenites del Miocè Superior són els materials que conformen la major part de la línia de costa, el 68,9% (equivalent a 121,2 km de costa), els dipòsits marins i litorals del Quaternari ocupen el 19,8% (equivalent a 34,8 km de costa) i els nivells calcarenítics del Pliocè representen el 0,3% (532,3 m) molt localitzats a la zona de Rafeubetx (Calvià).

El litoral de la marina de Llevant té 103,3 km lineals de costa, s'estén des del Cap Salines (Santanyí) fins a Cala Bona (Badia de Cala Millor, Son Servera). És el tram de costa més extens format pels relleus tabulars post-orgànics. El 9,1% del litoral ha sofert una important modificació per part de l'home, els exemples més significatius són modificacions de les vessants de les cales que ofereixen un major abrís per als vaixells front als temporals, Cala Figuera, Portopetro, Cala d'Or, Portocolom i Portocristo (Fig. 6) són les evidències més clares. Els litoral formats per platges d'arena són el 5,4%, aquests es limiten a l'interior de les cales excepte els casos de les platges de s'Illot, sa Coma i Cala Millor que són platges d'extensió considerable amb un desenvolupament important del sector turístic.

Els materials que afloren i conformen aquestes costes són els corresponents a les Calcàries de Santanyí i al Complex Escullós del Miocè Superior (ambdós representen el 77,6%) que es solen manifestar amb un ampli espectre d'altures i formes verticals, esglaonades i espadats amb plataforma lito-



ral adherida. Els dipòsits litorals del Quaternari representen el 7,9%, es solen disposar de manera adossada als materials del Miocè Superior adoptant formes esglaonades i còncaues.

Les costes amb perfil vertical són les més importants (46,3%) (Fig. 6), solen estar constituïdes per les Calcàries de Santanyí, presenten altures variables, es desenvolupen als sectors delimitats entre la Punta de les Crestes (Felanitx) i s'Illot (Manacor) i entre Punta d'en Barragot i Caló de sa Galera (dins el terme municipal de Santanyí). Les més elevades es troben entre Cala Llombards i Cala Màrmols (Santanyí).

Els espadats verticals amb la part superior convexa només representen el 4% del litoral (Fig. 6), afloren al llarg d'alguns trams entre Cala Anguila i Cala Murta (Manacor) i estan formats pels materials del Miocè Superior amb altures compreses entre els 3 i els 30 m.

Les costes de perfil convex són el 3,9% i afloren de manera molt puntual entre Cala Murta i Cala Morlanda (Manacor), a la zona des Llombards i entre Cala Màrmols i Cap Salines (Fig. 6).

Les costes esglaonades ocupen el 18,2% (Fig. 6) conformant un ampli ventall en quant a altures (entre els 0 i els 30 m), a la seva distribució, i a la seva composició. Les que tenen menor altura estan formades per dipòsits dunars del Quaternari. Es desenvolupen gairebé per tot arreu, la majoria de les cales solen tenir almenys alguna porció de les seves vessants marítimes amb aquesta forma. Els trams de costa amb un major desenvolupament d'aquestes formes es localitzen a la zona de Punta de n'Amer i sa Coma, entre Cala Estreta i Cala Bafi i a l'oest de Cala Figuera (Santanyí).

Les costes de perfil còncau (6,1%) es troben força repartides al llarg del litoral del Llevant (Fig. 6), en alguns sectors entre

Cala Ferrera i Cala Bafi, entre Cala Falcó i s'Estany d'en Mas, entre Cala Figuera i s'Almonia i a s'Estret d'es Temps. Tots ells responen a l'esquema geomorfològic d'una duna fòssil quaternària adossada a un paleopenya-segat esculpit sobre les calcàries del Miocè Superior.

Els espadats verticals amb una plataforma litoral heretada adherida, són una tipologia de forma costanera comuna en aquest sector, ocupen el 7% del litoral de Llevant. La presència de la plataforma d'uns 2 a 4 m d'altura no impedeix l'acció dels agents de meteorització marina actuar sobre les parets dels espadats localitzats a la part posterior. Presenten altures compreses entre els 3 i els 30 m i els sectors a on aquests tipus de costa es manifesten és entre el caló de sa Barca Trencada i sa Punta des Bauç (Santanyí) (Fig. 6).

Les característiques geomorfològiques més notables del Llevant de Mallorca són la presència de cales que han sigut objecte d'estudi des de finals del segle XIX (consultar apartat referent a l'estat de la qüestió) que Penk (1894) les va definir com a valls d'erosió anegades. L'abundància de coves marines i submarines que han sigut explorades i l'estudi de llurs espeleotemes ha servit per la determinació i correcció de les corbes de variació glacioeustàtiques del Quaternari.

Les seves costes es localitzen dins del municipi de Lluçmajor, hem considerat que comprenen des de la zona de Son Verí fins a Punta Plana, al S de s'Estalella. Els materials que les conformen corresponen al Quaternari (37%) i al Miocè Superior (63%). Les costes de la Marina de Lluçmajor presenten les majors altures a la part central, que poden arribar assolir gairebé els 120 m (Cap Roig, Cap Blanc), i van perdent altura a mesura que ens desplaçam cap als extrems, aquest fet està relacionat amb un fenomen de basculament del terreny

(Cuerda i Sacarès, 1992), aquest és fa patent en la pèrdua d'altura dels penya-segats compresos entre la zona de Cala Pi i Punta Plana. El sector costaner comprès entre Son Verí i el Cap Enderrocat es caracteritza perquè està format, en la seva major part, per dipòsits marins i litorals del Quaternari que es disposen en grans paquets adossats al basament del Miocè Superior, la major part són costes de perfil vertical, esglaonades o còncaues amb altures no superiors als 15 m.

Els 41,2 km de costa de la Marina de Lluçmajor són principalment de perfil vertical i còncau (Fig. 6). Els litorals d'arena són molt poc representatius (0,8%) les úniques evidències les trobem a la Platja de Son Verí, Cala Mosques, Caló Groc de ses Puntes, Cala Vella, Illots de Can Climent i Cala Pi. Les costes baixes representen el 8,8% d'aquest sector, es localitzen a la zona de Son Verí i a Punta Plana, en ambdós casos es tracta de costes esglaonades i còncaues formades per materials preferentment quaternaris. Les costes d'entre 3 i 15 m (21,2%) així com les compreses entre els 15 i 30 m (20,3%) es distribueixen al llarg dels trams compresos entre Son Verí i el Cap Enderrocat, immediacions del Cap Regana i els litorals de Cala Pi i Vallgornera, aquests adopten formes verticals allà a on afloren els materials Miocè Superior i còncaus i esglaonats a on es troben jaciments litorals del Quaternari. Les costes amb altures compreses entre els 30 i els 60 m (5,6%) es distribueixen entre el Cap Enderrocat i Punta Negra, adopten formes d'espadats de tipus còncau i vertical, amb una alternança aleatòria dels afloraments del Quaternari i Miocè Superior. Les costes amb altures d'entre els 60 i els 120 m (42,52%) representen els espadats de màxima altura de tota la marina, conformen bona part de les costes i estan formats per les calcàries esculloses del Complex Escullós localitzats entre

Punta Negra i Ses Pedreres (a l'Est del Cap Blanc) donant lloc a penya-segats de tipus vertical i còncau.

Alguns autors (Rosselló, 1964; Cuerda i Sacarès, 1992) descriuen a les costes de la Marina de Lluçmajor com a poc articulades, únicament presenten importants indentacions al seu extrem occidental a Cala Mosques o Cala Blava, Caló de ses Leonardes i Caló Groc de Ses Puntes que deuen la seva gènesi a processos fluvio-torrencial i de diaclasmament, i en el sector oriental a Cala Beltran i Cala Pi com a exemples més representatius que responen principalment a processos de dissolució i diaclasmament (Rosselló, 1998).

Les costes formades pel que hem anomenat els relleus tabulars postorogènics que trobem al SW de Mallorca, les conformen una sèrie de segments litorals, dins del tram litoral comprès entre el port comercial de Palma i la zona de ses Penyes Rotges (Calvià), que s'alternen amb costes de platja i costes formades pels materials que conformen la Serra de Tramuntana. Les costes del SW de Mallorca formades pels materials corresponents al Miocè Superior, Pliocè i Quaternari es localitzen de manera contínua des de Punta Prima fins a la Platja de Magalluf (Calvià), la Punta de la Porrassa (Calvià), des de la Platja de Porto Novo fins Punta Portals (Calvià) i des de Marivent fins a la Punta des Colomer (Palma).

Les formes predominants són de tipus vertical i còncau (Fig. 6), les costes antropitzades representen menys del 5% del total, ja que els ports esportius de Portals Nous i de Cala Nova s'han considerat com a costes antropitzades de la Serra de Tramuntana de la Badia de Palma. Les costes d'arena representen al voltant d'un 10%, aquestes es localitzen al fons de cales i badies com Cala Figuera, Portals Vells, Cala Vinyes, Ses Penyes Rotges i les platges de Palma Nova,

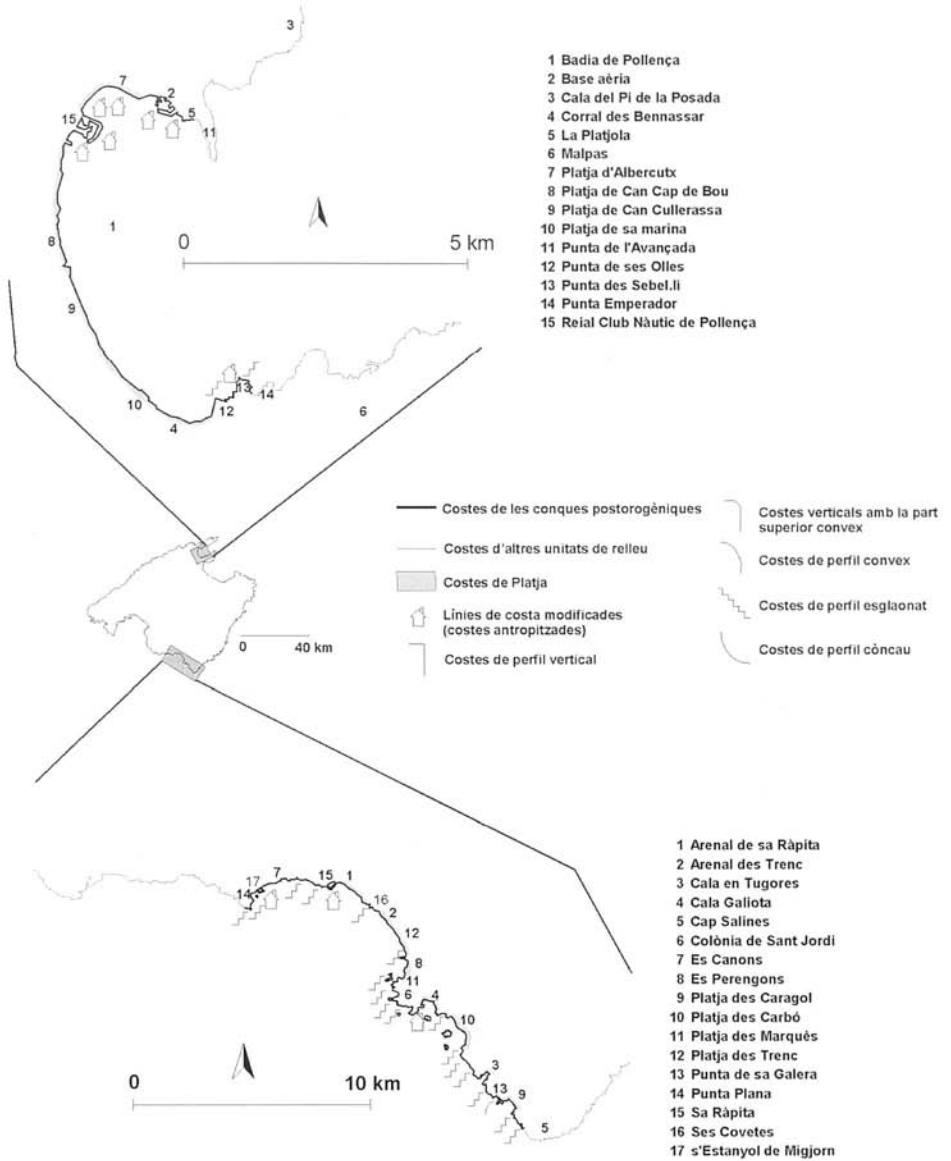


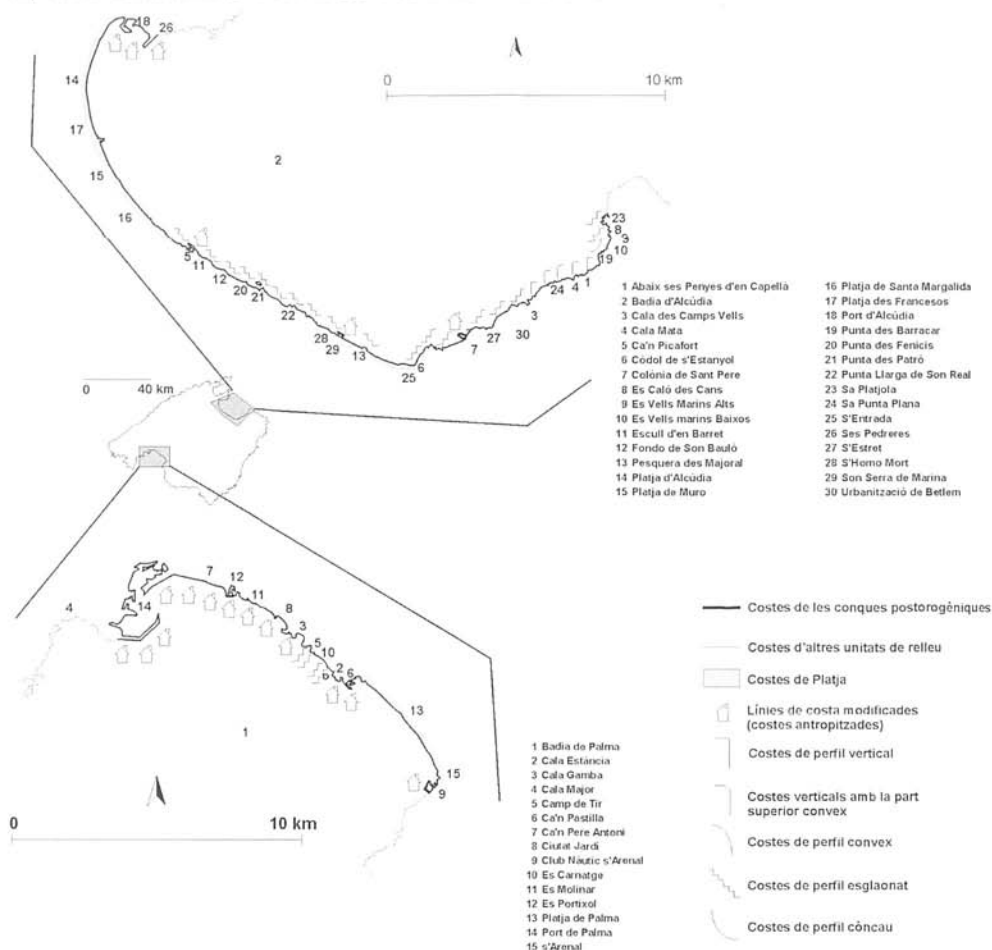
Fig. 7. Forma de les costes localitzades a la Badia de Pollença i a la Conca de Campos. Aquestes estan formades per materials d'edat Plioquaternaria dipositats dins àrees de conca (graben).

Fig. 7. Coasts forms located in the Bay of Pollença and Campos basin. These are formed by materials of the Plioquaternary inside basin areas (graben).

Magalluf, Porto Novo i Son Caliu. Els materials que conformen les costes són calcàries i calcarenites del Miocè Superior, calcarenites del Pliocè, i dipòsits al·luvials i col·luvials del Quaternari.

El sector comprès entre Punta Prima i el Cap de Cala Figuera el conformen costes de perfil vertical i còncau formats per dipòsits calcarenítics del Pliocè i eoliani-

tes del Quaternari. Les altures s'incrementen a mesura que ens desplaçem cap a l'Est, assolint el màxim (més de 120 m) a la zona de Rafeubetx, donant lloc les costes formades per relleus tabulars postorogènics més altes de Mallorca. L'única excepció la conforma el promontori del Banc d'Eivissa que va perdent altura de NE a SW.



**Fig. 8.** Característiques de les costes localitzades a l'interior de les badies d'Alcúdia i Palma. Aquestes estan formades per materials d'edat Plioquaternaria dipositats dins àrees de conca (graben). Crida l'atenció l'elevat grau de modificació de la línia de costa que s'observa a la Badia de Palma.

**Fig. 8.** Coasts forms located in the Bay of Alcúdia and Palma. These are formed by materials deposited of the Plioquaternary inside river basin areas (graben). There is a high degree of modification of the coastline in the Bay of Palma.

En el sector comprès entre el Cap de Cala Figuera i la Platja de Magalluf els materials del Miocè Superior adquireixen una certa importància respecte del tram anterior. Les formes de la costa solen ésser de tipus vertical amb altures variables des dels 3 als 60 m, les costes baixes apareixen a l'interior de les cales esculpides dins de les calcàries Miocenes i Pliocenes, és el cas de Cala Figuera, Cala Portals Vells, Caló de sa Nostra Dona, Cala Falcó i Cala Vinyes. Les costes de perfils còncaus adquireixen un important desenvolupament en el segment costaner que comprèn des de Cala Vinyes fins a la Platja de Magalluf, i també solen aparèixer, juntament amb les costes esglaonats en alguns racons més protegits de l'onatge com és el cas de l'interior de Cala Portals Vells, Cala Xada i Caló de sa Nostra Dona.

Els sectors litorals restants localitzats entre la Punta de sa Porrassa i el port comercial de Palma, es caracteritzaren per tenir una desconexió espacial ja que es deuen a afloraments adherits a la part sudoriental de la Serra de Tramuntana. És a partir d'aquest indret a on s'observa una elevada pressió urbanística sobre el litoral de la Badia de Palma que es presenta de forma gairebé ininterrompuda fins a la zona de la urbanització de Cala Blava (Llucmajor). Les costes formades pels materials del Miocè Superior tenen altures compreses entre els 3 i els 15 m i s'observa una elevada relació de costes de perfil còncau formades per nivells Plio-Quaternaris.

#### *Les costes de les conques postorogèniques*

L'organització estructural de Mallorca ve donada d'acord amb un conjunt de horsts i grabens, que s'alternen formant les serres, les valls i les zones planes de l'illa. En aquest apartat ens centrarem en la descripció de les línies de costa formades pels

materials dipositats dins de les principals conques (grabens) de l'illa. Les conques postorogèniques considerades en aquest treball d'acord amb les seves característiques litològiques i estructurals són la conca de Palma, Badia d'Alcúdia, conca de Campos i Badia de Pollença. S'ha considerat que les costes corresponents amb la conca de Palma es localitzen al fons de la Badia de Palma, entre el Port de Palma i s'Arenal (Llucmajor). Les corresponents a la Badia d'Alcúdia es localitzen entre el Port d'Alcúdia i es Caló des Camps (Artà). Les costes corresponents a la conca de Campos estan compreses entre s'Estalella (Llucmajor) i la Platja des Caragol (Santanyí). Pel que fa a la Badia de Pollença es troben a la Badia de Pollença, entre la Punta des Ravell (Pollença) i la Punta de Tacàritx (Alcúdia).

Les costes formades pels materials que conformen part de les conques postorogèniques més importants de Mallorca ocupen un total de 124,4 km (19,9% de la costa de l'illa). Les conques estan reomplertes de materials del Miocè Mitjà i Superior i del Plioquaternari, la geometria general de les línies de costa que s'hi desenvolupen sol ésser de tipus esglaonat, còncau o vertical generalment d'altures compreses entre els 0 i els 3 m i que mai superen els 15 m. Aquestes característiques són pròpies de línies de costa fàcilment accessibles i viables per a la construcció de ports i d'infraestructures industrials i comercials a prop de la mar. La conseqüent urbanització, afavorida per la presència de planures que s'estenen varis quilòmetres terra endins donen lloc a les zones costaneres més poblades de l'illa, per aquest fet el 23,6% d'aquestes costes (29,4 km) estan completament modificades per l'home.

La topografia d'aquests indrets dona lloc a relleus suaus monoclinals que també s'estenen sota el nivell de la mar, en alguns



casos, fins a 10 km (Butzer, 1962; Rosselló, 1964), això juntament amb la presència de praderes de *Posidonia* (Walter-Levy *et al.*, 1958; Servera, 1997; Rodríguez-Perea *et al.*, 2000) permet la formació de litorals de platja, que en molts casos, gràcies a la planura dels relleus, es desenvolupen sistemes dunars associats a aquestes. S'han calculat 40,3 km de costes de platja desenvolupats en aquests tipus de costes.

La conca de la Badia de Pollença està compresa dins la unitat geomorfològica de la Serra de Tramuntana, concretament dins el sector septentrional de la Unitat Estructural II (Gelabert, 1997), ocupa part de les costes dels municipis de Pollença i Alcúdia. En els treballs clàssics sobre la geologia de Mallorca (Fallot, 1922; del Olmo *et al.*, 1991; Gelabert, 1997) no es sol considerar com a una conca pròpiament dita, ja que es considera com a part intrínseca de la Serra de Tramuntana, ubicada a l'extrem nordoriental, entre la península de Formentor i la Unitat d'Alcúdia. Les característiques morfològiques i litològiques de la línia de costa són els factors que ens han portat a considerar a aquesta àrea com una conca reblida de materials postorogènics (preferentment plioquaternaris). Es tracta d'una zona de graben reomplerta per materials del Quaternari que es disposen amb un contacte erosiu i discontinu a sobre del substrat plegat del Mesozoic, constituït per les calcàries del Lias, carniols del Retià, lutites, guixos i roques volcàniques del Keuper i en alguns punts, per margues i gresos del Miocè Inferior i Mitjà. Dels 27,7 km que ocupen les costes formades pels materials que reomplen la conca de Pollença, el 40% estan formats per platges d'arena, el 34% està modificat per l'home a partir de la construcció de ports esportius (Reial Club Nàutic de Pollença i Port Esportiu de Bonaire), passeigs marítims i dics de protec-

ció de platges i el 26% restant l'ocupen les costes rocoses formades principalment per sediments quaternaris d'origen al·luvial i col·luvial. La morfologia que presenten aquestes costes es de tipus esglaonat amb altures inferiors als 3 m. La presència de costes de perfil vertical, amb altures compreses entre els 3 i 15 m, és important a la part oriental de la Badia de Pollença (Fig. 7). Aquests tipus de costa deuen la seva presència al desmantellament i retrocés dels ventalls al·luvials formats al peu dels relleus de la Unitat d'Alcúdia (Gelabert *et al.*, 2003), a les zones d'es Barcarès i es Malpàs.

La conca de Campos es localitza a l'extrem sudoriental de l'illa de Mallorca, ocupa l'àrea geogràfica anomenada "es Pla de Campos" i ocupa part dels municipis de Santanyí, Ses Salines, Campos i Lluçmajor (Fig. 7), entre Punta Plana (Lluçmajor) i la Platja des Caragol (Santanyí). Geològicament respon a una zona deprimida entre la Marina de Lluçmajor i la Marina de Llevant. Els materials que la reomplen són calcarenites i marès del Plioquaternari, eolianites d'origen marí còdols blocs i llims d'origen al·luvial del Quaternari i dipòsits corresponents a sistemes platja-duna de l'Holocè. El tram de costa inserit dins d'aquesta unitat geomorfològica es pot considerar que comprèn des de la zona de s'Estalella (Lluçmajor) i es Cap Salines (Santanyí). El tram de costa descrit té una longitud de 34,7 km, la major part de la línia de costa rocosa (gairebé el 70%) l'ocupen costes de tipus esglaonat, amb altures inferiors als 3 m, formades per eolianites quaternàries. Malgrat l'elevada pressió urbana que ha sofert aquest tram costaner durant els darrers anys (s'Estanyol de Migjorn, sa Ràpita, Ses Covetes, Colònia de Sant Jordi), ressalta la baixa proporció de línies de costa modificades per l'home (6,2% el que equival a 2,1 km). Les costes formades per dipòsits de

platja o sistemes de platja-duna adquireixen una gran importància (23,5% equivalent a 8,2 km) per la seva significació dins dels ambients costaners de Balears (Fig. 7).

La costa considerada dins de la Badia d'Alcúdia comprèn entre el Port d'Alcúdia i es Caló des Camps (Artà) (Fig. 8). Ocupa part dels municipis d'Alcúdia, Muro, Santa Margalida i Artà. Geològicament comprèn tres unitats geomorfològiques, la primera, i la que llurs materials conformen la major part de la línia de costa, és la Conca Inca - Sa Pobla, formada pels materials plioquaternaris que reomplen la conca que poden arribar assolir potències de més de 1000 m (Benedicto *et al.*, 1993). Dins d'aquesta unitat es localitza la major part de la Platja de Muro i l'Albufera d'Alcúdia. La segona unitat és l'anomenada "sa Marineta", aquesta es troba entre la unitat descrita i les muntanyes d'Artà. Està formada per calcàries i calcarenites del Miocè Superior, per margues i llims del Pliocè i per dipòsits arenosos i d'eolianites del Quaternari. Són aquests darrers els que apareixen a la línia de costa. La tercera unitat es troba a l'extrem oriental de la badia d'Alcúdia, està formada per materials al·luvials, col·luvials i eolianites d'origen marí d'edat plioquaternària que conformen seqüències de ventalls al·luvials formats per la desmantelació de les muntanyes d'Artà i per dipòsits dunars fossilitzats localitzats a diferents altures (Rodríguez-Perea, 1998; Gómez-Pujol, 1999). Aquesta unitat conforma la línia de costa compresa entre la Colònia de Sant Pere fins al Caló des Camps (Artà). El tram de costa té una longitud de 40,8 km, dels quals 13,6 km són costes de platja i 7 km estan modificats per l'home. Els 20,2 km restants els conformen costes rocoses d'altures inferiors als 15 m, adoptant formes esglaonades, de perfil vertical i còncav (per ordre d'importància). Les costes de perfil vertical són les que assoleixen

majors altures, entre 3 i 15 m, la major concentració es troba a l'extrem oriental de la badia i són el resultat de l'erosió i desmantellament dels ventalls al·luvials de la zona de Betlem. Les costes esglaonades són les més esteses, es troben a la meitat oriental de la Badia d'Alcúdia, entre Ca'n Picafort (Santa Margalida) i Betlem (Artà). Bona part d'aquestes costes esglaonades es desenvolupen sobre els materials quaternaris que solapen amb la unitat de Sa Marineta formada per materials del Miocè Superior.

La Conca de Palma o "es Pla de Palma" es localitza a part meridional de Mallorca. La seva formació, segons del Olmo *et al.* (1991) es deu a l'existència d'una fase o conjunt de fases d'enfonsament generades després del Langià (Miocè Mitjà). S'han succeït processos de subsidència des del Miocè Mitjà fins ben entrat el Quaternari, donant lloc a potències de sediments que poden superar els 300 m de potència (Fuster, 1973). En el seu contacte amb la mar conforma bona part de la meitat oriental de la costa de la Badia de Palma, entre el Port de Palma (Palma) i el Club Nàutic de s'Arenal (Llucmajor). Les característiques generals d'aquest tram costaner és l'elevat grau d'antropització de la línia de costa, directament relacionat amb la presència de la ciutat de Palma amb 333.801 habitants segons el cens de població de l'Institut Nacional d'Estadística de l'any 2001. El tram de costa tractat té una longitud de 21 km, d'aquests únicament 2,9 km estan formats per costes rocoses sense cap tipus de modificació en el contacte terra - mar, es tracta de costes esglaonades d'altures inferiors als 3 m formades per dipòsits litorals i dunars fossilitzats del Quaternari, el sector més important d'aquest tipus de costa es troba a la zona d'es Carnatge i des camp de Tir (Fig. 8). Un total de 10,7 km (51% del tram de costa) estan totalment modificats

per l'home com a conseqüència de la construcció d'esculleres, passeigs marítims, dics de protecció de platges, ports esportius (Reial Club Nàutic de Palma, Club de Mar, Club Nàutic Portixol, Club Marítim Molinar, Club Nàutic de Cala Gamba, Club Marítim de Can Pastilla i Club Nàutic de s'Arenal) i el Port Comercial de Palma. Els 7,4 km de costa restants els conformen platges d'arena que en tots els casos (Ca'n Pere Antoni, Es Portixolet, Ciutat Jardí, Cala Estància i Platja de Palma) han tingut lloc actuacions de regeneració d'arena (Fig. 8).

## Conclusions

Mallorca té una longitud de 626 km de línia de costa. Les costes rocoses ocupen el 81% del total de la línia de costa de Mallorca, les costes formades per materials no consolidats ocupen el 9% i les línies de costa completament modificades per l'home (costes antropitzades) suposen el 10%. Les costes antropitzades s'han desenvolupat preferentment a costes baixes i accessibles per l'home, amb finalitats comercials, d'esplai, lleure i de previsió de riscos.

Tres quartes parts de les costes de Mallorca són costes altes (amb una altura superior als 3 metres). Al voltant d'una sexta part de les costes de Mallorca (15,2 %) són considerades com a costes baixes amb altures inferiors als 3 m. El 43,9 % de les costes tenen altures compreses entre 3 - 30 m. Les costes amb altures compreses entre 30 - 60 m representen el 10,4 %, les d'altures entre 60 - 120 m ocupen el 6,2 % i les d'altures superiors als 120 m ocupen el 5,3%.

La forma que adopten les costes rocoses són producte de la intervenció dels agents marins, subaeris, composició litològica i implicacions estructurals. Les formes més abundants són les de perfil vertical (29% de

les costes de l'illa), seguides per les de perfil còncau (16,6% del litoral), costes esglaonades (14,9%), de perfil convex (12,6%), perfil vertical amb la part superior convex (5,4%) i perfil vertical amb plataforma here-tada a la seva base (1,6%).

La distribució de les costes amb un perfil vertical és aleatòria i estesa arreu del perímetre de l'illa, les costes més elevades generalment responen a aquest tipus de forma. Les costes amb perfil còncau també estan prou distribuïdes arreu del litoral, normalment es troben a costes sinuoses i associades a la presència d'entrants, cales i badies. Les que presenten un perfil esglaonat no solen traspasar altures superiors als 30 m, s'associen amb les costes a on es troben vestigis de l'oscil·lació glacioeustàtica durant el Quaternari i es solen localitzar en el fons d'alguns entrants, cales, ports naturals i grans badies de Mallorca. Les costes amb perfil convex teòricament deuen la seva forma a la interacció dels factors subaeris i marins (Emery i Kunh, 1982, Trenhaile, 1987), la major part es localitza a les vessants marítimes de les serres de Llevant i Tramuntana, preferentment sobre materials mesozoics. Les costes de perfil vertical amb la part superior convex es troben a les costes de les serres de Llevant i de Tramuntana, allà a on es junten vessants subaèries de relleus enèrgics amb espadats verticals de forma vertical. Les costes de perfil vertical amb una plataforma litoral hetetada desenvolupada a la seva base són un tipus de costa molt localitzada a la zona del Llevant de Mallorca i la major concentració d'aquestes costes es troba en el sector costaner comprès entre el Caló de sa Barca Trencada i la Punta des Bauç (Santanyi).

La meitat de les costes rocoses de Mallorca (49,4%) estan formades per materials afectats per una estructuració compressiva, l'altra meitat (50,6 %) estan confor-

mades per materials disposats de la mateixa manera en la qual es varen dipositar, en alguns casos afectats per processos de basculament i tectònica distensiva. La major part dels materials estructurats han sigut deformats per l'orogènia Alpina que tingué lloc des de l'Oligocè fins al Miocè Mitjà, només una petita porció, localitzada en el litoral de Banyalbufar, presenta evidències de deformacions anteriors, corresponents a l'orogènia Hercínica que tingué lloc durant el Paleozoic (Devonià Superior fins a finals del Pèrmic). La distribució general de les costes, segons l'estructuració dels materials que la conformen, coincideix amb la distribució de les regions fisiogràfiques de Mallorca. Les costes formades per materials estructurats es troben a les vessants marítimes de la Serra de Tramuntana, Llevant i Unitat geològica d'Alcúdia. Les formades pels materials no estructurats es troben dins les badies d'Alcúdia, Pollença i Palma i al llarg de la costa del Llevant i del Migjorn.

L'edat dels materials que conformen les costes rocoses de Mallorca guarda una estreta relació amb la seva disposició, grau de deformació i amb la unitat de relleu en la qual es troba la línia de costa.

Les costes de la Serra de Tramuntana es caracteritzen per presentar una forta relació entre l'altura, la duresa dels materials, la disposició i l'organització estructural dominant per a cada tram de costa. Estan formades per un espectre de litologies d'edats compreses entre el Quaternari i el Secundari, és la unitat de relleu que té una major proporció de costes amb altures superiors als 120 m, el tram costaner a on hi ha una major concentració d'aquests tipus de costes altes és el comprès entre el Port de Sóller (Sóller) i el Cap de Formentor (Pollença), els materials que conformen aquests espadats enèrgics es corresponen a les carniols i calcàries del Retià i Lias respectivament.

La configuració dels tipus de costa d'acord amb la disposició dels encavalcaments es tradueix amb costes elevades a les vessants que vergeixen cap al NW i en vessants de pendents més suaus, normalment de perfil còncau a les vessants que vergeixen cap al SE, un bon exemple d'això és la línia de costa compresa entre Cala Castell i el cap de Formentor. Les costes corresponents a la Unitat I (Fallot, 1922; Gelabert, 1997) o a les unitats tectòniques de Banyalbufar i de George Sand - Sa Calobra segons del Olmo *et al.* (1991), es manifesten entre Estellencs i Sóller, aquest tram es caracteritza per l'abundància de costes amb perfils còncaus degut als nivells lutítics intercalats entre les arenísques quarsítiques del Triàsic Inferior i els materials del Miocè Inferior. L'alternança de materials durs i blans en aquests indrets dona lloc a l'excavació còncaua de la costa amb importants acumulacions de derrubis i presència d'olistrolits en el contacte entre terra i mar, la qual cosa dificulta la consideració d'aquestes costes com a platges de còdols o costes rocoses de perfil còncau formades per acumulacions recents (Quaternari - Holocè) a la seva base. Les costes corresponents a la Unitat II (Gelabert, 1997), equivalent a les unitats II i III de Fallot (1922) i a les unitats d'es Teix - Tomir, Alfàbia - Es Barracar i Alarò de del Olmo *et al.* (1991), presenten grans diferències segons pertanyin a la subunitat septentrional o a la subunitat meridional. Les costes de la subunitat septentrional ténen una orientació general NE - SW, paral·lela als principals eixos d'encavalcaments, generalment són espadats verticals formats pels paquets calcaris del Juràssic Inferior, els principals entrants es troben a la part septentrional als indrets a on té lloc l'encontre de la línia de costa amb els eixos d'encavalcaments. Les costes de la subunitat meridional de la Serra de Tramuntana tenen una

orientació NE - SW a l'interior de la Badia de Palma i NW - SE entre el cap de Cala Figuera i sa Dragonera. Les vessants marítimes localitzades a la Badia de Palma es caracteritzen per presentar baixes altures i costes de tipus convex i còncav, les costes de la vessant SW tenen un elevat grau d'articulació degut a la disposició normal de la línia de costa respecte els eixos dels encaivalcaments i a la presència de materials tous del Cretaci i del Paleògen.

Pel que fa a les costes de la Unitat geològica d'Alcúdia, les calcàries i margocalcàries del Juràssic Mitjà i Superior conformen bona part de les costes rocoses, assolint les majors altures a les rodalies del Cap Pinar. El conjunt de les costes desenvolupades dins els àmbits de la Serra de Tramuntana i la Unitat d'Alcúdia suposen gairebé la meitat de les costes de Mallorca (44,32 %).

Les vessants marítimes de les Serres de Llevant estan constituïdes pels materials corresponents a la Unitat Septentrional i suposen el 8,7 % del total del litoral mallorquí. Al voltant del 60% dels materials que constitueixen la costa són dolomies juràssiques, la dolomitització secundària impedeix esbrinar amb seguretat el seu límit inferior i la seva correcta datació (Bourrouilh, 1973; del Olmo *et al.*, 1991), en aquestes costes es troben les majors altures (60 - 120 m) als voltants del Cap Vermell, Cap Pinar i Cap Ferrutx. La major part de les costes són de tipus convex i còncav. Més de la meitat de les costes són considerades costes baixes (altures inferiors als 3 m).

Les costes desenvolupades pels materials que formen els relleus tabulars postorogènics són les costes corresponents a les marines de Llevant i de Migjorn o Lluçmajor i els trams costaners formats pels materials pertanyents al Terciari post-tectò-

nic i al Quaternari del SW de Mallorca i de l'interior de la Badia de Palma. Tot el conjunt suposa una tercera part (28,1 %) del litoral de Mallorca. Predominen (per ordre d'importància) les costes de perfil vertical, còncav i esglaonat. Les costes rocoses d'altures inferiors als 3 m suposen l'11% i les d'altures compreses entre 3 - 15 m són les més extenses (34,1% del litoral).

El litoral de la marina de Llevant està constituït principalment per les calcàries i calcarenites del Miocè Superior i pels dipòsits Quaternaris. Es tracta d'un tram costaner amb una orientació general SW - NE amb un elevat grau d'articulació de la costa degut a la presència de cales. En aquest tram les costes de perfil vertical configuren quasi bé la meitat de la costa, les costes esglaonades i de perfil còncav en conformen una quarta part. Les altures en aquest sector no superen els 60 m d'altura.

Les costes de la marina de Lluçmajor presenten altures properes als 120 m a la seva part central, en aquest tram costaner els dipòsits quaternaris ocupen més d'una tercera part (37 %), els materials d'edat corresponent al Miocè Superior (63%) ocupen la resta del litoral. Les formes de les costes són (per ordre d'importància) de perfil vertical, perfil còncav i de tipus còncav.

Les costes dels afloraments terciaris postorogènics del SW de Mallorca estan constituïts pels materials corresponents al Miocè Superior, Oligocè i Quaternari, és en aquest tram de costa, concretament a la zona de Rafeubetx, Calvià, a on els materials descrits assoleixen les majors altures (superiors als 120 m). Les costes adopten formes verticals, còncavs i esglaonades.

Els litorals desenvolupats a les conques postorogèniques presenten una baixa proporció de costes rocoses, la major part de la línia de costa ha estat modificada per l'ho-



me o bé l'ocupen costes d'arena, en alguns casos també modificades per actuacions de regeneració. Les costes formades per materials no consolidats d'aquests sectors costaners constitueixen les majors extensions de platja de l'illa. Les costes rocoses es solen manifestar amb formes esglaonades i verticals amb altures que en pocs casos superen els 15 metres. Les costes esglaonades coincideixen amb les costes de tipus "nip" o sapa de Butzer (1962) i Rosselló (1964). Aquestes costes tenen una distribució discontinua i es troben a l'interior de les badies de Pollença, Alcúdia i Palma i en el tram costaner comprès entre Punta Plana (Llucmajor) i la Platja des Caragol (Santanyí).

## Bibliografia

- Barceló, B. 1992. Balears. Las costas. In: Planeta (Ed.): *Geografía de España Vol. IX*: 476- 477. Barcelona.
- Benedicto, A., Ramos-Guerrero, E., Casas, A., Sabat, F. i Barón, A. 1993 Evolución tectono-sedimentaria de la cubeta neógena de Inca (Mallorca). *Rev. Soc. Geol. España*, 6 (1-2): 167-176.
- Bourrouilh, R. 1973. Stratigraphie, sédimentologie et tectonique de l'île de Minorque et du NE de Majorque (Balears). La terminaison nord-occidentale des Cordilleres Bétiques en Méditerranée occidentale. Tesi Doctoral. 2 Vol. 822 pp. París.
- Butzer, K.W. 1962. Coastal geomorphology of Majorca. *Annals of Assoc. American Geographers*, 52 (2): 191-212.
- Butzer, K.W. i Cuerda, J. 1962 Coastal stratigraphy of Southern Mallorca and its implications for the Pleistocene chronology of the Mediterranean Sea. *Journal of geol.*, 70. 4: 398-416.
- Cuerda, J. i Sacarés, J. 1992. El Quaternari al Migjorn de Mallorca. Direcció General de Cultura. Conselleria de Cultura, Educació i Esports. Govern Balear. 130 pp. Palma de Mallorca.
- Carter R.W.G. 1988 Coastal environments. Academic press. 617 pp. London, UK.
- Del Olmo, P., Álvaro, M., Ramírez del Pozo, J. i Aguilar, M.J. 1991 Memoria del mapa geológico de España. Hoja 643-644-645, Sa Calobra, Pollença y Cap de Formentor. Instituto Tecnológico Geominero de España. 62 pp.
- Escandell, B. i Colom, G. 1961 *Mapa Geológico de España*. Hoja nº 644 (Pollença). Instituto Geológico y Minero de España.
- Emery, K.O. i Kunh, C.G. 1982. Sea cliffs: their processes, profiles and classifications. *Geological Society of America Bulletin*, 93: 644 - 654.
- Fallot, P. 1922 Étude géologique de la Sierra de Majorque. *Tesi. Lib. Polyt.* Ch. Beranger (Ed.). París. 420 p.
- Fuster, J. 1973. Estudio de las reservas hidráulicas totales de Baleares. Informe de síntesis general. Ministerio de Obras Públicas, Industria y Agricultura. 2 Tomos.
- Gelabert, B. 1997. *La estructura geológica de la mitad occidental de la isla de Mallorca*. Instituto Tecnológico Geominero de España. Colección memorias. 129 pp.
- Gil, J.A. 1994. *Estudio Geológico de la zona de Son Fe (Mallorca). Un ejemplo de inversión tectónica*. Memòria d'Investigació. Universitat de Barcelona. Inèdita.
- Gómez-Pujol, Ll. 1999. Sedimentologia i evolució geomorfològica quaternària des Caló (Betlem, Artà, Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 42: 107-124.
- Penck, A. 1894. Morphologie der Erdoberfläch. Engelhorn. Stuttgart.
- Rodríguez-Perea, A. 1998. Ventalls al.luvials i sistemes dunars a Betlem (Artà, Mallorca). In: Fornós, J.J. (Ed.): Aspectes geomorfològics de les Balears: 169-189. Palma de Mallorca.
- Rosselló, V.M. 1964. *Mallorca. El Sur y Sureste*. Càmara Oficial de Comercio, Indústria y Navegación. Palma de Mallorca.

- Rosselló, V.M. 1975. El litoral de Mallorca. Assaig de genètica i classificació. *Mayurqa*, 14: 5 -19. Palma de Mallorca.
- Rosselló, V.M. 1998. Torrents i cales de Mallorca: aspectes geomorfològics. In: Fornós J.J. (Ed): Aspectes geològics de les Balears. Universitat de les Illes Balears: 331-360. Palma de Mallorca.
- Sàbat, F. 1986. *Estructura geològica de les Serres de Llevant de Mallorca (Balears)*. Tesi, Universitat de Barcelona. 2 Vol. Inèdita.
- Servera, J. 1997. *Els sistemes dunars litorals de les Illes Balears*. Tesi Doctoral. Inèdita. Palma de Mallorca. 904 pp.
- Servera, J. 2000. Geomorfologia del litoral de les Illes Balears. In: G.O.B. Grup Balear d'Ornitologia i defensa de la natura (Ed). *Posidònia* v.1: 27-66.
- Trenhaile, A. 1987. *The geomorphology of rock coasts*. Clarendon Press (Ed.). Oxford.
- Walter-Levy, L., Frecaut, R. i Strauss, R. 1958. Contribution a l'étude de la zone littorale des Illes Baléares. Biologie et chimie des algues calcaries. Formes du relief qui leur sont liées. *Revue Algologique*, 3 (4): 202-228.

# Els mol·luscs terrestres del Pleistocè superior a jaciments costaners de la zona septentrional de Mallorca (Artà, Alcúdia i Pollença)

Damià VICENS i Guillem X. PONS

## SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA  
NATURAL DE LES BALEARS

Vicens, D. i Pons, G.X. 2007. Els mol·luscs terrestres del Pleistocè superior a jaciments costaners de la zona septentrional de Mallorca (Artà, Alcúdia i Pollença). In: Pons, G.X. i Vicens, D. (Edit.). Geomorfologia Litoral i Quaternari. Homenatge a Joan Cuerda Barceló. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 14: 231-258. ISBN 84-960376-13-3. Palma de Mallorca.

Es descriuen jaciments paleontològics del Pleistocè superior situats en diferents indrets de la zona septentrional de Mallorca: cala Sant Vicenç, punta de Tacàritx-cap Petit, Alcanada-sa Bassa Blanca i colònia de Sant Pere-es Caló. Els jaciments de cala Sant Vicenç i d'Alcanada-sa Bassa Blanca eren inèdits fins a les hores; els dos restants no eren inèdits però tenien estudis poc acurats dels mol·luscs terrestre fòssils. El relleus propers i la dinàmica litoral del darrer interglacial i darrera glaciació han jugat un paper transcendent en la formació d'aquests dipòsits constituïts bàsicament per eolianites, paleosòls i aportacions al·luvials i col·luvials. S'han realitzat seccions estratigràfiques dels diferents jaciments i s'han estudiat els mol·luscs terrestres. Els contingut malacològic dels diferents jaciments és semblant: hi sol haver com a tàxons freqüents: *Iberellus* (*I. balearicus* o *I. companyonii*), *Tudorella ferruginea*, *Trochoidea frater*, *Oxychilus lentiformis* i *Chondrula gymnesica*. Tots són endèmics i viuen actualment (excepte *C. gymnesica*) i constitueixen part de la fauna endèmica de Mallorca. *Iberellus balearicus* fòssil s'havia citat a unes poques localitats de la serra de Tramuntana. També s'han trobat altres tàxons, però en molt baixa freqüència. Cal destacar la troballa a un jaciment de cala Sant Vicenç, de l'endemisme *Trochoidea claudinae*, ja que mai s'havia trobat fòssil. A un jaciment al sector de la Punta de Tacàritx-cap Petit s'ha trobat un tàxon molt poc citat a Mallorca i recentment descrit com és *Oestophora cuerdae* i que en l'actualitat no viu a les Balears. També ha estat trobada *Testacella* cf. *haliotidea* en Es Faralló.

**Paraules clau:** mol·luscs terrestres, Quaternari, N Mallorca, jaciments costaners.

THE TERRESTRIAL MOLLUSCS OF THE UPPER PLEISTOCENE FROM THE COASTAL ZONE OF THE SEPTENTRIONAL ZONE IN MALLORCA (ARTÀ, ALCÚDIA AND POLLENÇA). New paleontological sites of the upper Pleistocene of the septentrional zone of Mallorca are described: cala Sant Vicenç, punta de Tacàritx-cap Petit, Alcanada-sa Bassa Blanca and colònia de Sant Pere-es Caló. The paleontological sites of cala Sant Vicenç and Alcanada-sa Bassa Blanca they were unknowns until the times; both remainder was not unknowns but had little accurate studies of the terrestrial molluscs fossils. The next reliefs and the coastal dynamics of the last one interglacial and behind glaciación have played a transcendental role in the formation of these deposits constituted in a basic way by eolianites, paleosoils and alluvial and col-luvial contributions. Stratigraphical sections of the different sites have been carried out and the terrestrial molluscs have been studied. The malacological composition of the different sites it is similar: Usually has as frequent taxa: *Iberellus* (*I. balearicus* or *I. companyonii*), *Tudorella ferruginea*, *Trochoidea frater*, *Oxychilus lentiformis*, and

*Chondrula gymnesica*. They all live at present (except *C. gymnesica*) and constitute part of the endemic fauna of Mallorca. Fossil *Iberellus balearicus* had been cited in a few localities of the Serra de Tramuntana. Other taxa have also been found, but in very low frequency. It is necessary to highlight the find in a site of Cala Sant Vicenç, of the *Trochoidea claudinae* endemism, since it had never found fossil. In a site in the sector of the punta de Tacàritx-cap Petit a taxon very rare in Mallorca how it is recently described *Oestophora cuerdoi* and that in the present does not live in the Balearic Islands. Also has been found *Testacella* cf. *haliotidea* in Es Faralló.

**Keywords:** *terrestrial mollusca, Quaternary, N Mallorca, coastal paleontological sites.*

Damià VICENS, *Societat d'Història Natural de les Balears (SHNB)*. Margarida Xirgu 16 baixos. 07011 Palma de Mallorca; i Guillem X. PONS, *Departament de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears, Carret. Valldemossa km 7,5; 07122 Palma de Mallorca*. E-mail: [guillemx.pons@uib.es](mailto:guillemx.pons@uib.es).

## Introducció

El primer treball que versa sobre l'estudi dels mol·luscs terrestres de les Balears el va iniciar el malacòleg Lluís Gasull (Gasull, 1963a) que, endemés d'aportar dades sobre l'hàbitat i distribució del mol·luscs terrestres a les Balears, va aportar nombroses cites i localitats de mol·luscs fòssils.

Joan Cuerda, que va iniciar el seus estudis del Quaternari juntament amb n'Andreu Muntaner, es va decantar per l'estudi dels mol·luscs marins i terrestres del dipòsit Pleistocens. No obstant, anys més tard, Cuerda (1975) sintetitzà els coneixements que es tenien del Quaternari de les Balears. Les dades sobre els mol·luscs terrestres formen part important d'aquesta síntesi.

Pel que fa a la fauna malacològica dels jaciments pleistocens de les Gimnèsiques (Mallorca, Menorca i Cabrera) cal destacar que és ben diferent a la de les Pitiüses (Eivissa i Formentera). Aquesta diferència es deguda a la separació antiga dels dos conjunts d'illes després de les distintes glaciacions, així com la seva història biogeogràfica ben diferenciada (Palmer *et al.*, 1999). Les semblances faunístiques es donen fonamentalment a partir del darrer interglaciari (Cuerda, 1965).

Els principals tipus de dipòsit on es poden trobar mol·luscs terrestres fòssils a les Illes Pitiüses són descrits per Paul i Altaba (1992), però de fet es pot fer extensible a tot l'arxipèlag de les Illes Balears. Els autors abans esmentats en primer lloc diferencien els dipòsits que deriven de sediments arenosos i els que deriven d'altres. Entre els primers els que contenen més fòssils, són aquells dipòsits que deriven de zones amb poca mobilitat de les arenes i presència de vegetació. Entre els segons, els paleosòls i els jaciments d'origen càrstic contenen més fòssils que els dipòsits al·luvials, on no són gaire freqüents. Vicens *et al.* (2001) realitzen una classificació molt semblant, afegint-hi els ventalls al·luvials, que de fet segons Gómez-Pujol (1999) són cossos sedimentaris que responen a la superposició, imbricació i acumulació de diferents dipòsits sedimentaris com poden ser les colades rocalloses, corrents laminars, eolianites, paleosòls i dipòsits col·luvials.

## Seqüències estratigràfiques del Quaternari amb mol·luscs terrestres al litoral septentrional de Mallorca

Els mol·luscs fòssils s'han trobat majoritàriament dins eolianites, paleo-

Taxón	Situació jaciment	TE	Material	Edat	Autor
<i>Iberellus</i> sp.	Canyamel 1	Si	Eolianita	Intergl. Riss-Würm	Butzer i Cuerda (1962)
	Canyamel 1	Si	Llims vermells-grocs	Würm inicial	Butzer i Cuerda 1962
	Cala Rajada	Si	Eolianita	Würm	Butzer i Cuerda (1962)
	Tacàritx-Cap Petit	Si	Bretxa	Pleistocè superior	Vicens i Crespi (2003)
<i>Iberellus companyonii</i>	Canyamel 2	No	Eolianita	Quaternari	Gasull (1963a)
	Canyamel 1	Si	Platja fòssil	Intergl. Riss-Würm	Butzer i Cuerda (1962)
		No	-----	Pleistocè superior	Cuerda (1975)
	Cala Rajada	Si	Llims	Würm inicial	Butzer i Cuerda (1962)
	Platja sa font Cel-lada	Si	Eolianita	Würm	Vicens i Gràcia (1988)
	Aubarca	No	Llims vermells	Quaternari	Gasull (1963a)
	Caló des Camps	Si	Llims vermells-grocs	Würm	Cuerda i Galiana (1976)
	Colònia de Sant Pere	No	Llims vermells	Quaternari	Gasull (1963a)
	Torrent Son Real	Si	Eolianita	Pleistocè superior	Cuerda <i>et al.</i> (1991)
	Can Picafort	Si	Eolianita	Würm	Butzer i Cuerda (1962)
	Caló del Mal Pas	Si	Eolianita	Pleistocè superior	Butzer i Cuerda (1962)
	Si	Eolianita	Würm	Butzer i Cuerda (1962)	
<i>Iberellus balearicus</i>	La Calobra	No	Bretxa	Quaternari	Gasull (1963a)
	Cala Molins	No	Llims vermells	Quaternari	Gasull (1963a)
		No	-----	Pleistocè superior	Cuerda (1975)
<i>Allognathus graellsianus</i>	La Calobra	No	Bretxa	Quaternari	Gasull (1963a)
		No	-----	Pleistocè	Cuerda (1975)
<i>Tudorella ferruginea</i>	Canyamel 2	No	Eolianita	Quaternari	Gasull (1963a)
	Canyamel 1	Si	Llims vermells-grocs	Tirrenià II	Butzer i Cuerda (1962)
	Cala Rajada	Si	Llims	Würm inicial	Butzer i Cuerda (1962)
	Platja sa font Cel-lada	Si	Eolianita	Würm	Vicens i Gràcia (1988)
	Caló des Camps	Si	Llims vermells-grocs	Würm	Cuerda i Galiana (1976)
	Colònia de Sant Pere	No	Llims vermells	Quaternari	Gasull (1963a)
	Son Real	No	Eolianita	Quaternari	Gasull (1963a)
	Tacàritx-Cap Petit	Si	Bretxa	Pleistocè superior	Vicens i Crespi (2003)
		Si	Llims vermells	Pleistocè superior	Vicens i Crespi (2003)
	La Calobra	No	Bretxa	Quaternari	Gasull (1963a)
<i>Trochoidea frater</i>	Canyamel 2	No	Eolianita	Quaternari	Gasull (1964)
	Platja sa font cel-lada	Si	Eolianita	Würm	Vicens i Gràcia (1988)
	Caló des Camps	Si	Llims vermells-grocs	Würm	Cuerda i Galiana (1976)
	Son Real	No	Llims vermells	Quaternari	Gasull (1964)
<i>Trochoidea nyeli</i>	Canyamel	No	Duna no fixada	Quaternari	Gasull (1964)
<i>Chondrula gymnesica</i>	Cala Agulla	No	-----	Pleistocè superior	Cuerda (1975)
	Platja sa font Cel-lada	Si	Eolianita	Würm	Vicens i Gràcia (1988)
	Betlem Oest	No	Llims vermells i ocre	ISS5a-ISS4	Vicens <i>et al.</i> (2001)
	Caló des Cans	Si	Llims vermells-grocs	Würm	Cuerda i Galiana (1976)
		No	-----	ISS5a-ISS4	Vicens <i>et al.</i> (2001)
	Torrent Son Real	Si	Eolianita	Pleistocè superior	Cuerda <i>et al.</i> (1991)
	Can Picafort	Si	Eolianita	Würm	Butzer i Cuerda (1962)
	Son Marti	No	-----	Pleistocè superior	Gasull (1963a)
		No	-----	Pleistocè superior	Cuerda (1975)
	Tacàritx-Cap Petit	Si	Bretxa	Pleistocè superior	Vicens i Crespi (2003)
	Si	Eolianita	Pleistocè superior	Vicens i Crespi (2003)	
	Si	Llims arenosos	Würm	Cuerda <i>et al.</i> (1983)	
<i>Oxychilus lentiformis</i>	Canyamel 2	No	Eolianita	Quaternari	Gasull (1963a)
	La Calobra	No	Bretxa	Quaternari	Gasull (1963a)
<i>Bithynia tentaculata</i>	Cala Molins	No	Llims vermells	Quaternari	Gasull (1963a)
<i>Oestophora cuerdaei</i>	La Calobra	No	Bretxa	Pleistocè superior	Gasull (1963b)
		No	Bretxa	Pleistocè superior	Cuerda (1975)

**Taula 1.** Mol·luscs terrestres fòssils citats a jaciments litorals del Pleistocè superior a la zona septentrional de Mallorca abans d'aquest article. A la taula consta: el jaciment, si té o no tall estratigràfic (columna TE), el material on s'ha trobat i els autors de la cita. Canyamel 1 i Canyamel 2 podria ser el mateix jaciment.

**Table 1.** Fossil terrestrial Mollusca recorded in coastal sites of the upper Pleistocene of the septentrional zone of Mallorca before this paper. On the table are indicated: the name of paleontological site, if it has or not stratigraphical log (TE column), the materials where it has found and the authors of the record. The same paleontological site could be Canyamel 1 and Canyamel 2.



sòls/llims i bretxes. L'edat del dipòsit, s'ha afinat més si són dipòsits que es poden relacionar amb jaciments amb fauna marina del darrer interglaciari (Taula 1). El coneixement de la situació de la majoria dels jaciments és bona a excepció d'alguns jaciments situats de forma imprecisa (Taula 2). Així, no sabem si el jaciment citat per Butzer i Cuerda (1962) a Canyamel és el mateix que el citat per Gasull (1963a) per la qual cosa hem preferit designar com a Canyamel 1 i Canyamel 2.

Gasull (1963a; 1964) en els seus treballs sobre malacologia continental actual, sempre hi cita tant les localitzacions de les espècies vivents com les fòssils. En aquests treballs es realitza una tasca taxonòmica important, però malauradament, just situa els jaciments citant la toponímia i no realitza cap tall estratigràfic. Cuerda (1975) recull les aportacions realitzades per aquest autor.

A la resta de treballs del Quaternari litoral s'ha donant preferència als dipòsits amb fauna marina i no hi ha cap treball que tracti en concret del mol·luscs terrestres d'aquesta zona. Així els mol·luscs terrestres a la totalitat de treballs realitzats s'han tractat gairebé de rampellada.

El jaciment de la platja de sa Font Ccl·lada (Artà) (Vicens i Gràcia, 1988) s'hauria de revisar, ja que només s'han citat mol·luscs terrestres a les eolianites més modernes a pesar d'haver-hi una bona sèrie estratigràfica on possiblement hi ha mol·luscs terrestres a més nivells. Els mol·luscs terrestres citats per Cuerda i Galiana (1976) en el Caló des Camps (Artà) estan citats dins un únic dipòsit continental sense distingir-ne els diferents nivells presents, i de fet Rose *et al.* (1999) en distingeixen varis. Vicens *et al.* (2001) en parlar d'aquest jaciment i d'un proper, centren el seu discurs només amb una espècie bioindicadora, *Chondrula gymnesica*.

El tall estratigràfic de son Real (Santa Margalida) (Cuerda *et al.*, 1991; Vicens i Gràcia 1998), rediscutit per Vicens i Gràcia (1999), és un tall molt general de la zona, per la qual cosa els mol·luscs terrestres citats estan situats estratigràficament d'una forma aproximada.

Vicens i Crespi (2003) citen de forma preliminar els mol·luscs terrestres dels dipòsits del Plistocè superior situats entre sa Punta de sa Guarda de Tacàritx i el cap Petit (Alcúdia).

Per acabar, s'ha de dir que a molts dels jaciments (a 10 jaciments dels 18 citats abans d'aquest article), les cites d'espècies es redueix a una o dues, la qual cosa potser degut en la majoria dels casos a no haver-hi realitzat una recerca acurada.

## **Descripció dels jaciments estudiats i de la fauna malacològica fòssil present**

Hem distingit quatre sectors dins la zona estudiada: cala Sant Vicenç, Punta de Sa Guarda de Tacàritx-Cap Petit, Alcanada-Sa Bassa Blanca i Colònia de Sant Pere-es Caló (Fig. 1). Els tres primers relacionats amb la serra de Tramuntana i el darrer amb les serres de Llevant. Tots els jaciments presenten una tipologia semblant i estan molt relacionats amb les aportacions eòliques de sediments arenosos durant períodes presumiblement regressius del Pleistocè i les aportacions al·luvials i col·luvials procedents dels relleus adjacents (Vicens i Pons, 2004). Els jaciments de cala Sant Vicenç i d'Alcanada-sa Bassa Blanca són inèdits. Els jaciments dels altres sectors, és a dir, punta de Tacàritx-cap Petit i s'Estret-Betlem compten amb estudis preliminars sobre els mol·luscs terrestres fòssils, realitzats respectivament per Vicens i Crespi (2003) i Cuerda i Galiana (1976).

Jaciment	Autor	Tàxon	Situació estratigràfica	Aproximació a la situació geogràfica
Canyamel 1	Butzer i Cuerda (1962)	<i>Iberellus sp.</i> <i>Iberellus companyonii</i> <i>Tudorella ferruginea</i>	Precisa	Només la toponímia
Canyamel 2	Gasull (1963a) Gasull (1964)	<i>Iberellus companyonii</i> <i>Tudorella ferruginea</i> <i>Oxychilus lentiformis</i> <i>Trochoidea frater</i>	Ninguna	Només la toponímia
Cala Rajada	Butzer i Cuerda (1962)	<i>Iberellus sp.</i> <i>Iberellus companyonii</i> <i>Tudorella ferruginea</i>	Precisa	Només la toponímia
Cala Agulla	Cuerda 1975	<i>Chondrula gymnesica</i>	Ninguna	Només la toponímia
Aubarca	Gasull (1963a)	<i>Iberellus companyonii</i>	Ninguna	Només la toponímia
Platja sa Font Cel-lada	Vicens i Gràcia (1988)	<i>Iberellus companyonii</i> <i>Tudorella ferruginea</i> <i>Trochoidea frater</i> <i>Chondrula gymnesica</i>	Precisa	Localització precisa
Betlem Oest	Vicens <i>et al.</i> (2001)	<i>Chondrula gymnesica</i>	Precisa	Aproximada
Caló des Camps	Cuerda i Galiana (1976)	<i>Iberellus companyonii</i> <i>Tudorella ferruginea</i> <i>Trochoidea frater</i> <i>Chondrula gymnesica</i>	Precisa	Només la toponímia
Colònia de Sant Pere	Gasull (1963a)	<i>Iberellus companyonii</i> <i>Tudorella ferruginea</i>	Ninguna	Només la toponímia
Son Real	Gasull (1963a)	<i>Tudorella ferruginea</i>	Ninguna	Només la toponímia
Torrent Son Real	Cuerda <i>et al.</i> (1991)	<i>Iberellus companyonii</i> <i>Chondrula gymnesica</i>	Aproximada	Només la toponímia
Can Picafort	Butzer i Cuerda (1962)	<i>Iberellus companyonii</i> <i>Chondrula gymnesica</i>	Precisa	Només la toponímia
Son Martí	Gasull (1963a)	<i>Chondrula gymnesica</i>	Ninguna	Només la toponímia
Tacàritx-Cap Petit	Vicens i Crespi (2003)	<i>Iberellus sp.</i> <i>Tudorella ferruginea</i> <i>Chondrula gymnesica</i>	Precisa	Localització precisa
Caló del Mal Pas	Butzer i Cuerda (1962)	<i>Iberellus companyonii</i>	Precisa	Només la toponímia
Platja de Sant Joan	Cuerda <i>et al.</i> (1983)	<i>Chondrula gymnesica</i>	Precisa	Només la toponímia
Cala Molins	Gasull (1963a)	<i>Iberellus balearicus</i> <i>Bithymia tentaculata</i>	Ninguna	Només la toponímia
La Calobra	Gasull (1963a)	<i>Iberellus balearicus</i> <i>Allognathus graellsianus</i> <i>Tudorella ferruginea</i> <i>Oxychilus lentiformis</i> <i>Oestophora cuerdaei</i>	Ninguna	Només la toponímia

**Taula 2.** Jaciments del Pleistocè superior amb mol·luscs terrestres citats a jaciments litorals a la zona septentrional de Mallorca abans d'aquest article. A la taula consten els autors que citen el jaciment, els mol·luscs citats a cada jaciment, si estan situats en un tall estratigràfic (precisa vol dir que els fòssils estan situats en un tall; aproximada que el tall és molt general; i ninguna que no s'han situat estratigràficament) i si estan situats geogràficament (precisa vol dir que a part de la toponímia, hi ha un mapa de situació). No s'ha tengut en compte a Cuerda (1975) per simplificar la taula.

**Table 2.** Paleontological sites of the upper Pleistocene with terrestrial molluscs recorded in coastal sites of the septentrional zone of Mallorca before this paper. On the table are indicated: the authors who have some paleontological data, the molluscs recorded to each site, if they are placed in a stratigraphical log (precise suggest what the paleontological data are correlationated in a stratigraphical log; approximate that the stratigraphical log is very general; and none that they have not placed stratigraphically) and if they are placed geographically (precise

A la zona septentrional de Mallorca, a pesar de no haver-hi estudis molt acurats sobre la malacofauna terrestre fòssil, hi ha bastants de tàxons citats (Taula 1) degut a un important nombre de jaciments (Taula 2).

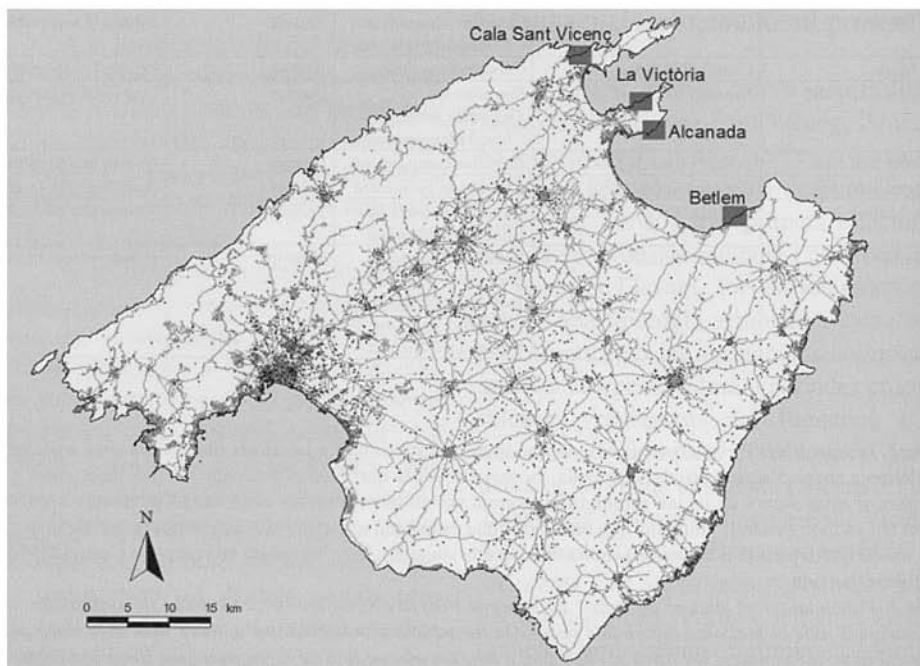
Seguidament per a cada sector es realitza una introducció i es realitzen una sèrie de talls estratigràfics on es citen els mol·luscs presents. Per a realitzar les taules amb la freqüència de cada tàxon per estrat, només s'han posat els estrats on s'han trobat mol·luscs terrestres. Per a la notació de la coloració dels sòls s'ha utilitzat la taula Munsell.

Tots els jaciments paleontològics descrits són del Pleistocè superior, i això ho sabem gràcies al registre fòssil present i per les datacions absolutes d'alguns d'ells, com les fetes per Rose *et al.* (1999) a la zona de

la Colònia de Sant Pere-Es Caló, i les fetes per un equip d'investigadors de la Universitat de les Illes Balears en col·laboració amb la Universitat de Copenhaguen a la zona Punta de sa Guarda de Tacàritx-cap Petit (com. pers. J.J. Fornós).

La descripció que fem dels distints estrats de cada sèrie és molt senzilla i està basada en la terminologia utilitzada per Cuerda (1975). La gènesi de cada estrat pot ser més complicada del que sembla a primera vista i la terminologia més acurada per cada nivell estratigràfic requereix uns estudis que evidentment no entraven dins l'objectiu del nostre treball.

Els fòssils es troben dipositats al Museu de la Naturalesa de les Illes Balears (MNIB) de la Societat d'Història Natural de les Balears.



**Fig. 1.** Situació dels jaciments del Pleistocè superior amb mol·luscs terrestres estudiats en el present treball.  
**Fig. 1.** Paleontological sites of the Upper Pleistocene with terrestrial mollusks studied in the present work.

## SECTOR CALA SANT VICENÇ

Aquesta cala és una de les poques que hi ha en el NE de la serra de Tramuntana (gairebé a la península de Formentor) i es troba formada per quatre platgetes que s'anomenen d'oest a est, cala Barques, cala Clara, cala Molins i cala Carbó.

Els materials més antics que afloren a la península de Formentor són una alternança de dolomies i margues que pertanyen al Triàsic superior. El Juràssic està representat per calcàries i dolomies del Lias. No hi ha materials que van del Juràssic Mitjà fins al Paleogen, ambdós inclosos (Gelabert *et al.*, 1991).

El Miocè és clarament discordant sobre els materials esmentats i està format per dues unitats (Rodríguez-Perea, 1984). La unitat inferior, anomenada *Formació*

*Calcarenítica de Sant Elm*, consisteix amb calcarenites i conglomerats de fàcies continentals, litorals i de plataforma, de l'Aquitanià –Burdigalià inferior. La unitat superior, anomenada *Formació Turbidites de Banyalbufar*, està formada per una alternança de, principalment, calcarenites i margues, i està datada com a Burdigalià superior-Langià.

L'estructura de la península de Formentor està composta per un sistema imbricat d'encavalcaments, amb un sentit de transport vers el NW (Gelabert *et al.*, 1991).

Pel que fa al Quaternari, Cuerda i Galiana (1967) citen la presència d'un jaciment del Plistocè superior situat entre cala Sant Vicenç i Coves Blanques a uns +5 m snm d'escassa potència i amb fòssils d'espècies marines. El no presentar fòssils de mol·luscs termòfils fa que els autors situïn cronològicament aquest jaciment en el

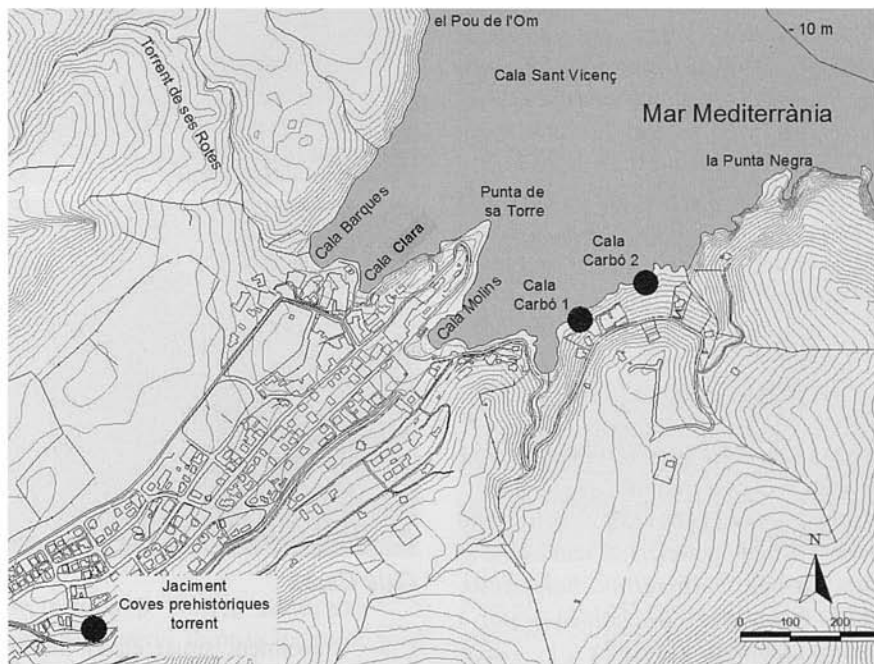


Fig. 2. Jaciments del Pleistocè superior de cala Sant Vicenç (Pollença) estudiats en el present treball.

Fig. 2. Paleontological sites of the Upper Pleistocene of cala Sant Vicenç (Pollença) studied in the present work.

Neotirrenià. Gasull (1963a) cita *Iberellus balearicus* i *Bithynia tentaculata* a cala Molins a uns llims vermells del Quaternari. Vicens *et al.* (2001) citen cf. *Melania tuberculata* a un dipòsit travertínic que hi ha a cala Sant Vicenç. Però, cap dels autors esmentats realitzen un tall estratigràfic ni un plànol de la situació precisa dels jaciments.

Cala Molins està molt modificat per l'acció antròpica des de que Gasull (1963a) va recollir fòssils en aquesta cala, per la qual cosa és molt difícil precisar el lloc exacte on els va trobar.

En aquesta zona es descriuen tres jaciments (Fig. 2). Dos es troben vora la mar (Cala Carbó 1 i 2) i un tercer més cap al interior (Coves prehistòriques-torrent).

### Coves prehistòriques-torrent

Fa mal dir les dimensions d'aquest dipòsit, emperò pot ser bastant gran i ocupar molt del terreny urbanitzat de cala Sant Vicenç. El tall s'ha realitzat entre les coves prehistòriques i el torrent de cala Sant Vicenç, a uns 600 m abans d'arribar a la mar i a uns 50 m abans de l'àrea pública Dionís Bennassar. A l'àrea pública, a unes pedreres prop del torrent, també es pot veure la seqüència descrita.

#### Tall Coves prehistòriques-torrent (Fig. 3)

a - Eolianita de color groc (10YR 8/4) de 2 m de potència com a mínim.

b - Llims vermellosos (5YR 5/6) amb clastes de 0'5 m de potència. S'han trobat el següents fòssils: *Iberellus balearicus*, *Tudorella ferruginea*, *Trochoidea frater* i *Trochoidea claudinae* (Taula 3).

c - Eolianita de color groc (10YR 8/4) d'uns

5 m de potència. A la base s'ha trobat *Trochoidea claudinae*.

Coves prehistòriques-torrent (Pollença)				
Estrats →	b		c	
Tàxons ↓	s	f	s	f
<i>Iberellus balearicus</i>	1	2		
<i>Tudorella ferruginea</i>	1			
<i>Trochoidea frater</i>	1			
<i>Trochoidea claudinae</i>	1		1	

**Taula 3.** Freqüència de cada tàxon per estrat a la secció coves prehistòriques-torrent. s: closca sencera. f: fragment. L'única localitat coneguda amb *T. claudinae* del Quaternari (*abaix*).

**Table 3.** Frequency of each taxa by level in the section prehistoric caves-torrent. s: whole shell. f: fragment. The only known site with *T. claudinae* of the Quaternary (see below).



### Cala Carbó

Jaciment situat en el litoral entre cala Carbó i just passat una torrentera que hi



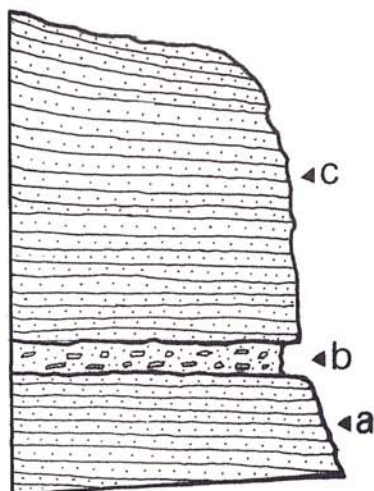


Fig. 3. Tall NW-SE coves prehistòriques-torrent. a- Eolianita. b- Llims. c- Eolianita. Tota la sèrie és del Pleistocè superior.

Fig. 3. Stratigraphical log NW-SE prehistoric caves-torrent. a- Aeolianite. b- Silt. c- Aeolianite. All series correspond to upper Pleistocene.

ha uns 350 m al NE de la cala. Es caracteritza perquè els materials del Pleistocè superior es troben adossats als materials del Trias superior.

Es tracta d'un jaciment molt interessant, tant per la presència de mol·luscs fòssils com per les seves dimensions gens menyspreables.

Es presenten dos talls, el primer *cala Carbó 1* està realitzat prop de la cala, mentre que el segon *cala Carbó 2*, està fet a uns 300 m cap el NE de l'anterior.

El jaciment es troba afectat en part per les construccions que hi ha degut a la urbanització de *cala Carbó*.

#### Tall *cala Carbó 1* (Figs. 4 i 5)

a - Bretxes amb clastes centimètrics i decimètrics, i matriu llimosa de color roig (2.5YR 7/4). La part superior està menys cimentada i s'han recol·lectat les següents

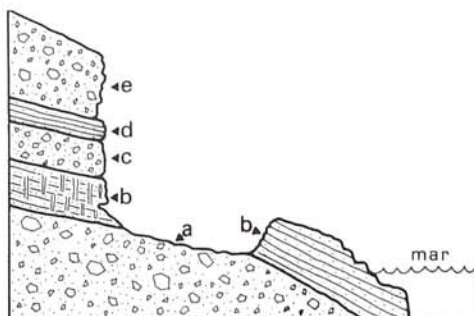


Fig. 4. Tall SE-NW de cala Carbó 1. a- Bretxes. b- Eolianita. c- Bretxes. d- Eolianita. e- Bretxes. Tota la sèrie és del Pleistocè superior.

Fig. 4. Stratigraphical log SE-NW of cala Carbó 1. a- Breccias. b- Aeolianite. c- Breccias. d- Aeolianite. e- Breccias. All series correspond to upper Pleistocene.



Fig. 5. Fotografia amb l'aspecte general de cala Carbó 1 (Pollença). Comparar amb el tall. Rizocrecions a la capa b de cala Carbó 1 (Pollença).

Fig. 5. General view of cala Carbó 1 (Pollença). Comparing with the stratigraphical log. Rhizocrecions on the level b of cala Carbó 1 (Pollença).

Cala Carbó 1 (Pollença)										
Estrats →	a		b		c		d		e	
Tàxons ↓	s	f	s	f	s	f	s	f	s	f
<i>Iberellus balearicus</i>			4	3	5	2	1		7	1
<i>Tudorella ferruginea</i>	4		9	7	4	4			6	
<i>Trochoidea frater</i>		1	3	4	5	2			1	
<i>Oxychilus lentiformis</i>									1	
<i>Chondrula gymnesica</i>	1		5	2	1	1				

**Taula 4.** Freqüència de cada tàxon per estrat a Cala Carbó 1 (Pollença). s: closca sencera. f: fragment.

**Table 4.** Frequency of each taxa by level in Cala Carbó 1 (Pollença). s: whole shell. f: fragment.

espècies: *Tudorella ferruginea*, *Trochoidea frater* i *Chondrula gymnesica*.

b - Eolianita color groc (2.5Y 8/3) amb abundant rizocrecions, les quals minven o desapareixen cap a la mar. La seva potència és d'1,4 m. Els fòssils de mol·luscs terrestres són nombrosos i s'han recol·lectat els següents: *Iberellus balearicus*, *Tudorella ferruginea*, *Trochoidea frater* i *Chondrula gymnesica*.

c - Bretxes d'1 m de potència amb clastes decimètrics. Els fòssils recol·lectats són: *Iberellus balearicus*, *Tudorella ferruginea*, *Trochoidea frater* i *Chondrula gymnesica*.

d - Eolianita de 0,6 m de potència que desapareix lateralment. S'ha recol·lectat *Iberellus balearicus*.

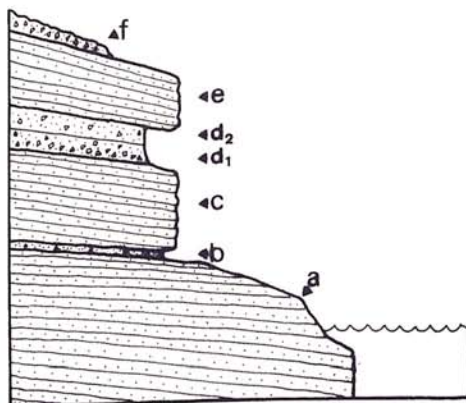
e - Bretxes poc cimentades d'uns 2 m de potència. La matriu és molt llimosa. La base d'aquest nivell és més llimosa que la resta del nivell. Els fòssils trobats són els següents: *Iberellus balearicus*, *Tudorella ferruginea*, *Trochoidea frater* i *Oxychilus lentiformis* (Taula 4).

#### Tall Cala Carbó 2 (Fig. 6)

a - Eolianita de color groc (2.5Y 8/2) d'almenys 5 m de potència.

b - Bretxes amb matriu color roig (2.5YR 7/2) de 0,2 m de potència.

c - Eolianita de color groc (2.5Y 8/2) de 2 m de potència. Hi ha nivells amb bioturbacions



**Fig. 6.** Tall SE-NW cala Carbó 2. a- Eolianita. b- Bretxes. c- Eolianita. d<sub>1</sub>- Llims vermel·losos. d<sub>2</sub>-Llims groc-oliva. e- Eolianita. f- Bretxes. Tota la sèrie és del Pleistocè superior.

**Fig. 6.** Stratigraphical log SE-NW of cala Carbó 2. a- Aeolianite. b- Breccias. c- Aeolianite. d<sub>1</sub>- Reddish silt. d<sub>2</sub>- Yellow-olive silt. e- Aeolianite. f- Breccias. All series correspond to upper Pleistocene.

que probablement són d'icnites de *Myotragus*. A la part superior s'ha trobat *Iberellus balearicus*.

d - Aquest nivell es caracteritza per presentar en aquest punt dos subnivells, separats per una banda de ferruginosa. L'inferior (d<sub>1</sub>) són llims de color roig (5YR 4/6) amb abundant clastes de mida centimètrica. La seva potència està entre 0,2 i 0,6 m. Els fòssils trobats són: *Iberellus balearicus*, *Tudorella ferruginea* i *Oxychilus lentiformis* (Taula 5).

El superior (d<sub>2</sub>), també són llims amb clastes, però presenten un color groc-oliva



Cala Carbó 2 (Pollença)								
Estrats →	C		d <sub>1</sub>		d <sub>2</sub>		f	
Tàxons ↓	s	F	s	f	s	f	s	f
<i>Iberellus balearicus</i>	1			1	3		1	
<i>Tudorella ferruginea</i>			2		1		1	
<i>Trochoidea frater</i>			1		2	2		
<i>Oxychilus lentiformis</i>			1					
<i>Chondrula gymnesica</i>			1	1*				

**Taula 5.** Freqüència de cada tàxon per estrat a cala Carbó 2 (Pollença). s: closca sencera. f: fragment.

**Table 5.** Frequency of each taxa by level in cala Carbó 2 (Pollença). s: whole shell. f: fragment.

(5Y 5/3). La seva potència està entre 0,2 i 0,4 m. Els fòssils trobats són: *Iberellus balearicus*, *Tudorella ferruginea* i *Trochoidea frater*.

El nivell d cap al NE del tall quasi desapareix i cap el SW es fa molt més potent i no es veu la banda ferruginosa.

e - Eolianita de color groc (2.5Y 8/2) d'1,5 m de potència. A l'igual que l'eolianita c,

presenta bioturbacions probablement de *Myotragus*. Aquesta eolianita desapareix cap el SW.

f - Bretxes amb matriu arenosa-llimosa de color vermellós (7.5YR 5/6) poc cimentades majoritàriament, però presenta alguns nivells més cimentats. Els fòssils trobats són: *Iberellus balearicus* i *Tudorella ferruginea*. La seva potència és de 0,2 a 0,4 m.



**Fig. 5.** Imatge de Cala Carbó I (Pollença).

**Fig. 5.** Image of Cala Carbó I (Pollença).

SECTOR PUNTA DE SA GUARDA DE TACÀRITX-CAP PETIT

Existeixen pocs estudis específics sobre la geologia de la península d'Alcúdia. Fallot (1922) inclou la península d'Alcúdia dins de la Unitat Tectònica II en què divideix la serra de Tramuntana, encara que destaca que té una estructura un tant diferent a la resta de la serra amb una tectònica més de plegament que no formada a base d'encaulements i amb una alineació diferent de les estructures que presenta la resta de la serra. En els estudis posteriors d'Alvaro i Del Olmo (1984) i d'Alvaro (1987) ja no inclouen la península d'Alcúdia dins de la serra de Tramuntana sinó que la consideren inclosa dins del domini de les serres de Llevant. Aquest mateix enfocament es troba en els mapes de l'ITGE (1991) sense dir, explícitament, que la península d'Alcúdia

forma part de la serra de Tramuntana. Gelabert *et al.* (1992) la inclouen en el seu estudi estructural de la serra de Tramuntana i en el tall de la península d'Alcúdia que presenten mostren de forma clara que les estructures presents concorden amb la tectònica general de la serra de Tramuntana.

Entre la punta de sa Guarda de Tacàritx i el cap Petit, els dipòsits continentals del Plistocè superior són pràcticament continus, i estan formats per eolianites, llims i bretxes (col·luvions de vessant de muntanya). En algun punt molt concret hi ha dipòsits molt petits de platja del Pleistocè superior. A les eolianites hi són freqüents les rizocrecions i també són presents icnites fòssils de *Myotragus balearicus* (Vicens i Crespi, 2003).

S'ha considerat aquest dipòsit quarternari com un únic jaciment, malgrat hi ha petites fragmentacions en la seva continuï-

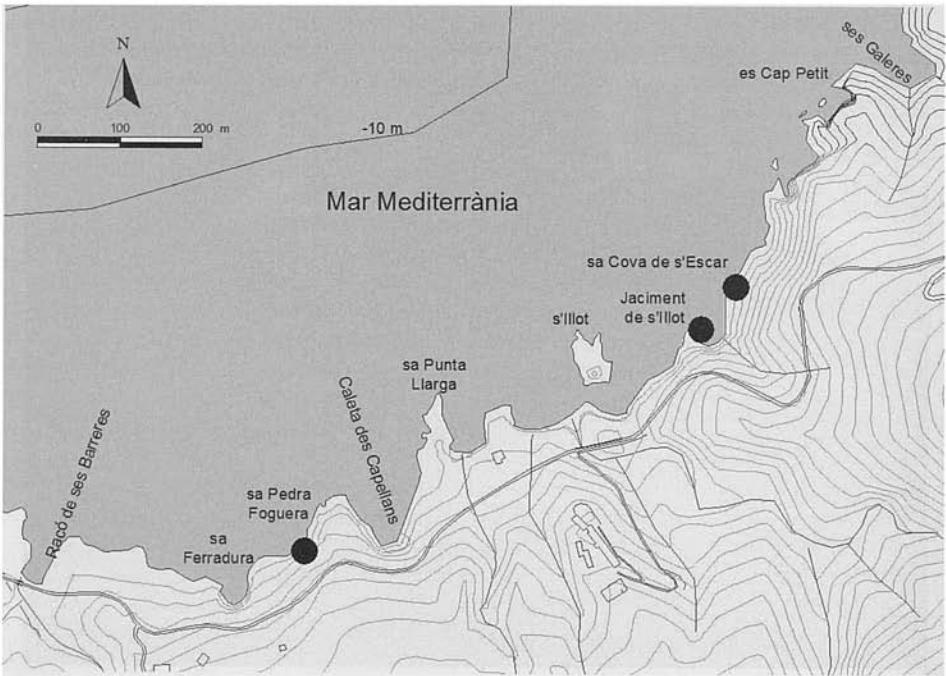


Fig. 7. Situació dels talls estratigràfics entre la punta de sa Guarda de Tacàritx i el cap Petit.  
 Fig. 7. Location of the stratigraphical logs between the punta de sa Guarda de Tacàritx and el cap Petit.

tat, degut al paleorelleu existent abans del Pleistocè superior i l'erosió holocena. És un jaciment de mides considerables.

Aquest jaciment es troba situat a la península d'Alcúdia, al vessant de la badia de Pollença (Fig. 7).

Tall de la de sa Pedra Foguera (Fig. 8)

- a - Calcàries del Mesozoic.
- b - Bretxes amb matriu llimosa vermellosa (5YR 5/6) sense cimentar que es dipositen discordantment sobre les calcàries del Mesozoic. La seva potència és variable, però oscil·la entre 1 i 2 m.
- c - Eolianita de color groc (10YR 8/4) d'en-

tre 1,5 i 2,5 m de potència. Hi ha icnites de *Myotragus balearicus*.

d - Bretxes amb matriu formada per llims vermellosos (5 YR 6/8) amb una potència d'entre 1 i 1,5 m. La base està més cimentada que la resta de l'estrat. Els fòssils són nombrosos i s'han trobat: *Iberellus balearicus*, *Tudorella ferruginea*, *Trochoidea frater*, *Oxychilus lentiformis*, *Chondrula gymnesica* i *Oestophora cuerda*.

e - Eolianita de color groc (10YR 8/4) d'1,5 m de potència. Es poden observar icnites de *Myotragus balearicus*.

f - Bretxes amb clastes decimètrics i centimètrics amb matriu de color rosada (7.5 YR 8/4) d'aparença no molt cimentades. En alguns indrets, per sobre hi ha una crosta calcària de mida centimètrica. S'han trobat els següents fòssils: *Iberellus balearicus*, *Tudorella ferruginea*, *Trochoidea frater* i *Chondrula gymnesica* (Taula 6).

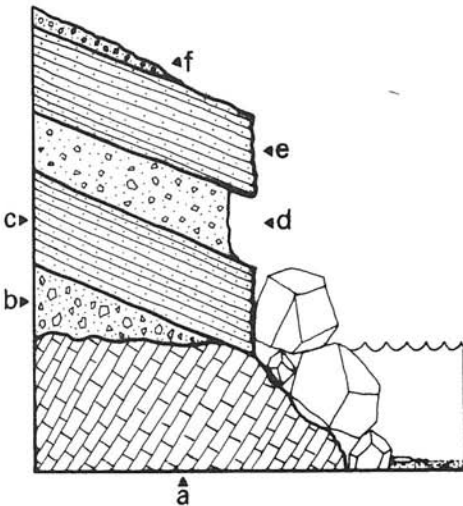


Fig. 8. Tall S-N de sa Pedra Foguera. a- Calcàries del Mesozoic. b- Bretxa. c- Eolianita. d. Bretxa. e. Eolianita. f- Bretxa. Les capes b, c, d, e i f són del Pleistocè superior. Foto del marge oest de sa Ferradura (Alcúdia). Es pot observar la capa c (eolianita al nivell de la mar), la capa d (llims vermells) i la capa d (eolianita del sostre).

Fig. 8. Stratigraphical log S-N of sa Pedra Foguera. a- Mesozoic limestones. b- Breccias. c- Aeolianite. d. Breccias. e. Aeolianite. f- Breccias. The levels b, c, d, e and f are from the upper Pleistocene. West margin view of sa Ferradura (Alcúdia). We can be observed the level c (aeolianite at the level of the sea), the level d (red silt) and the level d (aeolianite of the top).

Sa Pedra Foguera (Alcúdia)				
Estrats →	d		f	
Tàxons ↓	s	f	s	f
<i>Iberellus balearicus</i>	4	1	2	1
<i>Tudorella ferruginea</i>	31	3	4	
<i>Trochoidea frater</i>	10		1	
<i>Oxychilus lentiformis</i>	4			
<i>Chondrula gymnesica</i>	2		1	
<i>Oestophora cuerda</i>	1			

Taula 6. Freqüència de cada tàxon per estrat a Sa Pedra Foguera (Alcúdia). s: closca sencera. f: fragment.

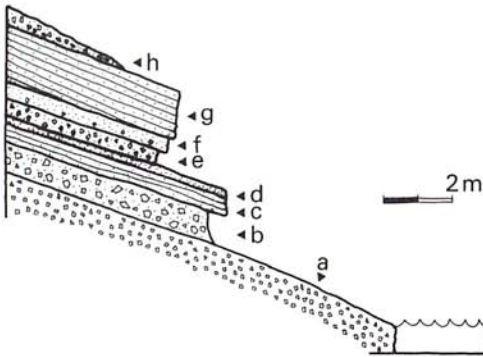
Table 6. Freqüència of each taxa by level in Sa Pedra Foguera (Alcúdia). s: whole shell. f: fragment.

Tall de s'Illot (Fig. 9)

a - Bretxes amb clastes subarrodonits de mida centimètrica i decimètrica amb matriu color rogenca (7.5 YR 7/6).

b - Bretxes amb clastes angulosos amb una matriu llimosa de color roig intens (2.5 YR 4/6), poc cimentades. La seva potència és de 0,8 m. Els fòssils trobats són: *Iberellus*





**Fig. 9.** Tall W-E de s'Illot. a- Bretxa. b- Bretxa. c- Eolianita. d- Arenes mesclades amb llims. e- Llims. f- Arenes. g- Eolianita. h- Bretxa. Tota la sèrie és del Pleistocè superior. A la foto de la dreta es pot observar la capa a (base) fins a la capa g. Comparar amb el tall.  
**Fig. 9.** Stratigraphical log W-E of s'Illot. a- Breccias. b- Breccias. c- Aeolianite. d- Sands mixed with silt. e- Silt. f- Sands. g- Aeolianite. h- Breccias. All series correspond to upper Pleistocene. On the photo we can be observed the level a (basis) until the level g. To compare with the stratigraphical log (see right).

*balearicus*, *Tudorella ferruginea* i *Oxychilus lentiformis*.

c - Eolianita de color groc-vermellós (7.5 YR 5/6) bioturbada per arrels, amb una potència de 0,6 m. S'ha trobat *Trochoidea frater*.

d - Arenes mesclades amb llims vermellosos (7.5 YR 5/6), cimentades. La seva potència és de 0,15 m. S'ha recollert *Chondrula gymnesica*.

e - Llims rojos (5 YR 4/6) amb clastes angulosos de mida centimètrica. La seva potèn-

cia és de 0,4 m. Els fòssils trobats són els següents: *Iberellus balearicus*, *Tudorella ferruginea* i *Trochoidea frater*.

f - Arenes de color groguenc (10 YR 7/6) poc cimentades amb algun claste a la base. La seva potència és de 0,35 m. Els fòssils trobats són els següents: *Iberellus balearicus*, *Tudorella ferruginea*, *Trochoidea frater*, *Oxychilus lentiformis* i *Chondrula gymnesica*.

g - Eolianita de color groguenc (10 YR 7/6) d'1,5 m de potència. Presenta bioturbacions

S'Illot (Alcúdia)												
Estrats →	b		c		d		e		f		h	
Tàxons ↓	s	f	s	f	s	f	s	f	s	f	s	f
<i>Iberellus balearicus</i>		1						1	1			
<i>Tudorella ferruginea</i>	1	1					2	1	2			
<i>Trochoidea frater</i>			1				2		3		1	
<i>Oxychilus lentiformis</i>	1								3			
<i>Chondrula gymnesica</i>					1				12	2	1	

**Taula 7.** Freqüència de cada tàxon per estrat a la cova de S'Illot (Alcúdia). s: closca sencera. f: fragment.

**Table 7.** Frequency of each taxa by level in the cave in S'Illot (Alcúdia). s: whole shell. f: fragment.

produïdes per arrels majoritàriament a la part superior i per les petjades de *Myotragus balearicus*.

h - Bretxes cimentades amb clastes subarrodonits de color vermellós (10 YR 5/8) amb una potència de 0,6 a 0,8 m. Els fòssils trobats són: *Trochoidea frater* i *Chondrula gymnesica*. A mida que ens desplaçam cap el SE, per sobre hi ha un estrat d'uns 1,5 m de bretxes amb clastes angulosos i poc cimentades d'un color més clar (Taula 7).

#### Tall de la cova de s'Escar (Fig. 10)

a - Calcàries del Mesozoic.

b - Bretxes amb matriu llimosa vermellosa sense cimentar que es dipositen discordantment sobre les calcàries del Mesozoic. La seva potència és variable, però a la cavitat oscil·la entre 2 i 4 m.

c - Bretxes molt cimentades amb ciment esparític de color blanquinós i 1 m de potèn-

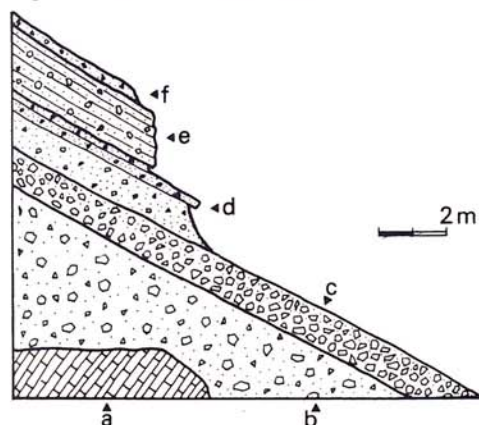


Fig. 10. Tall SE-NW de la cova de s'Escar. a- Calcàries del Mesozoic. b- Bretxes poc cohesionades. c- Bretxes molt cimentades. d- Bretxes. e- Eolianita. f- Bretxa. Les capes b,c,d,e i f són del Pleistocè superior.

Fig. 10. Stratigraphical log SE-NW of the cave de s'Escar. a- Mesozoic limestones. b- Few cemented breccias. c- Cemented Breccias. d- Breccias. e- Aeolianite. f- Breccias. The levels b,c,d,e and f are from the upper Pleistocene.

Cova de s'Escar (Alcúdia)				
Estrats →	d		e	
Tàxons ↓	s	f	s	f
<i>Iberellus balearicus</i>	2			
<i>Tudorella ferruginea</i>	1			
<i>Trochoidea frater</i>	4			
<i>Chondrula gymnesica</i>			1	

Taula 8. Freqüència de cada tàxon per estrat a la cova de s'Escar (Alcúdia). s: closca sencera. f: fragment.

Table 8. Frequency of each taxa by level in cova de s'Escar (Alcúdia). s: whole shell. f: fragment.

cia. La part inferior és on predomina el ciment esparític mentre que a la part superior hi ha una matriu llimosa molt cimentada. d - Bretxes amb matriu llimosa d'1,2 m de potència i color vermellós (5 YR 7/4). Entre els 0,8 i 1 m estan més cimentades i és on s'han recollit el següents fòssils: *Iberellus balearicus*, *Tudorella ferruginea* i *Trochoidea frater*.

e - Calcarenites amb clastes del Mesozoic d'1,5 m de potència. Es va identificar *Chondrula gymnesica* (Taula 8).

f - Bretxes de 0,4 m de potència.

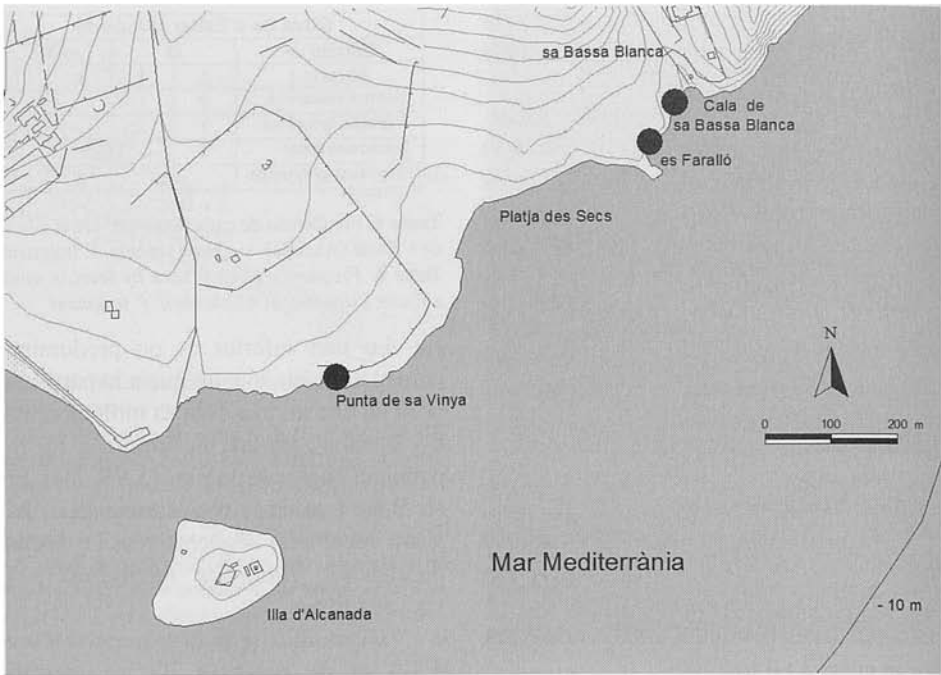
#### ALCANADA-SA BASSA BLANCA

Els dipòsits continentals quaternaris que es troben situats entre la platja d'Alcanada i sa Bassa Blanca, es troben a la península d'Alcúdia, al vessant de la badia d'Alcúdia. Es tracta d'una sèrie de ventalls al·luvials que surten del front muntanyós que conforma la península d'Alcúdia i arriben a la mar en forma de ventalls costaners.

S'ha considerat que hi ha dos jaciments per la presència d'una zona litoral on només aflora el Mesozoic.

Es tracta, com en el cas anterior, de jaciments de mides considerables, emperò poc fòssilífers en general.

En aquesta zona es descriuen dos jaciments vora la mar (Fig. 11).



**Fig. 11.** Situació dels talls estratigràfics d'Alcanada-Sa Bassa Blanca.  
*Fig. 11.* Location of the stratigraphical logs of Alcanada-Sa Bassa Blanca.

**Platja d'Alcanada-punta de sa Vinya**

El jaciment es troba situat entre la platja d'Alcanada i una cala que hi ha passat la punta de sa Vinya. En general la sèrie és senzilla, compta amb una eolianita de base, que al N de la punta de sa Vinya, canvia lateralment a arenes amb clastes. Per sobre hi ha bretxes.

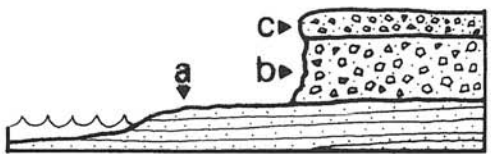
Es tracta d'un jaciment poc fòssilífer.

**Tall punta de sa Vinya (Fig.12)**

a - Eolianita vermellosa (7.5 YR 6/6) que aflora intermitentment vora el nivell de la mar.

b - Bretxes amb matriu llimosa-arenosa de color bru (7.5 YR 4/6) de potència 1,5 m. S'ha trobat *Iberellus companyonii*.

c - Nivell edàfic constituït per terra (7.5 YR 4/4) i abundants clastes de 0'4 m de potència.



**Fig. 12.** Tall SW-NE de sa Punta de sa Vinya. a- Eolianita. b- Bretxa. c- Bretxa poc cimentada. Tota la sèrie és del Pleistocè superior.

*Fig. 12.* Stratigraphical log SW-NE of sa Punta de sa Vinya. a- Aeolianite. b- Breccias. c- Few cemented breccias. All series are from the upper Pleistocene.

**Es Faralló-cala de sa Bassa Blanca**

Aquest jaciment comença abans d'arribar a es Faralló i acaba a la cala de sa

Bassa Blanca. Els materials quaternaris tapen un paleorelleu en els materials mesozoics. S'han realitzat dues seccions.

Tall des Faralló (Fig. 13)

- a - Calcàries del Mesozoic.
- b - Calcarenita constituïda per llims arenosos de color vermellós de 0,2 a 0,4 m de potència.
- c - Llims vermells (2.5 YR 4/4) de 0,8 a 1 m de potència. S'ha trobat: *Iberellus companyonii*, *Tudorella ferruginea*, *Trochoidea frater*, *Oxychilus lentiformis*, *Chondrula gymnesica* i *Testacella cf. haliotidea* (Taula 9).

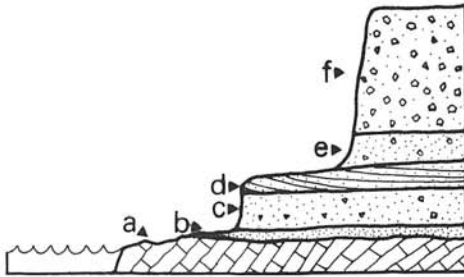


Fig. 13. Tall SE-NW d'es Faralló. a- Calcàries del Mesozoic. b- Calcarenita. c- Llims vermells. d- Eolianita. e- Bretxes. Les capes b, c, d i e són del Pleistocè superior.

Fig. 13. Stratigraphical log SE-NW from es Faralló. a- Mesozoic limestones. b- Limestone. c- Red silt. d- Aeolianite. e- Breccias. The levels b, c, d and e are from the upper Pleistocene.

Es Faralló (Alcúdia)				
Estrats →	c		d	
Tàxons ↓	s	f	s	f
<i>Iberellus companyonii</i>		1	1	
<i>Tudorella ferruginea</i>		1		
<i>Trochoidea frater</i>	20	3		
<i>Oxychilus lentiformis</i>	1			
<i>Chondrula gymnesica</i>		1		
<i>Testacella cf. haliotidea</i>	1			

Taula 9. Freqüència de cada tàxon per estrat en es Faralló (Alcúdia). s: closca sencera. f: fragment.

Table 9. Frequency of each taxa by level in es Faralló (Alcúdia). s: whole shell. f: fragment.

d - Eolianita de color vermellós (5 YR 5/6) de 0,3 a 0,8 m de potència. S'ha trobat *Iberellus*.

e - Llims vermellosos (5 YR 4/6) amb una potència de 0,8 m i color vermellós.

f - Bretxes poc consolidades amb matriu vermellosa (5 YR 5/6) de 3 m de potència.

Tall de la cala de sa Bassa Blanca (Fig. 14)

a - Llims vermells (5Y/R 5/8) amb clastes de mida centimètrica, amb una potència mínima de 0,8 m. S'ha trobat *Trochoidea frater* i *Oxychilus lentiformis*.

b - Eolianita de color groc (10YR 8/6) d'1 m de potència. Presenta bioturbacions per arrels a la base i al sostre. S'ha trobat: *Iberellus balearicus*, *Trochoidea frater* i *Chondrula gymnesica* (Taula 10).

c - Bretxa cimentada amb matriu color crema (7,5YR 8/6) amb 0,4 m de potència

d - Bretxa poc cimentada amb matriu constituïda per llims vermellosos (5Y/R 6/8) de 0,6 m de potència.

e - Bretxa poc cimentada amb llims ocres (7,5 YR 7/6) de 2 m de potència.

Cala de sa Bassa Blanca (Alcúdia)				
Estrats →	a		b	
Tàxons ↓	s	f	s	f
<i>Iberellus balearicus</i>			1	
<i>Trochoidea frater</i>	1	1	1	
<i>Oxychilus lentiformis</i>	1			
<i>Chondrula gymnesica</i>			1	

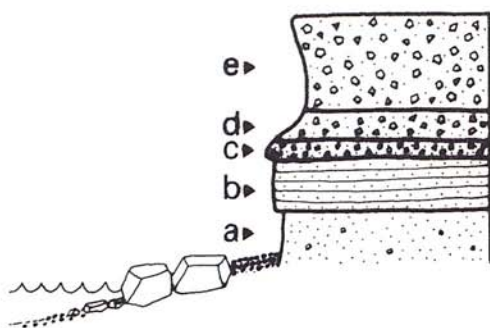
Taula 10. Freqüència de cada tàxon per estrat a la cala de Sa Bassa Blanca. s: closca sencera. f: fragment.

Table 10. Frequency of each taxa by level in cala Sa Bassa Blanca. s: whole shell. f: fragment.

SECTOR COLÒNIA DE SANT PERE-ES CALÓ

El peu de mont del vessant SE de la badia d'Alcúdia està seguit de ventalls





**Fig. 14.** Tall SE-NW cala de sa Bassa Blanca. a- Llims vermells. b- Eolianita. c- Bretxa. d- Bretxa poc cimentada. e- Bretxa poc cimentada. Tota la sèrie és del Pleistocè superior. Foto de la dreta de la cala de sa Bassa Blanca (Alcúdia). Es pot observar els llims vermells de base, una eolianita i a sostre bretxes.

*Fig. 14. Stratigraphical log SE-NW of cala de sa Bassa Blanca. a- Red silts. b- Aeolianite. c- Breccias. d- Few cemented breccias. e- Few cemented breccias. All series are from the upper Pleistocene. Photo of the Cala de sa Bassa Blanca (Alcúdia). The red silt of basis can be observed, an aeolianite and breccias on top.*



al·luvials que surten del front muntanyós que conforma la península d'Artà i arriben a la mar en forma de ventalls costaners. A redós d'aquests aparells es varen desenvolupar sistemes dunars que han quedat registrats en les seqüències verticals que construeixen els ventalls (Rodríguez-Perea, 1998). S'atribueix l'evolució dels ventalls al paper predominant de la tectònica, les variacions del nivell marí i la disponibilitat de sediments derivada de les variacions climàtiques. Les condicions necessàries per al desenvolupament dels dipòsits de colades rocalloses així com de fluxos laminars en situen en condicions força humides, fredes; mentre que els dipòsits d'eolianites atès a la seva gènesi s'ubiquen a grans trets, en la transició entre el màxim interglacial i el màxim glacial (Gómez-Pujol, 1999).

Muntaner (1955) fou el primer treball que dona a conèixer el jaciment de cala s'Estret, comentant que és un dipòsit pobre

en fauna i on, bàsicament, era present *Cerithium* sp.

Segons Butzer i Cuerda (1962) hi ha dues platges discordants. L'inferior és estèril i la superior és fòssilífera i arriba als +2 m snm. La fauna banal de la platja superior i la posició estratigràfica suggereix que aquest dipòsit es correspon amb el Tirrenià III. Per sobre es situa la sèrie continental del Würm.

Cuerda i Galiana (1976) són els primer que descriuen el jaciment del calos Camps. Realitzen un tall simplificat on diferencien quatre nivells, que de base a sostre són els següents: eolianita d'edat possiblement rissiana, dipòsit de platja amb fauna marina termòfila de l'Eutirrenià, dipòsit de llims arenosos amb fauna banal del Neotirrenià i un dipòsit integrat per elements detrítics i estrats llimosos del Würm. Anys més tard, Rose *et al.* (1999) fan tres talls en el caló des Camps i un al S de la



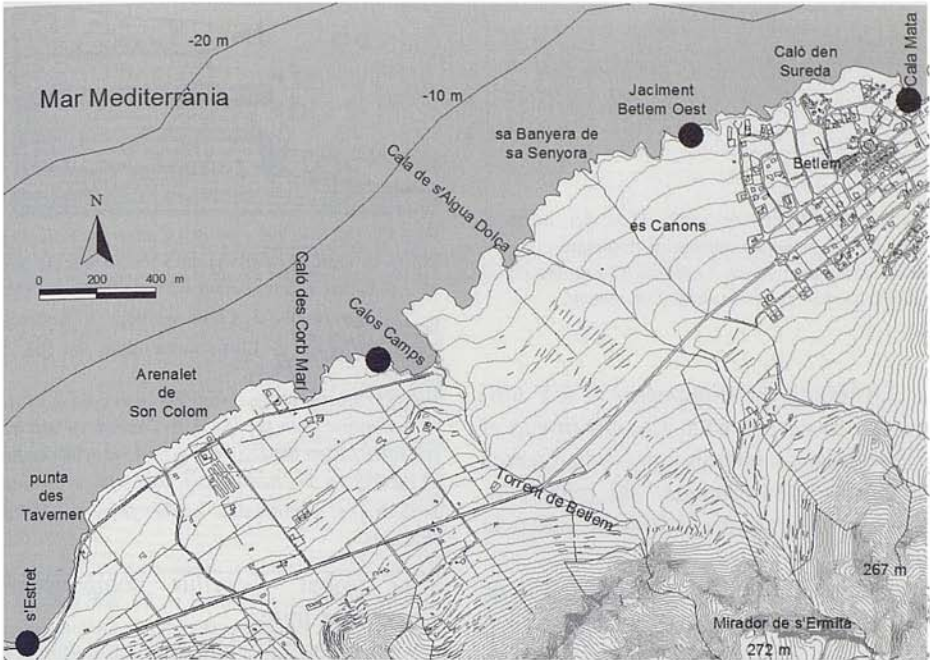


Fig. 15. Situació dels tall estratigràfics de la Colònia de Sant Pere-Es Caló.

Fig. 15. Location of the stratigraphical logs from la Colònia de Sant Pere-Es Caló.

urbanització de Betlem i realitzen datacions isotòpiques per a datar les seqüències. Totes es corresponen amb el Pleistocè superior.

Es tracta aquest jaciment, de mides quilomètriques, com un únic jaciment per la seva continuïtat. S'han realitzat quatre talls. El primer prop de la colònia de Sant Pere, a devers la par central de s'Estret; el segon al caló des Camps; el tercer al W de la urbanització Betlem; i el quart i al E de la mateixa urbanització (cala Mata) (Fig. 15). La seqüència de cala de Mata 1 dista uns 40 m al E de cala Mata 2, per la qual cosa només es representa un tall.

#### S'Estret (Fig. 16)

a - Arenes cimentades de platja amb algun fòssil. La seva potència és d'almenys 1 m.

b - Llims vermells amb fòssils marins. La seva potència és d'uns 10 cm.

c - Aquest nivell es caracteritza per presentar en aquest punt dos subnivells, separats per una banda de ferruginosa. La inferior ( $c_1$ ) està constituïda per llims vermells (2.5 YR 4/4) d'1 m de potència. La superior ( $c_2$ )

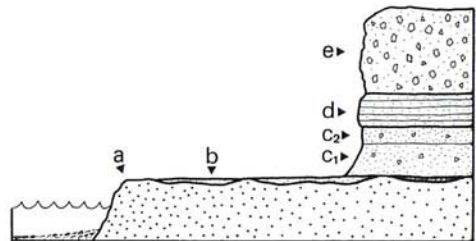


Fig. 16. Tall N-S de s'Estret 1. a- Arenes cimentades de platja. b- Llims amb fòssils marins.  $c_1$ - Llims vermells.  $c_2$ - Llims ocrs. d- Eolianita. f- Bretxa. Tota la sèrie és del Pleistocè superior.

Fig. 16. Stratigraphical log N-S of s'Estret 1. a- Sands cemented of beach. b- Silt with sea fossils.  $c_1$ - Red silts  $c_2$ - Ocher silt. d- Aeolianite. f- Breccias. All series are from the upper Pleistocene.

		S'Estret (Artà)					
Estrats →		c		d		e	
Tàxons ↓		s	f	s	f	s	f
<i>Iberellus companyonii</i>		6	2	3		2	1
<i>Tudorella ferruginea</i>			1	1	3		
<i>Trochoidea frater</i>		5		5	1	2	
<i>Oxychilus lentiformis</i>		1	1				
<i>Chondrula gymnesica</i>		1				3	

**Taula 11.** Freqüència de cada tàxon per estrat a S'Estret (Artà). s: closca sencera. f: fragment.

**Table 11.** Frequency of each taxa by level in the creek of S'Estret (Artà). s: whole shell. f: fragment.

està constituïda per llims ocre (2.5 Y 6/6) d'uns 0,3 m de potència. Uns 20 m cap el SW desapareixen lateralment i hi ha bretxes amb clastes subarrodonits de mida centimètrica i decimètrica d'1 m de potència (Taula 11).

d - Eolianita de color groc (7.5 YR 6/8) de 0,5 m a 1,5 m de potència. S'encunya cap el SW.

e - Bretxes amb clastes subarrodonits de 2 a 3 m de potència.

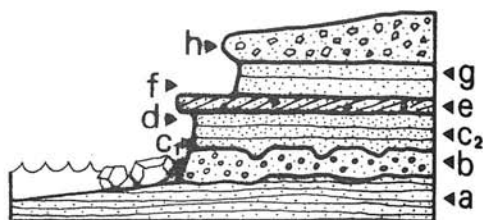
### Caló des Camps (Fig. 17)

a - Eolianita de base de color groc (10YR 8/4).

b - Dipòsit de platja consistent amb arenes, còdols i blocs arrodonits amb una matriu color blanquinós d'uns 0,6 m de potència. Es poden trobar fòssils marins. Cuerda i Galiana (1976) ho consideren de l'Eutirrenià per la presència mol·luscs termòfils. Rose *et al.* (1999) ho consideren del ISS 5e, confirmant el que proposaven els primers autors.

c - Llims vermells (5YR 6/8) de 0,4 m de potència. Els 0,2 m inferiors (C-1) presenten abundants fòssils marins. Els 0,2 m superiors (C-2) presenten mol·luscs terrestres: *Iberellus companyonii*.

d - Llims de color menys vermellós (7.5YR 6/4) que els anteriors de 0'3 m de potència.



**Fig. 17.** Tall N-S del caló des Camps. a- Eolianita del ISS 6. b- Dipòsit de platja amb fòssils marins del ISS 5e. c<sub>1</sub>- Llims vermells amb fòssils marins del ISS 5a. c<sub>2</sub>- Llims vermells. d- Llims vermells. e- Eolianita. f- Llims vermells. g- Llims color oliva del ISS 3. h- Bretxa.

**Fig. 17.** Stratigraphical log N-S of el caló des Camps. a- Aeolianite from the ISS 6. b- Deposit of beach with sea fossils from the ISS 5e. c<sub>1</sub>- Red silt with sea fossils of the ISS 5a. c<sub>2</sub>- Red silts. d- Red silts. e- Aeolianite. f- Red silts. g- Silt olive colour from the ISS 3. h- Breccias.

S'ha trobat *Iberellus companyonii* i *Trochoidea frater*.

e - Eolianita (7.5 YR 7/4) amb clastes de 0,25 m de potència. Lateralment a poc metres cap el W, va passant a bretxes fins que s'encunya i desapareix.

f - Llims vermells (5YR 6/6) amb algun claste de 0,4 m de potència. S'ha trobat *Iberellus companyonii*, *Trochoidea frater* i *Chondrula gymnesica* (Taula 12).

g - Llims color oliva (10 YR 6/6) i arenes de 0,3 m de potència. S'ha trobat *Iberellus companyonii*, *Trochoidea frater*, *Oxychilus lentiformis* i *Chondrula gymnesica*. Rose *et al.* (1999) daten aquest estrat en  $62,8 \pm 8,5$  ka i el consideren del ISS 3.

h - Bretxa de 0,6 m de potència.

### Betlem Oest (Fig. 18)

a - Eolianita de color groc d'almenys 2,5 m de potència. Hi ha bandes amb clastes.

b - Llims vermells (7.5YR 7/4) de 0,8 m de potència. Es presenten clastes majoritàriament a la part superior. S'ha trobat *Iberellus*

Caló des Camps (Artà)								
Estrats →	C-2		d		f		g	
Tàxons ↓	s	f	s	f	s	f	s	f
<i>Iberellus companyonii</i>	1	1	1		2		1	
<i>Trochoidea frater</i>			2		4	1	1	
<i>Oxychilus lentiformis</i>							1	
<i>Chondrula gymnesica</i>					5		1	

Taula 12. Freqüència de cada tàxon per estrat al Caló des Camps (Artà). s: closca sencera. f: fragment.

Table 12. Frequency of each taxa by level in Caló des Camps (Artà). s: whole shell. f: fragment.

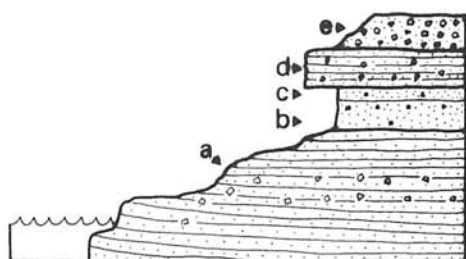


Fig. 18. Tall NW-SE de Betlem Oest. a- Eolianita. b- Llims vermells. c- Llims ocres del ISS 3. d- Eolianita. e- Bretxa. Tota la sèrie és del Pleistocè superior.

Fig. 18. Stratigraphical log NW-SE of Betlem West. a- Aeolianite. b- Red silts. c- Ocher silts from the ISS 3. d- Aeolianite. e- Breccias. All series are from the upper Pleistocene.

*companyonii*, *Trochoidea frater*, *Oxychilus lentiformis* i *Chondrula gymnesica*.

c - Llims ocres (7.5YR 7/4) de 0,3 m de potència. Els llims b i c estan separats per una banda de Fe. S'ha trobat *Iberellus companyonii* i *Trochoidea frater*. Vicens et al. (2001) indiquen la presència de *Chondrula gymnesica*. Rose et al. (1999) daten aquest estrat en  $66,5 \pm 12,1$  ka i el consideren del ISS 3.

d - Eolianita d'1 m de potència. Majoritàriament hi ha clastes a la base.

e - Bretxes amb clastes subarrodons d'1 m de potència.

#### Cala Mata 1

a - Llims vermells (7.5 YR 7/6) amb clastes centimètrics i decimètrics d'almenys 1,5 m de

Betlem W (Artà)				
Estrats →	b		C	
Tàxons ↓	s	f	s	F
<i>Iberellus companyonii</i>	20	3	5	
<i>Trochoidea frater</i>	21		16	1
<i>Oxychilus lentiformis</i>	19			
<i>Chondrula gymnesica</i>	4	1		

Taula 13. Freqüència de cada tàxon per estrat en es Betlem W (Artà). s: closca sencera. f: fragment.

Table 13. Frequency of each taxa by level in Betlem W (Artà). s: whole shell. f: fragment.

potència. S'ha trobat *Iberellus companyonii*, *Tudorella ferruginea* i *Trochoidea frater*.

b - Llims vermells (7.5 YR 6/6) de 0,3 m de potència. S'ha trobat *Iberellus companyonii*, *Trochoidea frater*, *Oxychilus lentiformis* i *Chondrula gymnesica* (Taula 14).

c - Eolianita de color groc de 0,1 a 0,15 de potència.

Cala Mata 1 (Artà)				
Estrats →	a		B	
Tàxons ↓	s	f	s	F
<i>Iberellus companyonii</i>	4	1	1	
<i>Tudorella ferruginea</i>	2			
<i>Trochoidea frater</i>	1		9	
<i>Oxychilus lentiformis</i>			6	
<i>Chondrula gymnesica</i>			1	1

Taula 14. Freqüència de cada tàxon per estrat a Cala Mata 1 (Artà). s: closca sencera. f: fragment.

Table 14. Frequency of each taxon by level in Cala Mata 1 (Artà). s: whole shell. f: fragment.

- d - Bretxes amb matriu de color vermellós de 1,7 m de potència. La part superior és més llimosa.
- e - Arenes amb clastes de 1,7 m de potència.
- f - Bretxes d'1 m de potència.
- g - Nivel·l edàfic de 0,4 m de potència.

- e - Llims vermellosos amb clastes. d'1 m de potència.
- f - Arenes amb clastes de 1,5 m de potència.
- g - Bretxes d'1 m de potència.
- h - Nivel·l edàfic de 0,4 m de potència.

Cala Mata 2 (Fig. 19)

- a - Eolianita de color groc d'almenys 1 m de potència.
- b - Llims vermells amb clastes d'ordre centimètric o decimètric. S'han observat fragments d'*Iberellus companyonii*. La seva potència és entre 20 i 30 cm.
- c - Llims grocs (10 YR 7/6) d'entre 20 i 30 cm de potència. Els llims b i c estan separats per una banda de Fe. S'hant trobat els següents mol·luscs: *Trochoidea frater* (5 exemplars), *Oxychilus lentiformis* (2 exemplars) i *Chondrula gymnesica* (2 fragments). També es va observar la presència de fragments d'*Iberellus companyonii*.
- d - Bretxes amb una matriu vermellosa de 1,7 m de potència.

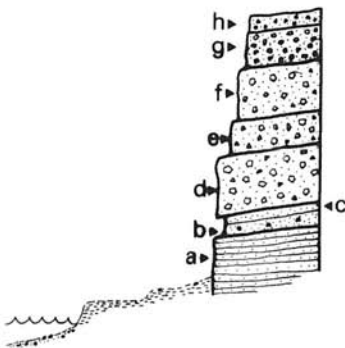
**Situació geogràfica i cronològica en el context de l'arxipèlag Balear dels mol·luscs trobats als jaciments**

Els mol·luscs fòssils trobats als jaciments del Pleistocè superior, constitueixen actualment part de la fauna endèmica de Mallorca, a excepció de *Chondrula gymnesica* i *Oestophora cuerda* que es varen extingir durant la glaciació Würm. Tots els mol·luscs recollits són endemismes de les Illes Balears, per la qual cosa tenen un gran interès biogeogràfic i ens donen una elevada informació sobre la composició faunística prèvia a l'arribada de l'home i les consegüents introduccions.

***Iberellus***

*Iberellus* és un gènere que la seva distribució biogeogràfica queda restringida a les Illes Balears. Els casos fora del nostre arxipèlag (port de Barcelona, Tarragona i Banyuls sur Mer) es tracten de casos de introducció recent. Hipòtesi que és recolzada per la presència de fòssils quaternaris només a les Illes Balears. La nomenclatura del gènere presenta grans discrepàncies segons els autors que l'han tractat (Forés i Vilella, 1993; Alonso-Zarazaga, 2004). En aquest treball s'ha optat per seguir la nomenclatura seguida per Cuerda (1975) i la immensa majoria d'autors que han treballat amb el Quaternari.

*Iberellus pythiusensis* és una espècie endèmica de les illes Bledes (Eivissa).



**Fig. 19.** Tall NW-SE de cala Mata 2. a- Eolianite. b- llims vermells. c- Llims grocs. d- Bretxes. e- Llims vermells. f- Arenes amb clastes. g- Bretxes. h- Nivel·l edàfic. Tota la sèrie és del Pleistocè superior.  
**Fig. 19.** Stratigraphical log NW-SE of cala Mata 2. a- Aeolianite. b- Red silts. c- Yellow silts. d- Breccias. e- Red silts. All series are from the upper Pleistocene.

Colonitza dos illots rocosos i pobres en vegetació (Pons i Palmer, 1996). Descrita inicialment com a subespècie d'*Iberellus companyonii*. *Iberellus pityusensis* s'ha trobat fòssil a Eivissa en eolianites wurminanes i postglacials de la costa sud de la badia de Sant Antoni (Eivissa), als nivells inferiors del jaciment d'Es Pouàs i a la Cova de Ca Na Reia (Paul i Altaba, 1992). A Formentera, a sediments de la costa oriental (Escandell i Colom, 1960), al Pujol des Fum en un dipòsit del Pleistocè superior (Filella *et al.*, 1999).

*Iberellus tanitianus* és una espècie endèmica d'Eivissa, descrita sobre exemplars capturats a Cala Sant Vicenç i el Coll de sa Creu (Forés i Vilella, 1993). Segons Pons i Palmer (1996) seria una espècie propera a *Iberellus companyonii*.

*Iberellus balearicus* és una espècie endèmica de Mallorca, distribuïda per tota la serra de Tramuntana (Gasull, 1963a; 1969; Pons i Palmer, 1996). És una espècie comú a les enclotxes calcàries en zones poc degradades (Pons i Palmer, 1996). Les cites fòssils d'aquesta espècie són molt nombroses i s'ha citat a la Calobra, a cala Molins (Gasull, 1963a) en el km 9,1 de la carretera Lluç-Pollença, en el Far de Formentor (Adrover i Cuerda, 1976), i en es Bufador de son Berenguer de Santa Maria (Gasull i Adrover, 1966) en dipòsits del Pleistocè superior (veure síntesi a Cuerda, 1975) i recentment a Palma (Bover *et al.*, 2004).

*Iberellus companyonii* actualment colonitza les Gimnèsies i les Pitífuses. Altaba (1993) la considera endèmica de les primeres. És una espècie pròpia d'ambients xèrics perilitorals i zones de garriga, humides i boscoses (Pons i Palmer, 1996). *Iberellus cf. minoricensis* (= *I. cf. companyonii*) s'ha citat a Eivissa a Cala Salada (Paul, 1982) i a la Cova de Ca Na Reia (Paul, 1984). La cita de Cala Salada es

coneix a partir d'un únic motlle intern parcial provinent dels sediments inferiors de dita Cala (Paul, 1982a). Paul i Altaba (1992) diuen que aquests fòssils eivissencs, molt probablement representin una espècie endèmica, vicariant de *I. minoricensis* i desapareguda abans de l'arribada dels humans a les Pitiüses. També s'ha citat a Menorca com a *Iberellus cf. minoricensis* un exemplar provinent d'un jaciment del Miocè superior de Punta Nati (Quintana, 1995). En el Pleistocè superior de les Gimnèsiques, és un mol·lusc freqüent (Gasull, 1963a; Cuerda, 1975).

A la pedrera Grossa (Palma) a un reompliment càrstic es va trobar *Iberellus companyonii* i *Iberellus balearicus*, la qual cosa ens indica un punt on han conviscut les dues espècies (Bover *et al.*, 2004).

### ***Tudorella ferruginea* Lamarck 1823**

És un endemisme de les Gimnèsies (Gasull, 1963a; Pons i Palmer, 1996). Viu preferentment a zones boscoses riques en humus, entre les enclotxes càrstiques i sota grans pedres. Es troba des del nivell de la mar fins els punts més alts de la serra de Tramuntana (Pons i Palmer, 1996).

Trobada en el Pleistocè inferior de Mallorca (Cuerda, 1975) i de Menorca (Mercadal *et al.*, 1970). A Eivissa s'ha trobat en els sediments inferiors de Cala Salada (Paul, 1982) i a la cova de ca na Reia (Torres i Alcover, 1981; Gasull i Alcover, 1982). Citada al Pujol des Fum (Formentera) a un dipòsit del Plistocè superior (Filella *et al.*, 1999). És una espècie freqüent en el Pleistocè superior de les Gimnèsies (Cuerda, 1975).

Aquest mol·lusc s'ha trobat a tots el sectors del nostre estudi, emperò ha estat més freqüent al sectors de cala Sant Vicenç



i de la punta de sa Guarda de Tacàritx-cap Petit.

***Trochoidea frater* Dohrn et Heynemann, 1862**

A l'actualitat és una espècie endèmica de Mallorca, de l'arxipèlag de Cabrera i de Sa Dragonera (Pons i Palmer, 1996). Segons Gasull (1964), és la més abundant i estesa de les espècies del gènere *Trochoidea*. Al Pleistocè superior s'ha trobat fòssil a Mallorca (Gasull, 1964; Cuerda 1975) i a Cabrera (Cuerda, 1993). A Menorca s'ha trobat fòssil en el Quaternari i es va extingir en el Pleistocè, per causes encara desconegudes (Quintana, 1998a).

S'ha recol·lectat aquest mol·lusc a tots els sectors de l'estudi.

***Trochoidea claudinae* (Gasull 1963)**

Tàxon descrit per Gasull (1963c), que presenta unes característiques inconfusibles per a determinar aquesta espècie només amb la closca. Espècie endèmica de Mallorca circumscrita a la meitat nord de la Serra de Tramuntana. És una espècie colonitzadora d'ambients càrstics poc alterats (Pons i Palmer, 1996). Gasull (1963c) indica l'existència de biozones separades d'aquesta espècie i *Trochoidea frater*, però Pons i Palmer (1996) indiquen un cert solapament continu de les dues espècies.

S'han localitzat dos exemplars d'aquest mol·lusc al jaciment denominat coves prehistòriques-torrent de la cala de Sant Vicenç. És la primera vegada que aquest tàxon es cita com a fòssil.

***Oestophora cuerdae* Quintana, Vicens et Pons 2006**

Actualment no viu ni a les illes Gimnèsiques ni a les illes Pitiüses. A Mallorca s'havia trobat sota l'assignació d'*Oestophora barbula* en contades ocasions (Gasull, 1963b; Cuerda, 1975): un exemplar fòssil a un llims vermells, prop de Son Dureta (Palma), associat a *Iberellus companyonii*, *Oxychilus lentiformis*, *Trochoidea frater* i *Tudorella ferruginea*, i a unes bretxes que hi ha entre el dos túnels entre La Calobra i el torrent de Pareis (Escorca), dos exemplars fòssils associats a *Iberellus balearicus*, *Oxychilus lentiformis*, *Iberellus (Allognatus) graellsianus* i *Tudorella ferruginea*. Cuerda (1975) comenta que les dues formacions on s'ha trobat són cronològicament de l'últim interglacial i la seva extinció de Mallorca es deu al refredament de la darrera glaciació.

El fòssil d'*Oestophora* que s'han recol·lectat al jaciment d'Alcúdia, a diferència del que s'han trobat als altres dos jaciments mallorquins, s'ha localitzat dins una seqüència estratigràfica ben definida del Pleistocè superior. És de destacar que les localitats on s'ha trobat *Oestophora* a Mallorca fins ara, són al voltants de la serra de Tramuntana.

A Eivissa s'ha trobat als sediments inferiors de Cala Salada (Paul i Altaba, 1992) *Oestophora dentata* ("Helicodontinae sp. A": Paul, 1982) i també a la cova de ca na Reia (Paul, 1984). Aquesta espècie fòssil eivissenca es semblant a la trobada a Mallorca al Pleistocè segons Paul i Altaba (1992).

A Menorca, *Oestophora* ha aparegut a un tipus de jaciment on es pot trobar llavors de *Cneorum* i vertebrats: *Muscardinus cyclopeus*, *Cheirogaster gym-*

*nesica* i diverses Aves, d'edat Pliocena en sentit ampli (Quintana, 1998b). Tant per la morfologia com per les mides, els fòssils d'*Oestophora* trobats a Punta Nati-Cala's Pous són semblants a l'espècie fòssil eivissenca (Quintana, 1995).

En el present estudi únicament hem trobat un exemplar d'aquest gènere en el sector de la punta de sa Guarda de Tacàritx-cap Petit. En concret entre sa Ferradura i sa Pedra Foguera. Després de revisar material actual procedent de distintes localitats (*O. barbula* de Eiras (Goián, Pontevedra, Galícia), puig de Santa Tecla (Vigo, Pontevedra, Galícia), Membrillo Alto (Zalamea la Real, Huelva), Setúbal (Portugal) i Ribera del Sil (Mogote de Lemos, Lleó), *O. silvae*, de Fuentona de Ruente (Cantàbria), *O. lusitanica* d'A Castiñeira (Montederramo, Ourense, Galícia), *O. dorotheae* de Marroc i *O. ortizi*, d'Alhaurín de la Torre (Màlaga). I també comparat amb *Oestophora* sp. 1 del Pliocè de Punta Nati (Ciutadella de Menorca) (Quintana, 1995), *Oestophora* sp 2 del Plio-Pleistocè de Sardenya i *O. dentata* del Pleistocè d'Eivissa, basat en les figures de Paul (1984), Paul i Altaba (1992) i Esu (1978). També s'ha tengut l'oportunitat de consultar el material conegut (Cuerda 1975) de sa Calobra (Escorca) assignat inicialment a *O. barbula* de la col·lecció J. Cuerda (depositada a la Societat d'Història Natural de les Balears) i tampoc es corresponia a aquest tàxon. L'exemplar recol·lectat no s'addiu amb *O. barbula* ni en cap de les espècies d'*Oestophora* conegudes dins de la conca de la Mediterrània occidental pel que recentment s'ha proposat la descripció d'una nova espècie (Quintana *et al.*, 2006).

### ***Oxychilus lentiformis* Kobelt 1888**

Espècie endèmica de les Gimnèsies. Abundant en els ambients humits, als boscos, sota grans pedres i també a les entrades de les cavitats (Pons i Palmer, 1996).

A les Illes Pitiüses hi ha l'endemisme *Oxychilus pytiusanus* amb un hàbitat semblant a l'anterior. Com a fòssil s'ha citat a una sèrie de localitats de l'illa.

*O. lentiformis* s'ha citat en el Pleistocè de Mallorca i de Menorca (Gasull, 1963a; Cuerda, 1975). S'ha trobat aquest mol·lusc a tots els sectors d'aquest treball.

### ***Chondrula gymnesica* Quintana, 2006**

Mol·lusc fòssil de les Gimnèsies del Pleistocè superior (Cuerda, 1975), si bé s'ha trobat *Chondrula* cf. *gymnesica* associada a *Cheirogaster gymnesica* del Miocè superior de Menorca (Quintana, 1995). Segons Cuerda (1975) es va extingir després de l'episodi càlid del Neotirrenià, als inicis de la glaciació Würm. Nosaltres l'hem trobat al caló des Camps a un estrat datat per Rose *et al.* (1999) amb una edat de  $62,8 \pm 8,5$  ka. S'ha trobat representat a tots els sectors de l'estudi. Quintana (2006) ha proposat la descripció d'una nova espècie, separada del grup ja conegut, que englobaria exclusivament les espècies de les Gimnèsies.

### ***Testacella* cf. *haliotideae* Draparnaud 1801**

És un llimac atlàntico-mediterrània-europea, amb una petita closca auri-

forme, convexa. Ha estat citat del Pleistocè de Mallorca per Gasull i Adrover (1966) i Cuerda (1975), i és una espècie vivent coneguda de Mallorca i Menorca. S'ha localitzat al jaciment des Faralló.

## Agraïments

Estam agraïts a Damià Crespí per la informació geològica que ens ha subministrat de la península d'Alcúdia. Damià Crespí, Antelm Ginard, Francesc Gràcia, Gregori Puigserver, Mateu Vadell i el Dr. Pere Bover han aportat suggeriments i comentaris valuosos pel coneixement de la natura de la zona de Tacàritx-cap Petit d'Alcúdia. El Drs. Joan J. Fornós i Lluís Gómez-Pujol han aportat alguns comentaris referents a l'edat i gènesi dels jaciments per la qual cosa estem agraïts. El Dr. Pau Balaguer ens donà una gran ajuda amb la realització de la cartografia.

## Bibliografia

- Adrover, R. i Cuerda, J. 1976. Dos nuevos yacimientos pleistocénicos con malacofauna terrestre en la isla de Mallorca. *Bol. Soc. Hist. Nat. Balears*, 21: 125-130.
- Alonso-Zarazaga, M.A. 2004. Precisiones sobre un artículo nomenclatural acerca de la validez "taxonómica" de *Iberellus companyonii* (Aleron, 1837) recientemente publicado (Mollusca, Pulmonata, Helicidae). *Graellsia*, 60: 101-106.
- Altaba, C. R. 1993. Els caragols i llimacs terrestres (Mollusca: Gastropoda) de l'Arxipèleg de Cabrera. In: Alcover, J.A.; Ballesteros, E. i Fornós J.J. (Eds.). *Història Natural de l'Arxipèleg de Cabrera*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 2: 409-426.
- Alvaro, M. i del Olmo. 1984. Las unidades tectónicas de la Sierra Norte de Mallorca (Islas Baleares). *I Congreso Geol. Esp. Segovia 1984. Comunicaciones*, 3: 1-10.
- Bover, P., Ginard, A., Crespí, D., Vicens, D., Vadell, M., Serra, J., Santandreu, G. i Barceló, M. A. 2004. Les cavitats de la serra de na Burguesa. Zona 6: Minería a la serra den Marill (Palma, Mallorca). *Endins*, 26: 59-82.
- Butzer, K.W. i Cuerda, J. 1962. Nuevos yacimientos marinos cuaternarios de las Baleares. *Notas y Comunicaciones Inst. Geol. Min.*, 67: 25-70.
- Cuerda, J. 1965. Donnés paléontologiques por l'étude de la malacofauna terrestre des Baléares Orientales. *Rapp. procès verbaux Réunion. C.I.E.S.M.M.*, 18: 507-510.
- Cuerda, J. 1975. *Los tiempos Cuaternarios en Baleares*. Inst. Est. Bal. Palma. 304 pp.
- Cuerda, J. 1993. Nota sobre el Quaternari. In: Alcover J.A., Ballesteros, E. i Fornós, J. J. (Eds.), *Història Natural de l'Arxipèleg de Cabrera*, CSIC-Edt. Moll, Mon. Soc. Hist. Nat. Balears 2: 117-130.
- Cuerda, J. i Galiana, R. 1967. Nota sobre un nuevo yacimiento de cuaternario marino localizado en Cala San Vicente (Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 13: 133-136.
- Cuerda, J. i Galiana, R. 1976. Nuevo yacimiento del Pleistoceno superior marino en la costa Norte de Mallorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 21: 115-124.
- Cuerda, J., Vicens, D. i Gràcia, F. 1991. Malacofauna y estratigrafía del Pleistoceno superior marino de Son Real (Santa Margalida, Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 34: 98-108.
- Cuerda, J., Antich, S. i Soler, A. 1982. La secuencia pleistocénica dunar de Son Moson (Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 26:13-35.
- Cuerda, J., Soler, A. i Antich, S. 1983. Nuevos yacimientos del Pleistoceno marino de Mallorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 27: 117-125.
- Escandell i Colom, G. 1960. Notas sobre el empobrecimiento de la fauna balear. Las *Rossmassleria* de Formentera. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 6: 31-35.

- Esu, D. 1978. La malacofauna continentale plio-pleistocenica della formazione fluvio-lacustre di Nuraghe su Casteddu (Sardegna orientale) e sue implicazioni paleogeografiche. *Geologica Romana*, 17: 1-33.
- Fallot, P. 1922. *Étude géologique de la Sierra de Majorque*. Tesi doctoral. Libr. Polytechnique Ch. Béranger, Paris i Liège, 480 pàgs.
- Filella, E., Gässer, Z., Garcia, J. i Ferrer, J. A. 1999. Una puesta fòsil de tortuga terrestre en el Pleistoceno de Formentera (Islas Pitiusas, archipiélago Balear). *Treb. Mus.Geol. Barcelona*, 8: 67-84.
- Forés, M. i Vilella M. 1993. Una nueva especie de *Iberellus* Hesse, 1908 (*Pulmonata: Helicidae*) en la isla de Ibiza. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 36: 17-30.
- Gasull, Ll. 1963a. Algunos moluscos terrestres y de agua dulce de Baleares. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 9: 3-80.
- Gasull, Ll. 1963b. Un nuevo molusco terrestre fòsil para la fauna cuaternaria de Baleares. *Oestophora (Id) barbula* Charp. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 9: 81-82.
- Gasull, Ll. 1963c. Descripción de unas nuevas formas del género *Helicella* (*Xeroplexa*) de Baleares. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 9: 83-92.
- Gasull, Ll. 1964. Las *Helicella* (*Xeroplexa*) de Baleares. *Gastropoda Pulmonata*. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 10: 3-67.
- Gasull, Ll. i Adrover, R. 1966. Fauna malacològica i mastològica del yacimiento des Bufador. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 12: 141-148.
- Gasull, Ll. i Alcover, J. A. 1982. La Cova de Ca Na Reia: desconcertant estació malacològica del Pleistocè de les Pitiüses. *Endins*, 9: 41-44.
- Gelabert, B., Sàbat, F. i Rodríguez-Perea, A. 1991. Estructura geològica de la península de Formentor (Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 34: 85-94.
- Gelabert, B., Sàbat, F. i Rodríguez-Perea, A. 1992. A structural outline of the Serra de Tramuntana of Mallorca (Balearic Islands). *Tectonophysics*, 203: 167-183.
- Gómez-Pujol, Ll. 1999. Sedimentologia i evolució geomorfològica quaternària del ventall al·luvial des Caló (Betlem, Artà, Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 42: 107-124.
- ITGE. 1991. Mapa geològic de España. E: 1:50.000. Fulla 643-644-645. Sa Calobra/Pollensa/Cap Formentor. Madrid.
- Mercadal, B., Villalta, J. F., Obrador, A. i Rosell, J. 1970. Nueva aportación al conocimiento del Cuaternario menorquin. *Acta Geol. Hisp.*, 4: 89-93.
- Muntaner, A. 1955. Nota preliminar sobre nuevas localidades de Cuaternario en la isla de Mallorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 1: 84-86.
- Palmer, M., Pons, G.X., Cambefort, Y. i Alcover, J.A. 1999. Historical Processes and environmental factors as determinants of inter-island differences in endemic faunas: the case of the Balearic Islands. *Journal of Biogeography*, 26: 813-826.
- Paul, C.R.C. 1982. Pleistocene non-marine molluscs from Cala Salada, Ibiza. *Geol. J.*, 17: 161-184.
- Paul, C.R.C. 1984. Pleistocene non-marine molluscs from cova de ca na Reia, Eivissa. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 28: 95-114.
- Paul, C.R.C. i Altaba, C.R. 1992. Els mol·luscs terrestres fòssils de les Illes Pitiüses. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 35: 141-170.
- Pons, G. X. i Palmer, M. 1996. Fauna endèmica de les Illes Balears. *Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 5: 1-307.
- Quintana, J. 1995. Fauna malacològica associada a *Cheirogaster gymnesica* (Bate, 1914). Implicaciones biogeogràfiques. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 38: 95-119.
- Quintana, J. 1998a. Presencia de *Trochoidea frater* (Dohrn y Heynemann, 1862) (*Gastropoda: Helicidae*) en los depósitos cársicos de Menorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 41: 49-56.
- Quintana, J. 1998b. Aproximación a los yacimientos de vertebrados del Plio-Pleistoceno de la isla de Menorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 41: 101-197.
- Quintana, J. 2006. Reconsideració taxonòmica de *Chondrula* (*Mastus*) fòssil de Mallorca i

- Menorca (Gastropoda: Pulmonata: Enidae). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 49: 21-38.
- Quintana, J., Vicens, D. i Pons, G.X. 2006. A new species of the genus *Oestophora* Hesse 1907 (Gastropoda: Pulmonata: Helicodontidae) from the Upper Pleistocene of Mallorca (Balearic Islands, Western Mediterranean). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 49: 51-58.
- Rodríguez-Perea, A. 1998. Ventalls al·luvials i sistemes dunars a Betlem (Artà, Mallorca). In: Fornós J. J. (ED.). *Aspectes Geològics de les Balears*. Universitat de les Illes Balears: 169-189.
- Rose, J., Meng, X. i Watson, C. 1999. Paleoclimate and paleoenvironmental responses in the western Mediterranean over the last 140 ka: evidence from Mallorca, Spain. *Jour. Geol. Soc. London.*, 156: 435-448.
- Torres, N. i Alcover, J.A. 1981. Presència de *Tudorella ferruginea* (Lamarck, 1822) (Gastropoda: Pomatiasidae) a l'illa d'Eivissa. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 25: 185-188.
- Vicens, D. i Crespi, D. 2003. Les coves litorals situades a la franja costanera entre es Mal Pas i el cap Gros (Alcúdia, Mallorca) (la part). *Endins*, 25: 117-130.
- Vicens, D. i Gràcia, F. 1988. Nuevo yacimiento del Pleistoceno superior marino en la playa de "Sa Font Salada" (Balears). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 32: 33-46.
- Vicens, D. i Gràcia, F. 1999. *Carcharodon carcharias* (Linnaeus, 1758) en el Plistocè superior de Mallorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 42: 167-170.
- Vicens, D. i Pons, G.X. 2004. Els mol·luscs terrestres a jaciments del Plistocè superior (Mallorca). *IV Jornades del Medi Ambient de les Balears*. SHNB, 102-103.
- Vicens, D., Pons, G.X., Bover, P. i Gràcia, F. 2001. Els tàxons amb valor biogeogràfic i cronoestratigràfic: bioindicadors climàtics del Quaternari de les Illes Balears. In: Pons, G. X. i Guisjarro J. A. (Eds.) *El canvi climàtic: passat, present i futur*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 9: 121-146.



# Descripció geomòrfica des Màrmols fins as Balç (Santanyí): un segment modèlic del litoral marinenc a Mallorca

Joan J. FORNÓS, Joaquín GINÉS, Lluís GÓMEZ-PUJOL, Jorge RIQUELME i Vicenç Maria ROSSELLÓ i VERGER

## SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA  
NATURAL DE LES BALEARS

Fornós, J.J., Ginés, J., Gómez-Pujol, Ll., Riquelme, J. i Rosselló, V.M. 2007. Descripció geomòrfica des Màrmols fins as Balç (Santanyí): un segment modèlic del litoral marinenc a Mallorca. In: Pons, G.X. i Vicens, D. (Edit.). Geomorfologia Litoral i Quaternari. Homenatge a Joan Cuerda Barceló. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 14: 259-286. ISBN 84-96376-13-3. Palma de Mallorca.

Es descriu, des d'un punt de vista geomòrfic, el litoral marinenc situat entre la punta des Balç i es caló des Màrmols a la costa sud-oriental de l'illa de Mallorca. El model es basa en una clara interrelació entre els processos fluvials, càrstics i litorals, que afecten la plataforma tabular miocènica preexistent amb una sèrie de formes com cales, olles, barrancs penjats, etc. dins d'una línia de costa caracteritzada per un penya-segat continu de no menys de 20 m d'alçada. Aquestes formes, no responen només als processos actuals, sinó que són resultat de les variacions glacioeustàtiques i climàtiques que han afectat el litoral durant els temps pleistocènics i que hi han deixat l'empremta mitjançant formes d'erosió (rases d'abrasió, captures litorals de formes càrstiques, esbaldrecs...) i processos sedimentaris entre els que destaquen la formació de dipòsits eòlics, sòls i ventalls al·luvials.

**Paraules clau:** Mallorca, geomorfologia costanera, carst litoral, dipòsits pleistocens, colianites.

GEOMORFIC DESCRIPTION OF MÀRMOLS TO AS BALÇ (SANTANYÍ): A LITORAL MODELIC SEGMENT OF MALLORCA. This paper describes the geomorphologic features of the coastline comprised between punta des Balç and es caló des Màrmols (SE Mallorca, Balearic Islands). The coast model enhances interrelation on fluvial, karst and coastal processes operating on a former Miocene tabular platform characterised by a 20 m height cliff with abundant examples of features as *calas* (bights), collapse dolines open to the sea (*olles*), hanging stream incisions, etc. Glacioeustatic and climatic variations that have been operating during Pleistocene times play also an important role that must be added to the current agents and processes in the sculpturing of the forms. Evidences of this former landscape arise from erosional morphologies (inherited shore platforms, marine terraces, karst caves connected to the sea and cliff debris), as well as from sedimentary processes, which results in aeolian, colluvial and alluvial deposits and soil formation.

**Keywords:** Mallorca, coastal geomorphology, littoral karst, Pleistocene deposits, aeolianites.

Joan J. FORNÓS, Joaquín GINÉS, Lluís GÓMEZ-PUJOL, Dept. Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears. E-mail: joan.fornos@uib.es ; Jorge RIQUELME i Vicenç Maria ROSSELLÓ, Dept. Geografia, Universitat de València

## Introducció

El conjunt del litoral oriental i meridional de Mallorca presenta una certa similitud geomòrfica com a resultat de la confluència de processos morfològics i sedimentològics diversos (fluvial, càrstic i litoral) que incideixen sobre un mateix substrat litològic (les calcarenites del Miocè superior) que té una disposició tabular aixecada (marines) i mostra un trencament brusca a la línia de costa (penya-segat). La confluència d'aquests processos queda, de més a més, emmarcada dins de la complexa evolució glacioeustàtica que va afectar el litoral mediterrani durant el Pleistocè. La conjunció dels processos erosius, sedimentaris i, és clar, geomòrfics queda perfectament representada en aquest petit segment de costa que ens proposem descriure en detall, i és un model extrapolable a bona part del litoral marinenc del Migjorn i Llevant de Mallorca.

## El referent toponímic

S'han escollit com a fites d'aquest estudi dos indrets amb topònims coneguts, però ben dissonants: Màrmols és, sens dubte, un castellanisme no gaire antic aplicat a penya-segats, tal volta virats o blanquinosos. Balç (pronunciat baús), en canvi, és un magnífic arcaisme (<llatí *balteum*, 'cinyell') que vol dir exactament 'tallserrat', 'penya-segat', 'cingle'. En efecte s'alça sobre la mar fins a 53 m amb un salt de 35 gairebé vertical: un referent mariner de primer ordre (Fig. 1).

Gràcies a la tenaç i perspicaç enquesta de Cosme Aguiló, hem pogut retolar -i, de vegades, explicar- molts accidents litorals. Entre les mesoformes d'espadat, es Balç a part, apareixen es Cingle, es Bancassos, sa Falç i s'Enterrossall, topònims tots ells ben transparents. Com a microformes de relleu

positiu, comptam sa Dent, es Banc, que no han mester d'explicar; es Turmassot (5 casos), derivat de torm o tormo, probablement precatalà, és referències a un tascó o pinacle mètric o decamètric, en alguns casos residu de l'explotació del marès; s'Escull i es Faralló al·ludeixen a una roca o penya mig emergida; ses Orelletes, a una doble punta. Quant a microformes negatives, subratllam es Regatells, sa Seca (roca sotaiguada), es Buïts, referit al buidatge del marès; es Cocó i es Migcocó poden ser naturals o artificials. No cal insistir en el genèric cova: n'hi ha dotzenes i, per això, exigeixen un determinatiu, p.e., cova de s'Escaleta des Moro, de ses Lisses, des Vellmarí, etc. Coneixem uns quants dolços, és a dir, surgències d'aigua dolça a nivell de la mar (cala Figuereta, ses Piquetes, es Bancassos) i als paràgrafs següents comentarem un interessant es Terror Roig.

La major part del litoral estudiat (Fig. 2) pertany a la possessió coneguda actualment com es Rafal des Porcs -o es Rafal, per antonomàsia- que en temps de l'Arxiduc (final del segle XIX) era considerada com una gran finca (1.161 ha) cerealista, de les més grans de Mallorca. Encara que els arabistes solen conferir a rafal una categoria inferior, en realitat aquest durant el segle XVI va agrupar tres possessions, el nucli de les quals era Benigebidi, registrada els segles anteriors. El determinatiu des Porcs (que el contraposa as Rafal Genàs) és degut a que la possessió en època no llunyana se'n dedicava a la cria i molts pagesos de l'interior hi acudien a comprar els porcellins.

## El basament geològic

La naturalesa litològica del basament de la zona estudiada és carbonatada en la seva totalitat (calcarenites) i pertany a les diver-

ses unitats que han estat descrites dins del Miocè superior, essent representades totes elles, amb variacions puntuals de potència i d'aflorament, a totes les marines que han estat descrites des d'un punt de vista geològic com a plataformes neògenes per Pomar *et al.* (1985). Dins de la seqüència postorogènica neògena, s'inclouen sis unitats: quatre corresponents al Miocè superior, les Calcisiltites amb Heterostegina (Pomar *et al.*, 1983), la Unitat Escullosa o Complex Escullós (Barón, 1977, Esteban, 1979/80), les Margues de la Bonanova i les Calcàries de Santanyí (Fornós i Pomar, 1984) i dues al Pliocè, les Calcisiltites de Son Mir i les Calcarenites de Sant Jordi.

A la zona estudiada només afloren dues de les unitats miocèniques: a la base i de forma pràcticament testimonial, la Unitat Escullosa, mentre que les Calcàries de Santanyí conformen la major part de la gruixa representada als espadats litorals. El

paper de les unitats observables a la seqüència que aflora als penya-segats litorals és molt similar encara que presenta variacions de fàcies deposicionals importants. Així, a la base s'hi pot reconèixer una unitat calcària molt més resistent a l'erosió mecànica marina (clarament visible a la punta des Balç, Fig. 1), que dóna lloc a una clara plataforma que sobresurt entre dos i tres metres d'altura i sobre la qual es desenvolupa un rascler litoral molt espectacular. Es tracta de la Unitat Escullosa formada aquí per un *grainstone* bioclàstic, localment *rudstone* amb abundant macrofauna, compost per conques trencades de mol·luscs, on s'hi poden observar també colònies de corall; una estratificació poc aparent li confereix un aspecte massiu i un color groc-vermellós, fruit de la forta carsificació que sol observar-s'hi i que marca el contacte amb la unitat superior (Fornós, 1999).



Fig. 1. Punta des Balç, un referent mariner de primer ordre, format per les calcàries del Miocè superior. Cabrera i l'illot de l'Imperial al fons.

Fig. 1. Punta des Balç, a sailor-man milestone build up by the Upper Miocene limestones. Cabrera island and l'Imperial islet at the back of the picture.





**Fig. 2.** Localització de l'àrea estudiada amb indicació dels principals trets morfològics i estructurals.  
*Fig. 2. Location of the studied area with indication of the main morphological and structural features.*

Per sobre d'aquesta unitat s'hi disposen les Calcàries de Santanyí amb una potència a la punta des Balç de fins a 50 m (Fig. 1) que són poc menys de 40 m a cala Màrmols. Aquesta unitat presenta diverses fàcies deposicionals, dins d'una seqüència transgressiva, iniciada a la base amb una alternança de nivells d'argiles verdes amb còdols ennegrits que localment formen bretxes i a les que s'observen restes d'arrels, ostràcodes i miliòlids, i calcisiltites (*wackestones-packstones*) de color blanc amb miliòlids i peloides amb acumulacions puntuals de mol·luscs de porositat de motle. L'estratificació horitzontal és molt marcada amb pinçaments laterals; s'hi aprecien estructures verticals atribuïdes a arrels hidromorfes entre les quals són freqüents els nius amb pectínids i ostreïds a la base de les capes. Aquestes fàcies s'atribueixen a un ambient intermareal on vegetaven els mangles (Fornós i Pomar, 1982). Sobre aquests nivells s'hi deposita una fàcies fangosa carbonatada (*mudstone*) amb ripples d'oscil·lació i capes amb conquilles orientades de *Tellina* sp., que evoluciona en la vertical a laminetes criptalgals que indiquen un ambient molt protegit i restringit. Mitjançant un contacte erosiu, es disposa el gruix de la seqüència de les Calcàries de Santanyí, format per una alternança de calcàries oolítiques (*grainstone*) i capes estromatolítiques que presenten domos de més de 2 m de diàmetre. Els nivells oolítics, els integren arenes de gra mitjà que incorporen, especialment a sostre, abundants fragments esquelètics i altres intraclasts que solen presentar imbricació. El paper de les estructures sedimentàries hi és important. S'hi poden observar estratificacions encreuades de petita i mitjana escala, *festoon*, laminació en espina de peix (*herringbone*), especialment a sostre de la seqüència, mentre que a la base, on la mida de gra dismi-

nueix, és més freqüent la laminació *flaser*, *lensen*, lenticular i també la presència de ripples d'oscil·lació. El conjunt és interpretat com a una plana arenosa intermareal estabilitzada (*oolitic sand shoal*). Cap al sud, a la zona des Màrmols, aquestes fàcies corresponen a canals submareals en els que és clarament visible l'estratificació encreuada de gran escala (Fig. 3). La seqüència miocènica acaba amb uns nivells formats per domos estromatolítiques, que litològicament corresponen a dolomies força recristal·litzades amb cristalls clarament visibles. Aquests dipòsits mostren una coloració fosca (fins i tot negra), amb un alt grau de porositat que confereix a la roca un aspecte de "gruyère", i constitueixen el nivell superior del relleu tabular de la plataforma.

### Una pinzellada geomorfològica

El territori que analitzam en aquest article abasta uns quatre quilòmetres de front litoral i un i mig de penetració continental. El traçat gairebé rectilini de la costa (N 40°, aproximadament) suggereix un accident tectònic determinant que afecta el planell carbonàtic, una mica més elevat al NE que al SW. El caràcter massiu del rocam no ofereix gaire estratificació, però la tendència a un declivi d'un 16 ‰ vers el SE és fàcil de comprovar. L'alçària màxima no depassa gaire els 60 m s.n.m. (sa talaia Grossa -poblat talaiòtic-, na Gosta) i el front litoral s'alça prop dels 40 m al sector septentrional mentre que el meridional roman entorn dels 25 m. El tram des Màrmols, que centra la nostra atenció i conté la cala més desenvolupada, correspon a un bloc enfonsat de 500 per 1.000 m entre fractures perpendiculars a la costa, fenomen que es repeteix en proporcions més modestes al torrent d'en Barragot i cala Figuereta.



L'abassegador control estructural, que es manifesta en la topografia en el trencament i caiguda vertical del planell calcari arran de mar, ofereix alguns matisos més enllà del flanc meridional de cala Figuereta i fins a la punta de Can Barragot. La topografia desconcertant en aquest paisatge subhoritzontal sembla respondre a un sector de glacis que fossilitza un antic penya-segat avui entapissat per un cos de sediments eòlics, al·luvials i col·luvials amb seccions ben visibles entre sa Dent i es Màrmols, sa punta des Màrmols i na Fonda i més cap al sud devers el torrent des Bous i el Rost d'en Cervera (Fig. 4).

Els torrents, molt curts (menys de 1.000 m), aprofiten les fractures: ses Orelletes, cala Figuereta, es Màrmols i d'en Barragot, encanyonant-se enèrgicament la majoria, però n'hi ha de penjats com el que cau a la punta de sa Plana i el des Barret des Capellà. Els que connecten amb la mar, tanmateix, acaben en cul de sac -com el des Màrmols, 400 m endins-, o el de Cala Figuereta que fa un salt a +10 m i només s'encaixona en un tram molt curt vers ponent. L'efectivitat hidrològica és actualment nul·la ja que els torrents no compensen ni de molt la infiltració càrstica, ni llur migrada conca.



**Fig. 3.** Estructures sedimentàries submareals dins de la seqüència de les Calcàries de Santanyí del Miocè superior as Màrmols.

*Fig. 3.* Subtidal sedimentary structures observable at Es Màrmols site, corresponding to the Upper Miocene sequence called Santanyí Limestones.

Les formes paisatgístiques més remarcables en superfície són algunes dolines, part de les quals transcendeixen a la toponímia (Fig. 2). La més extensa, amb un diàmetre superior als 700 m és el clot des Revellar que té el fons a 54 m i les poc marcades vores a 57, i s'eixampla vers NW a sa Bassa Clota. La des Matar Gran, de 250 m d'amplària i fons a 60 m, és travessada per la carretera del far des Cap de ses Salines. Un replà anomenat justament sa Plana, també dins la possessió des Rafal des Porcs, a 47 m d'altitud, insinua una lleugera concavitat; fins i tot la mateixa cova des Drac -de la que tot seguit ens ocuparem- presenta un dels

seus accessos obert en el fons d'una petita dolina rocosa d'escala tan sols mètrica.

### Les formes endocàrstiques penetrables

El sector meridional de la regió càrstica de les Marines de Migjorn i de Llevant es caracteritza per una migrada presència de cavitats naturals rellevants, que contrasta amb els abundants fenòmens subterranis existents als sectors costaners dels municipis de Felanitx i, sobretot, de Manacor (Ginés i Ginés, 1987). Aquest fet sembla relacionat amb l'aflorament majoritari —cap al sud, i en concret a la zona en estudi—



**Fig. 4.** Sud enllà de cala Figuereta aflora una seqüència pleistocènica. Observi's el canvi de pendent (a) formada per una alternança de dipòsits col·luvials, al·luvials, sòls (b) i eolianites (c) (Pleistocè mitjà i superior) que descansen sobre el basament miocènic (d).

*Fig. 4.* Towards the south of Cala Figuereta a pleistocene sedimentary sequence outcrops. Note the breaking of slope (a) formed by alternating colluvial and alluvial deposits, soils (b) and aeolianites (c) (Middle and Upper Pleistocene), that overlie the Miocene basement (d).



dels materials del Miocè superior pertanyents a la unitat Calcàries de Santanyi, els quals resulten molt menys favorables a la carstificació que les unitats esculloses que, de manera extensiva, afloren en llocs més septentrionals.

Als penya-segats del sector costaner que ens ocupa sovintegen les petites cavitats de tipologia ben diversa, relacionades genèticament tant amb processos de dissolució càrstica com amb l'acció exclusiva de la dinàmica marina; no obstant això, als espadats litorals no es coneixen fins al moment coves d'una certa importància. Malgrat la relativa pobresa espeleològica que ja hem esmentat, les terres del Rafal des Porcs estotgen algunes formes endocàrstiques singulars dins del panorama espeleològic del Migjorn de Mallorca (Fig. 5) que mereixen una atenció detallada.

La cavitat més remarcable és, sens dubte, la cova des Drac, situada a uns 400 m de la línia de costa i uns 800 m a l'oest del promontori des Balç. Consisteix en una gran sala (d'uns 30 m d'amplada i uns 80 m de longitud) accessible mitjançant dues obertu-

res, una de les quals és un esfondrament cenital de la volta que, amb un desnivell vertical de 10 m, ens situa a l'àpex d'una gran acumulació cònica de blocs rocosos després del sòtil i de les parets de la cova (Fig. 6). En direcció est, la sala descendeix fins als 52 m de fondària, lloc on s'assoleix el nivell freàtic actual materialitzat en un petit estany d'aigua salabrosa. A una cota aproximada de 28 m s.n.m., és possible accedir a un antic conducte de secció reduïda (al voltant d'un metre i mig d'alçada mitjana) que es dirigeix cap al SE al llarg de més de 400 m. Convé destacar la dicotomia morfològica entre la gran sala principal —a la qual predominen les formes relacionades amb els reajustaments mecànics de la massa rocosa— i la galeria freàtica que apareix penjada en un dels costats de la gran sala. Aquesta dicotomia posa en evidència, per una banda, l'existència pretèrita d'actius processos d'espeleogènesi a cotes properes o inferiors al nivell marí actual (dins els materials de la Unitat Escullosa) al temps que, per altra banda, queda també ben palesa la presència de conductes —no funcionals

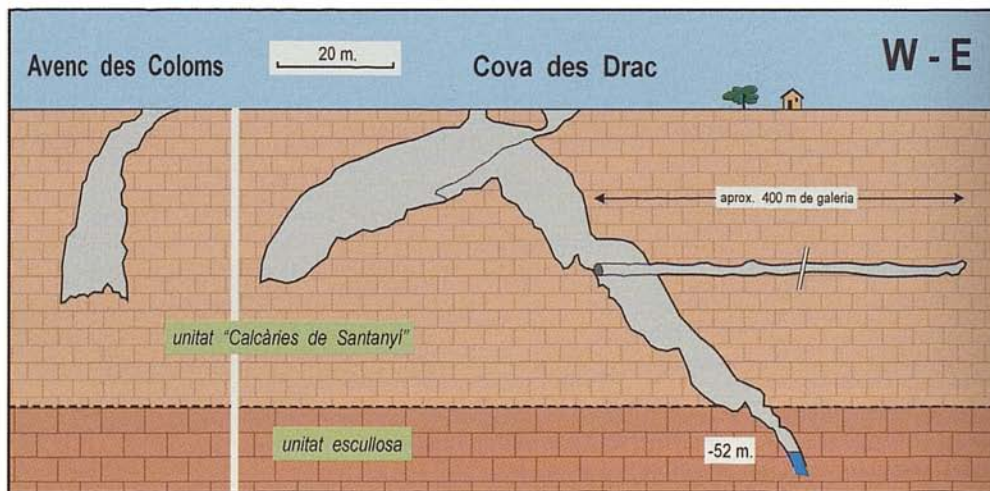


Fig. 5. Seccions esquemàtiques de les dos principals cavitats del Rafal des Porcs.

Fig. 5. Schematic profiles of the two main underground cavities in Rafal des Porcs area.



Fig. 6. Obertura zenital de la cova des Drac.

Fig. 6. Collapse opening in the roof of Cova des Drac.



ara— desenvolupats a favor de l'estratificació subhoritzontal dels materials oolítics suprajacents, corresponents a les denominades Calcàries de Santanyí.

L'altra forma subterrània destacable a la zona és l'avenc des Coloms, que s'obre a escassos 250 m al N de la cova des Drac, abans descrita. Es tracta d'una cavitat vertical propera als 30 m de desnivell, que presenta una planta d'uns 10 per 30 m, allargassada en direcció NW-SE. La seva morfologia és la típica de les sales d'abisament, que tant abunden als materials postorogènics del Miocè superior del Migjorn i Llevant de l'i-

lla (Ginés, 1995), encara que resulta ben cridanera la notable verticalitat de l'acumulació de blocs rocosos que constitueixen una de les parets de la cavitat.

Als dos casos descrits abans, resulten del tot dominants els processos relacionats amb l'esfondrament i reajustament mecànic de les sales de grans dimensions accessibles avui en dia. Aquestes grans sales requereixen l'existència de protocavitats i buits inicials (Ginés i Ginés, 1992; Ginés, 1995), que amb molta probabilitat s'haurien generat en condicions freàtiques, i de forma més o manco extensiva, en la Unitat Escullosa



**Fig. 7.** Dipòsits col·luvials i al·luvials relacionats amb els sistemes dunars del Pleistocè inferior i superior. A) Dipòsit col·luvial de peu de penya-segat; B) Dipòsit al·luvial i C) font dels clasts d'aquest tipus de registre; D) evolució dels dipòsits al·luvials- col·luvials en nivells de sòls.

**Fig. 7.** *Colluvial and alluvial deposits related to the Upper and Lower Pleistocene dune systems. A) colluvial deposit at the cliff foot; B) alluvial deposit; C) source of the clasts forming this kind of register; D) evolution of the alluvial-colluvial deposits to soil layers.*



que aflora a la part inferior de la seqüència del Miocè superior de la zona en estudi. Els esmentats buits primigenis serien els responsables del posterior creixement tridimensional i l'emigració antigraavitacional de les coves actualment penetrables; aquesta evolució s'hauria produït en condicions majoritàriament vadoses, alternant amb episodis d'inundació freàtica parcial durant els ascensos relatius del nivell marí. Malgrat que el principal horitzó d'espeleogènesi presumiblement ha de correspondre a les fàcies d'escull, els materials calcarenítics del Complex Terminal (Calcàries de Santanyí) també experimentaren actius processos espeleogenètics, encara que probablement no tan extensius com els produïts a la Unitat Escullosa subjacent, ni necessàriament coincidents en el temps.

### Els dipòsits pleistocènics

Un tret característic i fonamental per a la correcta interpretació de l'evolució del tram de costa considerat, són els dipòsits quaternaris atribuïts al Pleistocè mitjà (Butzer i Cuerda, 1962) i Pleistocè superior (Clemmensen *et al.*, 2001). Deixant de banda el cas concret des Terrer Roig del que parlarem més endavant, des de cala Figuereta cap al sud, comença a aflorar de forma més o menys contínua al llarg de tota la costa, una seqüència pleistocènica formada per una alternança de dipòsits col·luvials, al·luvials, sòls i eolianites (Pleistocè mitjà i superior) que descansen sobre el basament miocènic (Fig. 4). De més a més, també cal fer esment dels dipòsits col·luvials basals i dels interdigitats amb el seguit de pegats de dunes adossades als penya-segats (Pleistocè superior) que apareixen amb insistència.

### Els dipòsits al·luvials i col·luvials (Pleistocè mitjà-superior)

El seguiment dels processos de retrocés de la línia de costa actual ha permès estudiar fenòmens de moviments de massa, bé com a despreniment de grànuls o fragments de roca (Balaguer i Fornós, 2004) de grans dimensions (Balaguer *et al.*, 2002; Felton, 2002), que permeten la reinterpretació més detallada dels dipòsits pleistocènics que fins ara s'havien tocat de passada (Butzer i Cuerda, 1962) o s'interpretaven amb una certa prudència i distància com els de la Unitat Complexa de Clemmensen *et al.* (2001).

Els dipòsits de peu de penya-segat, els formen tot un seguit heteromètric de fragments angulosos de roca despresa, amb dimensions que abracen des de blocs de més de mig metre d'eix major fins a petits grànuls (2 mm). Hi ha blocs que superen els 2 m (Fig. 7A). No es disposen en cap orientació preferent; només es pot apreciar una imbricació incipient dels palets i còdols que reomplen els espais entre blocs. La matriu d'aquesta breixa és d'una textura arenosa i llimosa, d'origen eòlic i bioclàstic. La fracció fina deriva de la meteorització de les arenas eòliques, com també dels moviments de massa dels penya-segats.

Un segon tipus de bretxes del segment estudiat té entre d'altres un caràcter homomètric dels palets i els còdols, que també mostren una textura angulosa i subangulosa. La fàbrica d'aquests dipòsits està granosuportada i presenta una lleugera orientació seguint el rost cap al mar. La matriu està formada per arenas i majoritàriament per materials fins de color vermellós i sembla provenir del nivell eòlic i de sòls poc desenvolupats que s'hi superposen (Fig. 7B). Aquest dipòsit suggereix el trans-

port per un corrent d'aigua efímer i puntual de fragments de roca miocènica que, per alteració química i mecànica, s'escampen sobre el planell calcari (Fig. 7C). Sobre els dipòsits al·luvials s'han format sòls, a partir de la matriu fina, d'escassa potència. Tal i com també succeeix als dipòsits de penya-segat, abunden exemplars de gasteròpodes terrestres quaternaris (*Tudorella ferruginea*, *Trochoidea frater*, *Iberellus companyonii*, en alguns casos, *Chondrula gymnesica*).

Finalment, un tercer tipus de fàcies sedimentàries, el conformen uns dipòsits de naturalesa mixta que es troben a cavall entre els dipòsits col·luvials i els al·luvials. Combinen característiques intermèdies entre els dipòsits de peu de penya-segat i

els de transport efímer de vessant, que hem descrit abans. Especialment a les dunes adossades del Pleistocè superior, aquests sediments interactuen amb els propis materials de les dunes, donant dipòsits típicament continentals consistents en blocs de petites dimensions transportats per corrents efímers sobre la cara de sobrevent de la duna. Aquesta circumstància justifica que els testimonis d'aquesta interacció es designin com a Unitat Complexa (Clemmensen *et al.*, 2001).

#### *Les eolianites (Pleistocè superior)*

A banda de les dunes actuals, pràcticament reduïdes a l'acabatall del torrent des



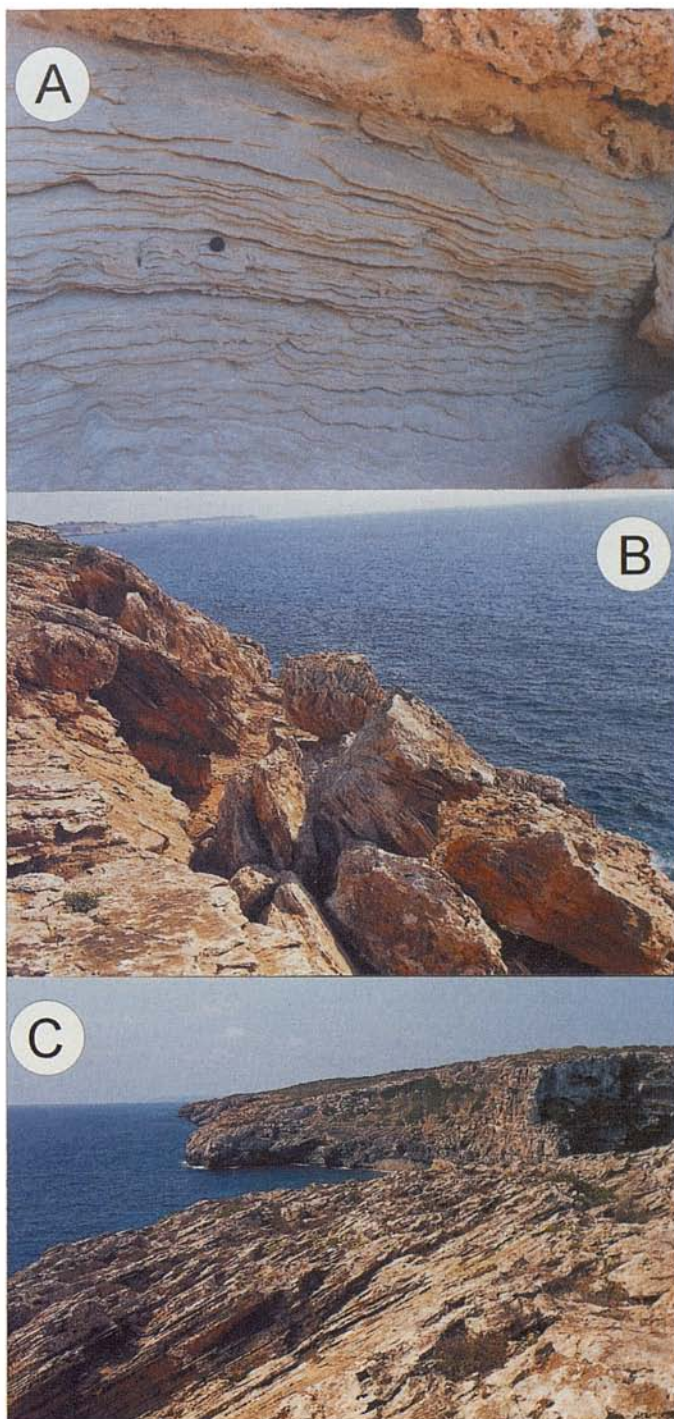
**Fig. 8.** Dunes adossades del Pleistocè superior a la zona de ses Piquetes, vista des des Balç.

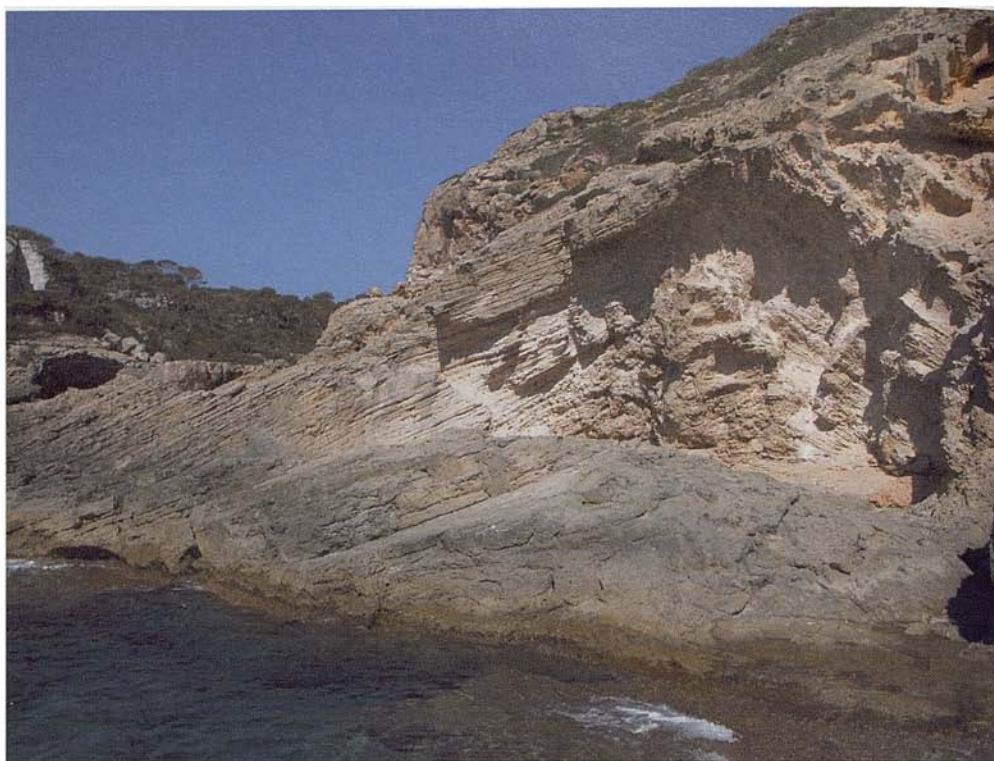
**Fig. 8.** *Upper Pleistocene climbing dunes at Ses Piquetes zone, observed in a picture taken from Es Balç.*



**Fig. 9.** L'estructura dels sets dins els mantells grimpadors s'aprecia magníficament a l'Après (A); blocs descavalcats de les dunes cimales de sa Dent sobre la formació grimpadora (B); abans d'arribar al caló des Màrmols (sa Dent), el cim de l'espadat és cobert per un mantell prim de top dunes (C)

*Fig. 9.* At l'Après site, the sets structure of the climbing beds is clearly visible. A) blocks from the upper dunes fallen on the climbing aeolian formation; B) in arriving to Caló des Màrmols (Sa Dent), the cliff edge is covered by a thin layer of top dunes (C).





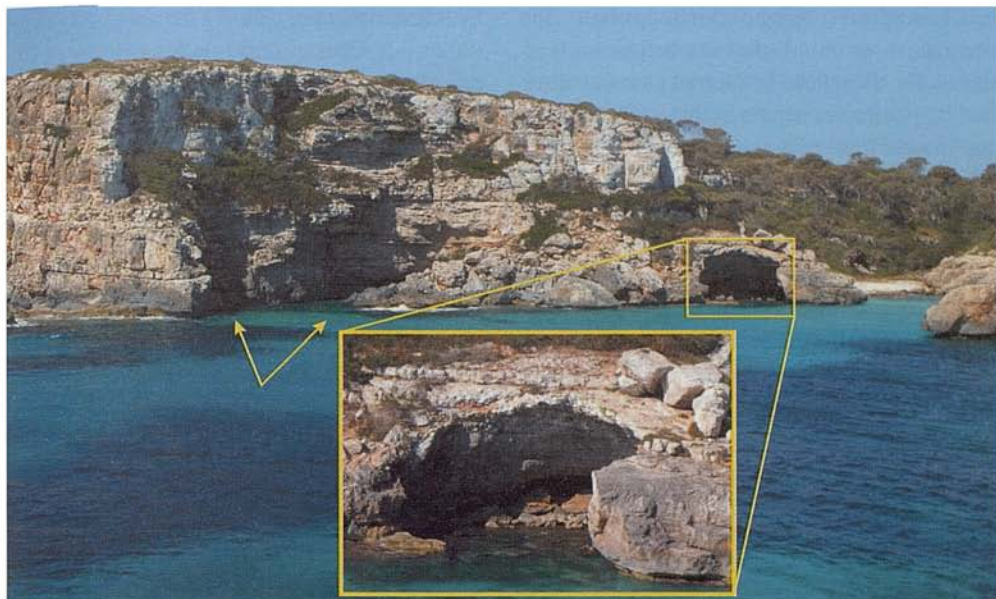
**Fig. 10.** El sistema dunar pleistocènic des Màrmols.  
*Fig. 10.* The pleistocenic dune system existing at Es Màrmols.

Màrmols, el que abunda és la duna o millor eolianita del Pleistocè (superior), de composició similar a les actuals, però molt més desenvolupada a causa de les regressions marines. Així, les anàlisis efectuades indiquen que es tracta de biocalcarenites formades en la major part per fragments de mol·luscs, algues coral·linàcies i foraminífers bentònics i, en menor mesura, oòlits i litoclasts calcaris. Des d'un punt de vista textural, es tracta d'arenas de gra mitjà a fi, moderadament classificades, amb els grans d'arredonits a subarredonits, un grau baix de cimentació (ciment de menisc i esparític) i amb una abundant porositat interpartícula. La mineralogia és calcítica, encara que hi ha una petita proporció (<10%) d'aragonita i

dolomita. El quars hi és present de forma testimonial.

Encara que no sempre mostren discontinuïtat des d'un punt de vista sedimentològic, podem distingir, a grans trets, dos tipus d'eolianita: a) la corresponent a dunes grimpadores i b) les top dunes (de cim o cimales), que s'escampen a partir del cantell dels penya-segats. La primera modalitat és, de molt, la més voluminosa i ha propiciat nombroses pedreres de marès i un autèntic modelat antròpic de la costa. Cal anotar, de més a més, que el buidament de la base de les eolianites grimpadores per l'onatge i la dissolució provoquen una mena d'esfondraments que solen acabar en un embrió de cala.





**Fig. 11.** Vora S des Màrmols on s'observa la característica forma de cala, condicionada pels esfondraments semi-circulars i coves d'abrasió marina.

*Fig. 11. Southern side of Es Màrmols bight. Note the characteristic cala shape, which is conditioned by both semi-circular collapse features and marine erosion caves.*



**Fig. 12.** Es Terrer Roig, rebliment al·luvial pleistocènic d'un col·lapse, limitat per fractures dins del Miocè.

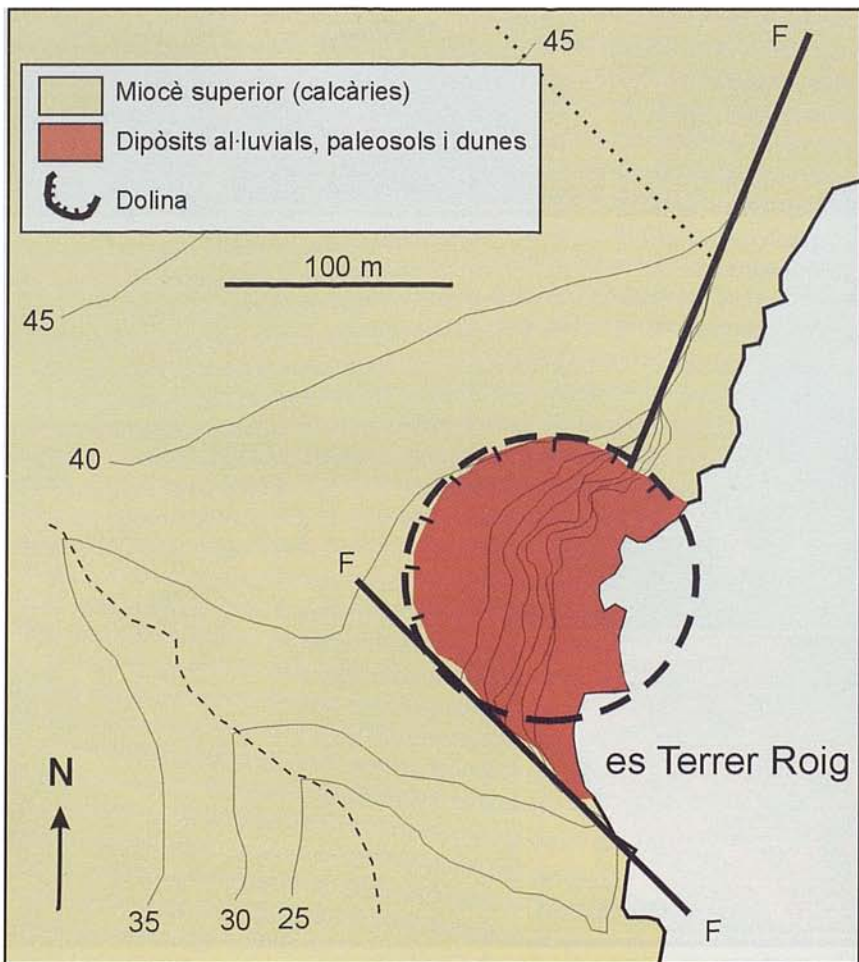
*Fig. 12. Es Terrer Roig. It contains an alluvial pleistocene sequence that fills a collapse feature delimited by fractures affecting the Miocene rocks.*



Les dunes grimpadores poden començar en un nivell de base inferior a 0 m -tal volta, desenes de metres per davall- i llur disposició contraposa uns mantells que capbussen mar endins (sobrevent) de 40 a 60° i cap a terra (sotavent) de 60 a 80°, deixant de vegades el solc propi de les dunes eco. Òbviament s'adossen a un penya-segat que deu ser resultat d'una fractura, a judicar per la seva alineació. Les dunes cimaleseres amb prou feines depassen el gruix d'1 o 2 m.

Clemmensen *et al.* (2001) fan una bona descripció de l'estratigrafia de les eolianites tot diferenciant dins d'aquest sistema basal, diversos episodis de tipus climàtic marcats per la presència d'intercalacions de tipus al·luvial i col·luvial i atribuint-los al Pleistocè superior (OIS 3).

Un repàs de N a S ens permet més concreció. Des des Balç fins a ses Piquetes i recolzat en una fractura que formà un escaló de 40 m, trobam un gran conjunt bigarrat



**Fig. 13.** Esquema estructural del rebliment pleistocènic de la zona des Terrer Roig.  
*Fig. 13. Structural sketch of the pleistocene infillings at Es Terrer Roig.*

eolianític amb penínsules, esculls i incisions (Fig. 8); té un gran interès natural i antropològic. Butzer (1962) atribueix la peanya de sa punta des Balç i es Migcocó a un nivell tirrenià a +3 m i una cova del tallseerrat a +17 a l'erosió marina. Tot l'espai des Buits és una immensa pedrera de marès que ha alterat el relleu originari (Fig. 8). Al N de ses Piquetes (sa Fosca), un caló de 80 m de diàmetre, subaix de l'espadat que cau de 40 fins a +5 m, sembla obert a expenses de l'eolianita adossada, explotada al flanc de migjorn. Ses Piquetes repeteixen el mateix esquema, en petit. Els anomenats es Turmassot des Mig i de sa Cova mostren exemples de duna adossada, eco fins als +18-21 m i un petit col·lapse al segon; l'espadat fallat s'alça fins als +40 m.

A la part N des Dolç des Bancassos destaquen dues puntetes que són un apèndix eolianític a partir de +7-8 m; la base, però,

són enderrocs del penyal. La punta des Bancassos, més massissa, deu tenir restes de duna grimpadora. Un altre gran jaciment explotat d'eolianita abasta s'Après i sa Dent (Fig. 4), al S de cala Figuereta, desprovista de dunes. Una depressió d'uns 40 m d'amplària que mossega des de +5 a +18 m és en realitat una gran "pedrera de rost" dins els mantells grimpadors; al mateix Après l'estructura dels sets s'aprecia magníficament (Fig. 9A). Abans d'arribar al caló des Màrmols, el cim de l'espadat és cobert per un mantell prim de top dunes (Fig. 9C) que, de vegades, mostren blocs descavalcats sobre la formació grimpadora (Fig. 9B).

A la vora esquerra des Màrmols s'aprecia una successió eolianítica de baix a dalt: duna fina, materials gruixats de coster, duna groga més jove i potent amb concrecionaments calcaris per efecte de les arrels (Fig. 10). A l'altre costat -sud de la cova- la pun-

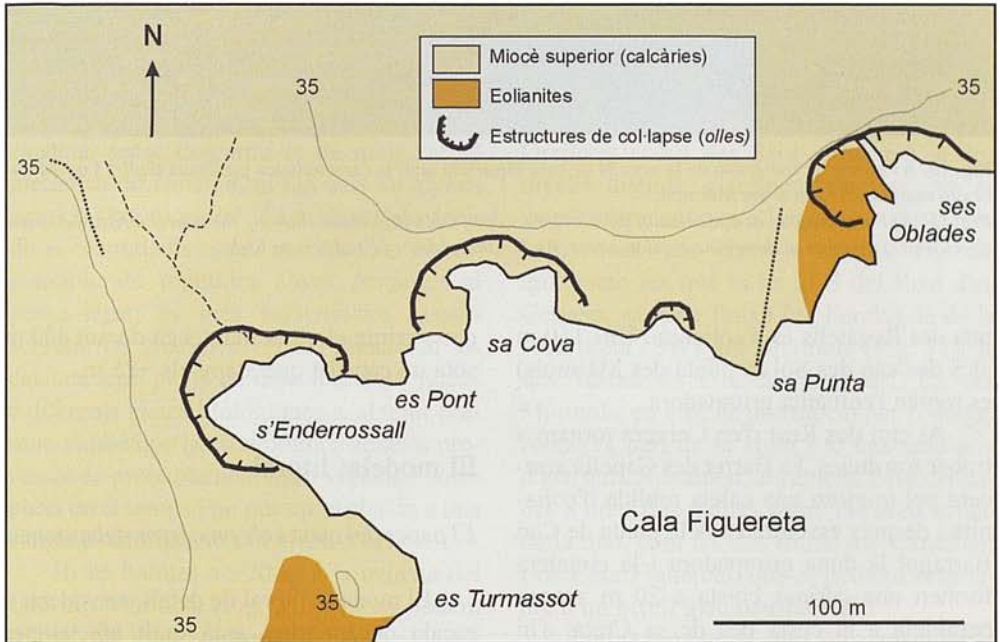


Fig. 14. Mapa geomorfològic simplificat de la zona de cala Figuereta.  
 Fig. 14. Simplified geomorphological map of Cala Figuereta.





**Fig. 15.** A) Muntatge fotogràfic de la vora N de cala Figuereta amb la característica presència d'olles i coves d'abrasió marina. B) Vora S des Màrmols.

**Fig. 15.** A) *Photographic composition of the northern side of Cala Figuereta, showing the characteristic bowl-like coves (olles) together with marine erosion caves.* B) *Southern side of Es Màrmols bight.*

teta des Regatells és d'eolianita. Uns 150 m al S des cap des Sol (o punta des Màrmols) es reprèn l'eolianita grimpadora.

Al cim des Rost d'en Cervera tornam a trobar *top* dunes. Es Barret des Capellà arrepera pel migjorn una caleta reblida d'eolianita i després esventrada. A la punta de Can Barragot la duna grimpadora i la cimallera formen una curiosa cresta a 20 m s.n.m., paral·lela a la costa des de sa Creta; s'hi combinen els dos tipus de duna. Finalment, a partir de sa Creta i cap al sud, els pegats de

duna grimpadora es mantenen durant 400 m sota un espadat que ateny els +25 m.

## El modelat litoral

### *El paper del carst i els processos delapsionals*

El modelat litoral de detall, considerat a escala decamètrica, està molt afectat per buidaments diversos que atribuïm, uns a processos de dissolució, d'altres a circulació

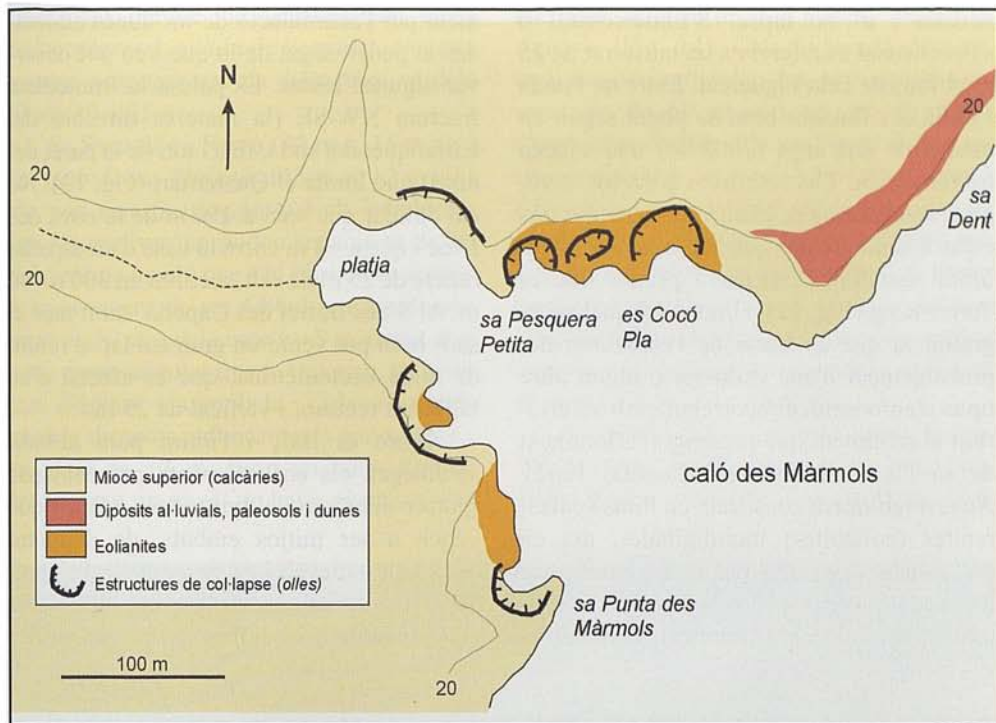


Fig. 16. Mapa geomorfològic simplificat de la zona des Màrmols.

Fig. 16. Simplified geomorphological map of Es Màrmols.

càrstica, sense descartar ni de molt l'acció mecànica de l'onatge, ni tan sols en alguns casos la "tafonització". És molt mal de decidir si el mudadíu nivell marí pot ser el responsable de repetides coves penjades al penya-segat; és més versemblant -ateses sobretot les altàries diverses- relacionar les cavitats amb plans de discontinuïtat, juntes o diferents fàcies litològiques. Cal tenir present, també que la cronologia d'aquests processos és probablement molt variada i complexa en el temps i no pot ser atribuïda a una simple estabilització del nivell marí.

Hi ha balmes a +20 m a la culassa del caló des Màrmols (Fig. 3), però en podem trobar al mateix espadat més alt des Bancassos (cova de ses Tres Boques) a +35 m i a l'oest del barranc penjat de ses

Orelletes (cova des Sant i d'altres), a dos nivells distints, clarament càrstics. No és gens sorprenent que a la mateixa vertical hi hagi coves -ara- d'erosió marina. Ho són igualment les que hi ha al S del Rost d'en Cervera, sa cova Baixa (na Fonda), la de la vora dreta (SW) des Màrmols (Fig. 11), la des Turmassot i la des Vellmarí. La des Màrmols, en vies de destrucció per l'onatge, conserva part de la volta i té una amplària d'uns 6 m. Romanen, altrament, coves situades a un o dos metres sobre el nivell actual de la mar, com les des Buits, des Carabiner i de Cala Figuereta, que sí podrien respondre a un nivell glacioeustàtic alt.

Tant la toponímia com l'observació més banal donen, com un dels processos més eficients en l'evolució dels penya-segats, la



solsida i el col·lapse. S'Enderrassall o s'Enterrossai es refereix a un tallsserrat de 25 m al fons de cala Figuereta. Entre na Fonda i s'olla des Bastons hom ha pogut seguir en menys de dos anys (2003-04) una solsida hectomètrica. Ens referirem sobretot, però, als enfonsaments de planta més o menys circular o semicircular que han marcat el tram litoral estudiat. Posarem a primer lloc es Terrer Roig (Fig. 12), el nom del qual no és gratuït ja que es tracta de l'esfondrament, probablement d'una exdolina o algun altre tipus d'enfonsament ocorregut amb anterioritat al rebliment que presenta (l'aflorament de sa Plana de Butzer i Cuerda, 1962). Aquest rebliment consisteix en llims i calca-renites (eolianites) interdigitades, ara en procés d'esventrament per erosió basal i que ha quedat protegit per la complexa disposició estructural de l'aflorament, i probable-

ment per l'acumulació de les dunes adossades al penya-segat de la que s'en pot observar algunes restes. És palesa la immediata fractura NW-SE (la mateixa direcció del barranquet del sud i, fins i tot, de la paret del nord) que limita el Quaternari (Fig. 13). No cal oblidar que som a 450 m de la cova des Drac i que a +4 m corre la base d'un espatat relicte de 25 m de salt, rectilini en 300 o 400 m. Al S des Barret des Capellà -molt més al sud- hom pot veure un gran col·lapse reblit, de mida hectomètrica, que és afectat d'un tallsserrat rectilini i vertical de 25 m.

Entre es Balç i l'últim punt al·ludit sovintegen els enfonsaments per col·lapse (potser olles seria el terme més adient) que vénen a ser mitjos embuts, de diàmetre oscil·lant entre 10 i 50 m a nivell d'aigua i 30 i 75 a la coronació, que impliquen una concavitat de la línia litoral. Insistim en llur



**Fig. 17.** Rasa pleistocènica fossilitzada per la seqüència al·luvial a la zona de sa Dent (entre cala Figuereta i es Màrmols).

**Fig. 17.** Pleistocenic marine erosional platform fossilized by an alluvial sequence at the zone called Sa Dent (between Cala Figuereta and Es Màrmols).



descripció perquè de vegades són cales embrionàries. L'altària de l'espadat, en certa manera proporcional als diàmetres, va dels 12 als 30 o 35 m.

Sa Seca de sa Fosca (70 m ø, 15 m alt.) i el racó de ses Piquetes (45 m ø, 12 m alt.) són poc significatius perquè els esbaldrecs que els motiven no poden separar-se de les pedreres de marès que s'hi obriren fa segles. A la pesquera de ses Oblades, un enfonsament de 50 m ø té la base a +5 m, llevat d'un trenc perpendicular que la travessa, tal volta una diàclasi eixamplada. Cala Figuereta reuneix diversos enfonsaments que arriben a un replà de +3 m, sigui un talús d'esbaldrecs, sigui un nivell de base; el més orien-

tal, però, arrenca de 0 m i ateny els 30 m d'altària (Fig. 14). Cala Figuereta demana una atenció particular. La seva culassa és una olla de 60 m ø i un arc de 270°, s'Enderrossall (Fig. 15), on "desemboca" un torrent penjat a +4,5 m. A la vora esquerra (NE) de la caleta trobam uns quants col·lapses més, a dos nivells, separats (es Pont) per una mena de pilastres de "formigó" de rebliment; el primer mirant mar endins té 40 m ø i el segon 35 i, a banda d'altres més petits i exteriors, descansen en una penya a +3 o 4 m confosa amb els esbaldrecs.

El caló des Màrmols -que centra la nostra recerca- també mostra els principals enfonsaments a la riba esquerra. Uns 80 m



**Fig. 18.** Barranc penjat a ses Orelletes-punta de sa Lleva que aprofita una fractura i condueix cap a un paleocol·lapse intramiocènic.

**Fig. 18.** Perched dry valley at Ses Orelletes-Punta de Sa Lleva, which exploits a fracture that connects with a intra-miocenic paleocol·lapse.



al NW de la punta de llevant s'hi observa un semicercle perfecte de 40 m  $\varnothing$ , però en forma d'embut i doble cingle des de +6 m, 20-24 i 33 m, respectivament (Fig. 16). Es cocó Pla -40 m més a l'oest- és una olleta llarguera que té el fons a +2 m, 12 m d'altària i 10 m  $\varnothing$ . Sa Pesquera Petita és una olla de 10 m  $\varnothing$ , oberta al mar i en evolució, amb blocs rodats decimètrics o mètrics i despreniment de la duna consolidada. A la vora dreta, els dos esvorancs tenen més de cova marina que d'enfonsament vertical (Fig. 11) a 0 m, encara que també hi ha coves al vorell del penya-segat. Adossat al cap des Sol i obert a NE, hi ha una olla molt perfecta de 32 m  $\varnothing$  i 12 m de caiguda directa a la mar. L'endinsada de la cova Baixa és un esfondrament amb tallserats que superen els 15 m i la de na Fonda, més neta i una mica més

còncava, arriba als 18 m gairebé a plom.

Abans d'arribar a l'olla des Bastons es troba un petit embut -un quart de cercle de 40 m de radi- combinat amb solsidecs recents. L'olla des Bastons, amb un diàmetre creixent de la base al vorell, de 45 a 70 m i pendents de 45 a 60°, mossega la isohipsa de 25 m; és un exemple modèlic del fenomen que analitzam. Gairebé el mateix podem predicar des Rost d'en Cervera, un magnífic embut (l'arc compleix els 250°) que amida 50 m  $\varnothing$  a 0 m i 75 a l'altitud de 27 m.

A banda dels fenòmens de mesoescala esmentats, hi ha nombroses olletes de menys de 20 m  $\varnothing$ , com una al S de sa Creta i moltes altres, males de definir genèticament. En es Bancassos, uns conductes verticals cilíndrics de només 5 m d'amplària hi entrarien. Finalment cal anotar, prop de la

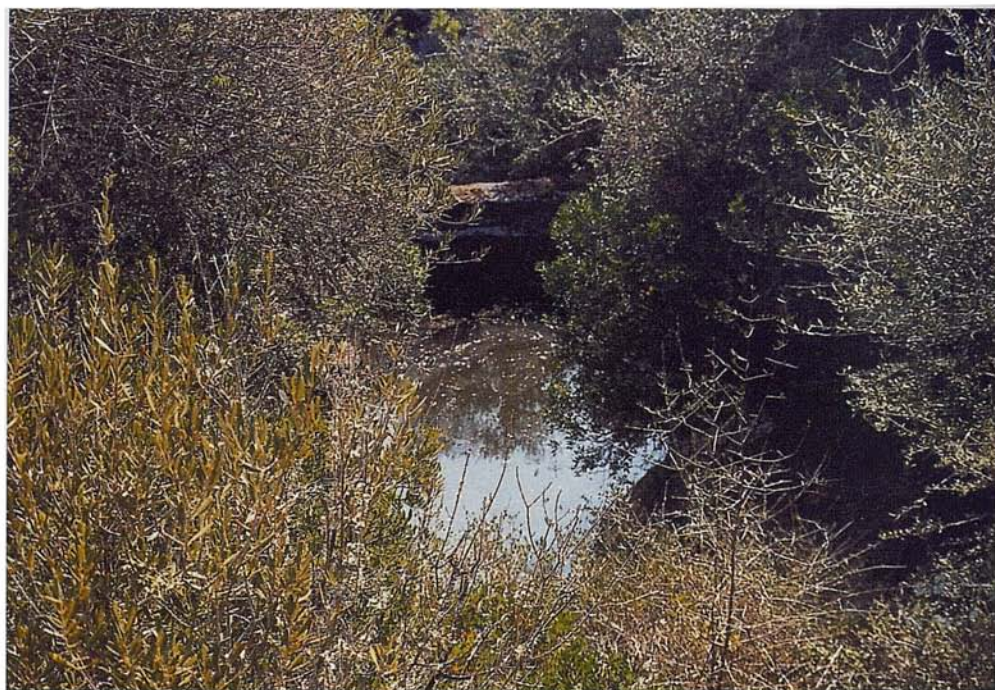


Fig. 19. Gorguet al torrent encaixat de cala Figuereta (a +31m).

Fig. 19. Small pot-hole drilled in the bed of Cala Figuereta incised creek (elevation +31 m).

punta des Màrmols, una marmita-cocó que documenta, segons que sembla, un escalonament eustàtic.

*El paper de l'estructura, la dinàmica marina i l'oscil·lació del nivell marí*

La línia de costa, presa a escala hectomètrica o quilomètrica, té la servitud abassegadora de l'estructura. Com que afecta una plataforma, el traçat litoral depèn molt més de les falles, fractures i diàclasis que no del capbussament dels estrats, el qual, sense ser uniforme, sempre és molt

moderat. Qualsevol observador pot comprovar una alineació predominant NE-SW, precisant més N 43° E, que, exceptuades les dues cales, amb prou feines és pertorbada per detalls d'erosió marina o d'acreció eòlica. A banda de fractures menors, s'escapen de l'arrumbament esmentat un tram del penya-segat de 35-40 m entre ses Piquetes i es Terrer Roig, d'uns 250 m (N 14° E) i un altre que es tradueix en un tallat de devers 30 m des de cala Figuereta fins a sa Dent amb un rumb N 10° W (Fig. 2). El rebaixament de l'altitud dels espadats marins, de més de 40 m as Balç fins a 20 m a na Fonda, és també una qüestió estructural, relaciona-



**Fig. 20.** La forma estrella del tram estudiat és sens dubte la cala. A la foto Es Màrmols, amb totes les formes i dipòsits associats: barranc, penya-segats, olles, coves marines, dipòsits eòlics i al·luvials.

*Fig. 20.* The most conspicuous landform in the studied area is undoubtedly the so-called cala. The picture shows Es Màrmols bight with all the associated features and deposits: dry valley, sea-cliffs, small coastal inlets, sea caves, aeolian and alluvial deposits.



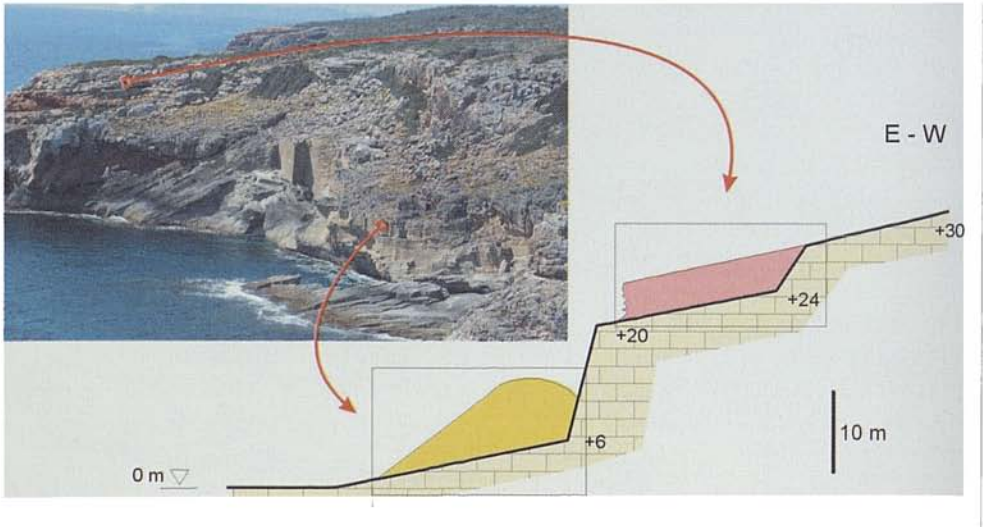
da amb el basculament de la plataforma carbonàtica vers sud (Fornós *et al.*, 2002).

El règim actual de temporals acusa un predomini dels procedents del tercer i quart quadrant, que no afecten gaire la nostra costa on es transformen en vents de llevant. Tampoc els podríem responsabilitzar de les acumulacions eòliques descrites. Tanmateix, els vents de gregal (NE) que durant el Würm assoliren un paper molt més destacat (Butzer, 1960) tenien que veure amb un caracteritzat centre depressionari situat a només 110 km al SSE del litoral que ens ocupa. El cas és que una bona part de les olles de col·lapse que hi trobam miren cap al SE, S i, fins i tot, SW. En canvi, les direccions registrades a les eolianites würmianes per Butzer (1961) oscil·len entre N 9° i 48° E.

#### *Les variacions quaternàries del nivell marí*

Les variacions quaternàries del nivell marí de motivació glacioeustàtica assoliren un

paper remarcable en la morfogènesi litoral. La multiplicat de marques erosives o deposicionals que corresponen als episodis transgressius -els testimonis d'erosió regressiva, òbviament, resten sotaiguats-són molt difícils de sistematitzar per dues raons: perquè es confonen fàcilment amb discontinuïtats estratigràficolitològiques i perquè l'empastament de les eolianites superposades els camufla sovint. Butzer i Cuerda (1960) n'assenyalen molts, p.e., una rasa a +23-25 m as Màrmols-punta de sa Dent (Fig. 17). Un nivell de balma-rasa s'endevina també al flanc meridional des caló des Màrmols. Les coves es presenten a altàries molt diverses i resulta perillós establir-ne l'origen exclusivament marí. Un nivell recent -possiblement flandrià- a uns +2 m, el podríem considerar gairebé funcional, si no com a rasa en desenvolupament, sí com a base de cocons-marmites i olles i tot. N'hem citat un cas, més amunt, prop de la punta des Màrmols.



**Fig. 21.** Secció esquemàtica de la disposició estratigràfica i control morfològic dels dipòsits pleistocènics als penya-segats del sector cala Figuereta-es Màrmols.

*Fig. 21.* Schematic profile that displays both the stratigraphy and the morphological control of the pleistocenic deposits occurring at the sea-cliffs, between Cala Figuereta and es Màrmols.

### Les cales

Hem avançat en altres treballs (Rosselló et al., 1997; 2002) que les cales són penetracions marines afavorides per la preexistència de barrancs o torrents encaixats i/o sistemes de fractures més o menys perpendiculars a la línia litoral. Òbviament hi contribueix la peculiaritat del rocam calcari, propens a la dissolució i a l'enfonsament càrstic. Les dues caletes que tenim al territori estudiat no són ni de les modèliques, ni de les més espectaculars, però -juntament amb destacats embuts d'enfonsament o olles- tenen prou interès per a que els dediquem alguns paràgrafs.

Parlar de sistema fluvial a les àrides terres del Migjorn mallorquí sembla un sarcasme i al nostre domini no podem esmentar més que aparells relictos, o sigui, testimoni d'èpoques més humides i probablement més extenses: volem dir que, de part de mar s'han perdut per erosió, vicissituds tectòniques o transgressió, una part considerable de les conques, alguna de les quals ara es redueix a una rònega capçalera.

De totes les àrees de captació que aboquen al tram litoral estudiat, no n'hi ha cap que arribi als 3 km<sup>2</sup>. A ses Orelletes-punta de sa Lleva, hi desembocaria un barranquet penjat a +6 m que té una branca NW-SE de 250 m, poc encaixada i una afluent des del WSW, més curta, però embotida aprofitant una fractura i que condueix cap a un paleocol·lapse (Fig. 18). No té influència al traçat litoral. El fet de no posseir una conca suggereix un aparell escapçat. La conca de cala Figuereta s'aproparia al quilòmetre quadrat, però la inclusió de la dolina des clot des Revellar la converteix en un extensió virtual, que no vol dir ineficaç. En efecte, al ramal occidental de prop de 300 m que segueix una palesa fractura E-W, hi ha un gorg a +31 m que conservava aigua fresca el

30 d'agost (Fig. 19). En aquest col·lector s'entravessen altres fractures o diàclasis, una de les quals dirigeix un canalet un poc més curt de N a S. Al caló des Màrmols hi aboquen dos canals molt desiguals que podem considerar part d'una mateixa conca que supera els 2 km<sup>2</sup>. Cal no oblidar, altrament, que calcular impluvis en un territori arrencat i, de més a més, molt antropitzat, no té gaire sentit. El petit col·lector de l'esquerra segueix una fractura N-S; el gran, torrent des Màrmols, enllaça una sèrie de fractures o línies de debilitat on alternen les direccions encreuades N 50° W i N 50° E. Fins a la subdivisió el canyó de 400 m de llarg s'encaixa 30 m; més amunt l'embotiment és més mòdic, però es manté 500 m en les dues direccions fins als +50 m. El torrent des Bous, no gaire marcat, té un curs de 700 m i una conca de 0,3 km<sup>2</sup>. A la seva teòrica desembocadura, penjada a +15 m, s'esdevé un anòmal canvi de direcció cap a l'esquerra, que suggereix una altra vegada l'escapçament d'un aparell més ampli. Més insignificants són encara, la conca i el canal del barranquet penjat just al N des Barret des Capellà, que travessa les isohipses 25-40 m. Per acabar ens detendrem al torrent d'en Barragot, amb una conca -virtual, és ver- de 0,9 km<sup>2</sup> i un desenvolupament lineal de 600 m i escaig, que mossega, com els des Màrmols, el planell de 50-60 m. És curiós anotar que, lluny de provocar una cala, la desembocadura sospesa del torrent s'acompanya d'una prominència. El ramal del N, el més llarg, molt poc marcat, segueix de fet un paleocanal capturat pel segment embotit, gràcies a una fractura que reitera la direcció N 50° W.

Molts dels barrancs i torrents de sa Marina oriental han reexcavat dipòsits regressional (eolianites i llims) del Pleistocè superior o mitjà i els sediments no consolidats de l'Holocè antic. Per això, la incisió



originària d'aquests cursos ha de pertànyer al Pleistocè inferior o mitjà (Butzer, 1962). Per altra banda, l'erosió holocènica i actual, juntament amb la puja continuada del nivell marí ha desmantellat la majoria de les conques inferiors; així, només en cas de forts encaixament previst -deguts a processos càrstics i fluvials- s'ha mantengut un perfil acomodat a la desembocadura i la presumible cala.

A les dues petites cales que centren el sector estudiat, l'influx de les fractures només s'observa sobre el traçat fluvial: l'eix de penetració coincideix amb el del barranc. El modelat de les vores, en canvi, és complicat de manera molt intensa per enfonsaments o col·lapses de diversa magnitud (entre 5 i 45 m  $\varnothing$ ) que tenen un component càrstic i un altre de mecànic i ja hem esmentat en un paràgraf anterior. Cala Figuereta forma una doble concavitat, complicada pels esfondraments laterals, però l'eix fonamental s'alinea amb el torrent penjat que només s'encanyona cap a ponent (Fig. 15). El flanc esquerre del caló des Màrmols és obra dels col·lapses coronats per un cingle a +23 m (Fig. 20). El camí de davallada segueix una vigorosa fractura on s'ha encaixat el barranquet fins a +40 m; el principal incideix encara més i penetra al planell +50 m. Entre els dos torrentons hi ha balmes a devers 20 m d'altitud. La platja de còdols i blocs des Màrmols és l'única acumulació d'aquest tipus que podem esmentar; les platges d'arena manquen.

El paper de l'eolianita com a armadura protectora dels penya-segats és contrapesat per determinats casos on ha facilitat el socavament de la riba i, fins i tot, l'apertura d'una espècie de cales embrionàries (Fig. 20).

## Com a cloenda

El tram de litoral descrit representa un petit exemple del funcionament des del punt de vista geomòrfic del litoral mallorquí que correspon a les marines, resultat de la prolongació de la plataforma carbonatada miocena. La interrelació dels processos de modelat amb els processos sedimentaris configura un tipus característic de modelat dins de la complexa evolució glacioeustàtica quaternària.

La intercalació de dipòsits d'origen continental i d'origen eòlic (directament o indirectament marins) serveix per a materialitzar la confrontació de processos antagonistes. De part de terra, els sediments de coster, els ventalls detrítics, els despreniments, les eventuals torrentades tendeixen a la progració; de part de mar, la sapa de l'onatge i la dissolució mosseguen el continent. I tot s'embolica amb els mudaments del nivell del mar, que envaeix o es retira segons èpoques, i amb la sobreposició no condicionada per l'altitud de les dunes grimpadores. Un tall apressat del penya-segat al sud de cala Figuereta (Fig. 21) dóna fe d'aquesta freqüent intercalació. És clar que els llims impliquen la meteorització de dipòsits anteriors, versemblantment dunars.

La implicació de les megaformes endocàrstiques (sistemes i cavitats subterrànies penetrables) en la configuració geomòrfica actual d'aquest sector del litoral mallorquí no és gaire decisiva, per bé que -en detall- la participació dels processos càrstics, i de la creació de porositat associada a l'endocarstificació (petites cavitats inconnexes, testimonis paleocàrstics...), resulta bastant més rellevant. De la mateixa manera la presència dels paleocol·lapses càrstics intramiocènics acaba de perfilar i condicionar el resultat final. Aquest corres-

pondrà a la interrelació de processos fluvials (al·luvials), marins, càrstics i sedimentaris que donen aquesta forma característica del litoral dominat, en línies generals, pels penya-segats i les cales.

## Agraïments

El present treball és una contribució al projecte de la Direcció General d'Investigació del Ministeri de Ciència i Tecnologia CGL2006-11242-CO3-01 i BTE2002-04552-C03: "El modelado kárstico y la evolución morfológica y sedimentaria del litoral en las Baleares, Valencia y Cerdeña, como resultado de las oscilaciones del nivel marino". Lluís Gómez-Pujol és becar del programa FPI de la Direcció General de R+D+I del Govern de les Illes Balears i Jorge Riquelme ha comptat amb una beca dels hereus de la professora M. Pilar Fumanal. Volem agrair la bona disposició i col·laboració a Cosme Aguiló que ens ha acompanyat en diverses excursions i a la família Sarriera i Vargas-Zúñiga per les facilitats d'accés al Rafal des Porcs, així com al seu conductor, l'amo en Climent. També a n'Àngel Ginés que ens ha subministrat les dades topogràfiques inèdites de les cavitats subterrànies.

## Bibliografia

Balaguer, P. i Fornós, J.J. 2004. Erosión continua a partir de la desintegración granular en los acantilados costeros del SE de Mallorca (Islas Baleares, Mediterráneo occidental). In: Blanco, R., López, J. i Pérez Alberti, A. (eds). *Procesos geomorfológicos y evolución costera*: 347-358. Universidad de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela.

Balaguer, P., Fornós, J.J. i Gómez-Pujol, L. 2002. Retroceso de los acantilados del Mioceno Superior en la costa sureste de Mallorca: los casos

de Estret d'es Temps i S'Alavern. In: Serrano, E. et al. (eds.). *Estudios recientes (2000-2002) en Geomorfología. Patrimonio, montaña y dinámica territorial*: 341-350. Universidad de Valladolid, Valladolid.

Barón, A. 1977. *Estudio estratigráfico y paleontológico del Mioceno medio y superior postorogénico de la isla de Mallorca*. Premio Ciudad de Palma, 1975. 180 pp. (inèdit).

Butzer, K.W. 1960. Dynamic climatology of large-scale European circulation patterns in the Mediterranean area. *Meteor. Rundschau*, 13: 97-105.

Butzer, K.W. 1961. Paleoclimatic implications of Pleistocene stratigraphy in the Mediterranean area. *Annals of The New York Academy of Sciences*, 95-1: 449-456.

Butzer, K.W. 1962. Coastal Geomorphology of Majorca. *Ann. of the Assoc. of American Geographers*, 52: 191-212.

Butzer, K.W. i Cuerda, J. 1962. Coastal stratigraphy of southern Mallorca and its implication for the Pleistocene chronology of the Mediterranean Sea. *Jour. Geol.*, 70: 398-416.

Butzer, K.W. i Cuerda, J. 1960. Nota preliminar sobre la estratigrafía y paleontología del Cuaternario marino del Sur y SE. de la isla de Mallorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. de Balears*, 6: 9-29.

Clemmensen, L.B., Lisborg, T., Fornós, J.J. and Bromley, R.G. 2001. Cliff-front aeolian and colluvial deposits, Mallorca, Western Mediterranean: a record of climatic and environmental change during the last glacial period. *Bull. of the Geol. Soc. of Denmark*, 48: 217-232.

Esteban, M. 1979/80. Significance of the Upper Miocene reefs of the western Mediterranean. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 29: 169-188.

Felton, E.A. 2002. Sedimentology of rocky shorelines: 1. A review of the problem with analytical methods, and insights gained from the Hulopoe Gravel and the modern rocky shoreline of Lanai, Hawaii. *Sedimentary Geology*, 152: 221-245.

Fornós, J.J. 1999. Karst collapse phenomena in the Upper Miocene of Mallorca (Balearic Islands, Western Mediterranean). *Acta Geologica Hungarica*, 42/2: 237-250.

Fornós, J.J. i Pomar, L. 1984. Facies, ambientes y secuencias de plataforma carbonatada somera (Formación Calizas de Santanyí) en el Mioceno terminal de Mallorca (Islas Baleares). *Homenaje a L. Sánchez de la Torre. Publicaciones de Geología*, 20: 319-338.

Fornós, J.J. i Pomar, L. 1982. El complejo de manglar

- del Mioceno terminal de la Isla de Mallorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 26: 207-228.
- Fornós, J.J., Gelabert, B., Ginés, A., Ginés, J., Tuccimei, P. i Vesica, P. 2002. Phreatic overgrowths on speleothems: a useful tool in structural geology in littoral karstic landscapes. The example of eastern Mallorca (Balearic Islands). *Geodinamica Acta*, 15: 113-125.
- Ginés, A. i Ginés, J. 1987. Características espeleológicas del karst de Mallorca. *Endins*, 13: 3-19.
- Ginés, A. i Ginés, J. 1992. Las Coves del Drac (Manacor, Mallorca). Apuntes históricos y espeleogenéticos. *Endins*, 17-18: 5-20.
- Ginés, J. 1995. L'endocars de Mallorca: els mecanismes espeleogenètics / Mallorca's endokarst: the speleogenetic mechanisms. In: Ginés, A. i Ginés, J. (eds.) *El karst i les coves de Mallorca / Karst and caves in Mallorca*. *Endins*, 20 / *Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 3: 71-86. Palma de Mallorca.
- Pomar, L., Fornós, J.J. i Rodríguez-Perea, A. 1985. Reef and shallow carbonate facies of the Upper Miocene of Mallorca. In: Milà, M.D. & Rosell, J. *6th European Regional Meeting. Excursion Guidebook*, Excursion No. 11, 493-518.
- Pomar, L., Marzo, M. i Barón, A. 1983. El Terciario de Mallorca. In: Pomar, L., Obrador, A., Fornós, J.J. i Rodríguez-erea, A. (eds.) *El Terciario de las Baleares. Libro Guía de las Excursiones del X Congreso Nacional de Sedimentología*. Menorca. pp. 21-44.
- Roselló, V.M., Fornós, J.J., Fumanal, M.P., Pardo, J.E. i Rodríguez-Perea, A. 1997. Elementos morfogenéticos de calas y barrancos del sur de Menorca. *Dinámica Litoral-Interior. Actas XV Congreso de Geógrafos Españoles*. Santiago, 15-19 setiembre 1997, I: 245-256.
- Roselló, V.M., Fornós, J.J., Gelabert, B., Giménez, J., Ginés, J., Pardo, J.E. i Segura, F. 2002. El papel del karst en el macromodelado litoral: el ejemplo de las calas de las Islas Baleares. In: Carrasco, G., Durán, J.J. y B. Andreo (eds.) *Karst and Environment*. 329-335.

# Cales, torrents, fractures i carst a Mondragó (com a pretext)

Vicenç M. ROSSELLÓ i VERGER

## SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA  
NATURAL DE LES BALEARS

Rosselló, V.M. 2007. Cales, torrents, fractures i carst a Mondragó (com a pretext). In: Pons, G.X. y Vicens, D. (Edit.). Geomorfologia Litoral i Quaternari. Homenatge a Joan Cuerda Barceló. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 14: 287-297. ISBN 84-96376-13-3. Palma de Mallorca.

Es tracta d'una reflexió sobre el model de cala mallorquina, situada al vorell d'una plataforma carbonàtica, afectada pel carst, la fracturació postsedimentària, la paleoxarxa fluvial, el modelat marí i l'influx antròpic. Cala Mondragó hi serveix de referent.

**Paraules clau:** Mallorca, cala, geomorfologia costanera, paisatge antròpic.

CALES, STREAMS, FRACTURES AND KARST AT MONDRAGÓ (WITH A PRETEXT). The goal of the paper is to debate about the geomorphologic model of the "cala" at Mallorca. These calas are located at a carbonate platform affected by karst and post-sedimentary faulting and are influenced by the fluvial palaeonetwork and littoral marine processes as well as the anthropic influence. Cala Mondragó is the cala of reference.

**Keywords:** Mallorca, cala, coastal geomorphology, anthropic landscape.

Vicenç M. ROSSELLÓ I VERGER, Dept. Geografia. Universitat de València

## Introducció

No és la primera vegada que ens apropam al litoral del Migjorn de Mallorca i més concretament (Fig. 1) a les costes vogides d'indentacions de sa Marina (Rosselló, 1995, 1998; Rosselló *et al.*, 1997). Passats alguns intervals de "sedimentació" metodològica i diverses expedicions d'un grup de recerca encapçalat, primer, per Antonio Rodríguez Perea i, després, per Joan J. Fornós, a Menorca i Mallorca, potser calgui una reconsideració de les cales com a forma característica de les ribes calcàries, a la llum de noves troballes pròpies i alienes.

## La plataforma carbonàtica postorogènica i el carst

L'illa de Mallorca té una disposició de conca intramuntanyosa (*basin-range*), com a resultat d'una fracturació extensional que ha actuat des del miocè superior fins al pliocè superior. Sobre els materials plegats anteriors descansen els dipòsits del miocè superior, pliocè i plistocè, que formen planells quasi horitzontals i fan d'androna a les serres. Aquest planell és molt extens per la marina de Lluçmajor on la progració escullosa avançà al ritme de 200 m anuals durant bona part del tortonià. En canvi, l'or-



la de la marina de Llevant, on ens mourem, és més mòdica i no depassa gaire els 2 o 3 km d'amplària. Aquest és el terreny de les nostres cales i torrents.

Els materials que conformen el paisatge estudiat a Mallorca, Menorca i Formentera eren assignats pels geòlegs clàssics al vindobonià. Ara podem precisar més i al conjunt postorogènic, afectat només per falles distensives, hom ha identificat (Pomar *et al.*, 1983; Pomar, 1991) cinc unitats litoestratigràfiques, d'un abassegador component calcari, és a dir molt escasses de siliciclasts, de les quals ens interessen sobretot tres. 1) "Calcsiltites amb *Heterostegina*" i equínids, que s'assignen al tortonià i formen una gran plataforma; només afloren en alguns penya-segats de l'extrem sud. 2) "Unitat escullosa"

(*Unidad arrecifal, Reef unit*) de calcoarenites bioclàstiques i esculls coral·lins interestratificats amb calcaris oolítics i estromatòlits, que en gran part corresponen a formacions de restinga i albufera. La unitat acaba en una superfície erosiva i carstificada. 3) "Calcàries de Santanyi" (Fornós i Pomar, 1983; Fornós, 1991), anomenades altrament "Complex terminal" i que popularment coincideixen en bona part amb la "pedra de Santanyi" (*grainstone* i biocalcoarenita), que fou la pedra d'elecció de l'arquitectura i escultura gòtica insular. Té una fàcies variada amb característiques calcàries oolítiques, manglars, algars, bancs d'arena (*sand shoals*), etc. que pertanyen al messinià. Per damunt o en forma de pegats adossats, hi trobam de vegades, eolianites quaternàries.

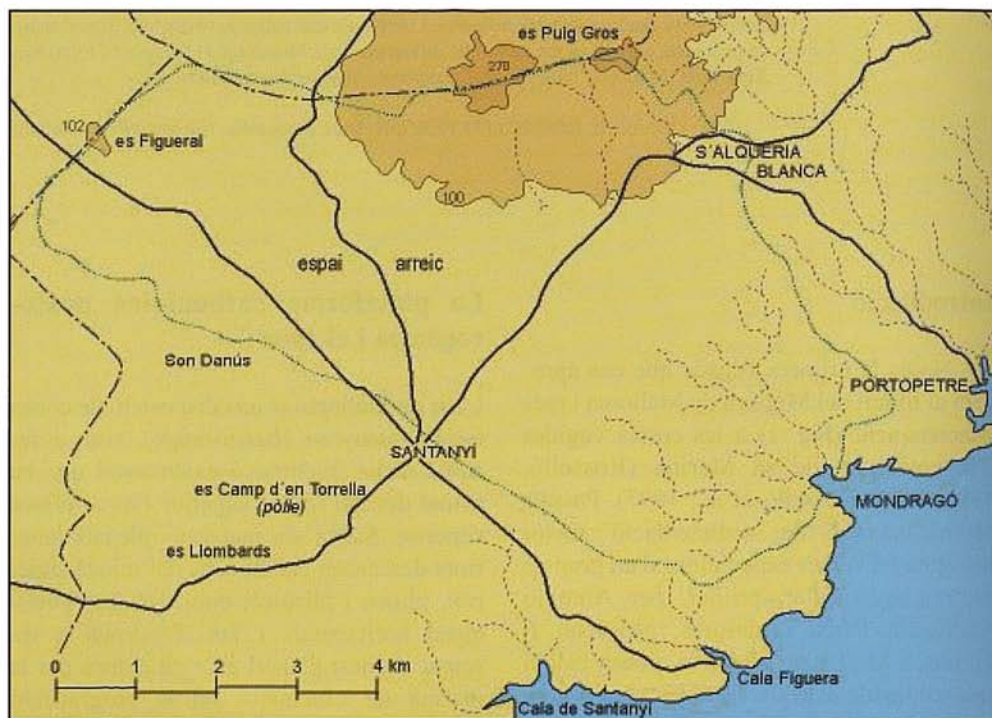


Fig. 1. La costa vogida d'indentacions de sa Marina coincideix amb el vorell de la plataforma carbonàtica miocena.  
 Fig. 1. The extremely articulated coast-line of Sa Marina is coincidental with the edge of the Miocene carbonate platform.

La faixa litoral és afectada per formes càrstiques, com coves, pòlies, dolines i avencs o engolidors, deixant a banda els torrents, de característiques molt peculiars. Alguns trets d'endorreisme i fins i tot d'arreuisme lliguen perfectament amb l'àmbit calcari.

La "Unitat escullosa" és la més propícia al buidament càrstic a causa de l'abundància de calcària coral·lina i sovint hi podem trobar proves inequívocues d'un paleocarst finimiocènic, precisament entre el tortonià i el messinià, cosa que no exclou accions dissolvents en èpoques posteriors i, fins i tot, actuals. Pel que fa a la costa estricta, Fornós (1999) ha remarcat el paper dels col·lapses,

deformacions d'origen quimioclàstic que afecten sobretot el contacte entre la Unitat escullosa i les Calcàries de Santanyí. L'enfonsament -una mena de dolina- de mides decamètriques i gruixos de 4 a 15 m, adopta la forma d'un rellotge d'arena, més obert de dalt que de baix, on la disposició sol ser més irregular (Fig. 2). La cavitat es troba dins la Unitat escullosa, mentre que el rebliment de clasts prové d'aquesta mateixa i, més sovint, de les Calcàries de Santanyí. La xemeneia que comunica els dos buits reblits ve a ser un embut on abunden les bretxes amb ciment carbonàtic freàtic i vadós; els llims rojos hi són sempre presents.

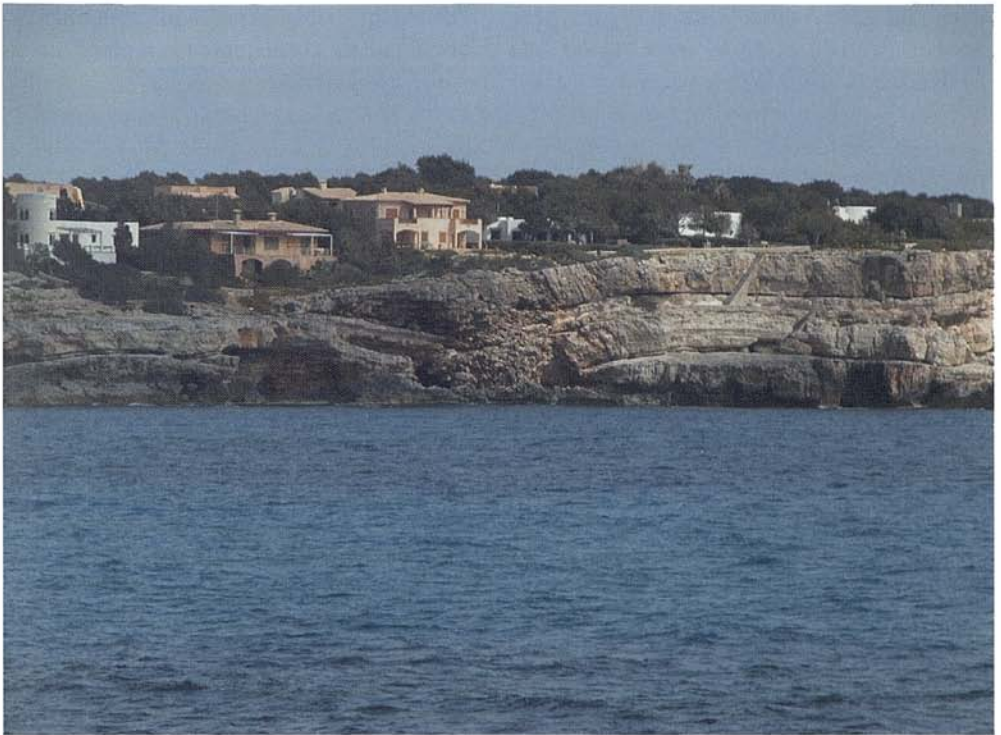


Fig. 2. Els processos paleocàrstics del miocè superior afecten de forma clara l'evolució geomòrfica del litoral.  
Fig. 2. The Upper Miocene paleocarstic phenomena have an obvious influence in the geomorphic evolution of the littoral fringe.



Aquestes "formes de subsidència d'origen solucional" -que podríem qualificar d'embrionàries-, de vegades coalescents, abunden (o es localitzen millor) a la mateixa línia de costa on justifiquen adesiara indentacions o cales inicials. La raó que no es trobin terra endins és que són males de detectar si no és en talls; el rebliment sin-genètic les "dissimula" en superfície.

El gran pòlie més proper és el del camp d'en Torrella, prop de Santanyí; n'hi ha un de més mòdic i poc pronunciat al cap des Moro, però les dolines, sobretot esvorellades, sovintegen a les capçaleres dels afluents menors dels torrents, p.e. al de sa Bassa Serra. A la línia litoral -de més a més de les coves sotaiguades- els enfonsaments o col·lapses es reiteren. Ha estat esmentat com a modèlic el de sa Barca Trencada, però podem afegir-hi el de la dreta (S) de cala Mondragó o els també espectaculars de l'esquerra de cala Figuera (cova de s'Òliba, cova des Barquers). Cova d'erosió marina i rebuidament d'un enfonsament reblit, sembla que no és una combinació inhabitual.

## Estructura i neotectònica

Entre les plaques europea i africana s'alcen els horsts que conformen el promontori bètic balear i que, si concretam a les Serres de Llevant, consisteix en un seguit de plects i encavalcaments sobre el peu dels quals descansa el tortonià-messinià transgressiu. Les falles que limiten els afloraments orogènics (Sàbat, 1986) s'han de transparentat més o menys en els materials de plataforma que els envolten, cosa que faria sospitar alguns moviments verticals. Fet i fet, el planell de Lluçmajor es troba a més de 100 m d'altitud, mentre que el de Santanyí, d'igual origen, amb prou feines depassa els 40 o 50 m.

Si podem pensar en unes Serres de Llevant que arribaven a Cabrera, no cal oblidar que la fracturació distensiva postorogènica entra en la justificació de la depressió de Campos i en els múltiples jocs locals de blocs que expliquen la xarxa fluvial i alguns trets majors de la línia litoral. Ara per ara les proves d'activitat neotectònica són més tost migrades, sia perquè no s'ha esdevengut, sia perquè s'ha compensat en diverses fases. Els estudis de Tuccimei *et al.* (2000) sobre les datacions d'espeleotemes freàtics, recollits en actual posició sotaiguada a coves càrstiques de la comarca investigada, no arriben a mostrar diferències superiors al metre durant el plistocè superior, és a dir en els darrers 117 ka. (cf. Fornós *et al.*, 2002). Tanmateix, a nivell detallat, cal reconèixer l'abundant diaclasament i microfracturació, perfectament constatable als replans litorals i que en part poden obeir a assentaments locals i esforços derivats de fenòmens de dissolució. Aquestes línies de debilitat influeixen sens dubte en la configuració litoral a escala decamètrica o hectomètrica.

## Clima i hidrologia: la xarxa de torrents

La pluviositat actual del Migjorn mallorquí gairebé no arriba als 500 mm anuals, fet que, unit a les temperatures -àrida conseqüent-, la permeabilitat i l'exigüitat de les conques, no pot garantir una correntia més que esporàdica i efímera. En les circumstàncies actuals sembla imprescindible arribar a un lllindar de 60 mm en 5 o 6 hores (o prou més, després de seques intenses) per a que es desencadeni el procés circulatori, que un torrent revengui. Aquests esdeveniments es registren clares vegades. Pel que coneixem d'observatoris propers, les precipitacions màximes en 24 hores per a un període de retorn de 25 anys són les

següents: 78,2 mm al far de ses Salines, 86,8 a s'Alqueria Blanca i 104,7 a Felanitx (Grimalt, 1992). Tanmateix, sabem que el 4.10.1957 la pluja depassà els 400 mm a Santanyí, en un sol episodi, i els 200 a Felanitx, el 6.09.1989; més encara, el torrentó de ses Fonts de n'Alis va vehicular una punta de 128 m<sup>3</sup>/s en aquesta darrera data (Grimalt, 1992).

Les nostres excursions (2000) ens han permès de veure senyals d'erosió recent en un parat esmorrellat de la capçalera del torrent d'en Busques o des Oms, a ±25 m s.n.m. Igualment vàrem comprovar (26.07.00) senyals de revenguda -herba ajaguda, murs esportellats- al barranc innominat que des del NW dona a s'Amarador. Basten aquests dos exemples per a dir que, tot i la seva discontinuïtat, els torrents d'a-

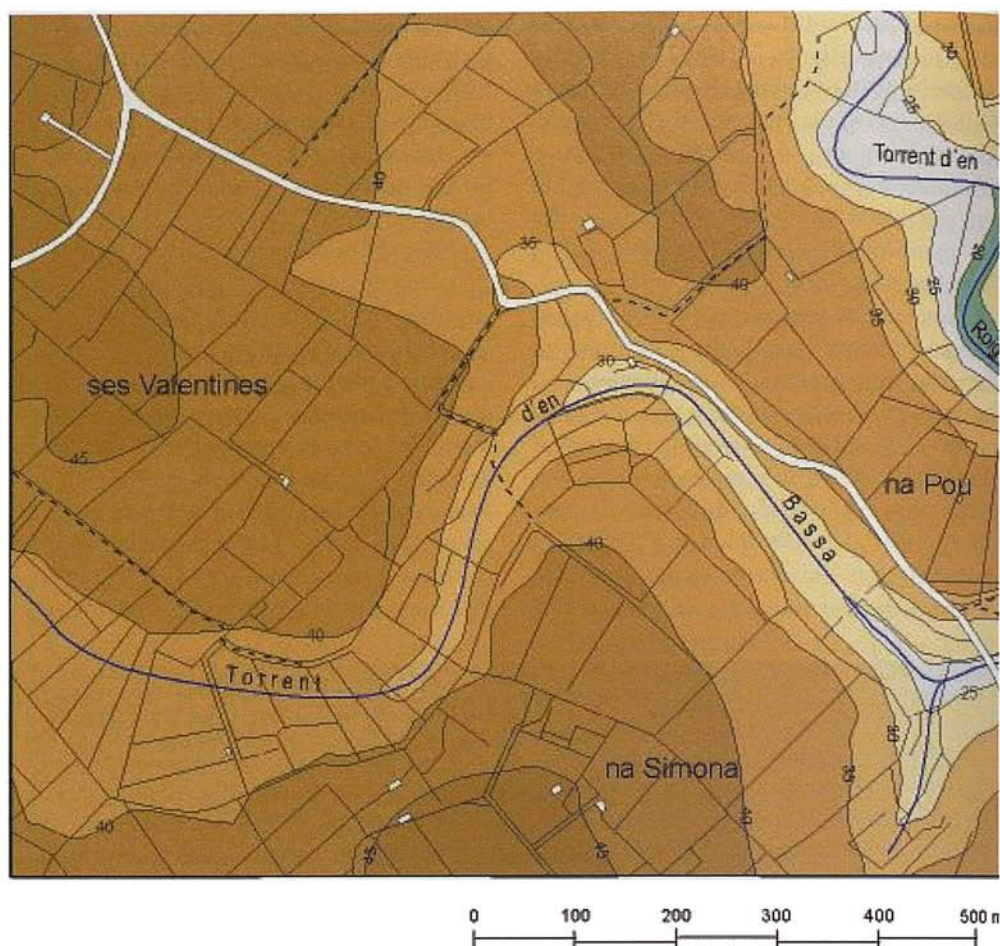
questa zona subàrida funcionen adesiara. Una altra cosa és el torrent des Pujol (que el 1998 ha estat objecte d'una "correcció hidrològica"), un afluent del qual conserva els testimonis de la revenguda de més de 4 m que permetrien calcular encara el cabal màxim vehiculat.

Sembla evident que ens trobam davant d'una xarxa relict; les conques i el règim actuals no justifiquen ni els traçats ni la incisió relativament acusada, en no ser que comptem amb el buidatge càrstic perllongat. Sia el que sia de la incisió, cal remarcar que el reblliment dels canals -ara aplanats per acció antròpica (Fig. 3), si més no- supera els 2 o 3 m de potència i sol ésser íntegrament material cantellut de calibre gros -blocs inclosos- dins matriu rogenca, que més aviat sembla procedir de processos de vessant i termoclàstics.



Fig. 3. El tram final dels torrents presenta un important reblliment aplanat per l'acció antròpica.  
 Fig. 3. The ending stretches of the dry valleys present an important sedimentary filling flattened by the anthropic action.





**Fig. 4.** El mil·lenari influx humà ha modificat el paisatge a base de rompudes dels espais planers i de vessants amargenats. Els fons dels barrancs són anivellats sovint per al conreu.

*Fig. 4.* The millennial human intervention has modified the landscape, leading to the fragmentation of gentle areas as well as the terracing of dipper slopes. The valley bottoms are often flattened for agricultural purposes.

Còdols rodats, se'n troben pocs -per no dir cap-, amb la qual cosa l'arrossegament actual i subactual deu ser poc eficaç.

El mil·lenari influx humà ha modificat el paisatge a base, sobretot, de rompudes, no sols dels espais planers, sinó també dels vessants amargenats sovint, i als fons dels barrancs, travessats per parats i marges, i anivellats moltes vegades per al conreu (Fig. 4). No és estrany trobar-hi síquies de con-

ducció laterals (torrent de sa Bassa Serra) que de tant en quant encaminen l'aigua a engolidors més o menys cercats.

L'aparent meandrització dels torrents o els sobtats canvis de direcció han d'obeir a línies de debilitat o fractures que afecten el planell de s'Alqueria Blanca on Butzer (1962) parlava d'un reticle N 50° E i N 40° W; aquestes *minor lines* explicarien bona part del traçat litoral i fluvial.

Traslladant l'argumentació que acaben d'aportar Rose i Meng (1999) sobre un con al·luvial estudiat acuradament a cala los Cans [caló des Camps] (Artà), podem atribuir la major part de la incisió -holocènica- al factor antròpic. Si 4.000 o 5.000 anys són prou per a encaixar-se un barranc insignificant més de 6 m, l'acció antròpica recent i la dissolució càrstica de tot el pliocè i el plistocè sobren per a justificar la nostra trama fluvial. Tot i amb això, falten molts extrems per aclarir.

### Model de cala-torrent

A la vista de successives hipòtesis i dels fets observats fins ara (Fig. 5), és el moment de reformular un model de cala i estalonarlo en quatre classes de processos: fluvials, càrstics, marins i antròpics.

**Fluvial.-** La rostària de la plataforma bioclàstica tortoniana-messiniana, que constitueix el basament estructural del paisatge analitzat, és de l'1 o 2 % en el sentit que han adoptat les direccions genèriques d'escolament. El rerefons estructural, però, es complica amb clares inflexions de les tongades sedimentàries (amb detalls erosius previs, de vegades) que *preparen* un canal fluvial o una caleta. Afegim-hi les línies de debilitat que compartimenten blocs i que ja hem assenyalat més amunt; al cas de Mondragó, hi podem remarcar-ne un predomini del rumb ENE. Sobre aquesta trama -aprofitada també pel carst- degué crear-se la xarxa inicial durant el plistocè mitjà (Butzer, 1962), si és que no estava embastada durant el pliocè.

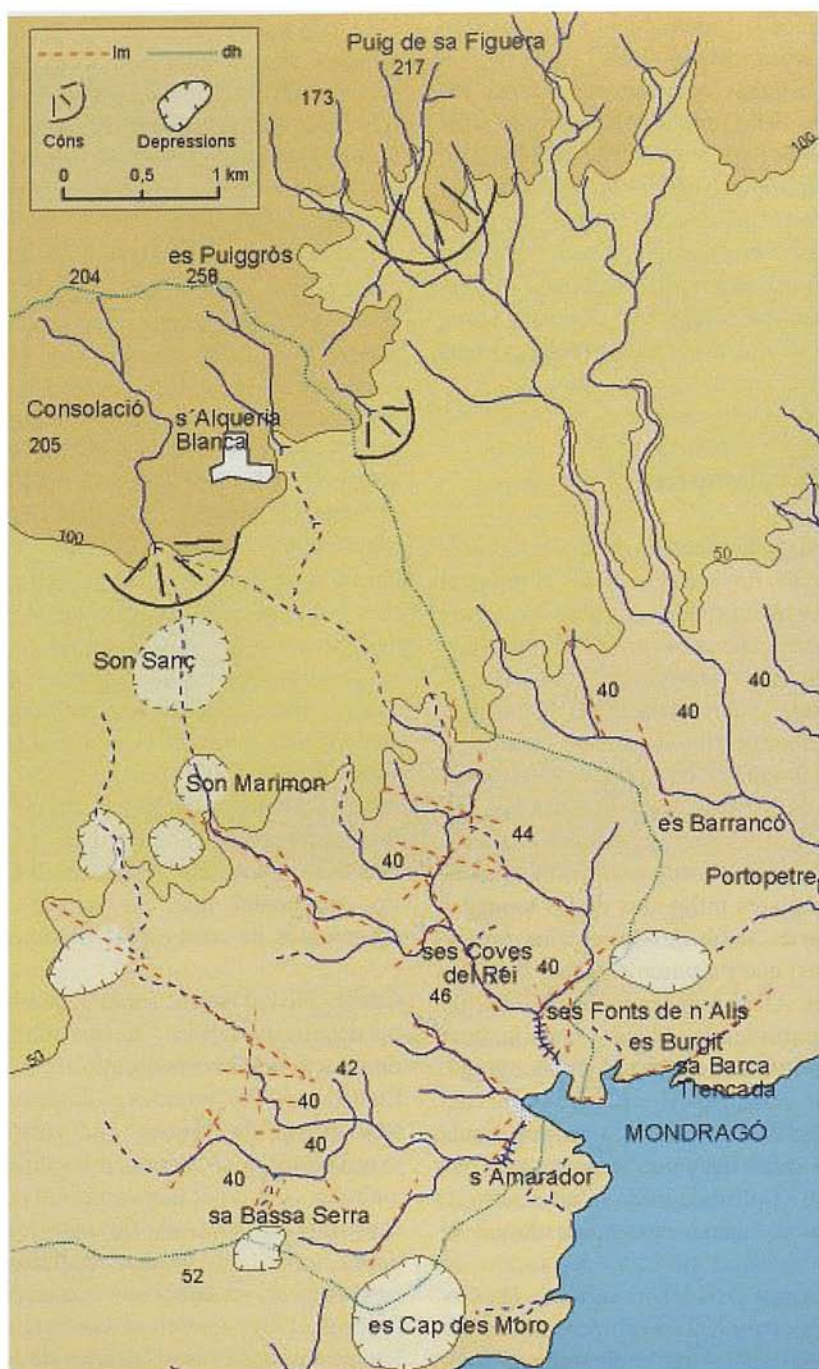
Una conca de 14 km<sup>2</sup> escassos (la virtual potser arribi a 22 km<sup>2</sup>) pot aportar els cabals responsables de la dinàmica fluvial, ben minsa pel que hem pogut verificar. Efimer, discontinu, tanmateix, no vol dir nul

i, de més a més, cal pensar en èpoques més plujoses, per exemple, els subestadis 5e, 5c, 5a i l'estadi isotòpic 3, durant els quals, si més no, l'agradació no es nota (Rose i Meng, 1999). Altrament, als períodes freds els cabals es beneficiarien d'una menor evapotranspiració.

Una pregunta ineludible: continuen els cursos dels torrents el seu camí sota l'actual nivell marí transgressiu? Hom optaria per suposar-ho, però les isòbates pròximes (campanya J. Rey, 1998) semblen desmentir-ho a la zona marina de Mondragó, exceptuada la inflexió de cala Figuera. En haver-ne analitzat les isòpaques, de tota manera, s'hauran de treure conclusions definitives. Mantinguem, ara per ara, que tenim al davant unes capçaleres d'un sistema fluvial, més o menys desenvolupat, que té el nivell de base a -15 o -20 m, mar endins. Només als *calons* més esquistats el gradient terrestre és molt més acusat que la possible-probable prolongació sotaiguada. La definició de Penck (1894) de la cala, com a "vall d'erosió curta i submergida", es pot mantenir. Ara bé, l'escurçament de les cales que *penetraven* més és resultat d'una sedimentació marítima i/o continental que, de vegades com a s'Amarador, ha creat espais albuferencs.

**Carst.-** No cal insistir sobre el domini absolut del rocam calcari i la susceptibilitat de dissolució dels nivells escullosos tortonians. En èpoques més humides es desenvoluparen tota classe de formes endocàrstiques i exocàrstiques. No manquen les dolines que amb llur concavitat han contribuït a modificar -originar- els cursos fluvials i les costes: petits calons hi poden coincidir. Més importància assumeixen els col·lapses (Fornós, 1999) que en el contacte entre la Unitat escullosa i les Calcàries de Santanyí han obert un seguit d'afonaments, precisament (per què?) en la línia litoral. Tal vegada





**Fig. 5.** Mapa geomorfològic simplificat de la zona de Mondragó, dh = divisòria hidrogràfica.  
*Fig. 5. Simplified geomorphological map of Mondragó area, lm = minor line.*

da la badiola de Mondragó (0,7 km<sup>2</sup>) en sia resultat.

Tampoc podem eludir el mecanisme de balms de corrosió-atrició a llengua d'aigua, que arriben a esdevenir coves marines, on l'acció de la hidropneumàtica i la dissolució arriben a penetracions considerables. Altrament, cal considerar les galeries o coves càrstiques d'origen continental que posteriorment han estat envaïdes per l'aigua marina (Gràcia *et al.*, 1997; 1998); alguna d'elles pot estar a les arrels de determinades cales.

Per acabar convé evocar, tot i que amb més modèstia que a les cales "altes", els canyons càrstics que poden respondre de l'encaixament d'alguns torrents i fins i tot de certes cales. Una dissimetria repetida n'és un tret encara no explicat.

**Modelat marí.**- Vet aquí el factor fonamental, sense el qual no parlariem de cales. Primer de tot, cal referir-se als canvis de nivell. Deixant de banda la gran davallada o eixugament del messinià, val més reduir-nos als darrers 300.000 anys, que són els que han deixat més clara la seva empremta al paisatge, amb prou feines afectat ja per la neotectònica. Començant per l'estadi isotòpic càlid 9 (>300.000 BP), s'hi registrà un nivell alt (+8 m als espeleotemes freàtics; Tuccimei *et al.*, 1998) del qual no hem trobat rastre al territori de Mondragó. El nivell més baix del lapse estudiat, -23 m, és testificat a la cova d'en Passol durant l'OIS 8 (250-300 ka BP); si més no, l'hauriem de considerar com a nivell de base de la nostra xarxa fluvial; en aquests moments la línia de costa devia estar mig quilòmetre mar endins i el fred intens dels hiverns repercutiria en una seriosa termoclàstia.

Després d'una etapa (OIS 7) de nivell mitjà semblant a l'actual entre 250 i 180 ka BP, s'esdevé una forta davallada a -15 m,

testimoniada per espeleotemes i balms (Tuccimei *et al.*, 1998), d'un període eixut i fred (180-130 ka) assignat a l'OIS 6. Són d'aquest moment les "eolianites de base" (Rose i Meng, 1999) datades en 140 ka. És probable que la majoria de dunes grimpadores que afloren a la costa, p.e. a  $\pm 4$  m al flanc esquerre de cala Figuera, corresponguin a aquest episodi i tenguin les arrels sotaiguades. Els petits calons o les indentacions del litoral espatat estan reblits sovint d'eolianita quaternària, que no sol depassar gaire els 10 m s.n.m. i té arrels per sota mar. L'estadi 5 (últim interglacial) s'està mostrant cada cop més complicat amb cinc subestadis, algun dels quals deu ser clau en la interpretació geomòrfica del nostre litoral. El tirrenià II o eutirrenià -que ha centrat la recerca dels paleontòlegs quaternaristes a Mallorca- és un lapse (OIS 5e) humit i càlid de nivell alt (+2,5 m) en què s'esdevé una lògica erosió litoral amb formació de rases i dipòsits correlatius. El 5d (110 ka), sec i fresc, torna a abaixar el nivell a -16 m i provoca una altra onada dunar que també deu haver deixat empremta.

L'estadi isotòpic 4 (devers 65 ka BP), primer sec i després humit (Rose, Meng i Watson, 1999), amb descens marí comprovat fins a -16 m a les nostres coves submarines (Tuccimei *et al.*, 1998), congruïa dunes verificades al litoral septentrional d'Artà. Posteriorment l'OIS 3 (45 ka BP, ca), humit i temperat, registra un episodi de loess.

El würmià (OIS 2), centrat als 15 ka BP hauria de donar la baixada més forta del quaternari en un ambient fred i molt sec. A la cova submarina de cala sa Nau (Gràcia *et al.*, 1998), un túnel sota 14 m de material de la Unitat escullosa, durant el mínim glacial veié tancada una de les seves dues boques per una duna, ara litificada i sotaiguada que seria oportú datar. Les dunes generalitzades s'hagueren de sobreposar a les formes ante-



riors i probablement degueren penetrar força terra endins, donant mantells, arrugues i crestes ara litificades. Llur destrucció per la pujada marina subsegüent donaria matèria als arenals subactuals i actuals.

L'holocè (OIS 1), relativament humit i progressivament càlid, coincideix amb la transgressió *flandriana*. Els reiterats episodis de pujada del nivell marí, després de les respectives baixades, consoliden el mecanisme envaïdor de la mar per les goles dels cursos "fluvials" preexistents i per les indentacions d'origen tectònic o càrstic, és a dir, les cales. L'arena mòbil disponible -sovint de segona generació- ha format restrigues i fins i tot petites acumulacions eòliques en dunes o mantells com el de la vora esquerra de s'Amarador, últim meandre. És obvi que sense restinga, no hi hauria els estanys o albuferes de Mondragó, però no cal minimitzar l'alimentació hídrica terrestre per ullals o simple continuació del freàtic.

No podem descartar la possibilitat de cales *només* marines, però la majoria tenen trets fluviomarins que les emparenten amb les *ries*; el mecanisme alternant de baixada i pujada del nivell marí, les ha configurades. Cada baixada implica incisió dels aparells fluvials amb fàcil formació d'arenals i eolianites -que podrien reblir o anul·lar els esvorancs existents-; les regressions no són propícies a les cales. Cada pujada, i sobretot la darrera transgressió, provoca per una banda pèrdues litorals erosives, paleses pels freqüents penya-segats de 10 o 20 m al nostre redol. L'onatge vigorós, gràcies a un fetch ESE que supera els 1.000 km, n'és responsable. La pujada de nivell afavoreix la sedimentació a les goles i simultàniament la formació d'aiguamolls. Les modestes restrigues són trencades per les eventuais revingudes dels torrents. És probable que cada pujada hagi construït la seva restinga. Una

anàlisi fina dels sondejos en pot resoldre la geometria.

**L'home.**- La presència humana geomòrficament eficaç -destructora i constructora- supera en aquestes contrades els dos mil·lennis. Durant molts segles natura i cultura han progressat amb una certa aliança o simbiosi. No cal, però, enganar-se: l'home ha provocat, provoca i provocarà mants desequilibris; el més cabdal prové de la roturació que accentua o origina l'erosió i, per tant, la incisió fluvial. L'agricultura, igualment, en ocupar els vessants, facilita els moviments, per una banda, i per l'altra, rebleix els fons de vall, els escalona, els aplanar per tal d'adequar-los al conreu. Més encara, l'agricultor n'ha desviat o conduït l'aigua i ha maldat per extreure-la amb pous i sínies. Provocar l'erosió al principi, controlar-la del tot després: una història que comença tal vegada al període del bronze (1500 aC?) i amb tota seguretat quan els agrimensors romans del segle II o I aC divideixen aquestes terres. La parcel·lació actual, tanmateix, sembla remuntar-se als segles XVII i XVIII amb una acomodació gairebé determinista al relleu i la xarxa hidrogràfica: camins, poligonacions radials, amargenaments, etc. tradueixen un paisatge peculiar.

Les cales estrictes -excepte les condicionades amb finalitat portuària- fins al segle XIX amb prou feines s'havien trastocat. Ara que comença el XXI, malauradament no podem dir el mateix: el turisme i l'oci residencial les han envaït i deturpat. Algunes cales, se n'han estalviat en part, com és el cas de Mondragó que ens motiva. Aquest no és un escrit de lamentacions, sinó de valoracions. Que sapiguem, com més millor, allò que defensam.

## Agraïments

Aquest treball, embastat el 2000 i enllestit el 2005, s'integra al projecte de la Direcció General de Investigació del Ministerio de Ciencia y Tecnología, BTE 2002-04552-C03, "El modelat càrstic i l'evolució morfològica i sedimentària del litoral a les Balears, València i Sardenya".

## Bibliografia

- Butzer, K.W. 1962. Coastal Geomorphology of Majorca. *Ann. Assoc. Amer. Geogr.*, 52(2): 191-212.
- Fornós, J.J. 1991. La Unitat Calcàries de Santanyí (Miocè superior) a la zona de Cala Murta. Marina de Llevant. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 34: 33-40.
- Fornós, J.J. 1999. Karst collapse phenomena in the Upper Miocene of Mallorca (Balearic Islands, Western Mediterranean). *Acta Geologica Hungarica*, 42(2): 237-250.
- Fornós, J.J. i Pomar, L. 1983. Mioceno superior de Mallorca: Unidad calizas de Santanyí ("Complejo terminal"). *El Terciario de las Baleares. Guía de las Excursiones del X Congreso Nacional de Sedimentología. Menorca*, 177-206.
- Fornós, J.J. i Sàbat, F. 1992. La Serralada Bètica. In: Guimerà, J. et al. (Edits.) *Història Natural dels Països Catalans. Geologia (II)*. 210-278.
- Fornós, J.J., Gelabert, B., Ginés, A., Ginés, J., Tuccimei, P. i Vesica, P. 2002. Phreatic overgrowths on speleothems: a useful tool in structural geology in littoral karstic landscapes. The example of eastern Mallorca (Balearic Islands). *Geodinamica Acta*, 15: 113-125.
- Gràcia, F., Watkinson, P., Monserrat, T., Clarke, O. i Landreth, R. 1997. Les coves de la zona de ses Partions-Portocolom (Felanitx, Mallorca). *Endins*, 21: 5-36.
- Gràcia, F., Clamor, B., Aguiló, C. i Watkinson, P. 1998. La cova des Drac de Cala Santanyí (Santanyí, Mallorca). *Endins*, 22: 55-66.
- Grimalt, M. 1992. *Geografia del risc a Mallorca: les inundacions*. Palma, Institut d'Estudis Balearics. 360 pp.
- 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., Esteban, M., Calvet, F. i Barn, A. 1983. La Unidad Arrecifal del Mioceno Superior de Mallorca. *El Terciario de las Baleares. Guía de las Excursiones del X Congreso Nacional de Sedimentología. Menorca*, 139-179.
- Rose, J. i Meng, X. 1998. River activity in small catchments over the last 140 ka, northeast Mallorca, Spain. In: Brown, A.G. i Quine, T. (eds.) *Fluvial processes and environmental change*. Chichester, Wiley. 413 pp.
- Rose, J., Meng, X. i Watson, C. 1999. Palaeoclimate and palaeoenvironmental responses in the western Mediterranean over the last 140 ka: evidence from Mallorca, Spain. *Journal of the Geological Society*, 156: 435-448.
- Rosselló, V.M. 1995. Les cales, un fet geomòrfic epònim de Mallorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 38: 167-180.
- Rosselló, V.M. 1998. Torrents i cales de Mallorca: aspectes geomorfològics. Fornós, J.J. (ed.) *Aspectes geològics de les Balears*. Palma, Universitat de les Illes Balears. pp. 331-360.
- Rosselló, V.M., Fornós, J.J., Fumanal, M.P., Pardo, J.E. i Rodríguez-Perea, A. 1997. Elementos morfogènètics de calas y barrancos del sur de Menorca. *Dinámica Litoral-Interior. Actas XV Congreso de Geógrafos Españoles*. Universidade de Santiago de Compostela, 15-19 setiembre 1997, 1: 245-256.
- Tuccimei, P., Ginés, J., Ginés, A., Fornós, J. i Vesica, P. 1998. Dataciones Th/U de espeleotemas freáticos controlados por el nivel marino, procedentes de cuevas costeras de Mallorca (España). *Endins*, 22: 99-107.
- Vesica, P.L., Tuccimei, P., Turi, B., Fornós, J.J., Ginés, A. i Ginés, J. 2000. Late Pleistocene Paleoclimates and sea-level change in the Mediterranean as inferred from stable isotope and U-series studies of overgrowths on speleothems, Mallorca, Spain. *Quaternary Science Review*, 19: 865-879.



# Cavitats costaneres de les Balears generades a la zona de mescla, amb importants continuacions subaquàtiques

Francesc GRÀCIA, Joan J. FORNÓS i Bernat CLAMOR

## SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA  
NATURAL DE LES BALEARS

Gràcia, F., Fornós, J.J. i Clamor, B. 2007. Cavitats costaneres de les Balears generades a la zona de mescla, amb importants continuacions subaquàtiques. In: Pons, G.X. i Vicens, D. (Edit.). Geomorfologia Litoral i Quaternari. Homenatge a Joan Cuerda Barceló. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 14: 299-352. ISBN 84-96376-13-3. Palma de Mallorca.

En el present treball es pretén donar una visió de conjunt de les principals cavitats amb continuacions subaquàtiques, que són també les coves de major recorregut de les Illes Balears. Es tracta de cavitats freàtiques litorals generades a la zona de mescla costanera, localitzades principalment en els materials carbonatats postorogènics del Miocè superior. L'exploració amb tècniques d'immersió espeleològica d'aquests sistemes càrstics, parcialment o totalment anegats sota el present nivell de la mar, es va iniciar l'any 1954, encara que no va ésser fins a finals dels 80 quan es van començar a efectuar treballs importants. Les exploracions i recerques dutes a terme fins ara han contribuït a incrementar el coneixement i la valoració de l'endocarst i també han suposat importants aportacions a la coneixença científica.

**Paraules clau:** cavitats costaneres, zona de mescla, passatges subaquàtics, Mallorca.

MIXING ZONE COASTAL CAVES OF THE BALEARIC ISLANDS WITH IMPORTANT UNDERWATER PASSAGES. The present work gives an overall view of the main caves of the Balearic Islands with underwater passages, which represent the longest cavities known in the Archipelago. They comprise littoral phreatic caves excavated in post-orogenic carbonate deposits of Upper Miocene age by dissolution in the coastal mixing zone. Exploration of these below-the-sea-level systems using specialised cave-diving techniques started in 1954, but important discoveries took place only since the 80's. All the research and exploration made until now have represented a great increase both in the scientific knowledge of the endocarst and of its appraisal.

**Keywords:** coastal caves, mixing zone, underwater passages, Mallorca.

Francesc GRÀCIA i Joan J. FORNÓS, Departament de Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears (UIB). email: xescgracia@yahoo.es; joan.fornos@uib.es; FG i Bernat CLAMOR Grup Nord de Mallorca (GNM). Pollença.

## Introducció

Les cavitats han estat seleccionades per tenir importants dimensions subaquàtiques o per presentar característiques particulars úniques. El nombre de coves escollides ha

estat de 13, de les quals totes manco una pertanyen a Mallorca, i la gran majoria a les marines del Llevant (10). Per municipis el més representatiu és Manacor (6), seguit de Felanitx (3). Les fitxes de les coves s'han subdividit en diferents apartats de: toponí-



mia, situació geogràfica i geològica, història de les exploracions, descripció de la cavitat, hidrologia, sediments, espeleogènesi i estadi evolutiu, paleontologia, fauna aquàtica i arqueologia. Els comentaris de les cavitats fan especial incidència a les galeries sotaiaguades, en especial als apartats de fauna on només es parla de la fauna aquàtica.

### Tipologia de les coves subaquàtiques de les Balears

Les illes Balears posseeixen diverses i importants cavitats subaquàtiques que es poden diferenciar en tres grans grups que són per ordre d'abundància: coves d'abradió marina, cavitats freàtiques litorals i galeries de drenatge. Les coves d'abradió marina, normalment de modestes dimensions, no

tenen d'entrada un origen càrstic, ja que s'han generat per l'acció de l'onatge als llocs que permeten una major erosió i són molt abundants en gran part del litoral. Les galeries de drenatge, formades per la dissolució i erosió de l'aigua dolça, en ocasions es poden comportar com a corrents subterranis. Es troben presents a la serra de Tramuntana de Mallorca i al centre del Migjorn de Menorca, però són molt escasses al conjunt de les illes, encara que amb importants representants com per exemple la cova dels Estudiants i la font des Verger a Mallorca; la font de sa Vall i la cova d'en Curt a Menorca. Les cavitats freàtiques litorals, generades a la zona de mescla d'aigües meteòriques-marines (serveixen de model les turístiques coves del Drac), són les que caracteritzen pròpiament el carst costaner, encara que molt influenciades per l'evolució



Fig. 1. Expedició de l'ERE a Menorca l'any 1955.  
*Fig. 1. ERE expedition to Menorca, 1955.*

litoral, fins i tot capturades pel retrocés dels penya-segats (captures càrstico-marines). Estan localitzades principalment en els materials carbonatats postorogènics del Miocè superior corresponent amb les fàcies d'escull. Les calcàries i dolomies mesozoïques presenten qualche cavitat parcialment inundada de notable interès, però de dimensions molt menors que no pas les del Miocè superior. Per illes, la pràctica totalitat de les cavitats costaneres generades a la zona de mescla, penetrables amb les tècniques del busseig espeleològic, es troben a Mallorca. Sens dubte, el més remarcable és que les coves de major recorregut de les illes corresponen a sistemes càrstics litorals parcialment o totalment negats sota el present nivell de la mar.

## Història de l'exploració subaquàtica a les cavitats litorals de les Balears

Les més antigues exploracions subaquàtiques de cavitats balears de les quals hagi quedat constància impresa corresponen a Menorca, per part dels catalans Antoni Ballester i Francesc Sibila (del grup ERE) i Armengol i Assens (del grup GES). En una expedició conjunta a Menorca, realitzen el setembre de 1954 exploracions a la cova de na Polida de Fornells i a la cova dels Anglesos de Ciutadella (Fig. 1). Constatant els problemes tècnics, el mes d'octubre cerquen l'assessorament del capità Cousteau, amb el qual s'entrevisten. Els mes de juliol de 1955 realitzen una altra expedició a Menorca, capbussant a la cova de s'Aigo.



Fig. 2. Pioners de l'espeleologia subaquàtica a Mallorca: Kiko Ripoll i Lluís Roca, de l'SCM a la cova de ses Sitjoles (Campos) l'any 1973 (Foto: M. Trias).

Fig. 2. Pioners of Mallorca subaquatic speleology: Speleo-Club Mallorca (SCM) fellows Kiko Ripoll and Lluís Roca at cova de ses Sitjoles (Campos), 1973 (Photo: M. Trias).

Els també espeleòlegs catalans Ll. Astier, J. Cerdán, G. García i M. Hidalgo, efectuen l'any 1972 l'exploració i topografia de les continuacions subaquàtiques de la cova Marina des Pont (Trias i Mir, 1977), cavitat del migjorn de Mallorca (Manacor). Un dia després capbussen en un dels llacs de les coves del Pirata, també en el municipi de Manacor (Ginés i Ginés, 1976). Es tracta de la primera immersió documentada en una cavitat pròpiament de la zona de mescla costanera de Mallorca.

Altre pioner de l'espeleobusseig a les cavitats litorals del carst mallorquí va esser Francesc Ripoll (Fig. 2), del Speleo Club de Mallorca (SCM), que l'any 1974 realitzà l'exploració del primers metres subaquàtics de la cova de sa Gleda (Manacor), a on localitzà una gran cambra d'aire només a una vintena de metres de l'entrada (Fornós *et al.*, 1989). La mentalitat exploratòria de l'època era principalment la de superar trams inundats per accedir a sales o galeries eixutes. En aquesta dècada les tècniques de busseig no estaven encara adaptades al busseig espeleològic, emprant pràcticament la mateixa configuració de l'equip que dins mar. Els aparells de respiració autònoma anomenats bitràquees, eren molt rudimentaris i perillosos i normalment s'emprava una sola botella. La vestimenta era de goma. No es coneixien els rodets de fil guia autònoms, i s'anava fermat a una corda que anaven amollant els companys des de l'inici del busseig; a més a més, la comunicació era per estirades de la corda, fet que provocava fàcilment situacions de confusió i embolics i els accidents mortals estaven a l'ordre del dia (Gràcia i Clamor, 2002).

Als anys 80, Mallorca va esser freqüentada per espeleobussejadors alemanys i txecs. Mentrestant, també es realitzaven immersions per part de mallorquins en diferents cavitats de l'illa; com les exploracions

efectuades l'any 1987 per Martí Ginard i José María Álvarez "Jopelas" del GEM a la cova des Bastons (Alcúdia). Els equips i materials havien progressat molt, però es tractava d'expedicions que implicaven un gran desplegament de material i de recursos humans per ajudar a transportar el pesat i voluminós equipament, ideat per portar les botelles col·locades dorsalment.

D'ençà de l'any 1988 un equip d'escafandristes gal·lesos del Cwmbrian Caving Club, dirigits per Owen Clarke, va estar visitant regularment Mallorca, portant a terme immersions a les coves litorals de la zona del Migjorn i als conductes actius de drenatge de la serra de Tramuntana. Les tècniques de progressió eren del tot revolucionàries: major independència del bussejador sense estar supeditat als portejadors; material vital portat per duplicat, arnesos per dur les botelles col·locades lateralment per forçar passos estrets, rodets d'exploració i auxiliars, ordinadors de busseig i tota una sèrie de millores d'equipament. Endemés un factor important era que es tractava d'especialistes en el camp de l'espeleobusseig i no espeleòlegs o bussejadors d'aigües obertes que s'aventurassin esporàdicament dins les cavitats. Les coves objecte de la seva atenció eren ben conegudes; les seves topografies havien sortit publicades a les planes de la publicació *Endins* o constaven a l'arxiu topogràfic de la Federació Balear d'Espeleologia i generalment no havien rebut gaire atenció dels escafandristes illencs. Els tranquils llacs salabrosos de les coves de Manacor i Felanitx van resultar esser ben gratificants amb resultats importants en el camp exploratori. Les exploracions més destacades es feren a la cova dets Ases (Felanitx) a on van superar dos sifons i connectar la cavitat amb la mar oberta i a les coves del Pirata i des Pont (Manacor) que aconseguiren enllaçar. També efectua-



ren una primera immersió al llac de la cova Genovesa i a la cova des Serral, però trobaren poques prolongacions. L'any 1990 capbussen a la cova de sa Gleda, examinant parcialment la sala Francesc Ripoll, sala de gran volum i molt decorada; també exploren l'ullal de Cala Murta (Clarke, 1991-92). L'any 1991 localitzen importants continuacions al llac Negre, llac de les Delícies i llac Martel de les turístiques coves del Drac (Clarke, 1991), que constitueix la seva principal descoberta subaquàtica al carst del Migjorn de Mallorca.

Paral·lelament, espeleobussejadors mallorquins del club Tritón i membres de l'ANEM efectuen els anys 91 i 92 l'exploració i topografia d'una sèrie de galeries subaquàtiques de la cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor) (Merino, 1993).

D'ençà de l'any 1994, l'espeleologia subaquàtica a Mallorca va experimentar un canvi important que començà a partir de la superació dels sifons inicials de la cova des Coll per part de Francesc Gràcia i Peter Watkinson de la secció d'espeleologia del Grup Excursionista de Mallorca (GEM), mentre realitzaven l'estudi de les cavitats del litoral d'una part del terme de Felanitx. Inicialment empraren metodologies arcaïques i una gran pobresa de mitjans, però va suposar el detonant vocacional d'un grup d'espeleòlegs insulars (membres de la Federació Balear d'Espeleologia) cap a l'especialització en l'exploració i estudi de les cavitats subaquàtiques. Posteriorment es va incorporar Robert Landreth del CCDS de Sóller, amb més coneixements tècnics, que van suposar una bona empenta a les progressions subaquàtiques. Owen Clarke, que havia estat realitzant i coordinant diverses campanyes a Mallorca contactà amb ells per incorporar-se al grup d'exploradors, el qual aportà a l'exploració de la cova des Coll, la tècnica de busseig espeleològic pròpia de

Gran Bretanya, que permet forçar passos molt estrets i realitzar importants progressions. A les darreries d'aquesta època s'incorporà al grup Bernat Clamor del Grup Nord de Mallorca (GNM), que es convertiria en un important espeleobussejador-punta de l'equip. Els membres fundadors, juntament amb altres que s'hi afegiren, s'unifiquen dins la secció d'espeleobusseig del GNM (Gràcia i Clamor, 2002) i ja fa més d'una dècada que realitzen exploracions i documentació de les cavitats sotaiguades.

## **Estat actual del coneixement de les principals cavitats**

### **Cova de s'Aigo (Ciutadella)**

#### **Situació geogràfica i geològica**

Coordenades UTM: 571490 / 4424880 - 14

La cavitat es troba a les proximitats de cala Blanca, a l'extrem occidental de Menorca, dins les calcàries de fàcies d'escull atribuïbles al Miocè superior. Forma part d'un conjunt de cavitats properes estudiades per Thomàs-Casajuana i Montoriol-Pous (1951) i Trias i Ginés (1989).

#### **Història de les exploracions**

Les primeres indagacions es van efectuar l'any 1955 per part de l'ERE i del GES (Martínez i Rius, 1994). L'any 2003 s'efectuen a Menorca dues campanyes per part de membres del GNM que revisen la surgència submarina de cala Blanca i els llacs de la cova de sa Tauleta i de la cova de s'Aigo a Ciutadella. També intenten forçar, desobstruint sota l'aigua, el llac de la cova de ses Figueres (Sant Lluís). Els resultats de les recerques són més bé pobres, ja que només a la cova de s'Aigo s'aconsegueixen alguns resultats importants.



### Descripció de la cavitat

La zona aèria es troba constituïda en realitat per una única sala d'uns 140 m de longitud per uns 21 m d'amplària màxima (Trias, 2004). El tret més característic és la presència dels llacs que representen gairebé la meitat de la superfície total de la sala. La morfologia predominant és la d'esfondrament i recobriment parcial dels blocs caiguts per colades pavimentàries i altres espeleotemes de gran bellesa, entre els quals destaquen recobriments freàtics subactuals.

La zona recentment explorada (encara pendent de topografia) és totalment diferent a la zona aèria, ja que està constituïda per diverses galeries poc evolucionades i connectades entre sí a on predominen les morfologies de corrosió. Es tracta de galeries freàtiques de control estructural de poca fondària, que segueixen fractures molt clares i que permeten afegir uns 100 m lineals a la cavitat i uns 200 m de recorregut subaquàtic total per la disposició laberíntica d'aquesta zona de la cavitat.

### Font de ses Aiguades (Alcúdia)

#### Toponímia i documents històrics

Tot i l'aparença externa, no es tracta d'un pou, ni tampoc d'una font. S'inclou a l'article per la importància arqueològica i no per les dimensions. Gràcies a documentació localitzada a l'Arxiu Militar de Segòvia (Ordinas i Rotger, 2002), s'associà la cavitat amb referències escrites de 1738. La plaça d'Alcúdia, afirma el document, era incapaç de *"impedir los desembarcos de enemigos, y corsarios, ni oponerse a sus irrupciones en el territorio quando sean de gran numero..."* ja que una armada podia desembarcar en el Port Major sense ser molestada des de la plaça i torres properes, i fins i tot carregar aigua per tota la tropa a la font de les

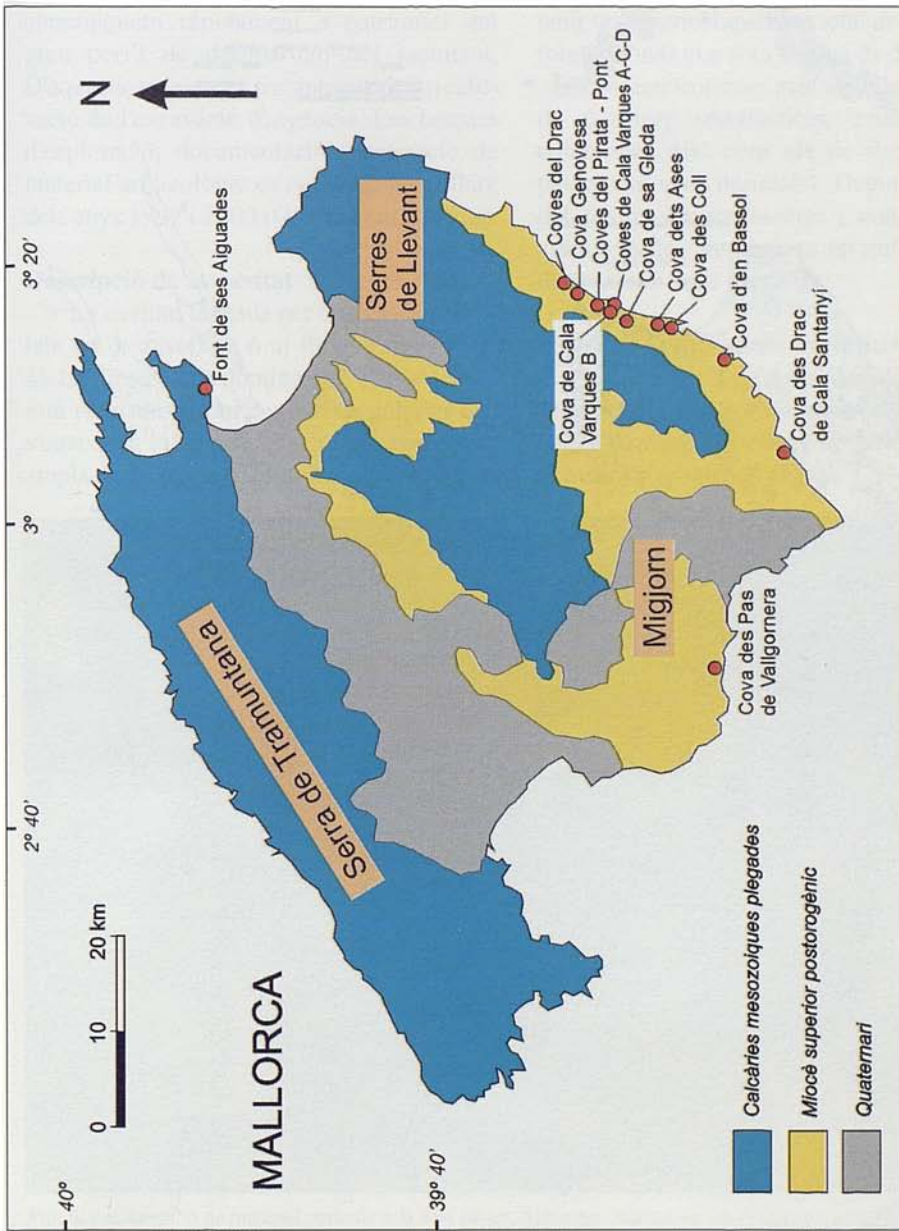
Aiguades. Aquesta font segons els mariners del país disposava de la millor aigua de les costes del Mediterrani, ja que *"se purifica y no se corrompe transportada sobre el mar, dicen es conozidissima de todos los Nauticos frequentada de ellos y que a proposito la vienen a buscar desde lexos en los presentes tiempos, y se conoze por los señales, y surcos de las rocas de su boca que aconteceria lo mismo en los pasados"*. La importància d'aquesta font justifica que el redactor del document en faci una acurada descripció: *"Esta fuente esta a manera de Pozo, formando una caberna grande o zisterna natural de la que no se puede sacar el Agua sino a brazo, o con una bomba, porque esta profunda desde el piso de tierra, hasta llegar a la superficie del agua unas tres toisas y media (6,8 m), y de agua tiene una toisa (1,95 m), es tan existente y perena la abundancia que despues de haver sacado quanta agua pudieren dos o tres armadas no baja una pulgada de su nivel ....."*.

#### Situació geogràfica i geològica

La font de ses Aiguades es troba al NE de Mallorca, a la badia d'Alcúdia, prop de l'illot d'Alcanada, dins les calcàries del Juràssic (Fig. 3). El lloc on s'obri el pou se situa a 6 m d'alçària respecte al nivell de la mar, després d'unes desenes de metres de suau pujada des de la mar cap a l'interior.

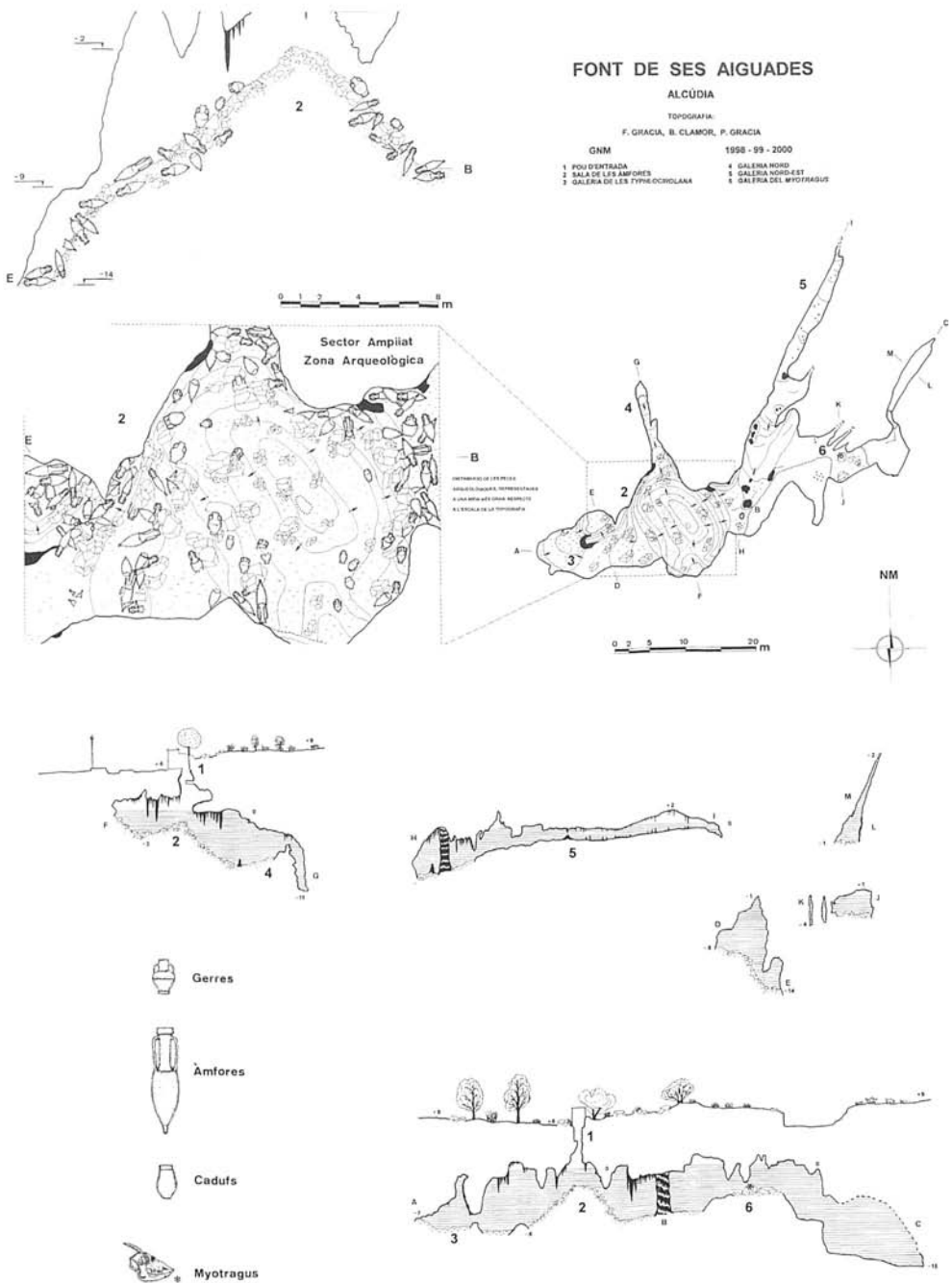
#### Història de les exploracions

L'any 1998, els espeleòlegs Guillem Mulet (grup GELL) i Antoni Merino (grup ANEM), descobreixen la cavitat i exploren la zona aèria. Els escafandristes del GNM realitzen la troballa d'un important jaciment arqueològic. L'exploració de la cavitat coincideix en el temps amb la realització de les obres del golf d'Alcanada, amb l'obertura d'un ampli vial a només uns pocs metres de la caseta del pou. Les obres s'efectuen amb



**Fig. 3.** Mapa de situació de les cavitats. S'aprecia la concentració de coves al llevant i migjorn, especialment dins els materials escullosos del Miocè superior (gentilesa J. Ginés).

**Fig. 3.** Map showing location of the caves. Notice their concentration on the island SE, especially at reefal outcrops upper Miocene in age (data provided by J. Ginés).



**Fig. 4.** Topografia de la font de ses Aiguades.  
*Fig. 4.* Topography of font de ses Aiguades.



màquines pesants i es realitza la desforestació de tota la zona afectada que abans ocultava en gran part el pou. Aquests fets fan que comuniquem ràpidament a patrimoni del greu perill de desaparició del jaciment. D'aquesta manera es va autoritzar la realització de l'excavació d'urgència. Les tasques d'exploració, documentació i extracció de material arqueològic es perllonguen al llarg dels anys 1999 i 2000 (Gràcia et al., 2001a).

### Descripció de la cavitat

La cavitat, tancada per una caseta, assoleix un desnivell de 6 m fins a l'aigua (Fig. 4). La direcció predominant és ENE-WSW i està formada per un conjunt de galeries que s'uneixen a la sala de les Àmfores, zona més ampla de la cova, predominant per complet

al terra la morfologia del con d'enderrocs que provenen de la boca de la cavitat. La poligonal projectada de la cavitat arriba a tenir un desenvolupament total de 180 m. La fondària màxima sota l'aigua és de 15 m.

Els espeleotemes més abundants són els de degoteig (estalactites, estalagmites i columnes), així com els de flux (colades pavimentàries i parietals). Degut a l'alçada del sostre, les estalactites i columnes han assolit mides importants en relació a les dimensions de la gruta.

### Espeleogènesi i estadi evolutiu

La cavitat s'ha format aprofitant diverses fractures que convergeixen totes a la sala de les Àmfores, lloc a on la cavitat assoleix la màxima amplada i alçada. L'erosió super-



**Fig. 5.** Recuperació de material ceràmic a la font de ses Aiguades. Aquest jaciment arqueològic sotaiguat demostra l'aprofitament d'una cavitat litoral per l'abastiment d'aigua a les travesses dels vaixells almenys d'ençà del segle II aC (Foto: P. Gràcia).

*Fig. 5. Recovery of pottery at font de ses Aiguades. This underwater archaeological site demonstrates the use made by ancient navigators of litoral caves as a watering point at least since the 2nd century BC.*



ficial degué fer comunicar la cavitat amb l'exterior, generant amb el pas del temps, el con d'enderrocs natural per la caiguda de materials des de l'exterior.

### **Paleontologia**

A la galeria del *Myotragus* es va localitzar sota l'aigua a 25 m de l'entrada, un esquelet de *Myotragus balearicus* en connexió anatòmica. La cova va actuar com a trampa natural, on caigué aquest exemplar. La cavitat en aquella època estaria en sec, durant la darrera glaciació quaternària. La seva presència, a més de l'evident interès paleontològic, ens proporciona la prova que la cavitat ha estat oberta de forma natural milers d'anys abans de l'arribada de l'home a Mallorca i no com a conseqüència d'una acció antròpica relacionada amb la recerca d'aigua.

### **Fauna aquàtica**

És interessant fer constar la gran quantitat de crustacis aquàtics de l'espècie *Typhlocirolana moraguesi*.

### **Arqueologia**

El con d'enderrocs, lloc arqueològic fèrtil de la cova, presenta una superfície projectada aproximada de 200 m<sup>2</sup>. El con parteix d'uns 2 m sota l'aigua fins els -14 m. La troballa de contenidors ceràmics a la cavitat posa de manifest la utilització de la gruta al menys des de l'època romana-republicana (Fig. 5). La ubicació, molt a prop de la mar, en una zona de costa accessible, propicia que fos utilitzada per a procurar-se la reserva d'aigua necessària per a la travessia marítima. El nombre mínim d'àmfores recuperades, entre àmfores senceres i colls supera àmpliament la seixantena. La major part són contenidors de vi, ja amortitzats, els quals cronològicament se situarien entorn dels segles II aC fins al segle I dC. Són abun-

dants els materials orientals, especialment peces greco-itàliques i algunes gregues tardanes; també són nombroses les àmfores de procedència bètica i laietana. Algunes de les peces presenten al peu estampilles rectangulars o circulars, amb lletres llatines que ens informen dels centres productors. D'altres tenen signes pintats postcocció prop de la base del coll, amb caràcters grecs o llatins. També s'han recuperat àmfores amb inscripcions de marques fetes abans de la cocció. Es pot deduir que a l'època romana s'emprava intensament com a indret de subministrament d'aigua. Pel tipus de recipients (àmfores de gran capacitat) sabem que es dedicaria a abastar una quantitat considerable de gent, vaixells fondejats a la badia. També s'ha recuperat qualche contenidor ceràmic islàmic.

La documentació de 1738 (Ordinas i Rotger, 2002) confirma la continuïtat i importància del pou, fins i tot com a lloc estratègic des del punt de vista militar. El material modern és també freqüent, especialment en forma de gerres mallorquines de tot tipus, dimensions i formes. La presència de cadufs de diferent tipologia i restes de sínia ens indiquen que en un període no molt llunyà continuà l'extracció. Posteriorment es va instal·lar una bomba i canonades, remodelació que degué suposar un canvi radical en la morfologia externa del pou, amb la construcció de la caseta i l'esbucament d'una part de les anteriors estructures que afectaren parcialment al jaciment.

## **Coves del Drac (Manacor)**

### **Situació geogràfica i geològica**

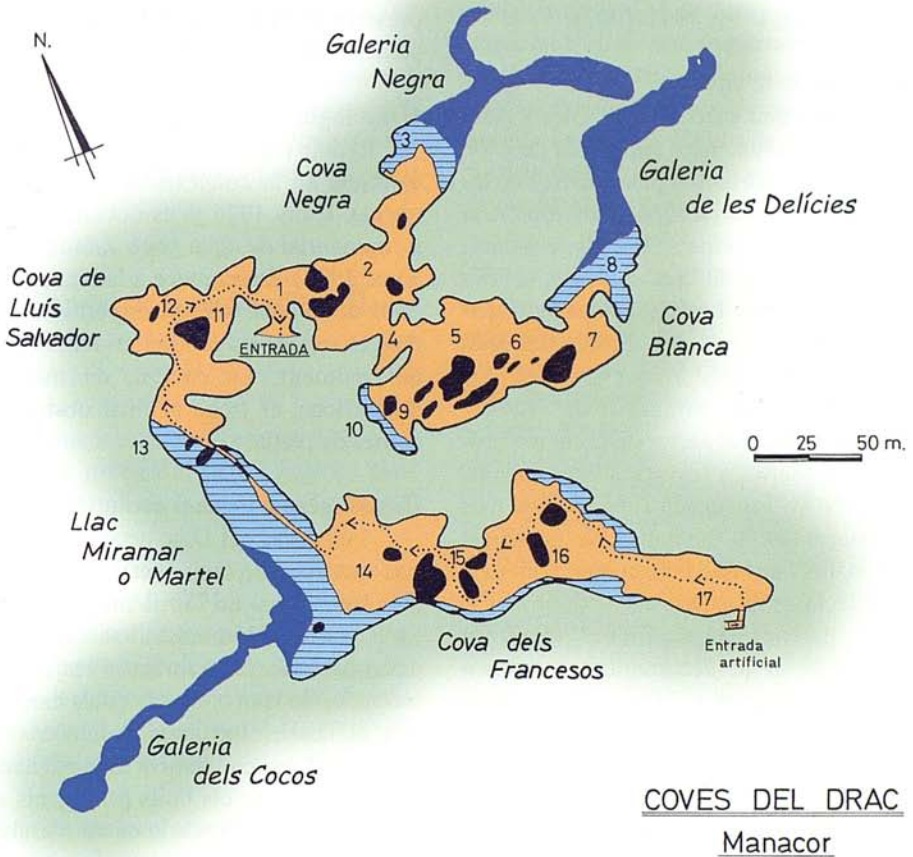
Coordenades UTM: 528430 / 4376485 - 27  
Situada entre Portocristo i cala Murta, dins terrenys del Miocè superior postorogènic, a una cota aproximada de 27 m snm.

Constitueix un dels principals atractius turístics del municipi de Manacor, amb més de 800.000 visitants l'any 1990 (Ginés, 1995b).

**Història de les exploracions**

Diverses evidències arqueològiques demostren que les coves eren conegudes ja a

l'època prelatiniàtica. De l'any 1878 es té per escrit la referència d'una accidentada visita a la cavitat. L'any 1880 es publica la primera topografia de la gruta per l'alemany F. Will. L'arxiduc Lluís Salvador descriu la part coneguda de la cova a la seva documentada i extensa obra (Habsburg-Lorena, 1884). Aquest erudit serà responsable d'organitzar



**Fig. 6.** Topografia de les coves del Drac. El color blau marí representa les galeries i sales subaquàtiques, el blau cel les àrees ocupades per llacs i el marró les zones terrestres. Els grans massissos estalagmítics es representen en negre. Modificat de Ginés i Ginés (1992) i de Clarke (1991).

**Fig. 6.** Topography of Coves del Drac. Deep-blue represents subaquatic chambers and passages, light-blue lakes, and brown terrestrial portions. Stalagmitic massifs appear in black. Modified from Ginés i Ginés (1992) and Clarke (1991).

les exploracions de l'espeleòleg francès E. A. Martel l'any 1896 que són duites a terme juntament amb Louis Armand, Pedro Bonet de los Herreros i Fernando Moragues. La recerca suposa el descobriment de grans sales localitzades més enllà d'un extens llac (llac Miramar o llac Martel), situat al final de la zona coneguda. Els anys 1990 i 1991, bussejadors gal·lesos del CCC se submergeixen a diversos llacs de la cavitat i descobriren més de 600 m de galeries subaquàtiques (Clarke, 1991; 1991-1992).

### Descripció de la cavitat

Presenta una successió de sales i galeries de desenvolupament aproximat de 2400 m (Fig. 6). A l'estructura planimètrica de les coves del Drac és possible individualitzar cinc unitats principals (Ginés i Ginés, 1992). Per una banda la cova Negra, la cova Blanca i la cova de Lluís Salvador representen la zona coneguda des d'antic; per altra banda, la cova dels Francesos i el llac Martel formen part primordial del recorregut turístic, essent el sector de la cavitat descobert per Martel a les seves exploracions de l'any 1896. Tal vegada l'aspecte que més cal destacar de la cavitat és la presència d'importants llacs que constitueixen un dels majors reclams turístics.

Les galeries subaquàtiques totalitzen més de 600 m de recorregut i es troben repartides a tres zones diferents. La situada a l'extrem oest de la cavitat (galeria dels Cocos) parteix del llac Martel, amb una amplada d'uns 5 m i una distància lineal d'uns 200 m. Es tracta d'una galeria que connecta successivament, a partir de la meitat del seu recorregut, amb tres sales circulars i cada vegada de major diàmetre. Les altres dues galeries sotaiguades es troben a l'extrem est: la galeria Negra (117 m lineals) i la galeria de les Delícies (137 m lineals) parteixen respectivament de la cova Negra i de

la cova Blanca.

La zona aèria de la cavitat presenta alguns trams de la paret amb tupins (*wall pockets*) i reduïts conductes irregulars.

Els processos de deposició de carbonats estan presents per tot arreu, conferint la bellesa que ha donat a les coves merescuda fama. Les galeries subaquàtiques del llac de les Delícies i del llac Martel (galeria dels Cocos) estan ornamentades de forma impressionant al sostre, parets i al terra i presenten abundants revestiments freàtics subactuals.

### Hidrologia

El dolç o ullal de cala Murta sembla que es tracta de la connexió amb la mar de la cavitat. L'any 1926 ja es documentava com a "*manantial de agua poco salada*" (Faura i Sans, 1926). Desemboca a la mar pel costat nord de la cala, sorgint importants volums d'aigua segons les condicions baromètriques del moment. La cavitat, de moderades dimensions, es troba al final obstruïda per arenes de platja.

### Espeleogènesi i estadi evolutiu

Les coves del Drac estan formades per una successió de sales juxtaposades i comunicades entre si de forma més bé aleatòria. Es tracta de voluminoses sales evolucionades a base d'esfondraments i reajustaments mecànics de les voltes, els quals han contribuït al desenvolupament volumètric de la cavitat i al seu creixement antigraavitacional desmantellant-se els buits primigenis originats per dissolució a la zona de mescla costanera. De fet, la pròpia entrada natural de la cavitat obeeix a l'enfonsament del sostre d'una sala subjacent. L'aparença actual de la cavitat queda també determinada per la intensitat i bellesa dels processos d'estalagmització (Ginés i Ginés, 1992).



## Arqueologia

Presenta un corredor ciclopi cobert situat a l'interior de la cavitat, prop de l'entrada natural. En una franja costanera d'uns 10 km, dels termes de Sant Llorenç i de Manacor, es coneixen 4 exemples de cavitats, únics casos documentats a Mallorca, amb construccions ciclòpies (cova des Talaiot de s'Illot, coves del Drac, cova Genovesa i cova des Moro). A tots aquests casos s'evidencia una gran inversió de treball que no es relaciona amb pràctiques habitacionals o funeràries i es pot plantejar el seu significat ideològic per a les comunitats de la zona durant la segona meitat del II mil·lenni cal BC (Ramis *et al.*, 2004). També s'han trobat restes de ceràmiques prehistòriques, romana i islàmica.

## Cova Genovesa o cova d'en Bessó (Manacor)

### Toponímia

La primera referència escrita de la cavitat la tenim gràcies al pare Cristòfol Veny (Veny, 1968) que narra la visita a la cova de Joan Aguiló.

### Situació geogràfica

Coordenades UTM: 527170 / 4375440 - 23  
La cavitat s'obri dins les calcàries del Miocè superior postorogènic de cala Anguila. Posseeix les figures de protecció de Lloc d'Importància Comunitària (LIC) i Bé d'Interès Cultural (BIC).

### Història de les exploracions

La part aèria de la cova va ésser topografiada per primera vegada l'any 1973 per membres del SCM. Els gal·lesos del CCC realitzen l'any 1988 la primera immersió a la cavitat (Ainley, 1988). Se submergeixen al llac d'entrada i volten, una seixantena de

metres cap a l'oest, però sense aconseguir sortir de la sala. L'any 2000 es va iniciar per part del GNM la continuació de l'exploració i la investigació interdisciplinària d'aquesta cavitat al llarg de 67 dies de busseig (Gràcia *et al.*, 2001a; 2001b).

### Descripció de la cavitat

La cova, a gran trets, se li pot assignar una direcció predominant NW-SE i un recorregut projectat total de 2447 m (1845 m subaquàtics, 100 m de llacs i cambres aquàtiques amb aire i 502 m terrestres, amb una fondària subaquàtica màxima de 22 m a les galeries Fondes). La distància lineal màxima des de la sala d'Entrada fins a la sala Final és de 617 m (102 m terrestres i 515 m subaquàtics). La diferència de cotes és de 45 m (des del punt més elevat, a +23 m, al més fondo a -22 m). El gruix de roca del sostre va des dels 1,5 m als més de 40 m en alguns punts (Fig. 7).

A 23 m sobre el nivell de la mar s'obri l'esfondrament de quasi 35 m de diàmetre que ha permès accedir a l'interior de la cavitat. Una espaiosa galeria descendent comunica amb un llac, a l'altre extrem de l'aigua, després d'una obstrucció de blocs i barreres estalagmítiques prossegueix una sala de total domini clàstic, que per les dues parts arriba al nivell freàtic. La zona W segueix sota l'aigua voltant parcialment aquesta sala. Pel costat E un pas molt estret entre blocs possibilita l'accés a la sala GNM, a partir d'ara en direcció predominant SE se succeeixen la galeria dels *Myotragus* i una sèrie de galeries i sales de dimensions i morfologies molt diverses, dues d'elles amb cambres d'aire a la part superior (sala de les *Bonellia viridis* i sala del Pou Negre). Una branca de la galeria dels *Myotragus* pren direcció NE i comunica amb la sala Esfondrada, que després d'haver realitzat





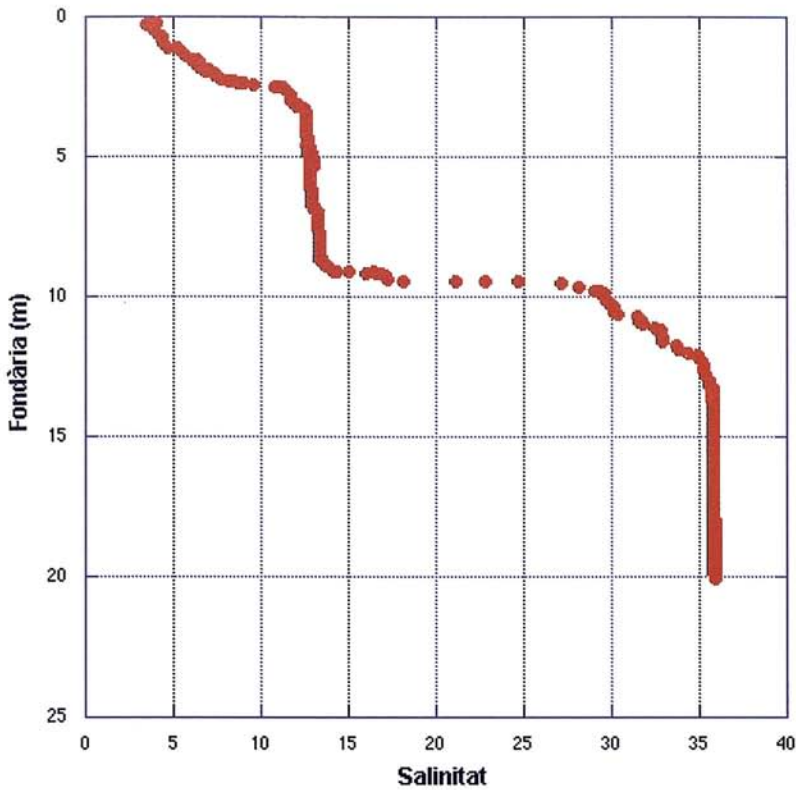


Fig. 8. Perfil de Salinitat (‰) de la cova Genovesa a on es presenten dues piconclines que separen dues masses d'aigua ben diferenciades, una entre els 3 m i els 9 m, i l'altra entre 13 m i el fons de la cavitat a 22 m.

Fig. 8. Water Salinity profile (‰) at Cova Genovesa, where 2 pycnoclines are clearly discerned separating 2 well-delimited water masses, one between 3-9 m depth, other between 13 m and the bottom of the cave at 22 m.

una desobstrucció comunica amb la zona més profunda (galeries Fondes).

Les morfologies presents que denoten dissolució en condicions freàtiques són les següents. Macroformes (d'ordre hectomètric a decamètric): les galeries freàtiques de control estructural (*phreatic networks*), les galeries freàtiques circulars (*tubular passages*) i les sales freàtiques circulars (*globular halls*); Mesoformes (d'ordre decamètric a mètric): els conductes iniciadors, els envans de dissolució (*rock spans*), les regates de corrosió (*corrosion notches*) i les facetes (*solution facets*); Microformes (d'ordre

mètric a centimètric): les morfologies espongiformes (*spongeworks*), les concavitats poc marcades (*subdued pockets*) i els arcs (*archs*), les cúpules de corrosió (*bellholes*) i els tupins de sostre (*ceiling pockets*) i de paret (*wall pockets*).

Els espeleotemes són abundants en algunes zones de la gruta no afectades per esfondraments o per l'acció de la corrosió que hagi fet desaparèixer les formacions. Algunes zones formen boscos d'estalactites, estalagmites i columnes. S'han observat espeleotemes freàtics a +2 m, 0 m, -13,1 m i -19,3 m.



**Fig. 9.** Cambra freàtica circular situada a uns 200 m de l'entrada de la cova Genovesa i a -10,5 m de fondària sota el nivell freàtic. S'han comptabilitzat un mínim de 12 exemplars de *Myotragus balearicus* que van morir *in situ* (Foto P. Gràcia).

*Fig. 9. Circular phreatic chamber at 200 m from the entrance at Cova Genovesa, 10,5 m below the phreatic level. A minimum of 12 specimens of the extinct goat Myotragus balearicus were found in this chamber (Photo P. Gràcia).*

## Hidrologia

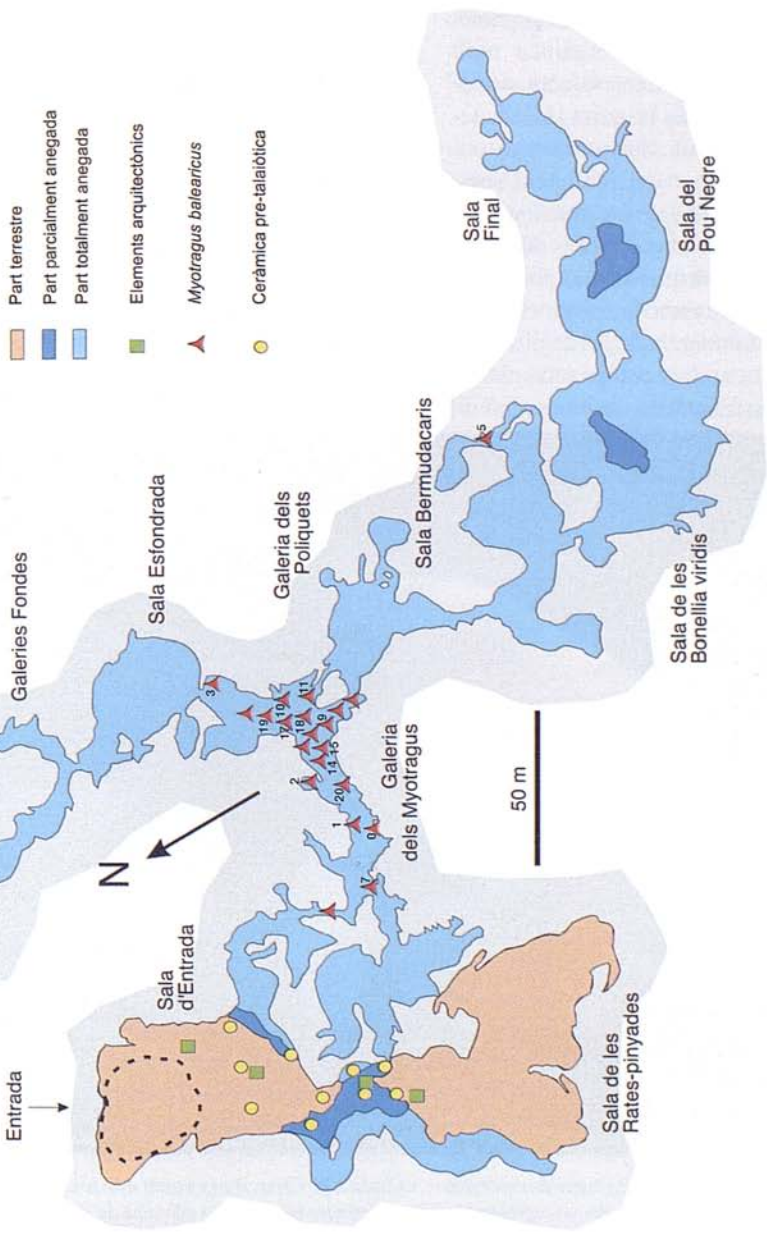
El règim tèrmic i de salinitat de les aigües ha estat estudiat mitjançant una sonda oceanogràfica (Gràcia *et al.*, 2003b). L'aigua superficial és ja d'entrada salabrosa (salinitat al voltant del 4 ‰), i ens trobem immediatament una picnoclina superficial desenvolupada entre 0 i 3,5 m, on l'aigua ateny els 13,5 ‰ de salinitat (Fig. 8). Per davall d'aquesta cota la salinitat de l'aigua es manté estable fins als 9 m de fondària. Aquesta capa d'aigua situada entre els 3,5 i els 9 m constitueix una de les dues masses d'aigua caracteritzables a la cavitat. Dels 9 m fins als 13 m es desenvolupa una segona

picnoclina, fins que l'aigua ateny salinitats pràcticament marines (36 ‰). Aquesta segona massa d'aigua ocupa la resta de la columna d'aigua, fins els 22 m de fondària màxima de la cavitat. S'ha detectat una distorsió important de la columna a la zona propera al pou negre, on el gruix de la capa superficial d'aigua dolça és apreciable. Això s'explica per la intensitat dels abocaments d'aigües residuals en l'esmentada sala. La sala Final es troba a poc més d'un centenar de metres de la mar, per davall de la platja de cala Anguila. La gruta sembla que segueix la direcció de drenatge de les aigües de cap a la mar.



COVA GENOVESA

- Part terrestre
- Part parcialment anegada
- Part totalment anegada
- Elements arquitectònics
- Myotragus balearicus*
- Ceràmica pre-talaiòtica



**Fig. 10.** Distribució dels exemplars de *Myotragus balearicus* a la cova Genovesa o den Bessó. Els fòssils es localitzen a tres zones de la cavitat i dues d'elles són indicadores de la presència d'altres entrades actualment impracticables. La major densitat es troba entre els 202 i 247 m des de l'entrada. El nombre mínim d'individus comptabilitzats a tota la cavitat és de 51.

**Fig. 10.** Distribution of *Myotragus balearicus* remains at Cova Genovesa (or den Bessó). Fossils were found in three zones of the cavity, two of them close to former entrances nowadays obstructed. The higher density of remains were found between 202 and 247 m from the entrance. The minimum number of specimens found in the cave was 51.



### Sediments

L'estudi dels sediments constata l'efecte de la contaminació fecal de les aigües (Gràcia *et al.*, 2003b). Es dona un gradient de percentatge de matèria orgànica molt marcat entre les sales fortament contaminades de cap a la resta de la gruta. Els materials predominantment carbonatats diposats en la part superior del rebliment sedimentari són de colors grocs a grocs vermells (amb calcita i dolomita). Els de major presència silícia es disposen a la part inferior i són de colors vermells a vermells foscos (amb quars i minerals de les argiles). La dissolució preferent dels components de les calcarenites ocasionaria la desintegració de

grans de calcita que caurien al terra i s'acumularien formant la capa superior de color clar, i en conseqüència es poden considerar autòctons. La capa inferior, de color vermell, i de major potència, sobre la qual estan dipositats els vertebrats quaternaris, podria correspondre a l'entrada de materials al·lòctons (explicaria la quantitat de quars present) i en part al residu de descalcificació de la capa superior en continuar el procés de dissolució al terra de sales i galeries.

### Espeleogènesi i estadi evolutiu

S'han determinat dos horitzons principals d'espeleogènesi o formació de buits a la cavitat, un d'ells entre -8,8 i -10,2 m i l'altre



**Fig. 11.** Nova espècie de gamba del gènere *Bermudacaris*, trobada a les capes d'aigua amb més salinitat de la cova Genovesa. És el primer cop que es troba un representant d'aquest gènere fora de l'illa atlàntica de Bermuda. La lleugera coloració de l'animal retratat és un artefacte degut a la seva preservació en etanol; en vida, l'animal és totalment despigmentat.

*Fig. 11. A new shrimp of the genus Bermudacaris found at the deeper layers of raised salinity of cova Genovesa. The genus was thus far known only from the island of Bermuda (NW Atlantic).*

entre -17,5 i -21 m. La cavitat presenta algunes galeries poc modificades respecte a l'horitzó d'inici dels processos corrosius i altres galeries molt evolucionades, a on predominen els esfondraments, formant acumulacions caòtiques de blocs i d'espeleotemes caiguts, molt sovint recoberts per formacions estalagmítiques.

### Paleontologia

A la part submergida s'han trobat nombroses restes de *Myotragus balearicus*, la presència dels quals ens serveix per esbrinar el temps en què, almenys de llavors ençà, la cavitat ha romàs oberta a l'exterior (Fig. 9). També en ocasions ens informa de l'existència d'altres entrades actualment cegades (Trias et al., 2001). En sí mateixos són una evidència més dels canvis climàtics, ja que la seva troballa ens indica que durant pulsacions fredes del Plistocè les galeries romanien seques, al menys parcialment, la qual cosa permetia l'accés terrestre del caprí endèmic a zones internes actualment inundades.

S'ha fet l'estudi de la distribució espacial d'un mínim de 40 exemplars del caprí en diferents llocs de la cavitat, alguns situats a punts molts distants de l'entrada (Fig. 10). Els primers exemplars que s'han localitzat es troben a la galeria dels *Myotragus*, entre 60 i 70 m d'iniciat el busseig (entre 162 i 172 m a l'interior de la cavitat si se comptabilitza la part actualment terrestre). La major densitat es troba entre els 100 i 145 m de galeria subaquàtica (202 i 247 m totals), principalment a l'interior d'una cambra freàtica circular de poca alçària, situada a un lateral de la galeria dels *Myotragus*. La disposició dels exemplars indica que varen morir *in situ* i no per un corrent d'aigua que transportés els ossos de cap a l'interior. Un altre dels punts importants és la troballa de diversos cranis amb les banyes en forma de "V" invertida i que havia estat interpretada

fins fa poc com a prova de domesticació (Waldren, 1982); però desmentida recentment per Bover i Ramis (2005), ja que correspon a un comportament osteofàgic.

### Fauna aquàtica

Els organismes sèssils filtradors o detritívors presents a la cova pertanyen principalment a tres grups d'animals: tunicats, poliquets tubícoles (*Protula* sp.) i equiurids (*Bonellia viridis*). Tots ells es localitzen fixats als sostres, parets, espeleotemes, pedres i en alguns casos dins el sediment del fons de moltes galeries i sales. L'ur distribució a la cova indica zones amb un cert hidrodinamisme. La distribució d'aquests organismes està condicionada especialment per l'abocament d'aigües fecals per part de pous negres en alguns sectors de la cova que escampa restes orgànics produint una zona d'influència.

Referent a la fauna carcinològica s'han censat un total de 20 espècies de crustacis. Viuen a la cova per una banda, un grup d'espècies genuïnament cavernícoles, cegues i despigmentades, o amb els ulls molt reduïts, què no s'aventuren mai a l'exterior. Aquest grup l'integren el decàpode *Bermudacaris* n.sp. (Fig. 11), l'isòpode *Typhlocirolana moraguesi*, els amfípodes *Salentinella angelieri* i *Metacrangonyx longipes*, el termosbenaci *Tethysbaena scabra*, i els copèpodes *Exumella mediterranea*, *Stygocyclopia balearica*, *Stephos margalefi*, *Troglocyclopina balearica*, *Halicyclops troglodytes* i *Diacyclops* cf. *clandestinus*. Cap d'elles, amb l'excepció d'*Exumella mediterranea*, ateny a la cova densitats poblacionals importants, aquesta darrera concentrant-se a les zones on vessen els pous negres, o molt influenciades per aquests.

Per altra banda, trobam un grup d'espècies d'hàbits obscurícoles, si bé amb ulls desenvolupats i cos més o menys pigmentat,



que es refugien de dia a les coves i esclerxes marines i que poden sortir de nit cap a aigües obertes per alimentar-se. Es tracta del decàpode *Palaemon serratus*, el leptostraci *Nebalia* sp., el misidaci *Hemimysis* sp., i els copèpodes *Oithona* sp. i *Cyclopina* sp. Tant *Nebalia* com *Hemimysis* atenyen a la cavitat densitats poblacionals elevadíssimes, concentrant-se a les sales més eutrofitzades, on vessen els pous negres. Almenys 7 de les 23 espècies d'invertebrats registrades fins ara a la cova Genovesa són endèmiques de les Balears. Dues d'elles, a més, són espècies noves per a la ciència: *Diacyclops* cf. *clandestinus* i *Bermudacaris* n. sp.

### Arqueologia

La ceràmica prehistòrica presenta uns tipus ceràmics característics de les navetes d'habitació (segona meitat del II mil·lenni cal BC i els dos primers segles del I mil·lenni cal BC). Han estat documentades una sèrie d'estructures constructives: una rampa empedrada és la via que descendeix de manera suau des de l'entrada de la cova fins al llac; un mur situat ja a l'interior de la cavitat, construït amb tècnica ciclòpia i una passera submergida. Aquesta es tracta d'una alineació de grans blocs que connecta les dues parts de sòl emergit que limiten el llac de la cova. Actualment la passera es troba submergida aproximadament 1 m. Pensam que les tasques de construcció del pas es varen fer en estar el nivell de l'aigua a menor cota que l'actual, possiblement entre -1 i -1,5 m respecte a l'actual nivell del llac. De fet, als blocs es pot seguir, igual que a la paret que conté el llac, una marca de nivell de l'aigua que indica que la passera es trobava emergida uns 20 cm a algun moment del passat. Una altra raó de pes és que segons estudis del nivell de la mar al Mediterrani occidental al llarg de l'Holocè, sembla que a l'època en la qual se situen els

elements arqueològics el nivell de la mar estaria lleugerament per sota de l'actual. Pensam que la cavitat tindria caràcter ritual. La presència musulmana és testimoniada per alguns materials ceràmics.

## Coves des Pont-Pirata (Manacor)

### Toponímia

La cova des Pont rep aquest nom de la construcció feta a la vora de la boca per eliminar part del desnivell fins al con clàstic que ocupa el fons de l'abisament d'entrada. La cita més antiga és d'Estelrich (1897) que indica que a la seva època ja no quedava memòria de qui l'havia fet. El topònim de les coves del Pirata al·ludeix a una llegenda que fa referència a un pirata ferit que trobà refugi en aquesta cova, tot esperant de poder-se reunir amb els seus companys.

### Situació geogràfica

Coves des Pirata. Coordenades UTM: 525880 / 4373310 - 32 Cova des Pont. Coordenades UTM: 525590 / 4373360 - 33. Es troben al municipi de Manacor, a la possessió de Can Frasquet. Estan situades dins Lloc d'Importància Comunitària (LIC) i d'Àrea Natural d'Especial Interès "cales de Manacor" (ANEI). Les cavitats posseeixen les figures de protecció de Lloc d'Importància Comunitària (LIC) i Bé d'Interès Cultural (BIC).

### Història de les exploracions i topografia de la cavitat

Martel (1903) efectuà l'any 1901 un croquis topogràfic esquemàtic de les coves des Pirata i de la cova des Pont. El grup EST va realitzar la topografia de les coves des Pirata l'any 1971 (Ginés i Ginés, 1976). Membres de l'ECG de Barcelona, l'any 1976, descobriren i topografiaren a la mateixa cavitat

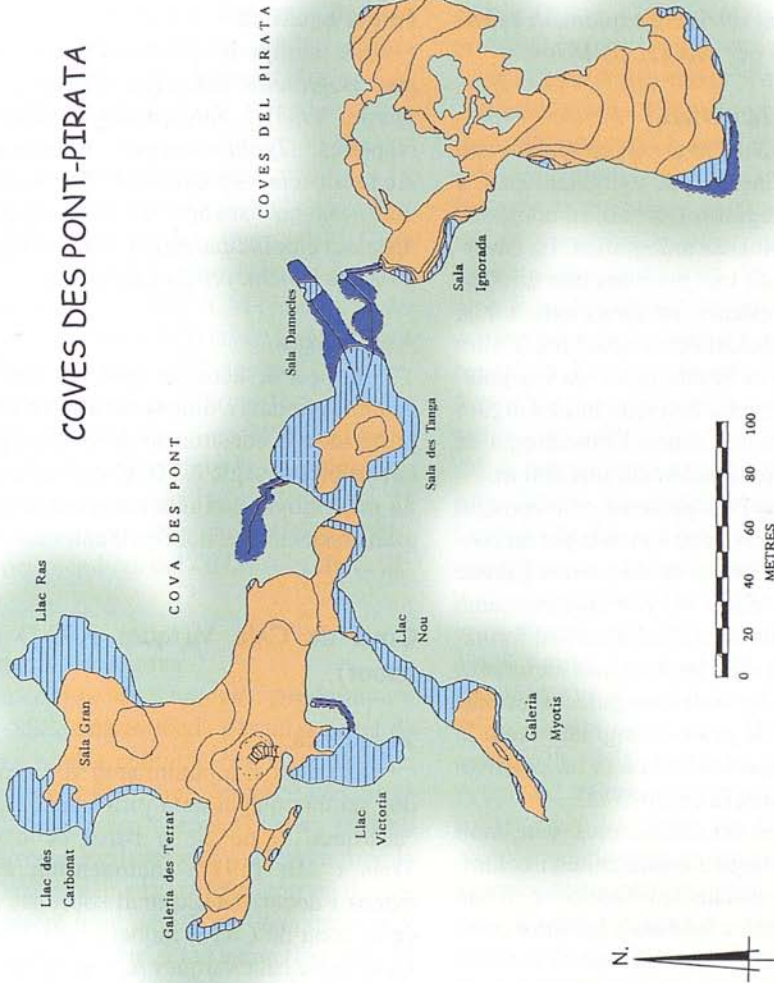


Fig. 12. Topografia de les coves des Pont-Pirata. El color blau marí representa les galeries i sales subaquàtiques, el blau cel les àrees ocupades per llacs i el marró les zones terrestres. Modified de Trias (1977), Ginés i Ginés (1976) i de Clarke (1990-91).

Fig. 12. Topography of Coves des Pont-Pirata. Deep-blue represents subaquatic chambers and passages, light-blue lakes, and brown terrestrial portions. Modified from Trias (1977), Ginés i Ginés (1992) and Clarke (1991).



una nova zona: la sala Ignorada (Garcia *et al.*, 1986). La topografia detallada de la cova des Pont va esser realitzada per l'SCM (Trias i Mir, 1977). Exploracions subaquàtiques han permès, mitjançant el sondeig d'una estreta galeria inundada (Fig. 12), comunicar aquesta cova amb les properes coves des Pirata (Clarke, 1990-91). Actualment està en fase d'exploració i revisió topogràfica per part del GNM.

### Descripció de la cavitat

Les coves del Pirata són en realitat una gran sala, escindida per esfondraments, i massissos estalagmítics; tot això li confereix una gran complexitat topogràfica. La caverna es divideix en tres porcions ben diferenciades; dues s'estenen en direccions N i S, amb pendents descendents oposades. L'altre sector, al NW, és la sala Ignorada i la galeria d'accés. Presenta diversos llacs d'aigües salobroses a les tres zones. El recorregut de la cova és d'aproximadament uns 800 m.

La cova des Pont presenta un recorregut de 1.075 m. La cova està formada per un conjunt de galeries i sales de direccions gairebé perpendiculars entre sí, comunicades amb l'exterior per una boca d'enfonsament formada a la intersecció de les dues més importants NW-SE. Hi ha sis zones anegades principals a més d'altres de petites marginals. Amb la connexió subaquàtica s'assoleix un desenvolupament que supera els 2025 m.

Les formes reconstructores són molt abundants, destaquen estalagmites i columnes, i petites estalactites fistuloses. S'han datat espeleotemes freàtics a les dues cavitats a la cota + 2,1 m corresponents al darrer interglacial.

### Espeleogènesi i estadi evolutiu

Els fenòmens d'esfondrament i litogènics han determinat la morfologia de totes les parts que la constitueixen, amb grans

acumulacions de blocs i bon desenvolupament tridimensional. Només s'ha d'afegir que l'evolució clàstica s'ha fet per unitats independents i de manera desigual. Els processos de solifluxió són molt espectaculars i superen en alguns casos els 6 m de desplaçament (Ginés i Ginés, 1976).

### Fauna aquàtica

Els amfípodes *Metacrangonyx longipes*, *Bogidiella balearica* (Dancau, 1973; Jaume, 1993) i *Salentinella angelieri*; els isòpodes *Typhlocirolana moraguesi* i *Anaphiloscia simoni*; el termosbenaci *Tethysbaena scabra* i els copèpodes *Troglocyclopina balearica*, *Halicyclops troglodytes* i *Metacyclops subdolos*.

### Arqueologia

Si podem acceptar que els materials ceràmics trobats a dins la cova són d'entrada posterior a la construcció del pont, el podríem atribuir al segle XVII, d'on data la troballa més antiga: una olla amagada entre uns grans blocs al peu del con d'entrada.

### Cova de Cala Varques A-C-D (Manacor)

#### Toponímia

Es grafia el topònim amb ve baixa perquè sembla que el nom prové del calçat dit "avarques", i no de la barca de navegar. Trias i Mir (1977) inclouen un acurat, extens i documentat treball sobre les coves de la zona de Can Frasquet i cala Varques. La cova de cala Varques A, segons informacions de n'Antoni Pasqual, l'anomenaven cova des Xuetes, ja que antigament aquest col·lectiu, per raons de segregació racial prenia els banys a cala Varques i pernoctava dins la cavitat. No així la gent de Manacor que es banyaven a Portocristo.

### Situació geogràfica

Coordenades UTM cova A: 525550 / 4372450 - 2  
 Coordenades UTM cova C: 525575 / 4372390 - 5  
 Coordenades UTM cova D: 525650 / 4372300 - 0 m

Es troben al municipi de Manacor, a la possessió de Can Frasquet. Les boques s'ubiquen al costat S de la cala que dona nom a les coves. Estan situades dins zona de Lloc d'Importància Comunitària (LIC) i d'Àrea Natural d'Especial Interès "cales de Manacor" (ANEI).

### Història de les exploracions

La planimetria de la cova C es va efectuar l'any 1972 per part del Grup Espeleològic EST; la cova A va ésser topografiada l'any 1977 per SCM i la cova D, no coneguda al treball de Trias i Mir (1977), es va topografiar l'any 1992 per part de la secció espeleològica del Grup Excursionista d'Alaró. La feina d'exploració subaquàtica, les tasques de topografia i la documentació fotogràfica es van realitzar al llarg de 11 dies d'immersions dels anys 1997, 1999 i 2000 per membres del GNM (Gràcia et al., 2000).

### Descripció de la cova

La cova, de direcció predominant NNW-SSE, està formada per un conjunt de galeries i sales comunicades entre sí, amb tres entrades terrestres (anomenades cova des Xuetes o cova A, cova C i cova D) amb les darreres exploracions subaquàtiques la poligonal projectada arriba a tenir un desenvolupament total de 591 m; dels quals 339 m són aeris i 252 m sota l'aigua (Fig. 13). El desnivell total de la cavitat és de 28 m (la fondària màxima sota l'aigua és de 18 m, mentre la cota positiva màxima és de 10 m).

La cova A està formada per una galeria de 32 m de llarg per uns 2 m d'alçària, que

continua, després de superar un pas estret, per una sala de 40 x 30 m, de pis molt accidentat pels enderrocs, que li dona una gran complicació topogràfica. Els costats SW i SE de la sala estan ocupats per llacs d'aigua salabrosa.

La cova C està constituïda per una única sala de 16 x 18 m, de pis descendent fins arribar al llac. El pendent de fang i pedres prossegueix sota les aigües dels llacs; aquí la cavitat es perllonga cap al NW, passant entre columnes i altres formacions, per incrementar-se el volum; a l'E davalla per entre colades estalagmítiques fins assolir els -16 m. Després de prosseguir entre algunes columnes de bones dimensions connecta als 30 m lineals al llac de la cova des Xuetes. De la cova C, si ens dirigim en direcció S, podem continuar per una estretor generada per l'esbucament d'una antiga galeria, amb un rost format de blocs i formacions caigudes, que per poc tanquen el pas. Superada l'obstrucció, la cavitat torna a agafar volum per, després de 20 m, sortir a la cambra dels Lladres, de 34 x 22 m aeris (40 x 34 m comptant els marges subaquàtics). Si es continua recorrent les parets de la sala, es volta l'espai aeri fins que s'arriba a una estretor entre blocs caiguts, que més endavant surt a un llac allargassat de la cova D.

L'entrada de la cova D es troba a un entrant de cala Varques, anomenat cala Petita. El règim de corrents que afecten aquest racó determina l'accés a la cavitat. Així, si predomina el procés erosiu, cala Varques Petita presenta poca o gens acumulació d'arena i la cova és visible; per contra en el cas de dominar la sedimentació, la seva boca resta tancada per una platja d'arena. Es tracta d'una galeria de 32 m de llarg que comunica amb una sala de 45 x 34 m.

Hi ha mostres de processos corrosius recents que afecten diferents llocs inundats.

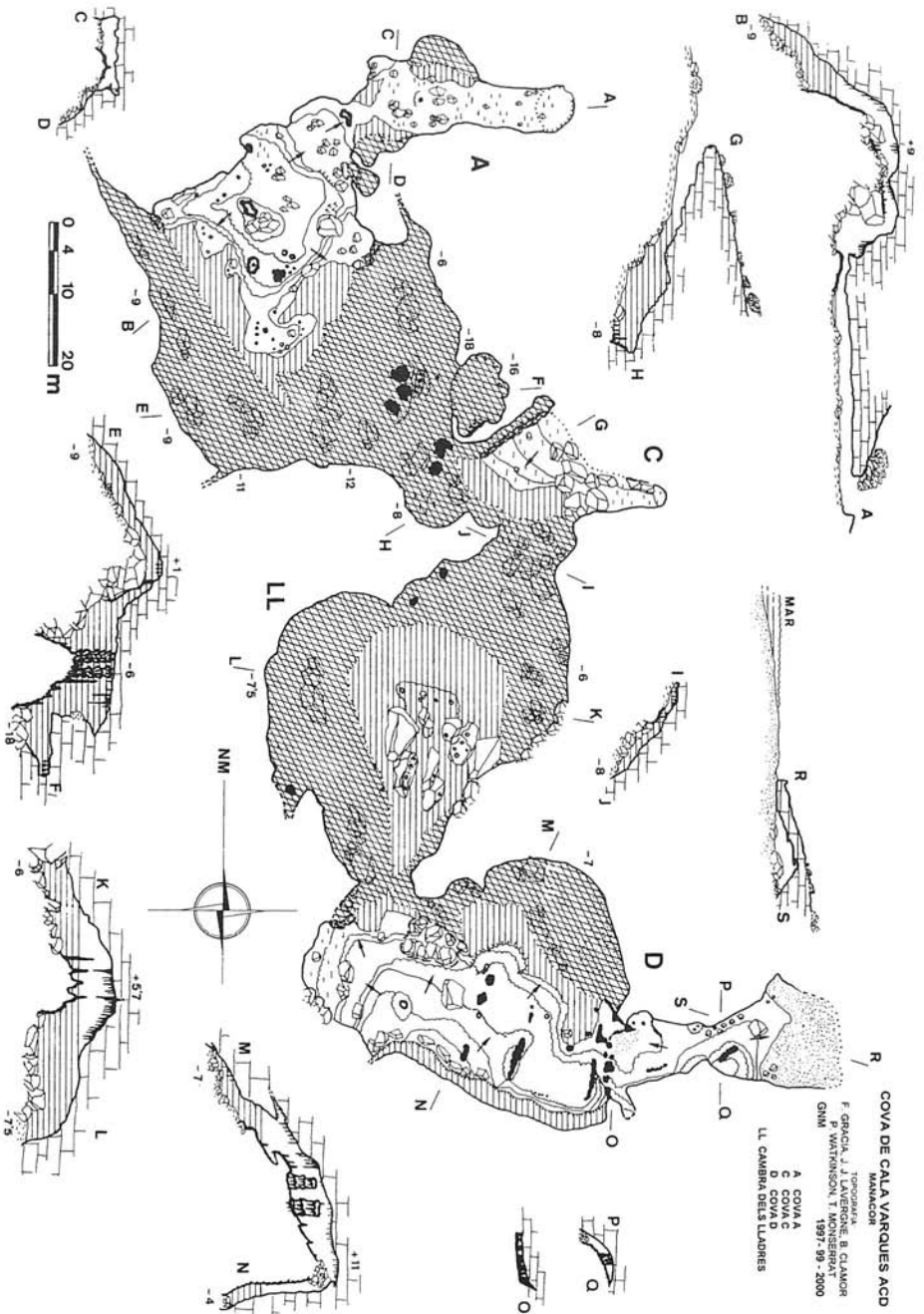


Fig. 13. Topografia de la cova de Cala Varques ACD.  
Fig. 13. Topography of Cova de Cala Varques ACD.

S'han localitzat espeleotemes freàtics a -15,3 m.

### Espeleogènesi i estadi evolutiu

Els mecanismes d'esfondrament han emmascarat els buits primigenis; les concrecions formades posteriorment, algunes d'elles també trencades i basculades, han contribuït activament a l'ocultació (Ginés, 1995a). El creixement tridimensional de la cova i l'erosió produïda per la mar ha originat l'obertura a l'exterior de la cavitat per tres llocs diferents. Els processos sedimentaris que temporalment es produeixen a Cala Varques Petita ens mostren un fenomen actiu extrapolable al sofert en el passat per moltes cavitats litorals que es troben totalment o parcial envaïdes per platges, dunes fòssils i altres sediments marins (Cuerda, 1975; Gràcia et al., 1997; 1998a; Gràcia i Vicens, 1998).

### Fauna aquàtica

La cova de Cala Varques A, va ésser citada per Ginés i Ginés (1977) com a localitat representativa de *Typhlocirolana moraguesi*.

## Cova de Cala Varques B

### Situació geogràfica

Coordenades UTM: 525500 / 4372500 - 6

Està situada dins zona de Lloc d'Importància Comunitària (LIC) i d'Àrea Natural d'Especial Interès "cales de Manacor" (ANEI).

### Història de les exploracions

La part terrestre de la cavitat va ser topografiada l'any 1970 per part de l'SCM i publicada per Trias i Mir (1977). El GNM va realitzar l'exploració subaquàtica i els treballs de documentació de la cavitat al

llarg de 34 dies de busseig des de l'any 1997 fins al 2000 (Gràcia et al., 2000).

### Descripció de la cavitat

La cova segueix una direcció predominant NE-SW, tret de la galeria dels Aliens que és NW-SE (Fig. 15). El recorregut projectat total de la cova és de 1.221 m (1.127 m subaquàtics i 94 m aeris). El sistema principal (galeria de les Tortugues - galeria Principal - galeria dels Aliens) d'un extrem a l'altre té una llargària de 322 m. El desnivell global de la cova és de 36,5 m (del punt més alt, a +6 m, al més baix a -30,5 m). La potència màxima de roca situada sobre les galeries és de 40 m.

La boca s'obri a uns 6 m snm i permet accedir a una galeria terrestre de 74 m amb les seves cotes més baixes ocupades per les aigües freàtiques al llarg de tot el seu recorregut. La sala d'Entrada forma part de la galeria Principal (subaquàtica) ja que és l'esbucament d'un dels costats que sobresurt per defora de l'aigua. La galeria de les Tortugues presenta dos nivells superposats de galeries que s'uneixen en bona part del recorregut. Les galeries Laberíntiques tenen la mateixa direcció predominant que la galeria Principal i en alguns llocs formen amb ella fins a cinc galeries paral·leles, d'amplària i alçària molt variable. Després de recórrer 57 m de la galeria Principal, en un revolt, comença la galeria dels Aliens de 120 m de longitud en direcció NW, tot el tram de la galeria es troba just per sota del torrent de Cala Varques. Al final de la galeria Principal, un laminador permet accedir a una cambra d'uns 30 x 8 m, amb la part terminal que es va fent estreta i quan sembla que es tanca s'obre al terra un passatge vertical (l'Esfínter) que condueix a la sala Fonda. Es tracta d'una gran sala de dimensions màximes 68 x 32 m, que es troba a un nivell inferior al de la resta de la cavitat, i assoleix els -30,5 m de fondària, valor





**Fig. 14.** Avanç per galeries poc evolucionades de la cova de Cala Varques B (Foto O. Espinasa).  
*Fig. 14. Speleo-diver progressing at Cova de Cala Varques B (Photo O. Espinasa).*

màxim per a les coves situades a les calca-renites tortonianes de Mallorca. La sala es troba a la part final de la platja, per davall de la torrentera.

Les galeries Laberíntiques (es tracta de galeries freàtiques amb control estructural) són la zona de la cavitat on s'aprecien més bé les morfologies de corrosió que han afectat les parets, de forma que comuniquen algunes de les galeries entre sí, bé directament o per forats impenetrables (amb la presència d'abundants envans de dissolució). La galeria dels Aliens i la galeria de les Tortugues semblen poc afectades per episodis d'esfondrament (galeries freàtiques de control estructural); es veuen conductes iniciadors i cúpules de corrosió. A la galeria de

les Tortugues es troben galeries freàtiques superposades i interconnectades en alguns trams.

Els espeleotemes més abundants són els de degoteig (estalactites, estalagmites i columnes), així com els de flux (colades pavimentàries i parietals), mentre són gairebé absents els de percolació. També hi ha estalagmites còniques formades per l'acumulació de làmines de calcita flotant. Alguns sectors de la cavitat presenten abundants indicis d'haver estat recoberts d'espeleotemes que han estat dissolts per l'aigua. En aquesta cavitat s'han observat sobrecreixements freàtics corresponen a les cotes següents: +1,4; 0; -13,5; -14; -16,5 i -21 m.

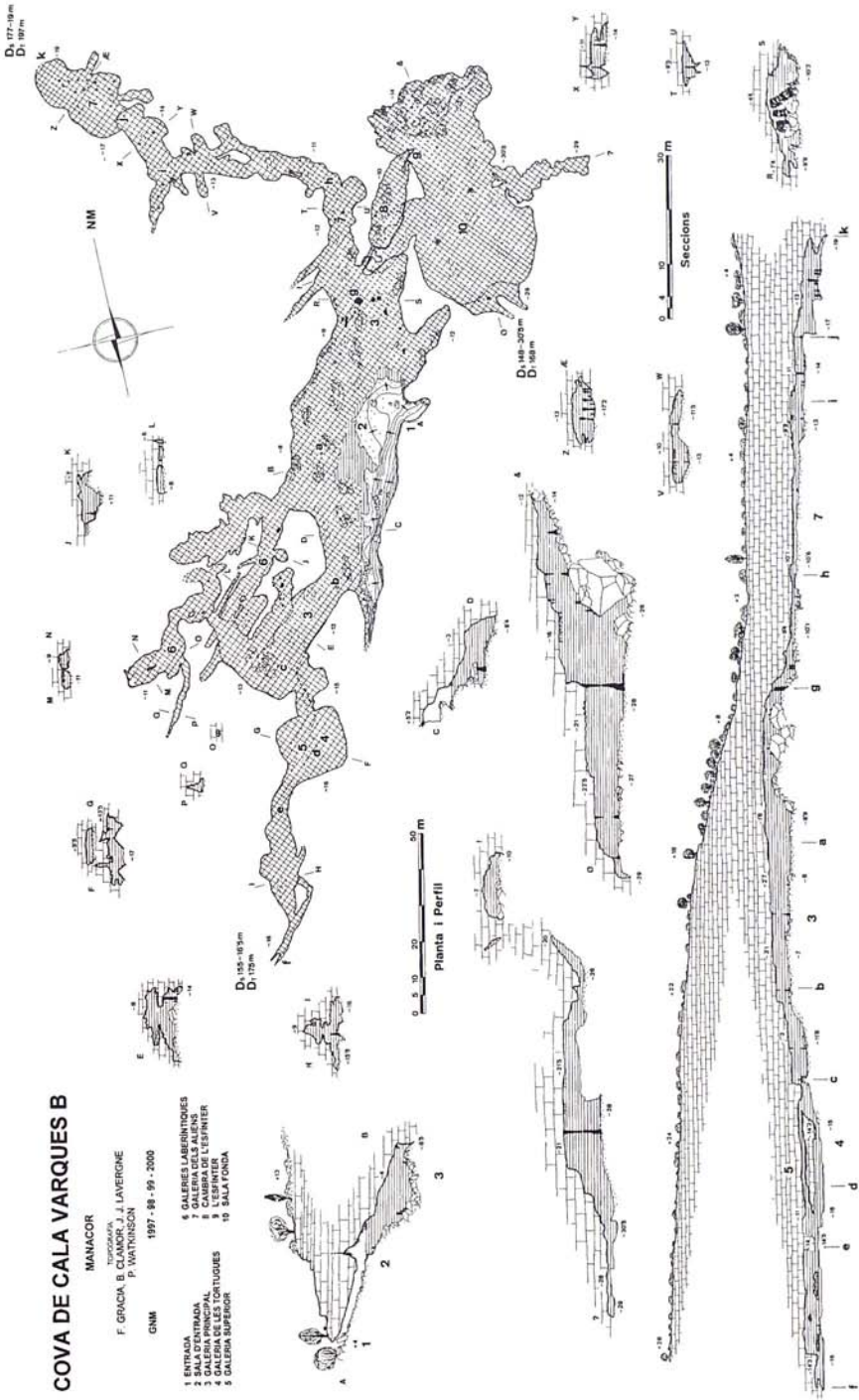


Fig. 15. Topografia de la cova de Cala Varques B.  
 Fig. 15. Topography of Cova de Cala Varques B



### **Espeleogènesi i estadi evolutiu**

És de remarcar la coexistència de zones amb galeries poc o gens evolucionades (galeries freàtiques, Fig. 14) i d'altres on predominen totalment les morfologies d'esfondrament. Són ben visibles a cala Varques B galeries disposades a distints nivells, amb connexions de vegades molt angostes (cambra de l'Esfinter - sala Fonda). El gran desnivell que presenta la sala Fonda en contraposició a la resta de la cavitat, fa pensar que tal vegada es tracti d'una unitat generada de forma independent i que s'hagi fusionat posteriorment.

### **Paleontologia**

Del Miocè s'han trobat dents del tauró *Odontaspis cuspidata* (det. D. Vicens) i de tortuga d'una espècie encara no identificada. El material fòssil quaternari recol·lectat és una mandíbula esquerra juvenívola de *Myotragus balearicus* (MNIB 68321, det. P. Bover) trobada a la galeria de les Tortugues, a uns 100 m a l'interior i a 15 m de fondària sota l'aigua.

### **Cova de sa Gleda (Manacor)**

#### **Situació geogràfica i geològica**

Coordenades UTM: 523805 / 4372315 - 36  
Excavada a les calcàries del Miocè superior està situada a la possessió de Son Josep Nou, a 36 m sobre el nivell del mar i a una distància aproximada del litoral de 1,5 km. Els nivells de la Unitat d'Esculls del Miocè superior, formada per calcarenites bioclàstiques amb acumulació de restes de mol·luscs són els materials més carstificables; per damunt es troba el nivell del complex de manglars, que presenta una potència aproximada de 6-7 m, i sobre aquest es disposa la unitat Oolítica, ambdós del Complex Terminal (Calcàries de Santanyi), més uni-

forme i superior als 10 m de potència. Aquesta capa superior forma els primers metres de l'esfondrament que ha permès l'obertura a l'exterior de la xarxa subterrània (Fornós *et al.*, 1989).

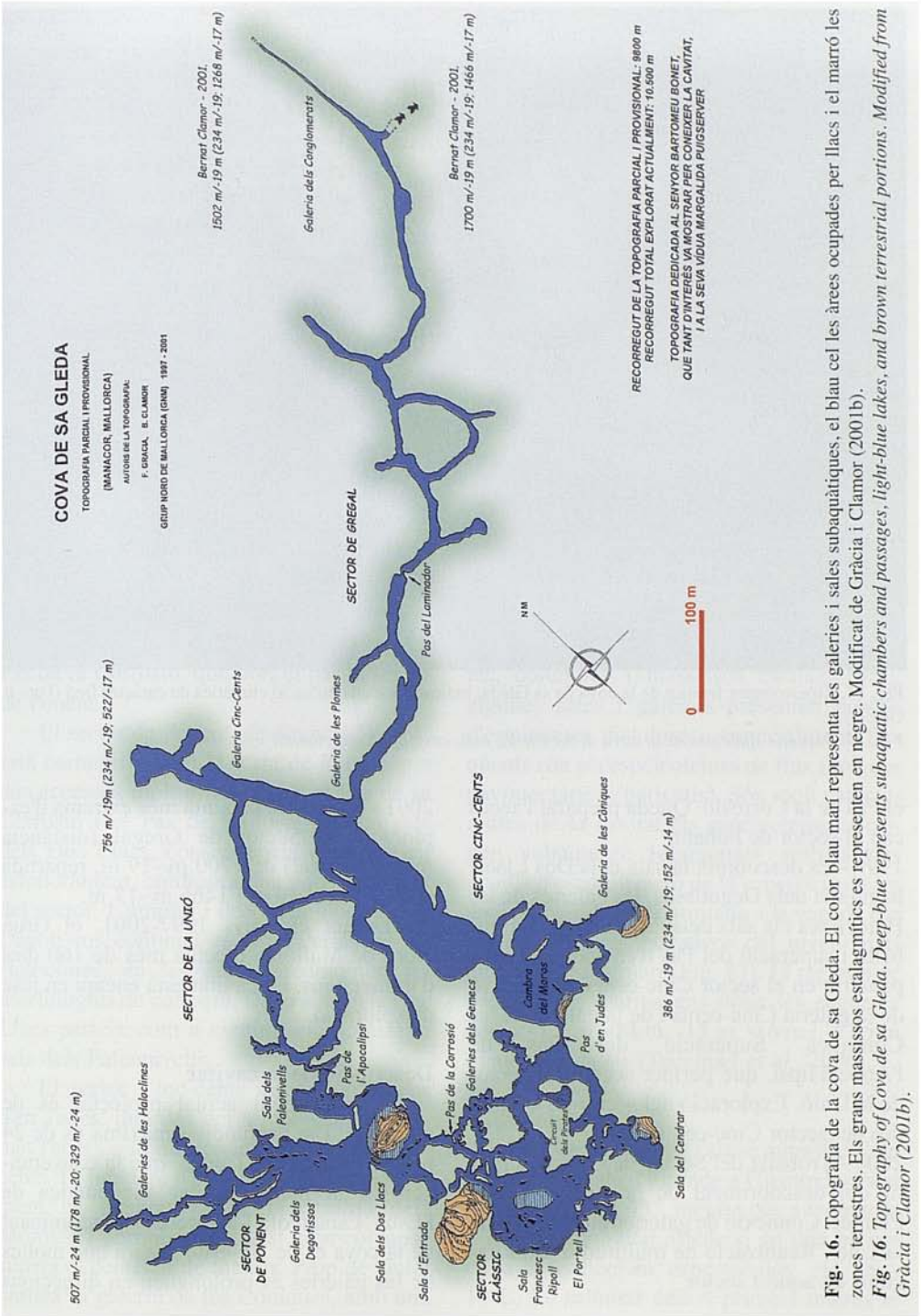
Està situada dins zona d'Àrea Rural d'Interès Paisatgístic (ARIP). La cavitat posseeix la figura de protecció de Lloc d'Importància Comunitària (LIC).

#### **Història de les exploracions i topografia de la cavitat**

1974 - S'efectua la topografia de la sala d'Entrada per l'SCM l'any 1974 (Fornós *et al.*, 1989). En aquesta primera fase, el mallorquí Francesc Ripoll, també de l'SCM, realitzà la primera immersió al llac d'entrada, descobrint la sala que porta el seu nom.  
1990-1996 - A la dècada dels 90 la sala Francesc Ripoll es explorada en diverses ocasions per diferents grups procedents de Gran Bretanya (Clarke, 1991-92), sense aconseguir trobar continuacions importants. L'espeleobussejador gal·lès Martyn Farr elaborà un croquis de lo conegut fins a la data (uns 250 m de recorregut subaquàtic) (Farr, 1997-98).

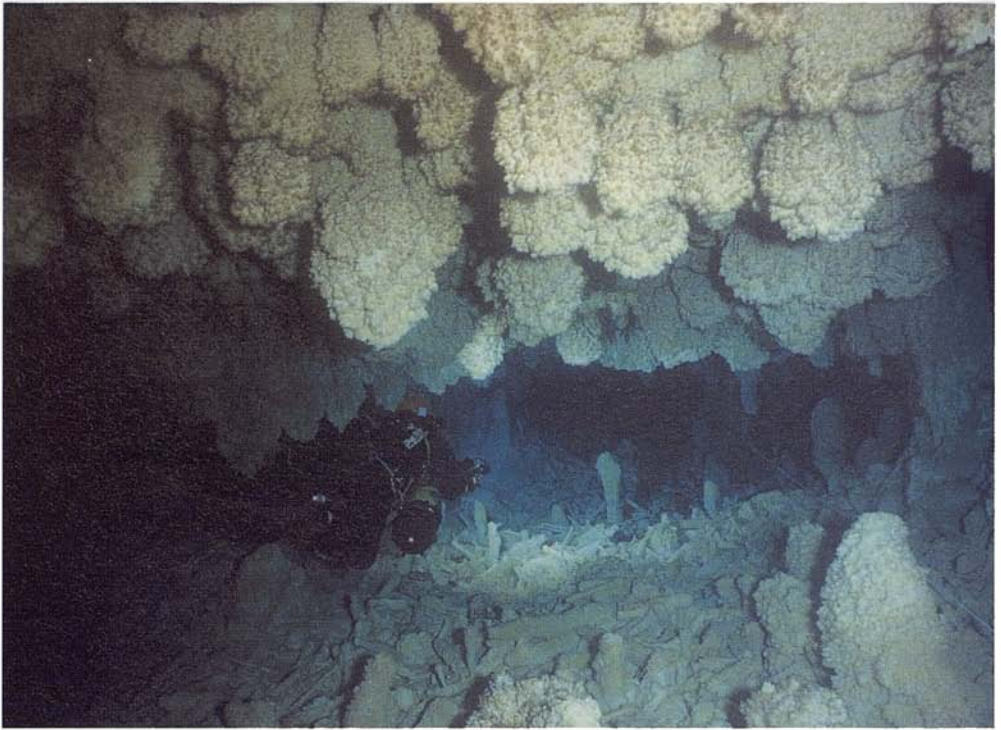
1997 - A partir de finals de 1997 s'inicien els treballs d'exploració i topografia de les zones submergides per part del GNM. Al final de la sala es descobreix un pas, que se instal·la parcialment, deixant-lo per comeses posteriors. Mentre es preparava l'atac a la zona, la cova es visitada per escafandristes gal·lesos que prossegueixen a partir de les guies mallorquines i continuen uns 250 m per una galeria que, fent un gran rodeig (Circuit dels Pirates), es dirigeix de tornada de cap a la sala Francesc Ripoll.

1998 - El GNM explora algunes galeries laterals del Circuit dels Pirates (com la Sala del Cendrar); també es descobreixen les galeries dels Gemecs i s'aconsegueix forçar



**Fig. 16.** Topografia de la cova de sa Gleda. El color blau marí representa les galeries i sales subaquàtiques, el blau cel les àrees ocupades per llacs i el marró les zones terrestres. Els grans massissos estalagmítics es representen en negre. Modificat de Gràcia i Clamor (2001b).  
**Fig. 16.** Topography of Cova de sa Gleda. Deep-blue represents subaquatic chambers and passages, light-blue lakes, and brown terrestrial portions. Modified from Gràcia i Clamor (2001b).





**Fig. 17.** Espeleotemes freàtics de la cova de sa Gleda, indicadors d'una pulsació climàtica de caràcter fred (Foto P. Gracia).

*Fig. 17. Phreatic speleothems at cova de sa Gleda, indicative of a cool climatic episode.*

el Pas de la Corrosió. Queda preparat l'accés cap al sector de Ponent.

1999 - Es descobreix la sala dels Dos Llacs, la galeria dels Degotissos, les galeries de les Haloclines i la sala dels Paleonivells. La troballa i superació del Pas d'en Judes, permet penetrar en el sector Cinc-cents; exploració de la galeria Cinc-cents i de la galeria de les Còniques. Superació del Pas de l'Apocal·lipsi, que permet accedir al sector de la Unió. Exploració del sector de la Unió des del sector Cinc-cents.

2000 - Troballa del Sector de Gregal, a partir del descobriment de la galeria de les Plomes. Connexió de galeries en el sector de la Unió. Realització de multitud d'exploracions en aquest sector.

2001 - S'assoleix la punta més extrema d'exploració al Sector de Gregal (distància màxima lineal) de 1700 m/-19 m, repartida entre 234 m/-19 m i 1466 m/-17 m.

Durant els anys 1997-2001, el Grup Nord de Mallorca efectuà més de 160 dies d'immersions. La cavitat està encara en fase d'exploració.

#### **Descripció de la cavitat**

El recorregut actual projectat és de 10.500 m i la profunditat màxima és de 24 m sota el nivell de l'aigua, que la converteixen en la major cavitat subaquàtica de l'Estat Espanyol. La direcció predominant de la cova és de NE-SW, encara que moltes de les galeries es prolonguen en direccions

diferents (Fig. 16). La cavitat s'obri a l'exterior, a uns 36 m sobre el nivell de la mar, per un espectacular abisament que comunica amb una sala de 72 x 44 m de dimensions màximes, amb la zona N ocupada per un llac. La cavitat es compon d'un conjunt de sales i galeries de molt diverses dimensions i direccions que agrupam en cinc sectors, que en ordre cronològic als descobriments són: sector Clàssic, sector de Ponent, sector Cinc-cents, sector de la Unió i sector de Gregal.

El sector Clàssic està format per les espectaculars sala d'Entrada i la sala Francesc Ripoll, de 100 x 80 m, que és la continuació submergida de la pròpia sala d'Entrada. La sala continua en el Circuit dels Pirates de 300 m de longitud; ambdós presenten continuacions laterals, d'entre les quals destaquen la sala del Cendrar que finalitza en una cambra d'aire i les galeries dels Gemecs, que condueixen fins l'angost Pas de la Corrosió, que obri el pas al sector de Ponent.

El sector de Ponent, de direcció W-NW, està comunicat amb la resta de la cova per dos accessos molt dificultosos: el Pas de sa Corrosió i el Pas de l'Apocalipsi. La sala dels Dos Llacs, conseqüència d'un pretèrit esfondrament, configura una part important del sector. L'amplia i decorada galeria dels Degotissos continua en les galeries de les Haloclines, en les quals predominen les morfologies de corrosió. De la sala dels Dos Llacs parteix com a continuació natural la sala dels Paleonivells.

El sector Cinc-cents s'inicia en el Pas d'en Judes, que des del sector Clàssic permet l'accés a la impressionant galeria Cinc-cents. El pendent d'enderrocs de l'esfondrament ha generat també la cambra dels Moros. El perímetre d'aquest gran col·lapse supera el centenar de metres. Prop de l'inici parteix la galeria de les Còniques, amb una

important cambra d'aire. Des de dos llocs de la galeria Cinc-cents parteixen diverses galeries que formen el sector de la Unió que de N a S ens comunica les dues grans zones en la qual se subdivideix la cavitat.

En direcció NE s'inicia el sector de Gregal, que al llarg de diverses galeries condueix als llocs més allunyats de la sala d'Entrada, amb diverses puntes a 1.502 m i 1.700 m.

Les morfologies resultants dels mecanismes corrosius de l'aigua són habituals en molts sectors de la cova. Alguns processos de dissolució han afectat de forma espectacular diverses formacions litoquímiques, creant nivells de corrosió predominants.

Els espeleotemes són extraordinàriament abundants en algunes zones no afectades per esfondraments o per l'acció de la corrosió que hagi fet desaparèixer les formacions. Els espeleotemes més nombrosos són els de degoteig (estalactites, estalagmites, columnes i massissos estalagmítics), algunes sales i galeries presenten boscos d'estalactites fistuloses. Especialment freqüents són els espeleotemes de flux (colades pavimentàries i parietals). Són molt característics de la cavitat els espeleotemes d'origen subaquàtic relacionats amb antics nivells d'estabilització de la superfície de les aigües freàtiques, controlada a la vegada per les oscil·lacions negatives del nivell marí durant el Quaternari (Fig. 17). El registre de paleonivells marins ens dona les següents cotes: -1,5 m, -14 m, -15 m, -16 m i -17,5 m i han estat datats (Tuccimei *et al.*, 2000).

## Hidrologia

La temperatura de l'aigua superficial en el llac de la sala d'Entrada a l'hivern ha estat mesurada en 13,4°C, mentre que a menys de 2 m de profunditat assoleix, en una picnoclina i termoclina espectacular, els 18 - 19°C. La salinitat dels 4 primers metres té

valors de l'ordre de 1 i 2 ‰ i dels 5 als 16 m augmenta fins als 37 ‰, per mantenir-se gairebé constant d'ençà d'aquesta cota fins als 25 m.

Degut a la ubicació de la cova enmig d'una petita torrentera, l'única entrada actual penetrable (sala d'Entrada), es veu afectada per les aigües que conflueixen i es precipiten per la boca en cas de fortes precipitacions. Aquest fenomen ocorregué l'any 1990 i va ésser descrit per espeleobussejadors britànics (Clarke, 1991-92), fenomen que va tornar a ésser observat l'any 2001, en el qual les fortes pluges van provocar l'entrada de grans quantitats de sediment (Gràcia i Clamor, 2001b).

### Espeleogènesi i estadi evolutiu

Es interessant remarcar el gruix anormal que presentava el sostre abans d'esfondrar-se (uns 13 m), fenomen que obeeix a l'heterogeneïtat dels materials zenitals. Cal remarcar que des d'un punt de vista estratigràfic, l'abisament de l'entrada permet l'estudi del tall geològic del denominat *Complex Terminal* messinià del sud-est de Mallorca (Fornós *et al.*, 1989).

La cavitat presenta galeries amb morfologies de corrosió predominants amb pocs indicis d'esfondraments (galeria de les Haloclines al sector de Ponent; galeries dels Gemecs al sector Clàssic; diverses galeries del sector de Gregal). Els processos d'esfondraments són també molt abundants (sala d'Entrada, sala Francesc Ripoll, sala dels Dos Llacs, sala del Cendrar, cambra dels Moros, galeria de les Còniques, galeria Cinc-cents). Aquests esdeveniments són un factor natural en l'evolució d'aquestes cavitats, ja que permeten augmentar en volum i ascendir progressivament de cap a l'exterior, arribant en ocasions a connectar amb la superfície, tal com ha ocorregut amb la sala d'Entrada de la cova i amb dues antigues

entrades actualment reblides (la galeria de les Còniques i la Cambra dels Moros). La distribució de zones de col·lapses i la relació amb dolines d'esfondrament superficials és de gran interès. Es pot comprovar en superposar la part final d'aquestes galeries, tanca-des per blocs, amb la ubicació geogràfica de les dolines d'esfondrament (Clot des Cendrar I, Clot des Cendrar II i Clot dels Ullastres), que coincideixen respectivament amb la sala del Cendrar, galeria de les Còniques i la Cambra dels Moros). Els esbaldregalls, que són molt abundants, tanquen o compartimenten moltes zones, impedit l'avanç en diversos fronts (Gràcia i Clamor, 2001a; 2001b).

### Fauna aquàtica

Inventari faunístic: els amfípodes *Bogidiella balearica* i *Salentinella angelieri*; els isòpodes *Typhlocirolana moraguesi* i *Jaera italica*; el termosbenaci *Tethysbaena scabra* i els copèpodes *Thermocyclops dybowski*, *Halicyclops troglodytes* i *Nitocra aff. Psammophila* (Fornós *et al.*, 1989; Pretus, 1991).

### Arqueologia i etnologia

S'han trobat sota les aigües fragments ceràmics pretalaiòtics, púnics i islàmics a la sala d'Entrada i a dos esfondrament interns, a uns 200 m, 250 m i 380 m del llac d'entrada. Els fragments trobats ens serveixen per poder saber que en temps històrics la cova tenia com a mínim altres dues entrades, també d'abisament (Cambra dels Moros i galeria de les Còniques), actualment impracticables. Almanco una d'aquestes boques es va condemnar per l'abocament de pedres transportades dins carros, i procedents del despedregat dels camps de conreu dels voltants.

La cavitat aplega diverses estructures d'interès etnològic relacionades amb l'extrac-



ció d'aigua: pou, sínia de sang, bombes d'aigua, canals, etc. La cova ha estat parcialment condicionada per aquest ús, havent un camí helicoidal que descendeix fins al llac, avui parcialment destruït per la caiguda de materials del con d'enderrocs i del sòtil.

## Cova dets Ases (Felanitx)

### Toponímia

La cavitat s'emprava per tirar-hi el bestiar mort o malalt, especialment ases, mitjançant una entrada que es localitza al sostre de la sala dels Ossos.

### Situació geogràfica

Coordenades UTM: 523550 / 4365100 - 20 La boca, situada a uns 18 m d'alçària respecte del nivell de la mar, es troba a la possessió de Sa Punta, al costat d'un revolt del camí que du de l'Algar (Portocolom, terme de Felanitx) cap a cala Murada i està oculta darrera unes mates. La cavitat està situada dins zona d'Àrea Natural d'Especial Interès "Sa Punta i s'Algar" (ANEI). La cova posseeix la figura de protecció de Lloc d'Importància Comunitària (LIC). Està protegida per la llei de Patrimoni de l'Estat Espanyol 16/1985 i figura a la carta Arqueològica (Llei de Patrimoni del Govern Balear).

### Història de les exploracions

Molt coneguda per la gent del poble, que la recorre fins al primer sífó. L'any 1972 es va realitzar una topografia parcial fins a la sala del Primer Llac per part del grup EST (Ginés i Ginés, 1987). L'any 1989, membres del club gal·lès CCC creuen el primer sífó i accedeixen a la sala Final, per posteriorment superar el segon sífó i sortir a la mar

(Clarke, 1990-91). En dates posteriors efectuen una immersió al llac Gran (tercer sífó) de la sala Gran connectant també amb la sala Final. La cavitat és topografiada de bell nou per membres de la secció d'espeleologia del GEM al llarg dels anys 1994 - 95 - 96 (Gràcia et al., 1997).

### Descripció de la cavitat

La poligonal principal assoleix una longitud de 344 m, amb un recorregut total de 632 m (Fig. 18). La diferència de la cota més alta a la més baixa és de 28 m. La cavitat segueix una direcció general de NW-SE. L'entrada ens porta a una sala de pis descendent per després remuntar a través d'un evident procés clàstic que ha subdividit la galeria, i deixat un reduït pas entre el sòtil i el trespol, per on se surt a la part superior de la sala dels Ossos. El pendent davalla fins a la sala del Primer Llac (27 x 13 m), i alçària molt variable. Es pot anar en direcció S a través d'un pas estret que ens porta a una regió laberíntica de blocs o bé pujar entre els estrats i blocs caiguts del sòtil que formen diverses gateres. Una delicada ascensió vertical per roca molt descomposta ens situa a la sala Gran. La sala, bastant concrecionada, comença molt aferrada al sostre (+19 m), per anar davallant per un pendent molt llenegadís, a mesura que el sòtil baixa esglonadament, fins arribar a les cotes més baixes, ocupades pels llacs. Les mides màximes són 50 x 28 m de planta i 8 m d'alçària. El primer sífó de 11 m de llarg i -3,5 m de fondària, va permetre accedir a la sala Final, de 117 m de longitud i una amplària que supera a diversos llocs els 30 m, essent l'alçària de 14 m. El tercer sífó de 70 m de recorregut i uns -8 m de fondària, està subdividit en dues branques, una d'elles connecta també la sala Gran amb la sala Final, mentre que l'altra pren un sentit oposat. La



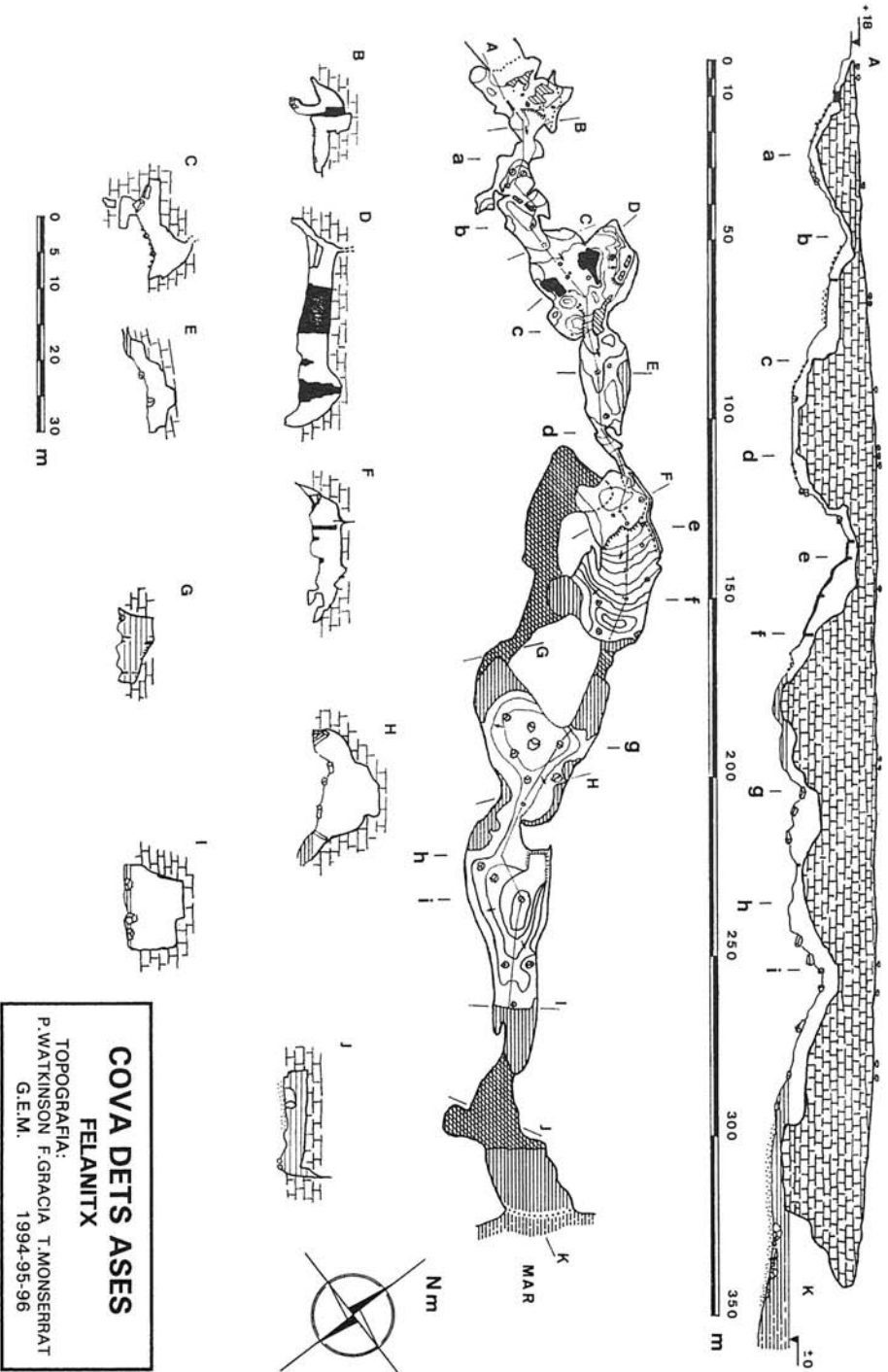


Fig. 18. Topografia de la cova dels Ases.  
Fig. 18. Topography of Cova dels Ases.

**COVA DELS ASEES**  
**FELANITX**  
TOPOGRAFIA:  
P. WATKINSON F. GRACIA T. MONSERRAT  
G.E.M. 1994-95-96

sala Final, separada de la resta de la cavitat i de la mar per sifons, és la més extensa i és on s'evidencien més clarament els processos de reajustaments gravitacionals. Al final de la sala el segon sífó, de 20 m de longitud, comunica la cavitat amb la mar i representa la tercera entrada de la cova.

### **Espeleogènesi i estadi evolutiu**

L'estructura de la caverna està configurada globalment en quatre grans baixades i pujades successives, en funció de la intensitat dels esbucaments. Les cotes més baixes es troben sota el nivell freàtic, formant els llacs i sifons. Les dues entrades terrestres s'obriren a conseqüència d'aquests processos clàstics, en esfondrar-se el sòtil de les sales i connectar amb la superfície del terreny. L'entrada submarina permet incloure la cavitat dins les captures càrstico-marines de la plataforma miocènica. Molts dels esbaldregalls gravitacionals es troben cimentats per recobriments litoquímics.

### **Fauna aquàtica**

L'amfípode *Salentinella angelieri*; l'isòpode *Typhlocirolana moraguesi* (Ginés i Ginés, 1977) i el copèpode *Troglocyclopina balearica* (Jaume i Boxshall, 1996).

### **Arqueologia**

S'ha trobat ceràmica talaiòtica molt fragmentada i restes d'àmfores púniques. De l'època islàmica s'han recuperat alfàbies, gerres, gerretes, gerros, marmites, safes, tapadores i ribells; algunes almohades i altres almoràvides (Salvà, 1997).

## **Cova des Coll (Felanitx)**

### **Situació geogràfica**

Coordenades UTM: 522770 / 4364500 - 11

Situada a Portocolom, part del seu recorregut es troba sota el nucli urbà (Fig. 19). Geològicament pertany a les calcàries del Miocè superior.

La cavitat posseeix la figura de protecció de Lloc d'Importància Comunitària (LIC) i es vol proposar com a Bé d'Interès Cultural (BIC).

### **Història de les exploracions**

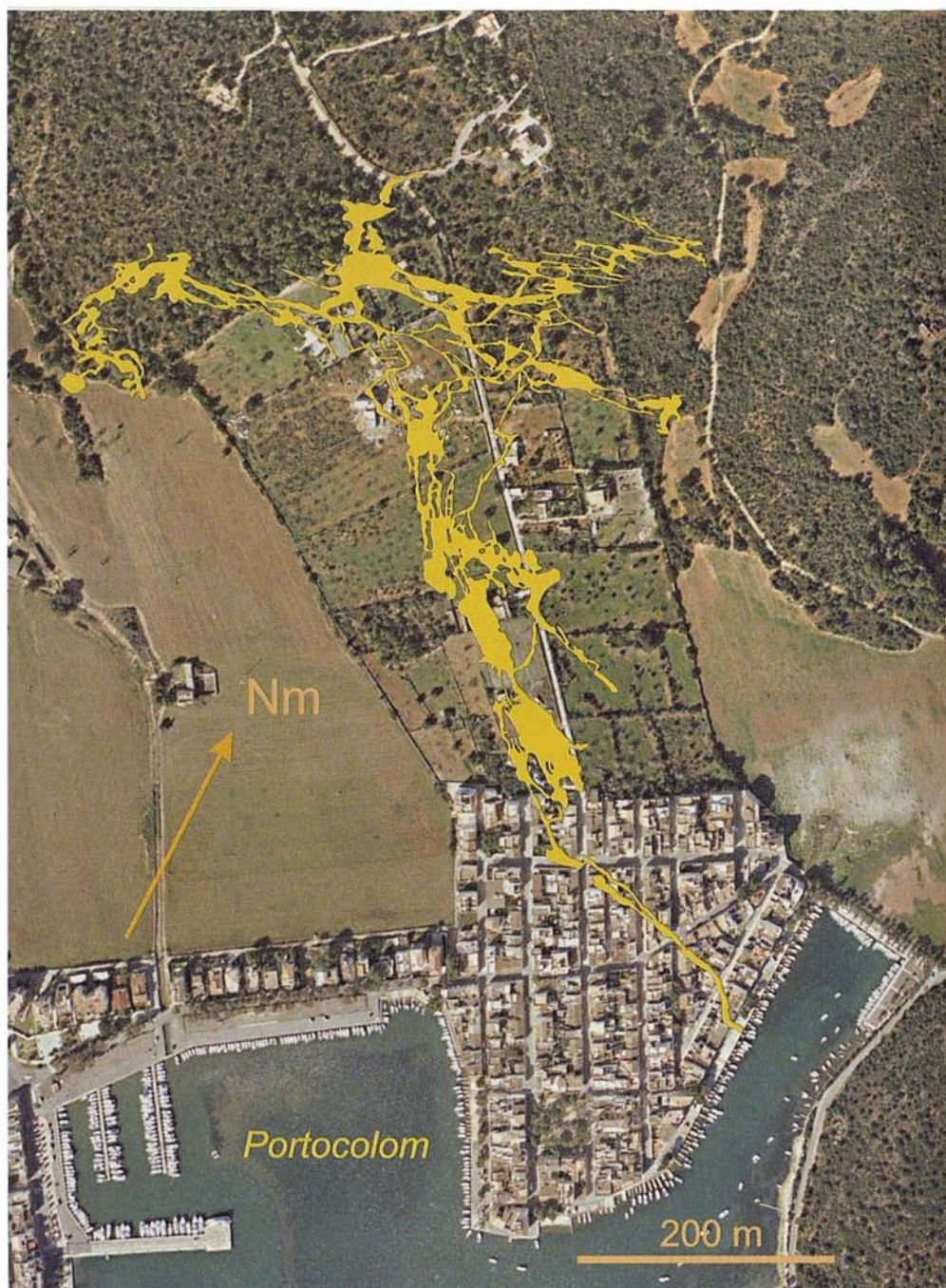
1994 - Topografia de la zona terrestre prop de l'entrada (sector de l'Esfondrament) i treballa de les primeres continuacions subaquàtiques amb tècniques i equipament del tot insuficients (sector del Descobriment) per part de membres del GEM.

1995 - Exploració per un equip del GEM, CCDS i CCC del sector del Patatús i també s'avança pel sector dels Autèntics. Es troben dos pous artificials per extreure aigua que connecten amb la cavitat.

1996 - Descobriment de les galeries sota el nucli urbà, entrant per la mar (sector del Poble) i connexió amb la resta de la cavitat. Continuen les progressions pel sector dels Autèntics i es descobreix el sector Final. Aquest es troba a 1.200 m de la mar (Gràcia et al., 1997).

2003 - S'inicia un programa d'estudi geològic i biològic de la cavitat que prossegueix fins l'any 2005. Es troben noves extensions a diferents sectors que suposen que la cavitat assoleixi els 7.020 m de recorregut (Gràcia et al., 2005).

En total han fet falta exploracions i recerques al llarg de 6 anys, que han suposat 60 dies d'immersions la primera campanya (1994, 1995 i 1996) i 65 dies d'immersions la segona (2003, 2004, 2005). Les tasques de busseig efectuades al llarg de tot l'estudi totalitzen 125 dies. El total de temps de busseig supera les 900 hores dins la cavitat, sense tenir en compte les tasques de preparació de l'equip ni de transport del material.



**Fig. 19.** Fotografia aèria de Portocolom amb la planta de la cova des Coll superposada.  
*Fig. 19. Aerial photography of Portocolom, with the topography of Cova des Coll translocated on it.*



### Descripció de la cavitat

És actualment la cova subaquàtica amb entrada submarina de més recorregut de l'estat espanyol. El seu recorregut és de 7.020 m, repartits entre 5.529 m subaquàtics, 765 m aquàtics amb aire, i 726 m terrestres. Dues entrades naturals i dos pous connecten amb la cova. Una de les entrades es submarina i l'altra es localitza darrera del nucli urbà. Les dues direccions principals que segueix la cavitat són: 315° al sector de l'Esfondrament i 260° al sector dels Autèntics. Un sector de la cavitat està situat sota el nucli urbà de Portocolom, comprèn la zona que va des de la mar fins a la sala del Pou Negre, on desemboquen aigües residuals.

El clar predomini de les morfologies de dissolució és la característica més notòria de la cavitat i es troben presents gairebé tot tipus de morfologies (Fig. 20). Macroformes (d'ordre hectomètric a decamètric): galeries freàtiques de control estructural

(*phreatic networks*), galeries freàtiques circulars (*tubular passages*) i sales freàtiques circulars (*globular halls*); Mesoformes (d'ordre decamètric a mètric): conductes iniciadors, envans de dissolució (*rock spans*), columnes de roca (*rock pillars*), ponts (*bridges*), regates de corrosió (*corrosion notches*), facetes (*solution facets*); Microformes (d'ordre mètric a centimètric): pentinades de roca, penjants (*rock pendants*), pinacles (*cers*), esperons (*rocky jag*), cúpules de corrosió (*bellholes*), morfologies espongiformes (*spongeworks*), arcs (*archs*), anells (*rings*), concavitats poc marcades (*subdued pockets*), tupins de paret (*wall pockets*) i tupins de sostre (*ceiling pockets*) (Gràcia et al., 1997; 2005).

Molt poques són les zones que presenten espeleotemes en bon estat i es localitzen únicament a les cotes més profundes. Les evidències són molt nombroses, per tots els sectors de la cavitat, d'antigues morfologies



Fig. 20. Galeries de la cova des Coll (Foto P. Gràcia).

Fig. 20. Passages at cova des Coll (Photo P. Gràcia).



de precipitació actualment gairebé dissoltes per complet.

### Hidrologia

A la tirada de ses Barraques des Riuetó hi ha un conjunt conegut amb el nom de ses Barraques d'Aigo Dolça o s'Esdolç, topònim que indica el lloc on flueix l'aigua dolça. Aquest fenomen l'ha conegut des de sempre la gent de sa Capella pel seu efecte espectacular, ocasionada per l'aigua quan surt o entra de l'escar. El corrent d'aigua en ocasions adquireix una gran velocitat i du un important cabal, segons el règim de mareas i les variacions de la pressió atmosfèrica.

La cova presenta una columna d'aigua on se succeeixen 4 porcions ben diferenciades. En primer lloc, una capa d'aigua superficial molt prima (menys d'un metre de gruix de 17 % de salinitat), després aigua producte de la percolació i mescla de la escorrentia superficial sobre la massa d'aigua subjacent. Aquesta és una capa salobre (fins a 5 m de fondària de 31 % de salinitat) producte directe del flux i reflux de la mar al llarg dels corredors de la cova, i llur mescla amb l'aigua dolça infiltrada. Segueixen dues capes: una, entre 5 i 10 m de fondària, pot qualificar-se com aigua marina modificada per dilució; i l'altre, de 10 m fins al fons, d'aigua pràcticament marina (37,5 %).

La temperatura de l'aigua reflecteix clarament la influència marina en la porció superior de la columna d'aigua. L'aigua del fons de la cavitat es manté als voltants dels 18,8 i 19°C. En altres perfils efectuats a la cavitat els mesos de desembre es veu que la temperatura segueix una gràfica inversa, la massa d'aigua superior és més freda que no pas la inferior, de major salinitat i poc afectada pels canvis exteriors de temperatura, amb les masses d'aigua marina quan penetren a l'interior del sistema càrstic per

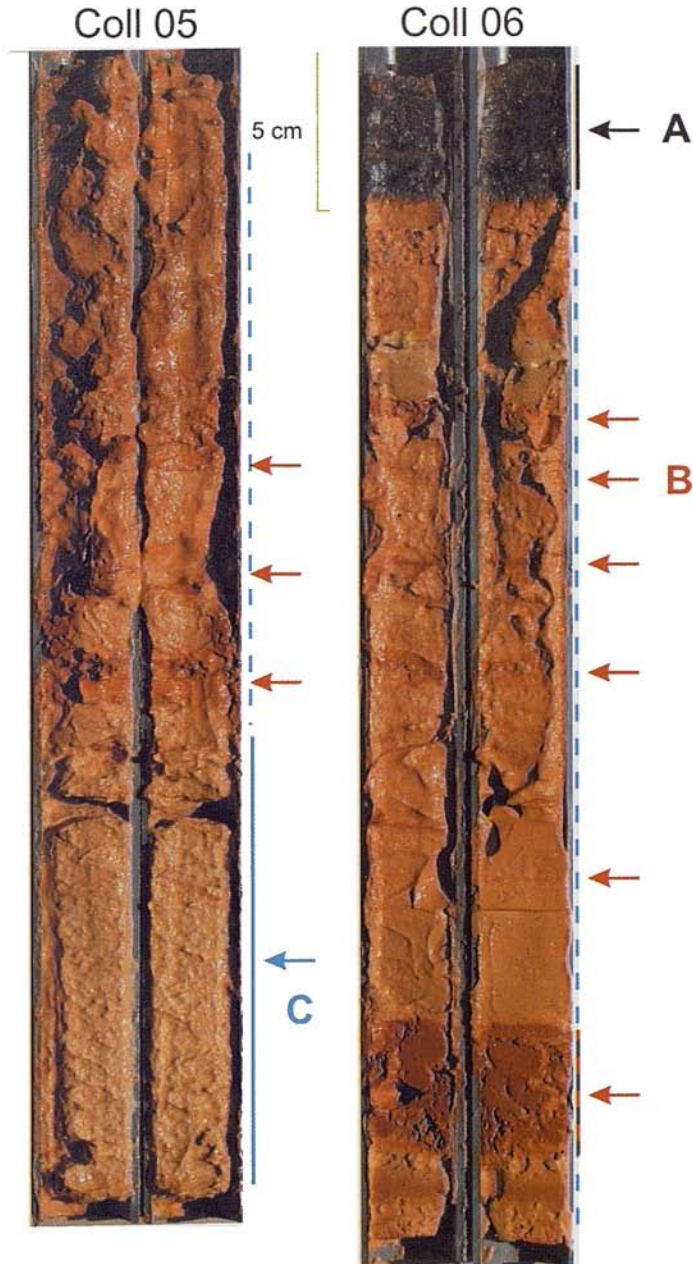
diferències baromètriques amb la mar.

### Sediments

Com a d'altres cavitats destaquen dos tipus principals de fàcies sedimentàries, una de composició majoritàriament carbonatada i de gra més gruixat, de coloracions clares i l'altra amb una proporció més important dels elements silícies i amb tonalitats vermelloses (Fig. 21). Les anàlisis mineralògiques de les mostres de sediment mostren la presència de minerals dels grups dels carbonats; minerals de les argiles, quars i feldspats. El mineral del grup de les argiles més important observat ha estat la illita. La kaolinita, sempre present, i en un percentatge que compren entre 0,4 i 25,8 % contrasta amb les anàlisis efectuades a la cova Genovesa, a on només està present a una mostra de sediments parietals. També s'ha efectuat l'estudi granulomètric dels sediments on s'observa un diàmetre major dels components al sector del Poble. Per contra el sediment més fi és el que forma els sediments adossats a les parets (Gràcia *et al.*, 2005).

### Espeleogènesi i estadi evolutiu

La desaparició dels recobriments litoquímics provoca que les morfologies de dissolució originàries es vegin molt clarament, exceptuant a les zones afectades per esfondraments. Galeries freàtiques pròximes entre sí han entrat en coalescència a mesura que la corrosió ha actuat sobre les parets que les separaven. Aquestes fusions han produït les galeries de majors dimensions, i a les zones mecànicament més dèbils, juntament amb altres factors, han esdevingut en esbucaments que han originat les sales. La pròpia entrada terrestre s'ha originat d'aquesta forma, a la zona a on el gruix del sòtil és més prim. La cavitat en conjunt, a nivell de



**Fig. 21.** Cala de sediments efectuada a la cova des Coll. En superfície presenten abundant concentració de matèria orgànica (color fosc-A), seguit d'una zona amb predominància de carbonats (de color més clar-C) i a l'àrea més inferior apareixen els quars i argiles (color vermellós-B).

**Fig. 21.** Sediment core from Cova des Coll, with high concentration of organic matter on surface (dark colour-A), followed by a layer dominated by carbonates (paler colour-C), and a lower layer with quartz and silts (reddish colour-C).

megaforma, és un sistema espongiforme controlat estructuralment.

### Paleontologia

S'han trobat diverses restes de tortugues i d'altres espècies de vertebrats del Miocè superior que estan en fase d'estudi. Els ossos estan dipositats a la col·lecció de vertebrats del *Museu de la Naturalesa de les Illes Balears* (MNIB), Societat d'Història Natural de les Balears.

### Fauna aquàtica

Dels organismes sèssils filtradors o detritívors s'han censat 15 espècies d'invertebrats no artròpodes. Llur distribució indica zones amb hidrodinamisme i la distribució d'aquests organismes a la cova des Coll està condicionada especialment per la distància a la mar.

S'han classificat 7 esponges, de les quals cal destacar 4 cites noves per al litoral espanyol, que són les següents espècies: *Plakina dilopha*, primera senyalització de l'espècie en el litoral espanyol. *Suberites carnosus* (Johnston) var. *flavus* Topsent, 1900 la varietat "flavus" és principalment mediterrània i no s'havia trobat amb anterioritat en el litoral espanyol. *Amorphinopsis pallezensis*, si no es tracta d'una espècie nova, aquesta és la segona cita de l'espècie en el Mediterrani. Les esponges presenten les espícules molt robustes (gruixudes), el que indica una disponibilitat de sílice important. Els estudis dels sediments que s'han efectuat a la cavitat confirmen aquest fet.

Dels dos poliquets determinats *Bispira viola* constitueix la primera cita d'aquesta espècie a la Península Ibèrica i a les Balears. També s'han determinat 1 tunicat i 5 mol·luscs.

De la fauna carcinològica s'han censat a la cavitat un mínim de 29 espècies de crustacis (Gràcia, *et al.*, 2005). Trobem a la cova dos grans grups de crustacis ben diferen-

ciats: per una banda, un grup de 14 espècies genuïnament cavernícoles, cegues i despigmentades (estigobionts), o amb els ulls molt reduïts, que no s'aventuren mai a l'exterior i que s'han localitzat preferentment als sectors més interiors. Aquest grup l'integren els amfípodes *Bogidiella* sp. nov., *Maera* sp. nov. i *Salentinella angelieri*; l'isòpode *Typhlocirolana moraguesi*; el termosbenaci *Tethysbaena scabra*; els copèpodes calanoides *Exumella mediterranea*, *Paramisophría* sp. nov., *Stephos margalefi* i *Stephos* sp. nov.; els copèpodes misofrioides *Speleophríopsis balearicus* i *Speleophría gymnesica* i els copèpodes ciclopoides *Halicyclops troglodytes*, *Protoneocyclops mediterraneus* i *Muceddina multispinosa*.

Per altra banda, trobam un grup d'espècies d'hàbits obscurícoles, si bé amb ulls desenvolupats i cos més o menys pigmentat. Aquestes espècies troben a la cova des Coll una extensió natural terra endins del seu hàbitat marí, i llur presència es deu a l'existència de connexions directes de la cavitat amb la mar. Es tracta del leptostraci *Nebalia strausi*, del decàpode *Palaemon serratus*, del misidaci *Heteromysis* sp., dels copèpodes calanoides *Pseudocyclops* sp i *Acartia* sp., i dels copèpodes cyclopoides *Euryte longicauda*, *Cyclopina esilis*, *Pterynopsyllus* sp. i *Oithona* sp.

Quatre de les espècies trobades són noves per a la ciència, i es troben en curs de descripció formal; dues d'elles, no es coneixen fins ara enlloc més del món que a la cova des Coll. Nou de les espècies (39% del total), incloent-hi les quatre noves, són endèmiques de les Balears.

### Arqueologia

Els materials arqueològics (tres fragments d'àmfora romana i un molí), s'han trobat sota les aigües d'una sala, al final d'un rost de terra i pedres.



## Cova d'en Bassol o cova d'en Passol (Felanitx)

### Toponímia

El nom amb el qual es va topografiar i publicar va esser cova d'en Passol, per mor de que l'informador efectuava una ensordització de "b" per "p".

### Situació geogràfica

Coordenades UTM: 521340 / 4360415 - 22. Situada a les proximitats de cala sa Nau. Forma part de la marina de Felanitx, constituïda per materials calcaris neògens postorogènics, que en aquesta zona representa una franja de 4 km d'amplària.

Està situada dins zona d'Àrea Natural d'Especial Interès "punta Negra - cala Mitjana" (ANEI). La cavitat posseeix la figura de protecció de Lloc d'Importància Comunitària (LIC).

### Història de les exploracions

Segons informants d'edat avançada de Felanitx, la cova, amb dues entrades artificials, es va trobar cercant aigua. La feina d'exploració, les tasques de topografia i la documentació fotogràfica es van realitzar al llarg de 21 dies d'immersions dels anys 1997 i 1998 per membres del GNM i del GEM (Gràcia et al., 1998a).

### Descripció de la cavitat

El recorregut total és de 2.176 m, dels quals 1.579 m són subaquàtics. La diferència de la cota més alta, al sostre de la sala de sa Nau (+21,5 m), a la més baixa, a les galeries inundades del sífó des Somnis (-25 m), és de 46,5 m. La cavitat segueix una direcció general NE-SW i es divideix en quatre sectors: la sala de sa Nau, terrestre, que separa les altres parts subaquàtiques, el sífó des Somnis, el sífó des Crancs i el sífó Ocult (Fig. 22).

La sala de sa Nau és el resultat del creixement ascendent de la cova, produït per l'esbucament del sostre (Fig. 23). Les dimensions màximes són 112 m de llarg, 72 m d'ample i 11 m d'alçària màxima. Després de recórrer 20 m per davall l'aigua, vorejant la sala, un pas estret entre el sostre i els blocs caiguts del con d'enderrocs, permet a 6 m de profunditat, avançar 25 m més per una galeria oberta entre els plans d'estratificació, des d'on un balcó surt a l'ampla galeria del sífó des Somnis. A partir d'aquí la cova segueix cap al SW, amb una amplada mitjana d'uns 36 m. Una primera part s'estén en forma d'àmplia galeria fins que passa per una zona més estreta, segueix per una àrea densament poblada d'estalactites i altres formacions. Més endavant, diversos esbucaments i l'abundant concrecionament, tornen a complicar i separar diferents parts de la galeria. En una de les saletes, a -25 m s'assoleix la màxima fondària de la cova, després d'haver recorregut 224 m de sífó. La distància que separa aquest indret de la cova de cala Mitjana és només d'uns 40 m.

Tornant a la sala de sa Nau, per accedir al sífó des Crancs s'ha de passar, seguint rost avall, per dos passos estrets i entre els blocs que formen falses cambres i per poc no tanquen el pas. El sífó consisteix en una galeria principal de 108 m de longitud, i 48 m d'amplària i 16,5 m de profunditat màxima. La darrera àrea sotaiguada (sífó Ocult) de 44 x 44 m i direcció gairebé N-S està subdividida per un envà de blocs.

Les formes de corrosió es presenten especialment a la part final del sífó des Crancs, on hi ha morfologies espongiformes (*spongeworks*) i concavitats poc marcades (*subdued pockets*) a parets i sostres.

El que més destaca és la notable proliferació d'espeleotemes d'una gran varietat i bellesa (Fig. 24). Predominen els espeleote-



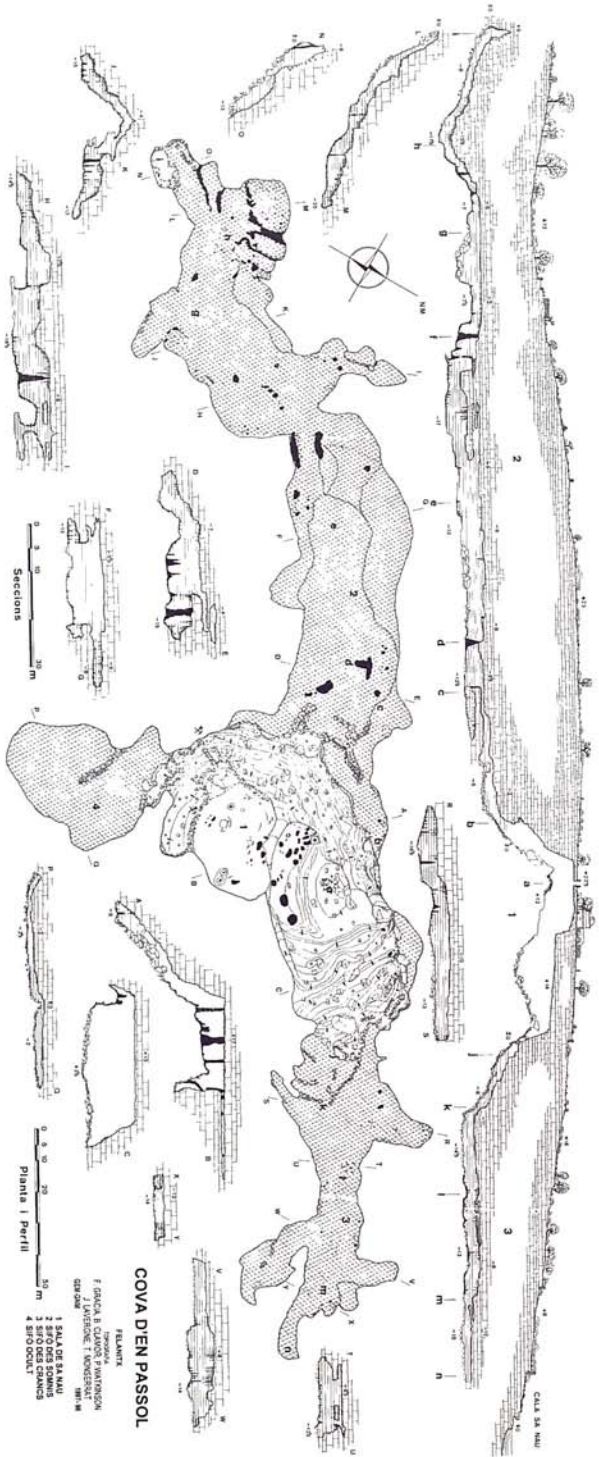


Fig. 22. Topografia de la cova den Bassol.  
 Fig. 22. Topography of Cova d'en Bassol.



**Fig. 23.** Sala de la Nau de la cova d'en Bassol. Es tracta d'una sala d'esfondrament amb la morfologia condicionada per la presència de grans acumulacions de blocs, els quals són el resultat de desprendiments rocosos que afecten a les voltes i parets (Foto A. Ginard).

*Fig. 23. Sala de la Nau chamber at cova d'en Bassol. This is a breakdown, collapse chamber characterised by the high accumulation of blocks (Photo A. Ginard).*

mes de degoteig (estalactites, estalagmites, columnes i banderes) i els espeleotemes de flux (colades pavimentàries i parietals), encara que també hi són presents els espeleotemes de traspuament (estalactites excèntriques) i en alguns sectors espeleotemes subaquàtics (gurs), a més dels espeleotemes freàtics. La sala terrestre d'aquesta cova (sala de sa Nau) només conserva els espeleotemes de gran mida, ja que els altres es varen arrabassar salvatgement al segle XIX. Els paleonivells trobats a la cova d'en Bassol, són deguts a antics nivells negatius dels llacs i corresponen a les cotes -8, -10,5, -12, -13,4, -15,6, -18 i -23 m.

### Hidrologia

Es Rivetó de cala sa Nau, segons la tra-

dició popular (Aguiló, 1991), és un broll submarí d'aigua a la part dreta de la cala, situat molt a prop de la platja. Aquest aflorament es produeix segons les condicions baromètriques del moment. L'aigua procedeix de la cova de ses Barraques, molt propera a la cova d'en Bassol.

### Espeleogènesi i estadi evolutiu

Hi ha hagut zones on els esbucaments han estat més intensos, bé per la morfologia de les sales i conductes preexistents, o bé per la litologia que ha influït en la consistència de la roca. De fet, grans esbaldregades han format la sala de sa Nau i han tancat i separat la cova de cala Mitjana d'aquesta darrera. Cal remarcar que els tres sifons han estat ben a punt d'ésser totalment





**Fig. 24.** Abundant concrecionament zenital del sífó dels Somnis de la cova d'en Bassol (Foto O. Espinasa).  
*Fig. 24.* Cova d'en Bassol, zenital ornamentation at sífó dels Somnis (Photo O. Espinasa).

impenetrables per l'home a causa dels processos d'esfondrament. La sala de sa Nau es troba en un estadi previ a la formació d'un abisament (en algun punt el gruix del sostre és de només 1 m).

### **Cova des Drac de Cala Santanyí (Santanyí)**

#### **Toponímia**

Els topònims en què apareix el nom d'aquest animal designen els caus on la gent creia que habitava i són residus de creences i religions anteriors al cristianisme (Rosselló Verger, 1961-62; Moreu-Rey, 1982). D'aquesta gruta es conèixen uns versos que fan referència a l'historiador Joaquim Maria Bover, vers 1837 (Vidal, 1965). Del 1900 és la citació de la *cueva del*

*Drach*, als llibres d'actes municipals de l'ajuntament de Santanyí.

#### **Situació geogràfica**

Coordenades UTM: 512830 / 4353625 - 15  
Es troba al costat SE de la cala, al carrer de la cova des Drac devora diversos establiments hotelers, a 15 m snm dins les calcarenites del Miocè superior.

La cavitat posseeix la figura de protecció de Lloc d'Importància Comunitària (LIC).

#### **Història de les exploracions**

L'any 1968, el Grup d'Exploracions Subterrànies (GES) de Barcelona, va procedir a realitzar un croquis de la cova, que correspon a la sala d'Entrada, única zona accessible sense haver d'emprar les tècniques d'espeleobusseig (Montoriol, 1970).

L'exploració i documentació subaquàtica es va efectuar per membres del GNM i del GEM van suposar 21 dies d'immersions al llarg dels anys 1997 i 1998 (Gràcia et al., 1998b).

### Descripció de la cavitat

La cova en conjunt té un recorregut de 1.005 m (239 m aeris i 766 m subaquàtics) (Fig. 25). S'obri a l'exterior per un bell exemplar d'abisament de 20 m d'ample que permet accedir a través d'un rost a la sala d'Entrada de 100 x 40 m, de dimensions màximes (Fig. 26). El con d'enderrocs forma un pendent cap als llacs i es perllonga sota l'aigua. La cavitat prossegueix per una galeria de 185 m de longitud (galeria Negra), desenvolupada al llarg de pujades i baixades, producte dels esfondraments. L'amplada oscil·la entre els 23 m de màxima i els 4 m de mínima. En una de les parets s'obre la galeria dels Paleonivells, entre els -15 i -19 m, amb abundants registres d'una antiga etapa d'anegament a -15 m i amb les parets també recobertes de formacions subaquàtiques. La galeria pren la direcció NE i s'obre a una sala voluminosa (sala de la Bèstia Fabulosa), amb blocs, sovint de mides descomunals que formen galeries i falsos pisos. S'arriben a assolir els 23 m, màxima profunditat de la sala. A prop del final de la galeria Negra, en direcció NE, se supera un angost pas i s'accedeix a una sala aèria, gran esbaldregall de roca molt blanca i descomposta i perillosa de transitar (sala de la Bella Fadrina). A l'extrem de la galeria Negra, per entre els blocs caiguts, s'obre el laminador del Purgatori d'uns 10 m de longitud, i menys de 50 cm d'alçària, que miraculosament permet el pas i condueix a la galeria del Cavaller, a on s'assoleix la fondària màxima de 24 m.

Les morfologies de corrosió són visibles, especialment, a la paret E de la sala

d'Entrada, per davall de l'aigua, on destaquen les morfologies espongiformes (*spongework*).

No manquen bons exemplars de processos litogènics arreu de la cova, essent especialment importants a la sala de la Bèstia Fabulosa i a la sala des Cavaller, encara que els processos d'esfondrament han produït l'esbucament sota els blocs de moltes de les primitives formacions litoquímiques. Els espeleotemes freàtics trobats a la cova són deguts a les estabilitzacions negatives del nivell freàtic i corresponen a les cotes -13,5, -15, -17 i -19,3 m (Tuccimei et al., 2000).

### Hidrologia

La cova des Riu constitueix la comunicació impracticable amb la mar de la cova des Drac i és la surgència submarina de la cavitat. Segons el règim de mareas s'aprecien picnoclines i una temperatura de l'aigua molt contrastada respecte de l'aigua de la mar.

### Espeleogènesi i estadi evolutiu

Primer es produiria l'excavació freàtica amb la formació del sistema de protocavitats; després seguiria l'eixamplament tridimensional de la cavitat, especialment per mor del descens del nivell freàtic, amb despreniments del sostre. El progressiu esfondrament i l'erosió litoral provocaria l'obertura de la cova a l'exterior, fins assolir formes d'equilibri, amb l'acumulació dels fragments de la volta a la planta, formant el con d'enderrocs que tendeix a créixer amb les aportacions exteriors. La fase evolutiva en què es troba la cova des Drac ha esborrat les xarxes de fracturació original i qualsevol índex dels conductes iniciadors.

### Fauna aquàtica

Per tota la galeria Negra, igual que a la sala d'Entrada, aferrada a les parets hi ha



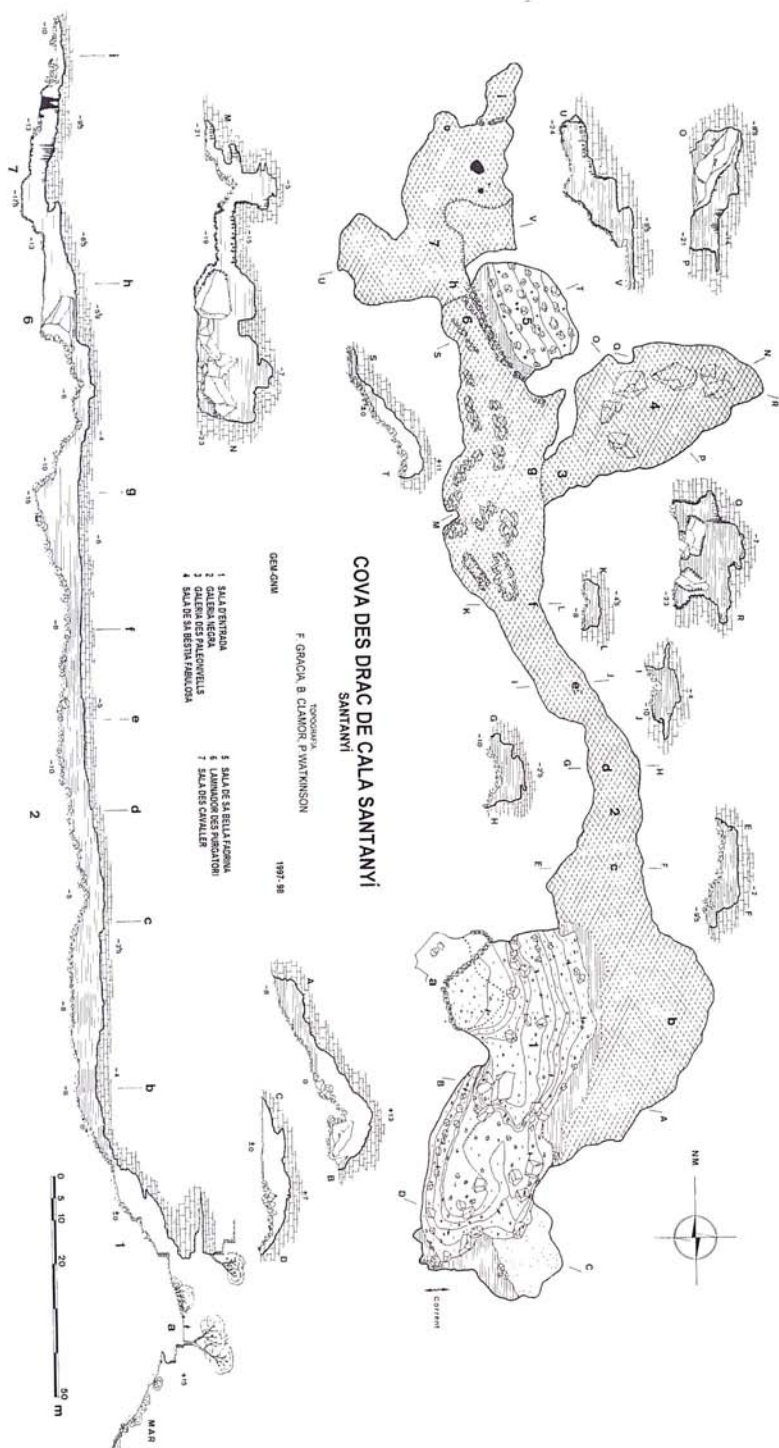


Fig. 25. Topografia de la cova des Drac de Cala Santanyi.  
Fig. 25. Topography of Cova des Drac de Cala Santanyi.



Fig. 26. Abisament que permet entrar a la cova des Drac de Cala Santanyí (Foto M. Bonnín).  
Fig. 26. Cova des Drac de Cala Santanyí, entrance sinkhole (Photo M. Bonnín).

exemplars de l'espècie d'esponja blanca, d'entre 1 i 4 cm, *Raphisia speleaea* (det. Maria Jesús Uriz i Enric Ballesteros del Centre d'Estudis Avançats de Blanes). La fauna carcinològica consta d'una espècie nova actualment en estudi (*Paramisophria* sp.). Pertany a un gènere propi de coves marines i anquihalines, així com del medi suprabèntic, tant d'aigües somes com batials, de gairebé totes les mars del món (Jaume et al., 2000).

### Arqueologia

En una de les immersions efectuades a la cavitat, es va recuperar una peça preta-laiòtica sota l'aigua del llac (actualment en possessió del servei de Patrimoni del Consell Insular de Mallorca).

## Cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor)

### Situació geogràfica

Coordenades UTM: 489160 / 4357700 - 15  
Es troba a la regió càrstica de la marina de Llucmajor, constituïda per dipòsits carbonatats tabulars del Miocè superior.

La cavitat posseeix la figura de protecció de Lloc d'Importància Comunitària (LIC).

### Història de les exploracions

La cova es descobrí l'any 1969 en les perforacions per a la construcció del pou negre d'un hotel. Es va efectuar, a petició del que llavors era el propietari, un primer croquis de la cova per part d'espeleòlegs belgues (Collignon, 1982). La topografia del que es coneixia llavors de la cova (*Sector Antic*), juntament amb diverses galeries submergides, es va fer entre els anys 1991 i

1992 per membres dels grups espeleològics ANEM i EST i escafandristes mallorquins del club Tritón (Merino, 1993). L'any 1994, els espeleòlegs Miquel Àngel Barceló i Pere Riera descobriren una important continuació que comunica la part fins a llavors coneguda amb tota una sèrie de noves extensions (Merino, 2000). Actualment, s'han trobat noves prolongacions per part dels espeleobussejadors del GNM.

### Descripció de la cavitat

La part primerament descoberta (*Sector Antic*) consta d'una gran sala de la qual parteixen diverses galeries. Cap al N i NW existeixen dos pisos; el primer i més superior consta d'una sèrie d'estrets passadissos amb les parets recobertes de *moonmilk*. Cap a l'E es localitzen una successió de sales recobertes de blocs i amb petits llacs d'aigües salobres en tot el marge S. Les *Noves Extensions* formen una zona molt complexa i amb abundància de corredors estrets. La cota on es troba la cavitat fa que la majoria de sales i galeries estiguin inundades, ja que es troben per davall del nivell freàtic. En general les continuacions subaquàtiques segueixen la direcció SW-NE. La cavitat té un recorregut, al dia d'avui, de 6.435 m, dels quals 475 m són subaquàtics amb una fondària màxima de 7 m.

D'entre totes les morfologies existents destaquen les morfologies espongiformes (*spongework*), cúpules de corrosió (*bellholes*), terrasses de corrosió, plans inclinats, solquets en forma de ventall i la presència a algunes zones de *moonmilk* (Merino, 1993; 2000).

La cavitat sobresurt especialment per la riquesa, varietat, delicadesa i bellesa dels espeleotemes presents. Les estalactites i estalagmites són molt abundants per tota la cavitat. La diversitat morfològica i de color

és molt elevada, ja que existeixen des d'exemplars i boscos complets d'estalactites fistuloses (*soda straw stalactites*), fins a estalactites i estalagmites de desenes de centímetres de gruixa. El fet de que l'alçària mitja de sales i galeries sigui en general reduïda, provoca que les columnes existents siguin de mitjanes o petites dimensions. Les colades pavimentàries i parietals es troben ben presents, recobrint en alguns casos considerables extensions. Les estalactites excèntriques (*helictites*), són uns dels espeleotemes més variats i abundants, existint exemplars en quasi totes les sales i galeries, encara que són predominants a les *Noves Extensions*. Els espeleotemes freàtics es troben a les cotes de 0 m, + 2,6 m i + 6,8 m.

### Espeleogènesi i estadi evolutiu

Al llarg del sector laberíntic de les *Noves Extensions* és evident l'excavació de buits en règim freàtic aprofitant la complicada xarxa de diàclasis existents, el que provocà la formació d'estrets passadissos al temps que van entrar en coalescència els conductes embrionaris. A nivell de megaforma la cavitat forma un sistema espongiforme controlat estructuralment. El creixement remuntant de la cova i l'acumulació de grans blocs és ben palès al sector Antic, el més evolucionat de la cavitat.

### Fauna aquàtica

S'han citat els crustacis *Typhlocirolana moraguesi* i *Salentinella angelieri*.

### Conclusions

Sens dubte és remarcable el fet que les coves de major recorregut de les Illes corresponen a sistemes càrstics litorals parcialment o totalment negats sota l'actual nivell de la



cavitats	municipi	recorregut total	recorregut subaquàtic	profunditat màxima inundada	entrades naturals i (artificials)	connexió penetrable amb la mar
Cova de s'Aigo	Ciutadella	462	200	2	1 (1)	NO
Font de ses Aiguades	Alcúdia	180	180	15	1	NO
Coves del Drac	Manacor	3100	600	15	1 (1)	NO
Cova Genovesa	Manacor	2447	1845	22	1	NO
Cova des Pont-Pirata	Manacor	2105	230	8	2	NO
Cova de Cala Varques ACD	Manacor	591	252	18	3	SI
Cova de Cala Varques B	Manacor	1221	1127	30	1	NO
Cova de sa Gleda	Manacor	10500	9880	24	1	NO
Cova dets Ases	Felanitx	632	155	8	3	SI
Cova des Coll	Felanitx	7020	5529	14	3 (2)	SI
Cova d'en Bassol	Felanitx	2176	1579	25	(1)	NO
Cova des Drac de Cala Santanyi	Santanyi	1005	766	24	1	NO
Cova des Pas de Vallgornera	Llucmajor	6435	475	7	(1)	NO

**Taula 1.** Dades espeleomètriques, nombre d'entrades naturals i artificials i connexions penetrables amb la mar de les cavitats.

**Table 1.** Speleometric data, number of natural and artificial entrances, and connections to the sea of the caves studied.

mar (Ginés i Ginés, 2002). Les exploracions i recerques subaquàtiques han contribuït a incrementar el coneixement i la valoració de l'endocarst i també han suposat importants aportacions al coneixement científic.

En referència a la magnitud de les continuacions subaquàtiques destaca amb molta diferència la cova de sa Gleda (10.000 m subaquàtics/10.500 totals) que representa actualment la cavitat més gran de les Balears i la de major recorregut subaquàtic de l'Estat Espanyol (Taula 1). S'ha de tenir present que fins als anys 90, la cova de major longitud de l'arxipèlag balear eren encara les coves del Drac (més de 2 quilòmetres de recorregut). En segon terme la cova des Coll (5.529 m subaquàtics / 7.020 m totals), és la major cavitat subaquàtica amb connexió directa amb la mar. Les següents del llistat ja es troben molt distants, entre les quals destaquen amb reco-

rreguts subaquàtics superiors als 1.000 m: la cova Genovesa (1.845 m subaquàtics / 2.447 m totals), la cova d'en Bassol (1.579 m subaquàtics / 2.176 m totals) i la cova de Cala Varques B (1.127 m / 1.221 m totals). La fondària màxima sota les aigües supera per poc els 30 m.

L'estudi topogràfic de les cavitats i de les morfologies de corrosió que presenten les coves permeten establir un catàleg de formes i entendre'n millor l'espeleogènesi i evolució que experimenten, així com l'estadi evolutiu en que es troben. S'ha de tenir present que molt poques cavitats actualment en règim vadòs presenten formacions primàries, ja que la major part han sofert intensos processos d'esfondrament i de precipitació litoquímica que han destruït i soterrat les morfologies genètiques originals.

La realització de perfils hídrics de salinitat i temperatura al llarg de la columna



d'aigua ens informa de la presència de picnoclines múltiples i de tot un gradient de condicionants salins. Constitueix una eina bàsica per comprendre les implicacions genètiques de les cavitats de la zona de mescla costanera i també en poder caracteritzar la zonació de les espècies aquàtiques segons la seva preferència a la salinitat.

La localització i mostreig de cristal·litacions freàtiques indicadores d'antics nivells dels llacs representa, després de la datació isotòpica i interpretació, una potent eina d'estudi del Quaternari amb la reconstrucció de les variacions del nivell marí i de les seves implicacions paleogeogràfiques i paleoclimàtiques.

S'ha iniciat l'estudi i caracterització dels sediments que sota les aigües recobreixen gran part de les galeries i sales de les cavitats. Representa tenir una visió de les restes que generen els processos de corrosió i sedimentació.

L'estudi de la fauna d'aquest medi s'ha vist beneficiat amb l'estudi de les zones de distribució al llarg de les cavitats, tant horitzontalment (en funció de la distància a la mar, de la presència de corrents o de la distància a vessaments d'aigües residuals) com verticalment (increment de la salinitat amb la fondària). Les recerques han suposat també la troballa de nous gèneres i espècies estigobionts i endèmiques; per la qual cosa contribueix en augmentar la biodiversitat del nostre endocarst. Les coves són els hàbitats amb major nombre d'endemismes i la seva protecció ha d'esser prioritària (Taula 2).

L'aportació paleontològica presenta doble caire: 1) Estudi dels fòssils que provenen d'organismes que es dipositaren quan ni la cova ni la roca que l'envolta existien encara. Per dissolució progressiva de les parets i sostres de galeries i sales, de vegades permet que sobresurtin o s'alliberin. 2) Altres troballes de fòssils corresponen als que

cavitats	abundància morfologies corrosió	presència espeleotemes freàtics	fauna aquàtica (nombre d'estigobionts)	jaciment paleontològic miocè	jaciment paleontològic quaternari	importància arqueològica
Cova de s' Aigo	SI	SI	SI (2)	SI	NO	SI
Font de ses Aiguades	SI	NO	SI (1)	NO	SI	SI
Coves del Drac	NO	SI	SI (5)	NO	NO	SI
Cova Genovesa	SI	SI	SI (12)	SI	SI	SI
Cova des Pont-Pirata	NO	SI	SI (8)	NO	NO	SI
Cova de Cala Varques ACD	NO	SI	SI (11)	NO	NO	NO
Cova de Cala Varques B	SI	SI	SI (2)	SI	SI	NO
Cova de sa Gleda	SI	SI	SI (8)	NO	NO	SI
Cova dets Ases	NO	NO	SI (3)	NO	NO	SI
Cova des Coll	SI	NO	SI (14)	SI	NO	SI
Cova d'en Bassol	NO	SI	SI (-)	SI	NO	NO
Cova des Drac de Cala Santanyi	NO	SI	SI (3)	SI	NO	SI
Cova des Pas de Vallgornera	SI	SI	SI (2)	SI	NO	NO

**Taula 2.** Aspectes rellevants de les cavitats des dels punts de vista morfològic, faunístic, paleontològic i arqueològic.

*Table 2.* Relevant aspects of the caves studied as regard morphology, fauna, Paleontology and Archaeology.

varen entrar dins les cavitats, accidentalment o voluntària, al llarg del Quaternari. Actualment s'han descobert tres cavitats amb restes de *Myotragus balearicus* submergides; a una d'elles han aparegut restes d'un mínim de 40 individus, alguns d'ells amb marques d'osteofàgia a les banyes.

La troballa de peces arqueològiques que s'han efectuat sota les aigües han permès demostrar els diferents moments d'utilització d'aquestes cavitats com a llocs per l'aprovisionament d'aigua. En diverses coves del llevant de Mallorca (cova des Coll, cova de sa Gleda) la presència de restes arqueològiques en rosts de blocs i pedres sota les aigües, de vegades localitzades després de recórrer centenars de metres de galeries inundades, ens indiquen la localització d'antigues entrades, tancades o reblertes en temps històrics expressament per l'home o degut a esbaldregalls naturals succeïts de llavors ençà.

Tots aquests punts són arguments de pes perquè la protecció de les coves sigui prioritària a les polítiques de gestió territorials.

## Agraïments

Els autors no podem concloure aquest article sense manifestar el nostre agraïment més sincer envers:

A Joan Cuerda Barceló, estimat mestre i amic, per haver-nos subministrat els fonaments del Quaternari marí, eina imprescindible per interpretar l'evolució de les cavitats litorals i la seva interacció amb els canvis de nivell marí. La seva abnegació científica i humana ha estat i és un referent per a la comunitat d'estudiosos del carst i del Quaternari de les Balears. El record a la persona, l'altruisme i l'obra d'en Joan sempre seran vius dins nosaltres, ànima i font d'inspiració de generacions de naturalistes.

A Pedro Gracia i Robert Landreth del GNM i a Oscar Espinasa del CAS Tritón per la realització de les fotografies subaquàtiques. Feim extensiu el nostre agraïment a Pere Bover i Damià Vicens per la determinació dels fòssils i per les informacions paleontològiques subministrades.

A Maria Jesús Uriz, Daniel Martín, João Gil, Xavier Turon i Guillem X. Pons per la determinació dels invertebrats no artròpodes. A Damià Ramis, Damià Cerdà i Tomeu Salvà per l'estudi dels materials arqueològics.

A la Federació Balear d'Espeleologia i als companys que han col·laborat desinteressadament amb nosaltres tots aquests anys, especialment: Peter Watkinson, Tòfol Monserrat, Pedro Gracia, Robert Landreth, Miquel Àngel Gual, Miquel Alexandre Dot i Mateu Febrer.

Als companys menorquins de la UEM Josep Florit i Josep Márquez pel seu suport a les estimades terres menorquines.

A Joaquín Ginés per la revisió atenta del treball.

Als propietaris dels terrenys on s'obren les cavitats, que ens han permès l'accés a les mateixes.

Alguns dels estudis de les cavitats s'han pogut dur a terme al llarg d'aquests anys gràcies a que han estat parcialment finançats per: Obra Social i Cultural, Fundació "SA NOSTRA", dins els Projectes de Conservació de la Biodiversitat 2001 i 2003. També als ajuts del Govern de les Illes Balears, el Consell Insular de Mallorca i la *Federación Española de Espeleología*.

El present treball és una contribució al projecte de la DGI del *Ministerio de Ciencia y Tecnología* BTE2002, 04552-C03-02 i C612006-11242103-01

## Bibliografia

- Aguiló, C. 1991. *La toponímia de la costa de Felanitx*. Centre cultural de Felanitx. 105 pp. Felanitx.
- Ainley, S. 1988. Sounding the dive prospects on Majorca coast. *Descent*, 34: 34-35.
- Bover, P. i Ramis, D. 2005. Requiem for *Myotragus balearicus* domestication. In: Alcover, J.A. i Bover, P. (Eds.): *Proceedings of the International Symposium "Insular Vertebrate Evolution: the Palaeontological Approach"*. *Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 12: 73-84.
- Clarke, O. 1990-1991. Welsh cave diving expeditions to Porto Cristo area, Mallorca. *The Red Dragon-Y Ddraig Goch*, 17: 99-102. U.K.
- Clarke, O. 1991. Diving in Drach. *Descent*, 101: 32-33.
- Clarke, O. 1991-92. Report of the Cwmbran caving club diving expedition to Son Josep. Mallorca in october 1990. *The Red Dragon - Y ddraig Goch*, 18: 28-30.
- Collignon, M. 1982. Une première des spéléos namurois a Majorque (Espagne). *Au Royaume d'Hades. Groupe Spéléo Namur-Ciney*, 2: 15-26. Bouge, Belgique.
- Cuerda, J. 1975. *Los tiempos cuaternarios en Baleares*. Diputación Provincial de Baleares. Instituto de Estudios Baleáricos. 304 pàgs. Palma de Mallorca.
- Estelrich, P. 1897. *Las Cuevas del Pirata de Manacor (Mallorca). Guía y descripción de sus principales maravillas*. Est. Tip. Francisco Soler Prats. 32 pàgs. Palma de Mallorca.
- Farr, M. 1997-98. Dragon cave diving expedition to Mallorca-1996. *The Red Dragon - Y ddraig Goch*, 24: 89-97.
- Faura i Sans, M. 1926. *Las cuevas de Mallorca*. Pub. Inst. Geol. Minero España, XIV Cong. Geol. Intern., Gráficas Reunidas. 78 pàgs. Madrid. p. 601, London.
- Fornós, J.J., Pretus, J. Ll. i Trias, M. 1989. La cova de sa Gleda (Manacor), aspectes geològics i biològics. *Endins*, 14-15: 53-59.
- García, J., Delgado, X. i Ferreres, J. 1986. Recull de cavitats de l'illa de Mallorca. *Exploracions*, 10: 47-57. Barcelona.
- Ginés, A. 2000. Patterns of collapse chambers in he endokarst of Mallorca (Balearic Islands, Spain). *Acta carsologica* 29/2. 9: 139-148. Ljubljana.
- Ginés, A. i Ginés, J. 1977. Datos biospeleológicos obtenidos en las aguas cársticas de Mallorca. *Com. 6é Simp. d'Espeleologia*. Publ. C.E.T., 81-95. Terrassa.
- Ginés, A. i Ginés, J. 1987. Características espeleológicas del karst de Mallorca. *Endins*, 13: 3-19.
- Ginés, A. i Ginés, J. 1992. Les coves del Drac (Manacor, Mallorca). Apuntes històrics y espeleogenéticos. *Endins*, 17-18: 5-20.
- Ginés, A. i Ginés, J. 2002. Estado actual del conocimiento científico del karst y de las cuevas de las islas Baleares / Estat actual del coneixement científic del karst i de les coves de les Illes Balears. *Boletín SEDECK*, 3: 26-45. Madrid.
- Ginés, J. 1995a. L'endocast de Mallorca: els mecanismes espeleogenètics. *Endins*, 20 / *Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 3: 71-86.
- Ginés, J. 1995b. Les coves turístiques de Mallorca. *Endins*, 20 / *Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 3: 191-203.
- Ginés, J. 2000. *El karst litoral en el levante de Mallorca: una aproximación al conocimiento de su morfogénesis y cronología*. Tesis Doctoral. Universitat de les Illes Balears. 595 pp. Palma de Mallorca.
- Ginés, J. i Ginés, A. 1976. Ses coves del Pirata. *Endins*, 3: 41-45.
- Gràcia, F. i Clamor, B. 2001a. La cova de sa Gleda: necessitat de protecció del patrimoni càrstic mallorquí. In: Pons, G.X. (Ed.). *III Jornades del Medi Ambient de les Illes Balears*. 100-101.
- Gràcia, F. i Clamor, B. 2001b. La cova de sa Gleda. *Subterrànea*, 16: 24-34.
- Gràcia, F. i Clamor, B. 2002. Las exploraciones subacuáticas en el karst litoral del Migjorn de Mallorca / Les exploracions subaquàtiques al karst costaner del Migjorn de Mallorca. *Boletín SEDECK*, 3: 56-75. Madrid.
- Gràcia, F., Watkinson, P., Monserrat, T., Clarke, O. i Landreth, R. 1997. Les coves de la zona de ses Partions-Portocolom (Felanitx, Mallorca). *Endins*, 21: 5-36.
- Gràcia, F., Clamor, B. i Watkinson, P. 1998a. La cova d'en Passol i altres cavitats litorals situades entre cala sa Nau i cala Mitjana (Felanitx, Mallorca). *Endins*, 22: 5-18.
- Gràcia, F., Clamor, B., Aguiló, C. i Watkinson, P. 1998b. La cova des Drac de cala Santanyi (Santanyi, Mallorca). *Endins*, 22: 55-66.
- Gràcia, F., Clamor, B. i Laverigne, J.J. 2000. Les coves de cala Varques (Manacor, Mallorca). *Endins*, 23: 41-57.
- Gràcia, F., Clamor, B., Gràcia, P., Merino, A., Vega, P. i Mulet, G. 2001a. Notícia preliminar del jaciment arqueològic de la font de ses Aiguades (Aicúdia, Mallorca). *Endins*, 24: 59-73.
- Gràcia, F., Clamor, B. i Watkinson, P. 2001b. Impacte ambiental de l'abocament d'aigües fecals a la cova d'en Bessó (Manacor). Estudi espeleològic i mesures d'actuació per la salvaguarda d'una



- important cavitat subaquàtica del Llevant de Mallorca. In: Pons, G.X. (Ed.) *Ponències i resums III Jornades del Medi Ambient de les Illes Balears*: 102-103. Boll. Soc. Hist. Nat. Balears.
- Gràcia, F., Clamor, B., Gual, M.A., Watkinson, P. i Dot, M. A. 2003a. Les coves de cala Anguila (Manacor, Mallorca). I: Descripció de les cavitats i història de les exploracions. *Endins*, 25: 23-42.
- Gràcia, F., Clamor, B., Jaume, D., Fornós, J.J., Uriz, M.J., Martín, D., Gil, J., Gràcia, P., Febrer, M. i Pons, G.X. 2005. La cova des Coll (Felanitx, Mallorca). Espeleogènesi, geomorfologia, hidrologia, sedimentologia, fauna i conservació. *Endins*, 27: 141-186.
- Gràcia, F., Jaume, D., Ramis, D., Fornós, J.J., Bover, P., Clamor, B., Gual, M.A. i Vadell, M. 2003b. Les coves de Cala Anguila (Manacor, Mallorca). II: La Cova Genovesa o Cova d'en Bessó. Espeleogènesi, geomorfologia, hidrologia, sedimentologia, fauna, paleontologia, arqueologia i conservació. *Endins*, 25: 43-86. Palma de Mallorca.
- Gràcia, F. i Vicens, D. 1998. Aspectes geomorfològics quaternaris del litoral de Mallorca. In: Fornós, J.J. (Ed.) *Aspectes geològics de les Balears*. Universitat de les Illes Balears. 307-329. Palma de Mallorca.
- Habsburg-Lorena, L.S. 1869-1891. *Die Balearen in Wort und Bild geschildert*. Brockhaus. 7 vols. Leipzig, Alemanya.
- Jaume, D. 1993. Fauna carinològica de les aigües continentals. In: Alcover, J.A., Ballesteros, E. i Fornós, J.J. (Eds.): *Història Natural de l'Arxipèlag de Cabrera*. Ed. Moll / CSIC, Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 2: 309-322. Palma de Mallorca.
- Jaume, D. i Boxshall, G.A. 1996a. Two new genera of cyclopinid copepods (Crustacea) from anchialine caves on western Mediterranean and eastern Atlantic islands. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 117: 283-304.
- Jaume, D. i Boxshall, G.A. 1996b. Rare cyclopid copepods (Crustacea) from Mediterranean littoral caves. *Bulletin of the Natural History Museum, London* (Zoology Series), 62: 83-99.
- Martel, E. A. 1903. Les cavernes de Majorque. *Spelunca. Bulletin et Mémoires de la Société de Spéléologie*, 32: 1-50.
- Martínez i Rius, A. 1994. La immersió a l'ERE. *Espeleòleg*, 40: 34-38.
- Merino, A. 1993. La Cova des Pas de Vallgornera. *Endins*, 19: 17-23.
- Merino, A. 2000. Nuevas extensiones de la Cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor, Mallorca). *Endins*, 23: 7-21.
- Montoriol-Pous, J. 1970. Nota sobre la Cova del Drac de Santanyi (Mallorca). *Speleon*, 17: 41-46.
- Moreu-Rey, E. 1982. *Els nostres noms de lloc*. Pàg. 94 Palma.
- Ordinas, G. i Rotger, F. 2002. La defensa d'Alcúdia a 1738. Una descripció militar de la ciutat i la costa. *II Jornades d'Estudis locals d'Alcúdia. Ajuntament d'Alcúdia*.
- Pretus, J. L. 1991. *Estudio taxonómico, biogeográfico y ecológico de los crustáceos epígeos e hipogeos de las Balears (Brachiopoda, Copepoda, Mystacocarida y Malacostraca)*. Tesi doctoral. 513 pp. Barcelona.
- Ramis, D., Santandreu, G. i Carreras, J. 2004. Resultats preliminars de l'excavació arqueològica a la cova des Moro entre 1999 i 2002. In: *Espai, fet urbà i societat a Manacor. III Jornades d'Estudis Locals de Manacor*, 127 - 142. Manacor.
- Rosselló Verger, V.M. 1961-62. Anotacions a la toponomàstica del migjorn i xaloc de Mallorca. *Boll. Soc. Arq. Lul.*, 32: 30.
- Salvà, B. 1997. Les coves naturals de Portocolom i la seva ocupació humana al llarg del temps. *Endins*, 21: 93-101.
- Thomas-Casajuana, J.M. i Montoriol-Pous, J. 1951. Los fenómenos kársticos de Parelleta (Ciudadela, Menorca). *Speleon*, 2 (4). 191-216.
- Tobella, F.X. 1881. Excursió a Palma, Coves d'Artà i Manacor. *Anuari Assoc. Excurs. Cat.* 30 pàgs. Barcelona.
- Trias, M. 2004. El paisatge subterrani meridional de Menorca. In: Fornós, J. J., Obrador, A. i Rosselló, V. M. (Eds.), *Història Natural del Migjorn de Menorca: el medi físic i l'influx humà*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 11: 275 - 290.
- Trias, M. i Ginès, J. 1989. Algunes noves cavitats de l'illa de Menorca. *Endins*, 14-15: 5-16.
- Trias, M. i Mir, F. 1977. Les coves de la zona de Can Frasquet - cala Varques. *Endins*, 4: 21-42.
- Trias, M., Bover, P. i Alcover, J. A. 2001. La cova dels Amengual-Sastre (Sencelles, Mallorca). *Endins*, 24: 129-135.
- Tuccimei, P., Ginès, J., Delitala, C., Pazzelli, L., Taddeucci, A., Clamor, B., Fornós, J.J., Ginès, A. i Gràcia, F. 2000. Dataciones Th/U de espeleotemas freáticos recolectados a cotas inferiores al actual nivel marino en cuevas costeras de Mallorca (España): aportaciones a la construcción de una curva eustática detallada de los últimos 300 ka para el Mediterráneo Occidental. *Endins*, 23: 59-71.
- Veny, C. 1968. *Las cuevas sepulcrales del Bronce Antiguo en Mallorca*. Mallorca. Madrid: CSIC, Instituto Español de Prehistoria, Biblioteca Prehistórica Hispana IX.



Vidal, B. 1965. En el centenario de su muerte, Bover en Santanyi. *Santanyi*, 173: 1-3.

Waldren, W.H. 1982. Balearic Prehistoric Ecology and Culture. The Excavation of Certain Caves, Rock Shelters and Settlements. BAR International Series, 149. 773 pp. Oxford.

# Trets mineralògics i texturals de la seqüència dunar holocena de la depressió de Campos (Mallorca)

Jaume SERVERA i Guillem X. PONS

## SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA  
NATURAL DE LES BALEARS

Servera, J. i Pons, G.X. 2007. Trets mineralògics i texturals de la seqüència dunar holocena de la depressió de Campos (Mallorca). In: Pons, G.X. i Vicens, D. (Edit.). Geomorfologia Litoral i Quaternari. Homenatge a Joan Cuerda Barceló. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 14: 353-373. ISBN 84-96376-13-3. Palma de Mallorca.

A partir d'una revisió bibliogràfica es comenta i es resumeix el que més cal destacar del que s'ha publicat sobre els dipòsits eòlics holocens de Mallorca. Mitjançant les tècniques de l'anàlisi mineralògica i textural de deu mostres de sediment, recollides a dos perfils verticals del sistema platja-duna de la badia de Campos, s'analiza els sediments dels dipòsits eòlics deixats durant l'Holocè. Es descriuen per cada perfil els tres nivells de dunes que se hi identifiquen i els dos nivells de paleosòls intercalats entre ells. En la composició textural de les mostres analitzades destaca la dimensió d'arenas mitjanes-fines i una aclaparadora majoria de la fracció de bioclasts (97 %) front a la dels litoclasts que just arriba a un 3%. En la composició mineralògica el que predomini és la calcita i l'aragonita, mentre que, de forma menys important hi apareix el quars, fracció relacionada amb les precipitacions de fang provinents del nord d'Àfrica.

**Paraules clau:** *Holocè, sistema platja-duna, anàlisi granulomètrica, mineralogia, Mallorca.*

MINERALOGICS AND TEXTURALS CHARACTERISTICS OF THE HOLOCENE DUNE SEQUENCE OF THE CAMPOS DEPRESSION (MAJORCA). From a bibliographical revision the most remarkable writing comments and summarizes on the Holocene aeolian deposits of Majorca. By means of techniques of mineralogic and textural analysis of ten sediment samples, collections in two vertical profiles of the system beach-dune of the bay of Campos, analyze sediments of these Holocene aeolian deposits. The three present dune levels and two levels of paleosoils put in among them are described by each profile. In the textural composition of them analyzed samples in front of emphasize the dimension of medium-fine sands and a majority of the fraction of bioclasts (97%) the one of the litoclasts that only arrives at a 3%. In the mineralogic composition the calcite predominates and aragonite, whereas, of less important form appears the quartz, fraction related to originating mud precipitations of North Africa.

**Keywords:** *Holocene, beach-dune system, grain-size analysis, mineralogy, Mallorca island.*

Jaume SERVERA i Guillem X. PONS, Dept. Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears. Ctra. Váldemossa, km. 7,5. 07122 Palma (Illes Balears). Email J. Servera: vdc-tjsn0@uib.es; G. X. Pons: guillemx.pons@uib.es

## Introducció

Sobre el desenvolupament del camp de dunes d'un sistema platja-duna litoral, són diverses les teories que es manegen, inclòs algunes es poden arribar a contradir-se. Així doncs, Cooper (1958) apuntava que les fases més àlgides en la construcció de noves formes dunars es corresponien amb les etapes de pujada del nivell relatiu de la mar. En síntesi, el seu plantejament es fonamentava en què el comportament transgressiu de la línia de costa acompanyada d'una major erosió de la mar sobre les formes dunars preexistents, remou importants quantitats de sediment i proporciona així, una major disponibilitat d'aquest; de manera que, en un moment determinat pot ésser deflacionat més fàcilment cap a l'interior del camp dunar. Al mateix temps, aquest procés fa suposar que la major freqüència en que les ones dels temporals arriben a la base de les avantdunes –*foredunes*–, afavoreix una important manca d'estabilitat de la cobertura de la vegetació dunar, fet que provoca l'aparició de formes erosives tipus canals –*trough blowouts*–. Són aquests canals i els seus lòbuls més interiors, els que amb el temps evolucionen com a formacions de dunes tipus parabòliques i que prograden cap a dintre del camp dunar. Malgrat que la teoria de Cooper (1958) potser respongui a un model de construcció de determinats camps de dunes litorals, el cert és que aquest tipus de sistemes, a més de la remoció de sediment a la part alta de la platja, forçadament han de comptar amb uns balanços sedimentaris positius amb una abundant entrada al·lòctona de nou sediment al sistema. Tot i així, tenint present la condició de pujada progressiva del nivell de la mar (Hesp i Short, 1999).

Com a d'altres indrets (Bird, 1990; Christiansen i Bowman, 1986; Christiansen,

*et al.*, 1990) i també a les illes Balears (Servera, 1997), cal explicar la construcció dels camp dunars holocènics des d'una altre perspectiva i amb un altre enfocament. En el cas més específic balear, el sediment té, en més d'un 80%, una procedència autòctona; és a dir, la fàbrica de sediment es troba dintre del mateix sistema platja-duna. Aquesta característica implica que la producció i el subministrament de nou sediment al sistema pugui ésser una important limitació per l'equilibri natural del sistema; sobretot, a les fases transgressives del nivell de la mar on la nova aportació és insuficient i es tradueix en un dèficit sedimentari. En aquestes situacions, el sediment que forma el camp de dunes al seu contacte amb la platja és progressivament remogut per la mar. D'aquesta manera, de forma majoritària, el sediment recuperat per la dinàmica marina és incorporat a l'àmbit de la platja i no cap a les parts més internes del camp dunar tal com proposà el model de Cooper (1958).

Només en les fases regressives del nivell de la mar, els sistemes platja-duna de les Balears presenten un balanç sedimentari amb excedents. Aquesta situació es deu a que a la producció anual de sediment, se li afegeix el que la davallada del nivell de la mar i la seva conseqüent regressió de la línia costa deixa al descobert de la platja submergida. Tot plegat, els contingents de sediment sobrant a la platja són transferits a l'àmbit subaeri, on el vent juntament amb la implicació de la vegetació (Martín i Rodríguez-Perea, 1996) els modela i organitza en diferents cordons de formes dunars.

Així doncs, per a les Balears cal lligar les fases constructives dels camps de dunes als períodes de descens relatiu del nivell de la mar. Aquest fet permet suposar que els trets d'organització i estratigràfics dels camps de dunes holocenes de la badia de Campos, com els demés de les Balears, han

de presentar d'alguna manera una correlació amb el comportament del nivell de la mar al llarg del període de l'Holocè i fins al nostres dies. En aquest sentit, per a la nostre àrea d'estudi a la badia de Campos, treballs que han precedit a aquest (Servera, 1997; 1998; Gonzáles-Hernández, *et al.*, 2001) reconeixen que la construcció dels camps de dunes durant l'Holocè s'ha produït a partir de tres principals pulsacions eòliques, cada una d'elles cal relacionar-la amb un període de davallada del nivell relatiu de la mar. Malgrat el desconeixement que hi ha sobre el comportament eustàtic a Mallorca durant l'Holocè, pareix que l'únic que es té clar és que el màxim flandrià va succeir fa uns 6.500 anys BP i que el nivell de la mar es va instal·lar de forma considerable per sobre de l'actual. En aquest sentit, Butzer (1975) cita el màxim flandrià entre la cota +1 i +3 m, Cuerda (1989) estableix per a Mallorca i per a aquest mateix nivell marí una cota de + 4/2 m sobre el zero actual i, més recentment, Ginés (2000) manifesta en el seu treball que el màxim transgressiu Versilià o Flandrià no superà els 2 m d'elevació amb respecte al present nivell marí. Per tenir una referència externa, al País Valencià, Pardo i Sanjaume (2001) parlen d'entre + 2 i + 3 m pel màxim Flandrià.

Malgrat la falta de dades per establir amb fidelitat una corba eustàtica a Balears que abasti el període de l'Holocè i fins el present, el registre sedimentari dels camps de dunes de la badia de Campos ens fa decantar per pensar que el nivell relatiu de la mar durant aquest període ha tingut un comportament espasmòdic. En aquesta línia, Fairbridge (1961) proposa una corba eustàtica general, en què durant l'Holocè el nivell de la mar ha superat en sis ocasions l'actual, amb alcàries de fins i tot arribaren els 3,7 m per damunt i els 3 m per davall. Sens dubte, l'eustatisme del nivell marí no és igual per a

tot el conjunt del planeta, per tant la proposta de Fairbridge no té perquè concordar amb nombre i tampoc amb magnitud amb el que s'han succeït a la nostra àrea d'estudi. Ara bé, segons el registre sedimentari que analitzem, des del màxim flandrià fins a l'actualitat, se han d'haver esdevingut dues oscil·lacions més que han posat el nivell de la mar per damunt de l'actual, amb els corresponents períodes intercalats que hagueren de posicionar-lo per davall. Ambdós fenòmens eustàtics, el suficientment importants com per deixar un registre sedimentològic avui identificable, han presentat de forma progressiva en el temps un rang de major a menor entitat; el que ha permès que les oscil·lacions més recents no hagin eliminat el registre sedimentari de la seva antecessora, sinó que pel contrari el nou registre s'hi hagin acoblat lateralment. Aquesta seria la raó principal, que explicaria la disposició i acreció horitzontal dels dipòsits deixats per cada de les presumibles pulsacions identificades.

Sens dubte, en aquest sentit és molt interessant l'aportació de l'article de Goy *et al.* (1997), en que basant-se en datacions de  $^{14}\text{C}$  sobre l'evolució de la fletxa litoral de l'albufera d'Alcúdia i de terrasses marines d'altres indrets de la costa de l'illa, proposen una cronologia per als períodes d'alt nivell relatiu de la mar que s'han succeït des de l'òptim Holocè fins al present. Cal fer també esment, a la certa coincidència (Taula 1) de la proposta de cronologia feta pels anteriors autors, amb la realitzada, a partir de fons indirectes (Servera, 1997).

## Àrea d'estudi

El sistema platja-duna de sa Ràpita-es Trenc es localitza a la costa sud-occidental del litoral de l'illa de Mallorca. Aquest sis-



Tendència del nivell realtiu de la mar	Cronologia proposta pels autors respecte de present (a BP)		Tendència de la línia de costa	Balç sedimentari a l'àmbit de la platja	Relació sedimentària platja - avantduna	Dinàmica del camp de dunes holocenes
	Goy, <i>et al.</i> 1997 Datació: <sup>14</sup> C	Servera, 1997 Datació indirecte				
Òptim Flandrià	7000	6500	Regressió	Dèficit sedimentari	-	-
Nivell per sobre l'actual	7100-6000	6500-5200	Alternança	Equilibri sedimentari	Alternança	-
Tendència a davallar	5500+ 255	5200-4600	Acreció	Excedent sedimentari	Transferència de la platja a les dunes	Construcció de noves dunes. Formació de l'episodi A
Tendència a pujar	-	4600-3800	Regressió	Dèficit sedimentari	Transferència de del camp dunar a la platja	Estabilització del camp dunar. Formació del paleosòl 1
Nivell per sobre l'actual	4430 ± 110	3800	Alternança	Equilibri sedimentari	Alternança	Estabilització del camp dunar. Evolució del paleosòl 1
Tendència a davallar		3800-2800	Acreció	Excedent sedimentari	Transferència de la platja a les dunes	Construcció de noves dunes. Formació de l'episodi B
Tendència a pujar	-	2800-2100 (1)	Regressió	Dèficit sedimentari	Transferència de del camp dunar a la platja	Estabilització del camp dunar. Formació del paleosòl 2
Nivell per sobre l'actual	Entre 3500 ± 90 i 1780 ± 200	2100	Alternança	Equilibri sedimentari	Alternança	Estabilització del camp dunar. Evolució del paleosòl 2
Tendència a davallar	-	2100-1600 Emersió de Florida (2)	Acreció	Excedent sedimentari	Transferència de la platja a les dunes	Construcció de noves dunes. Formació de l'episodi C.
Tendència a pujar		1600-?				
Nivell per sobre l'actual	?-495±70 Començament de la Petita Edat del Gel		Regressió	Dèficit sedimentari	Transferència de del camp dunar a la platja	Estabilització interna i/o erosió marina a primera línia. Formació del nivell de sòl actual
(1) Font: Hoffmann i Schultz, 1987						
(2) Font: Hafeman, 1959 i Fairbridge, 1961; citats per V. M. Rosselló 1969						

Taula 1. Proposta de cronologia i evolució de la zona.

Table 1. Proposal of chronology and zone evolution.

tema tanca a la mar la depressió de Campos amb un camp de dunes holocèniques que ocupen una superfície aproximada d'uns 4,5 km<sup>2</sup> i s'estenen cap a l'interior fins a una distància de 1,5 km des de la línia de costa. La platja actual que alimenta aquest sistema té una llargària d'uns 6 km i queda emmarcada entre el club nàutic de sa Ràpita, a la seva part més septentrional, i el nucli urbà de sa Colònia de Sant Jordi a la seva part més meridional (Fig. 1).

La continuïtat de la costa arenosa es veu trencada per una sèrie de promontoris rocallosos tots ells constituïts per eolianites antigues que individualitzen diferents segments de costa amb variables graus de concavitat i grandària; de nord a sud el primer que ens trobem es l'arenal de sa Ràpita, seguit de la platja des Morters de menors dimensions. En aquest punt, coincidint amb el nucli urbà de ses Covetes, la linealitat de costa es veu deformada per un sortint

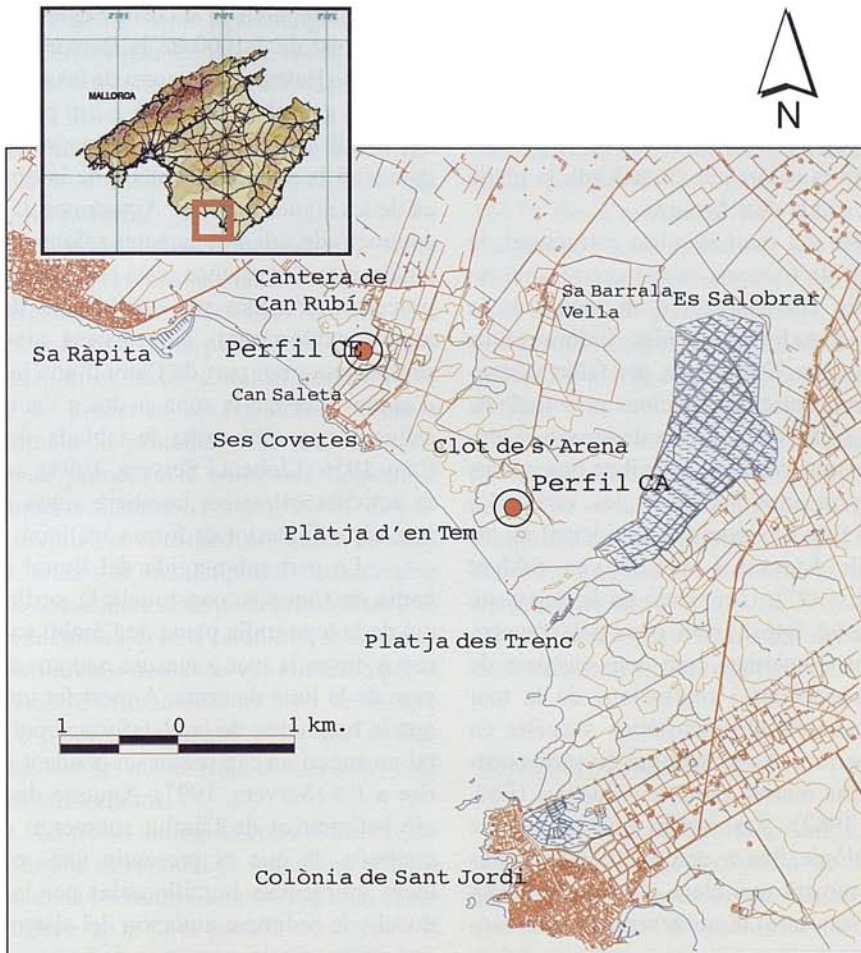


Fig. 1. Mapa de localització dels perfils estudiats.

Fig. 1. Map of location of the studied profiles.

corresponent a dunes fòssils ben litificades d'edat rissiana a la base i würmiana a la part superior i amb intercalacions, entre les dues seqüències, de dipòsits marins i de paleosòls (González-Hernández *et al.*, 2001). Més cap al sud-est, trobem l'arenal d'en Tem i la platja des Trenc fins arribar a la punta de l'illa Gavina que ambdues donen lloc a l'arc de majors dimensions de tota la badia. Fins arribar a la Colònia de Sant Jordi, trobem tres arcs de menors dimensions, delimitats per unes terrasses d'erosió marina - rases d'abració marina - (Rosselló, 1969) just per sobre de l'actual nivell de la mar i treballades sobre dunes fòssils würmianes; els dos primers, constitueixen les platges dels Prengons i el tercer, ja en contacte amb la colònia de Sant Jordi, la platja de la raconada de s'Estany.

Des del punt de vista estructural, la depressió de Campos es correspon amb un progressiu enfonsament d'un sector de la mateixa plataforma tabular finimiocènica que la revolta. Delimitada per falles distensives recents amb orientacions principals de SW-NE i SE-NW, aquesta depressió repereix els materials que li arriben procedents del vessant meridional de les serralades Centrals i de l'extrem sud-occidental de les serres de Llevant i que la van replant (Servera, 1997). L'evolució de la depressió no ha estat lineal, sinó que, pel contrari, durant el Quaternari com conseqüència de les transgressions i regressions de la mar pels processos glacioeustàtics succeïts en aquest període, ha esdevingut en diverses ocasions badia marina (Butzer i Cuerda, 1960; Butzer, 1962). Així tenim que el registre paleontològic fins a una profunditat d'uns 200 m, mostra una clara alternança cíclica entre la successió d'ambients més continentals palustres, que presenten espècies dolçaquícules, i ambients de caràcter més marí amb organismes marins adaptats al medi salobre (Mateu *et al.*, 1982).

A l'actualitat la depressió de Campos no hi trobem cap formació d'albufera important. Malgrat tot, a l'àrea central just al darrera el camp de dunes del sector de la platja des Trenc, trobem es Salobrar. Un àrea d'aproximadament 3 km<sup>2</sup> que esporàdicament presenta processos d'inundació naturals, provenint de l'escolament superficial continental. Aquest fet i d'altres no ens permet parlar d'una formació albuferenca (Rosselló, 1969), ni tampoc d'una restinga dunar respecte del conjunt de dunes holocenes que la separen de la costa. Segons la cartografia escala 1:1000 de la Demarcació de Costes de Balears, la majoria de les cotes del Salobrar es troben entre 1,5 i 2 m per sobre del nivell actual de la mar, topografia que demostra la seva desconexió de la dinàmica de les aigües marines. Així doncs, la concentració de sals i el caràcter salobre de les aigües que s'hi retenen, està relacionat amb processos d'ascens per capil·laritat de les aigües subterrànies. No obstant això, la presència a gran part de l'any d'una làmina d'aigües lliures a la zona es deu a l'activitat salinera que s'hi troba instal·lada des de l'any 1956 (Llobera i Servera, 1994), aquesta activitat extractiva bombeja aigua de la mar cap a l'interior de forma artificial.

La part submergida del litoral de la badia de Campos, constitueix la perllongació de la topografia plana de l'àmbit subaeri cap a dintre la mar a mesura que ens allunyem de la línia de costa. Aquest fet implica que la batimetria de la plataforma continental no superi en cap sector un pendent superior a l'1% (Servera, 1997). Aquesta disposició batimètrica de l'àmbit submergit de la contrada, fa que es presentin unes condicions ambientals immillorables per la producció de sediment autòcton del sistema, ja que afavoreix la presència i desenvolupament d'àmplies praderies de *Posidonia oceanica* i d'altres comunitats submarines productores de sediment. Per altra banda,

aquestes condicions de relació topogràfica entre l'àmbit subaeri i submergit d'aquest litoral constitueix el factor principal que permet els processos de transferència de sediment entre els dos àmbits esmentats i dels processos d'acumulació en cada un d'ells.

El sediment que trobem a l'àmbit actual de platja de l'àrea d'estudi es correspon amb una fàcies d'arenas bioclàstiques indiferenciades. La seva composició és eminentment bioclàstica amb un 92'4 %, front a la fracció litoclàstica que tant sols representa un 7'2%. El major percentatge dels bioclasts corresponen als indiferenciats (69 %) i la resta a foraminífers (14'7 %), bivalves (4'5 %) i briozous (1'6 %) (Jaume i Fornós, 1992). Pel que fa a la fracció litoclàstica gairebé la seva totalitat es correspon amb una litologia calcària.

Com a sistema platja-duna, l'àrea d'estudi no presenta substancials diferències als seus homònims de les illes Balears. Així doncs, a la part de la platja submergida del sistema, en el sector distal el desenvolupament de praderies de *Posidonia oceanica* constitueix la principal "fàbrica" de sediment de procedència autòctona disponible per aquests sistemes (Fornós, 1987). El sector proximal, el constitueixen bancs de sediment arenós d'una amplitud considerable com a conseqüència de poca profunditat d'aquest sector a l'àrea d'estudi. La continuïtat del fons arenós només es veu truncada per la presència d'afloraments rocosos de *beach-rock* o d'eolianites quaternàries que coincideixen amb les que es troben a la costa i continuen terra endins.

La platja emergida constitueix el sector més poc estructurat de tot aquest sistema litoral de la badia de Campos. Aquesta situació esdevé de la forta pressió antròpica a la que està sotmesa (Servera *et al.*, 1994; Martín *et al.*, 2004). La seva amplitud és molt variable al llarg de tota la badia; no obstant, en el transcurs de les dues darreres

dècades es poden quantificar importants retrocessos de la línia de costa. Tot plegat, la importància dels processos d'erosió en aquest litoral, també es manifesten en la pèrdua actual de més d'una tercera part del cordó d'avantdunes –*foredunes*– i la degradació de la resta tant des del punt de vista abiòtic com del biòtic.

El camp de dunes litorals holocenes que trobem a la nostra àrea d'estudi ocupa aproximadament unes 500 ha, part de les quals, les més internes, han estat conreades. Des del punt de vista morfològic, la forma dunar predominant és la parabòlica (Servera i Rodríguez-Perea, 1996), malgrat que aquestes, a mesura que ens allunyem de la línia de costa, presenten formes de parabòliques compostes i complexes (Servera, 1997). Per l'orientació dels eixos centrals d'aquestes acumulacions, que de forma majoritària mostren una direcció predominant d'avanç d'entorn dels 67°, podem dir que la seva construcció està relacionada amb vents efectius de direccions compreses entre el SW i W.

Malgrat tot i ésser la paràbola la forma predominant com correspon a un camp dunar vegetat, les dunes del sistema platja-duna de la badia de Campos a l'espai estan organitzades en tres sectors que transcorren paral·lels a la línia de costa i presentant un major grau de fixació del sediment com més terra endins ens fem.

## Objectius i mètodes

Encara que, des de fa temps, ja es va argumentar que la seqüència de deposició eòlica holocena presenta tres unitats separades per nivells de paleosòls foscos amb matèria orgànica (Servera, 1997; González-Hernández *et al.*, 2001), fins avui no s'ha presentat cap estudi de les característiques sedimentològiques d'aquests dipòsits. Així



doncs, l'objectiu específic d'aquest treball és caracteritzar la textura i la composició del sediment de cada un dels nivells de la citada seqüència, per analitzar-ne les possibles diferències sedimentològiques existents entre un i l'altre. Per identificar els nivells i des de base a sostre, el primer nivell de duna s'ha identificat amb l'inicial A, amb la B el següent i amb la C el més superior dels tres (Fig. 2). Els nivells de sòls intermedis s'han anomenat SOL1 el situat entre els nivells de dunes A i B, i SOL2 el situat entre els nivells B i C.

L'àrea d'estudi constitueix un magnífic exemple del que són aquests litorals a Mallorca, al mateix temps que els buits deixats per diferents històriques extraccions d'arena, posen a l'abast uns talls que constitueixen un magnífic laboratori natural, que cal aprofitar abans que el temps i els processos de meteorització acabin per matisar i ocultar els petits detalls. Així doncs, pel nostre treball hem seleccionat dos d'aquests talls: un primer, identificat en el mostratge amb les inicials **CE**, localitzat en una extracció estreta i allargassada situada entre Can Saleta i Can Rubí al nord del nucli de ses Covetes. En aquest cas es va fer el mostratge a la part més interior del talús oriental a un petit entrant que romp la linealitat del perfil en el punt que es troba a les següents coordenades UTM, x:4356875 i y:497725. D'altra banda, al darrera de l'arenal d'en Tem, a la part central de la badia de Campos i al sud de les cases de la Possessió de sa Barrala Vella, trobem l'extracció coneguda com el Clot de s'Arena, on hem localitzat el segon tall. Es troba al talús oriental de l'extracció, just en el punt on la potència del conjunt es major i presenta les següents coordenades UTM, x:4355625 i y:499025. S'ha identificat amb les inicials **CA**.

A cada tall s'han recollit un total de 5 mostres, una per cada nivell de duna o pale-

osòl citat. Les mostres s'han agafat per prospecció directe a la part central de la potència de cada un dels nivells i a una profunditat d'aproximadament uns 10 cm des de l'exterior. El mostratge s'ha realitzat de base a sostre i previ neteja de la totalitat del tall per evitar contaminacions tot seguint les recomanacions de Sanjaume (1985). Una vegada al laboratori, el tractament ha estat diferent per a les mostres dels nivells dunars i les corresponents a paleosòls.

Cada mostra dels nivells dunars (aprox. 600 g) ha estat prèviament rentada amb aigua destil·lada per eliminar les sals i atacada amb  $H_2O_2$  rebaixat al 10% per tal de dispersar el grans i oxidar la matèria orgànica. Una vegada eixutes s'han dividit en cinc submostres de 100 g que s'han pogut en sec separant les fraccions amb els següents tamisos: 2, 1, 0,5, 0,25, 0,125 i 0,063 mm. De cada una se n'han calculat els paràmetres texturals següents: Mitjana D50 ( $M_d$ ), Mitjana aritmètica ( $M_z$ ), Classificació ( $\sigma_G$ ), Asimetria ( $Sk$ ) i Curtosi ( $K_G$ ) (Pettijohn *et al.*, 1987).

Per a les mostres corresponents als paleosòls l'anàlisi de la textura s'ha realitzat mitjança el mètode Bouyoucos (FAO, 1973) que apart de no necessitar cap mena de pretractament de les mostres permet destriar el percentatge de les fraccions d'arena, llim i argila, molt més interessant per aquests nivells més edafitzats.

L'estudi de la composició del sediment s'ha realitzat mitjança la identificació de 225 partícules de les fraccions granulomètriques majoritàries: 1-0,5 mm, 0,5-0,25 mm i 0,25-0,125 mm de diàmetre. Aquesta identificació s'ha realitzat sobre el sediment corresponent a la submostra que presentava el valors més propers a la mitjana de cada mostra i les partícules han estat classificades entre les quatre categories: bioclasts, bioclasts indiferenciats, litoclasts i/o altres.

Per a l'anàlisi de la forma de les partícules, s'ha seguit un mètode de comparació visual basat en la proposta de escala gràfica de Powers (1953), que estableix 6 opcions de diferenciació segons el nivell d'abradió de les partícules: molt angular, angular, subangular, subarrodonida, arrodonida, molt arrodonida; a més també valora si la partícula tendeix cap una forma esfèrica o no.

L'anàlisi qualitativa de la composició mineralògica dels sediments estudiats s'ha realitzat mitjança un aparell de difracció de Raigs X de cada una de les mostres. La mesura del contingut en carbonats (%  $\text{CaCO}_3$ ), tant dels nivells dunars com dels paleosòls, s'ha utilitzat el mètode de gasometria o de Bernard. El contingut de matèria orgànica s'ha mesurat mitjança la diferència de pes entre una mostra inicial i el seu pes després d'un procés d'incineració d'aquesta a una temperatura de 550° durant un temps de 4'5 hores.

## Resultats

Dels dos perfils estudiats s'han analitzat un total de 10 mostres que identificarem, de la més antiga a la més moderna, de la següent manera: pel perfil del Clot de s'Arena (CA), els nivells de dunes tenen el codis CAA, CAB i CAC, al mateix temps que els sòls els identificarem per CASOL1 i CASOL2. Pel perfil de l'extracció del nord de ses Covetes (CE), el codis corresponents són CEA; CEB i CEC per als nivells de dunes i CESOL1 i CESOL2 per als nivells de sòls.

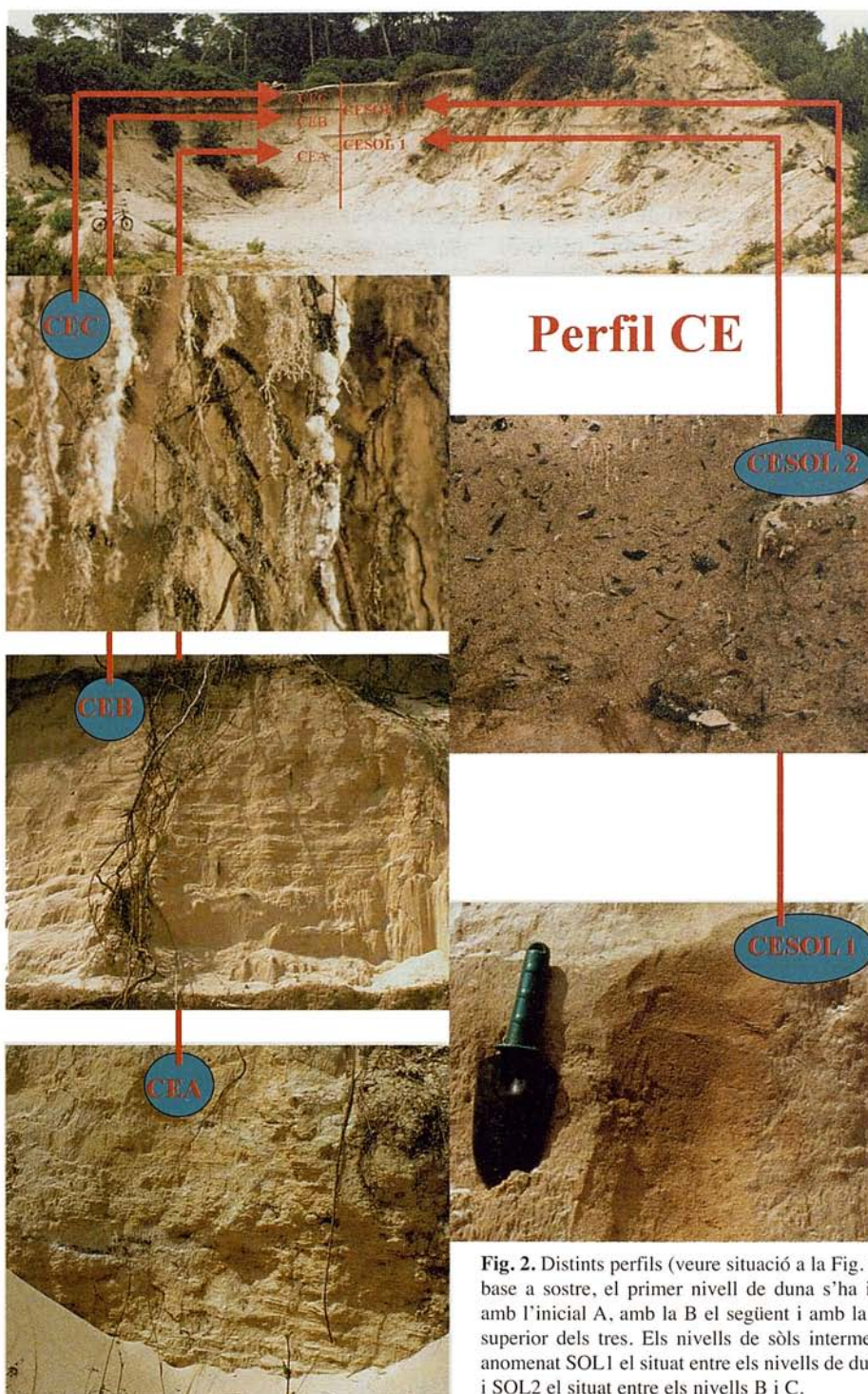
### *Caracterització dels sediments analitzats segons la dimensió de gra*

Com es pot observar a la Taula 2, si tenim present el paràmetre estadístic de la

mitjana aritmètica ( $M_z$ ) podem definir els sediments de les mostres de duna analitzades, amb valors superiors a  $2\phi$  com d'arenas fines (diàmetre comprès entre 0,250 i 0,125 mm). Només les mostres corresponents als nivells inferiors i més antics d'ambdós perfils (CAA i CEA), presenten un sediment amb una granulometria més gruixuda, amb valors de mitjana aritmètica per davall de  $2\phi$ , d'arenas mitjanes (diàmetre comprès entre 0,5 i 0,250 mm). Així i tot, cal remarcar que els resultats obtinguts per aquest paràmetre entren de ple dintre dels valors que la bibliografia consultada dona pel que són dunes litorals (Ahlbrandt, 1979; Pye i Tsoar, 1990).

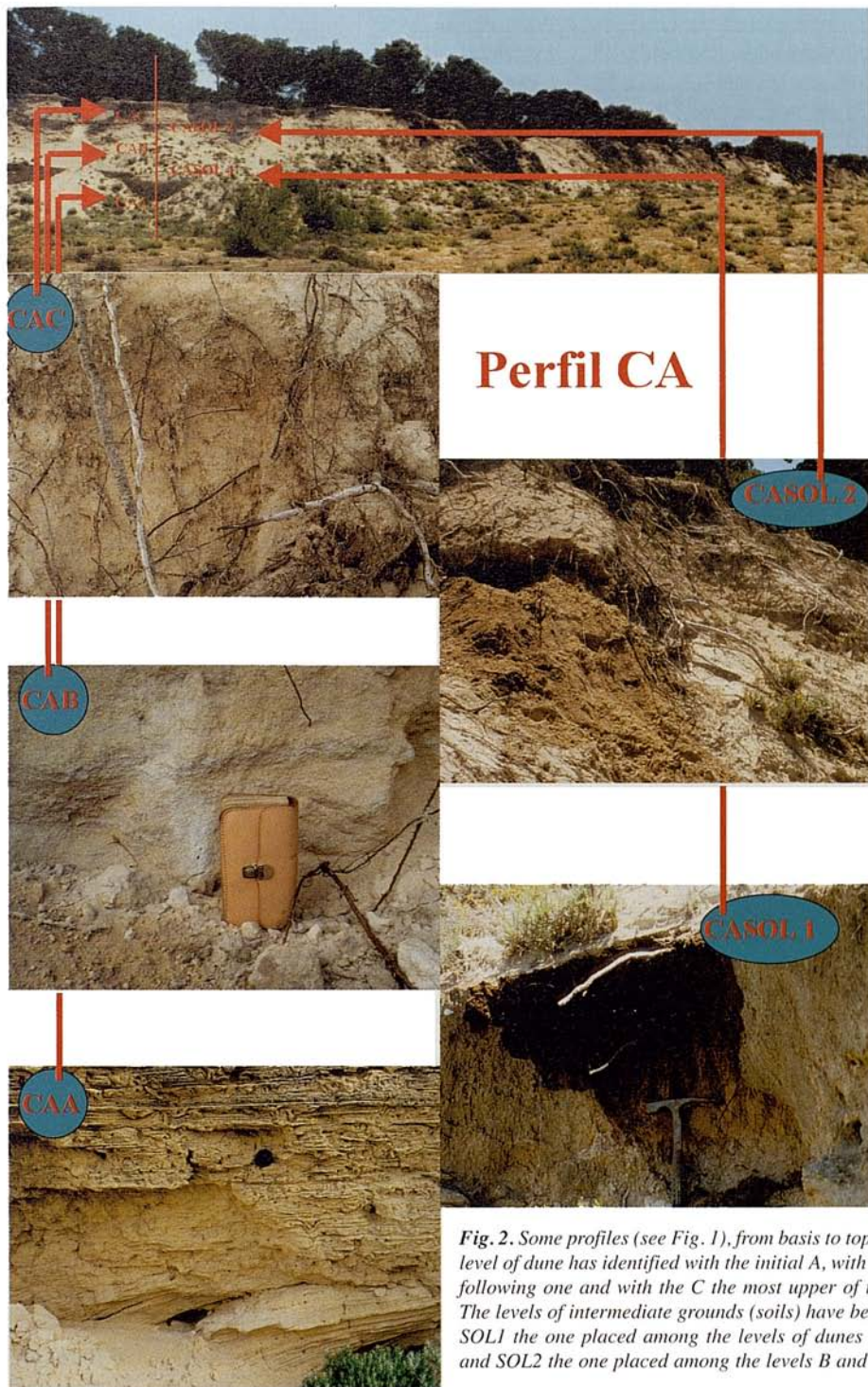
Respecte del grau de classificació ( $\sigma_c$ ) d'aquests sediments presenten valors compresos entre 0,50 i 0,71  $\phi$  (Taula 2) el que ens indica que estan moderadament ben classificats, propi de sediments eòlics. Malgrat tot i el que acabem de dir, els dos nivells més inferiors de cada perfil (CAA i CEA) tendeixen a presentar-se poc classificats; fet, que sense cap dubte està lligat al major grau de litificació que presenten ambdós nivells, ja que a pesar del tractament de disgregació al que hem sotmès les mostres al laboratori, s'han seguit mantinent agregats i partícules recristal·litzades. Igual que per al paràmetre de dimensió de gra, els valors del grau de classificació obtinguts per a les nostres mostres, es troben dintre els intervals que Ahlbrandt (1979) estableix com a característic de les dunes litorals.

El paràmetre d'asimetria ( $Sk_s$ ) mostra valors positius en els dos nivells superiors B i C, a excepció feta de la mostra CAC, el que indica que la corba granulomètrica encara cap una tendència d'arenas gruixudes i que curiosament a la mostra CAC tendeix de forma marcada cap arenas fines. Pels nivells més inferiors (CAA i CEA), l'asimetria pre-



**Fig. 2.** Distints perfils (veure situació a la Fig. 1), des de base a sostre, el primer nivell de duna s'ha identificat amb l'inicial A, amb la B el següent i amb la C el més superior dels tres. Els nivells de sòls intermedis s'han anomenat SOL1 el situat entre els nivells de dunes A i B, i SOL2 el situat entre els nivells B i C.





*Fig. 2. Some profiles (see Fig. 1), from basis to top, the first level of dune has identified with the initial A, with the B the following one and with the C the most upper of the three. The levels of intermediate grounds (soils) have been called SOL1 the one placed among the levels of dunes A and B, and SOL2 the one placed among the levels B and C.*



MOSTRA	DISTRIBUCIÓ TEXTURAL %						PARÀMETRES ESTADÍSTICS: METODE FOLK & WARD 1957 (Valors $\phi$ )								
	gmf	amg	ag	amt	af	amf	Descripció		Descripció	Descripció	Descripció				
Codi	gmf	amg	ag	amt	af	amf	$Md$	$M_z$	$M_z$	$\sigma_G$	$\sigma_G$	$Sk_L$	$Sk_L$	$K_G$	$K_G$
CAA	0,3	3,0	19,6	28,2	46,4	2,4	1,98	1,88	Arena mitjana	0,88	Classificació moderada	-0,16	Asimètrica (-) cap arenes fines	0,82	Poc angulosa (Platykurtic)
CAB	0,1	0,2	5,3	47,0	46,4	0,9	1,97	2,14	Arena fina	0,61	Moderadament ben classificada	0,19	Asimètrica (+) molt cap arenes gruixades	0,80	Poc angulosa (Platykurtic)
CAC	0,0	0,0	1,4	36,3	60,7	1,6	2,58	2,38	Arena fina	0,51	Moderadament ben classificada	-0,48	Asimètrica (-) molt cap arenes fines	0,60	Molt poc angulosa (Very-Platykurtic)
CEA	1,3	11	27	38,2	21,5	1,0	1,64	1,62	Arena mitjana	1,00	Poc classificada	-0,12	Asimètrica (-) cap arenes fines	1,07	Normal (Mesokurtic)
CEB	0,0	0,0	3,9	54,4	39,9	1,7	1,92	2,11	Arena fina	0,52	Moderadament ben classificada	0,45	Asimètrica (+) molt cap arenes gruixades	0,59	Molt poc angulosa (Very-Platykurtic)
CEC	0	0	1,9	53,5	43,3	1,3	1,95	2,13	Arena fina	0,52	Moderadament ben classificada	0,43	Asimètrica (+) molt cap arenes gruixades	0,59	Molt poc angulosa (Very-Platykurtic)

gmf: graves molt fines

amg: arenes molt gruixades

ag: arenes gruixades

amt: arenes mitjanes

af: arenes fines

amf: arenes molt fines

 $Md$ : Mitjana ( $D_{50}$ ) $M_z$ : Mitjana aritmètica $\sigma_G$ : Classificació $Sk_L$ : Asimetria $K_G$ : Curtosi**Taula 2.** Paràmetres texturals de les mostres analitzades.**Table 2.** Texturals parameters of the analyzed samples.

senta una tendència cap arenes fines, fet que molt possiblement estigui lligat al major grau de litificació d'aquest nivells que dona uns majors percentatges de les fraccions més grosses. Pel que fa referència al paràmetre de curtosi ( $K_G$ ) aquest presenta una corba poc angulosa o molt poc angulosa (Platykurti o very platykurti), només la mostra (CEA) presenta una forma normal (Mesokurti). Tot plegat, els resultats obtinguts en aquests dos paràmetres texturals no presenten cap anomalia respecte de les tendències que els guarismes representen.

#### *Textura dels sediments dels nivells de sòls analitzats*

Malgrat que presenten un grau d'edafització incipient i que es troben fossilitzats sense processos edafogenètics entre dipòsits

clarament dunars, aquests nivells de paleosòls tenen una major presència de fracció fina, fet que recomana un tractament d'anàlisi pròpia de sòls. En aquest cas, tot seguint el mètode de *Bouyoucos*, els resultats obtinguts són els que s'exposen a la Taula 3, els que ens fan determinar que aquests sòls presenten una textura argilo-arenosa.

Tot i que les quatre mostres analitzades no presenten gairebé diferències en la composició de la seva textura, cal fer notar que els dos nivells més inferiors i antics (CASOL 1 i CESOL 1) presenten una major proporció d'argiles i una menor representació d'arenes, el que fa pensar amb uns nivells edàfics un tant més evolucionats respecte dels dos més superiors i recents. Així i tot, el quatre nivells, analitzats presenten un contacte superior pla i molt abrupte amb

**Taula 3.** Distribució textural de les mostres analitzades.

**Table 3.** Textural distribution of the analyzed samples.

MOSTRA	DISTRIBUCIÓ TEXTURAL %		
	Arena ( $> 0,06$ mm)	Llims ( $0,06-0,002$ mm)	Argiles ( $< 0,002$ mm)
<b>CASOL 1</b>	73,0	3,0	24,0
<b>CASOL 2</b>	78,0	2,0	20,0
<b>CESOL 1</b>	72,0	2,0	26,0
<b>CESOL 2</b>	77,0	2,0	21,0

el nivell dunar, mentre que el contacte inferior és completament difús. Els quatre nivells, des d'un punt de vista edàfic, no presenten estructura o aquesta és massissa, no obstant, en els talussos de les extraccions d'arena on els hem analitzat, sobre tot els nivells inferiors (CASOL 1 i CESOL 1), es pot observar com ressalten topogràficament en el perfil en forma d'escaló, degut a una major consistència i compacitat dels dipòsits edàfics respecte dels eòlics que els emmarquen.

#### *Caracterització dels sediments analitzats segons la forma del gra*

Respecte de la forma del gra els resultats que es presenten a al conjunt de gràfiques de la Fig. 3 s'han extret de la classificació visual de les mostres amb comparació a l'escala de les classes de rodonesa i esfericitat proposada per Powers (1953), fet que carrega d'una certa subjectivitat els resultats que s'han obtingut (Pye i Tsoar, 1990). Els sediments analitzats, per tot el conjunt de les mostres tractades, presenten un major percentatge de partícules les irregularitats de la seva superfície són subanguloses, aquest fet és seguit pel conjunt de grans que els cantells de les seves facetes són més angulosos i menor rodonesa. Els resultats d'un estudi recent sobre els sediments de platja a l'illa de Menorca (Gómez *et al.*, 2000) apunten a uns resultats similars en aquest paràmetre de textura. Igualment, les partícules analitzades, mostren una major presència de formes allargades i irre-

gulars que les que tendeixen a l'esfericitat. Tot plegat fa pensar amb un tipus de sediment poc evolucionat i poc treballat pels diferents mecanismes d'abrasió.

#### *Composició dels sediments analitzats*

La composició del sediment de la totalitat de les mostres que hem analitzat es caracteritza per ésser de forma majoritària bioclàstic. Així doncs, si observem les gràfiques que componen la Fig. 4, podem observar com la fracció de litoclasts just arriben a un gairebé insignificant 3%.

Ja en referència al conjunt de bioclasts, cal dir que els indiferenciats són sense cap dubte la fracció més representativa a la totalitat de les mostres analitzades. Aquest fet està en relació a la dificultat que implica la identificació específica, degut a que la majoria de les partícules es presenten fraccionades i amb una superfície exterior mat, com a conseqüència d'haver sofert un llarg transport eòlic abans de quedar sedimentades. En segon lloc, i pel que fa a la fracció bioclàstica minoritària que permet la seva identificació, es reconeixen: foraminífers, fragments de bivalves, restes i sobre tot pue d'equinoderms, briozous, gasteròpodes i en menor mesura, però sí de forma majoritària a la fracció granulomètrica de 0,25 a 0,125 mm, espícules d'esponja opaques i transparents. Entre els pocs foraminífers que es poden identificar amb certa facilitat es troba algun exemplar d'*Elphidium crispum* i de forma més freqüent el *Spiroloculina arietina*, aquest darrer és un

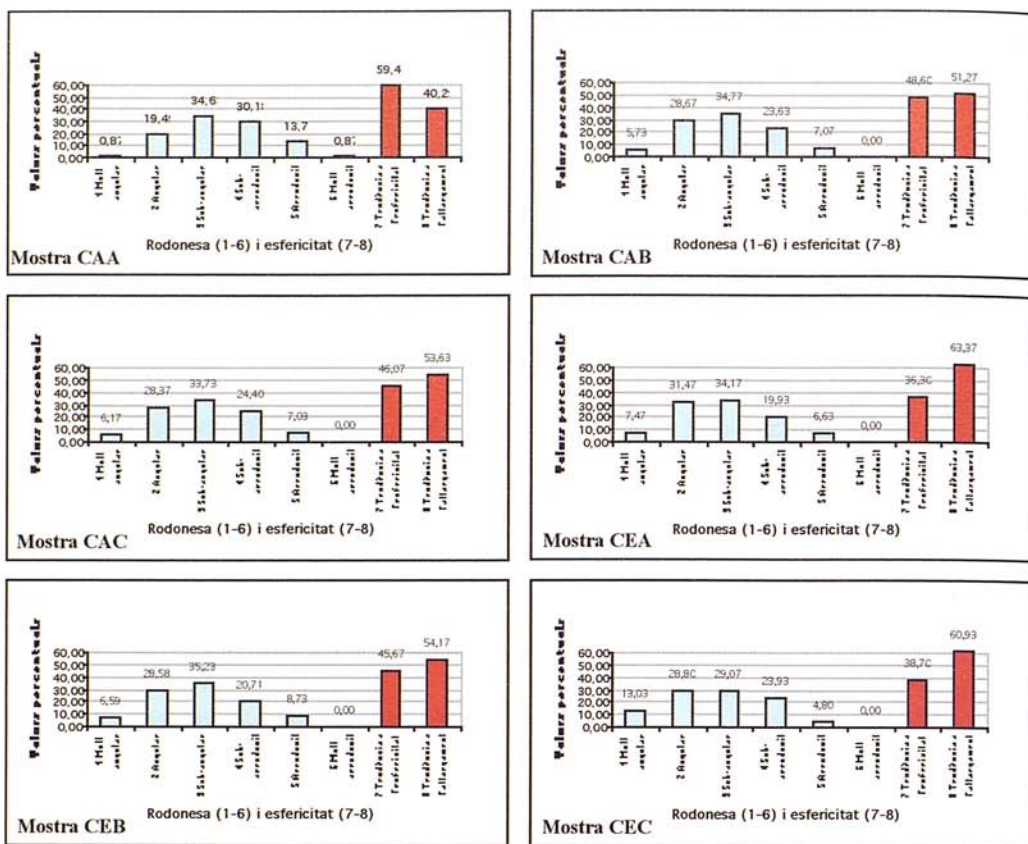


Fig. 3. Formes i mides del gra de mostres de cada un dels perfils.

Fig. 3. Forms and sizes of the grain of samples of each one of the profiles.

foraminífer de la família dels Peneroplidae dels anomenats calcari – porcellanoides és força abundant com a component actual del sediments de la platja des Trenc (Mateu *et al.*, 2003). Aquests grups de foraminífers esmentats es caracteritzen per presentar un creixement del seu cristalls de calcita de forma multidireccional, fet que els dota d'una importat resistència a l'abradió i malgrat el transport eòlic que han sofert per arribar al punt en que foren sedimentats, mantenen a les mostres analitzades un color blanc lletós i una superfície totalment abri-llantada.

En darrer lloc, cal dir que la fracció sedimentària que hem classificat com a d'altres, la seva totalitat es correspon a partícules d'agregats, configurats per bioclasts de diferents dimensions cimentats uns amb altres, per aquesta raó aquesta fracció guanya importància a les dues mostres més antigues i litificades de cada perfil (CAA i CEA), mentre que a les altres mostres és pràcticament inexistent.

#### *Composició química dels sediments analitzats*

Els resultats de les anàlisis realitza-

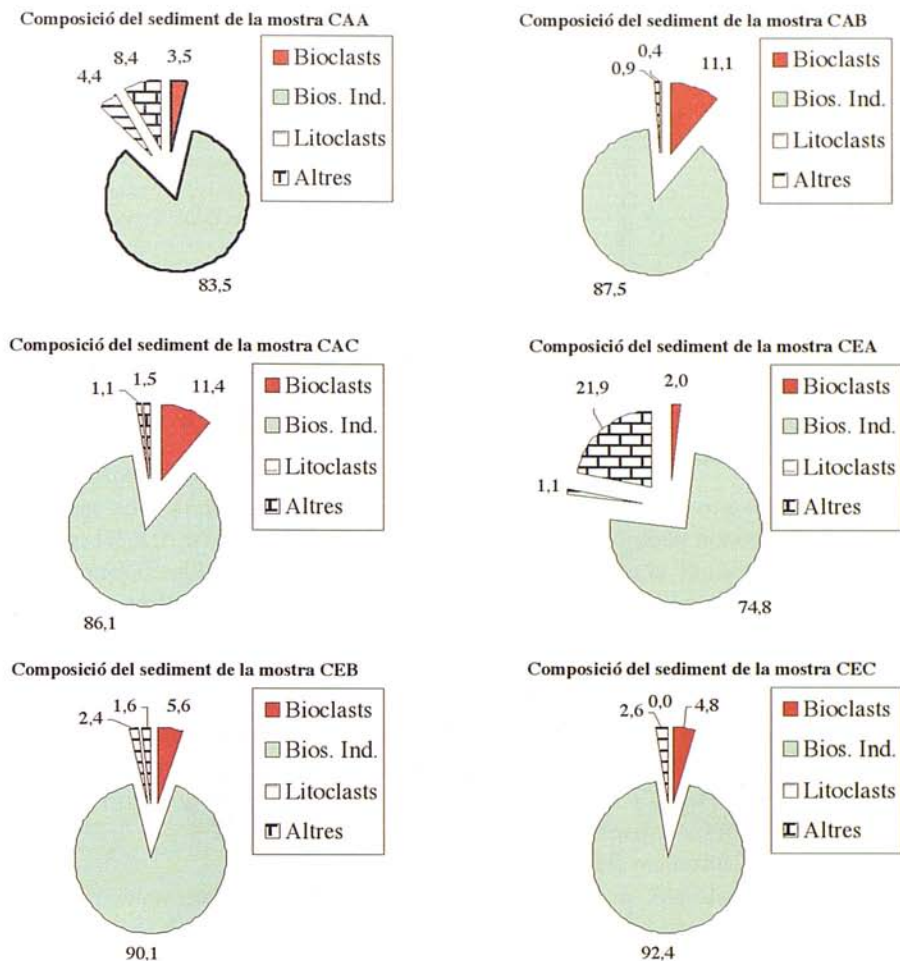


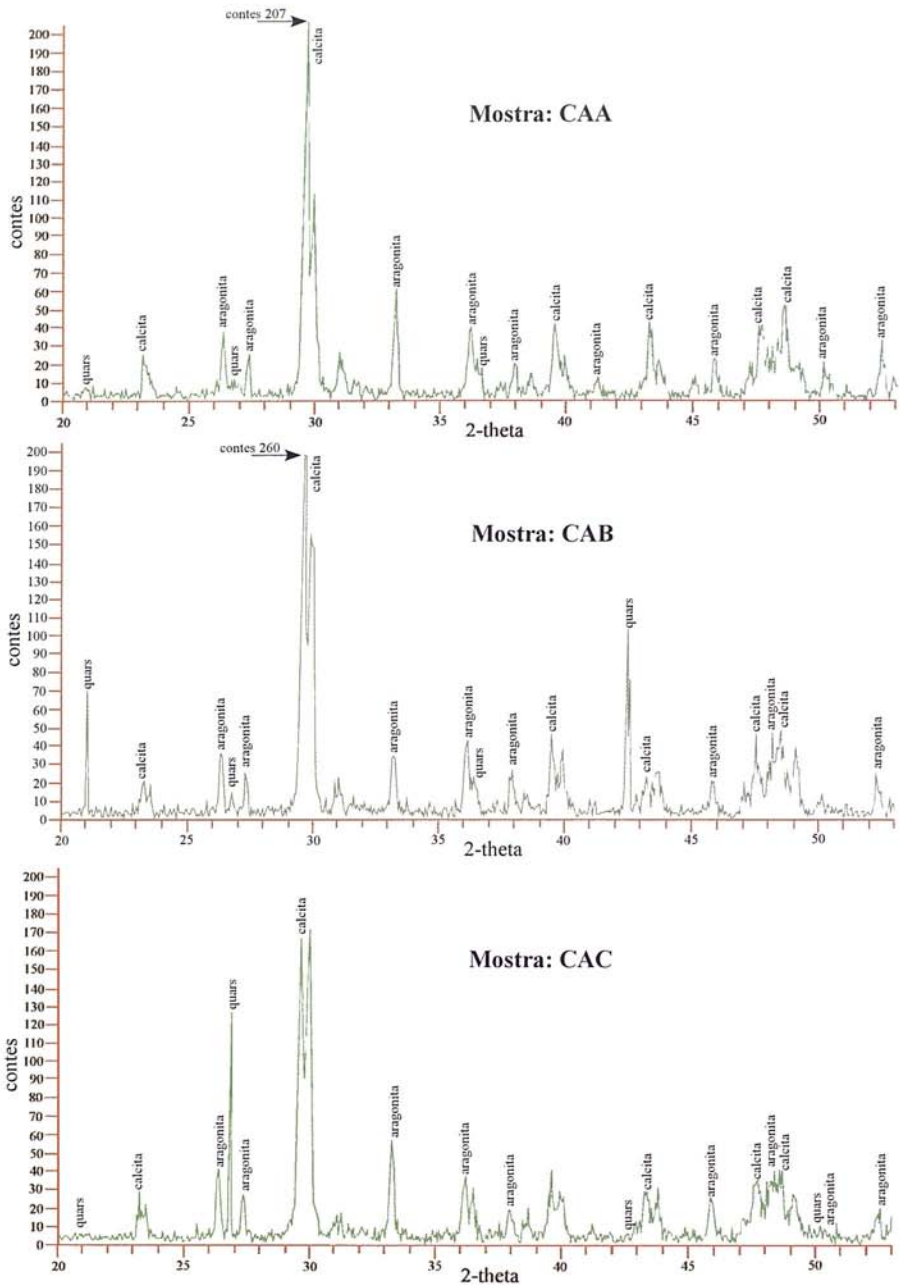
Fig. 4. Origen de la composició de les mostres de sediment dels dos perfils.  
 Fig. 4. Origin of the samples composition of sediment of two profiles.

des mitjançant difracció de raigs X aplicat a cada una de les mostres (Fig. 5), tant a les corresponents als nivells de dunes com a les de nivells de paleosòls, mostren que en la composició química des d'un punt de vista qualitatiu els minerals predominants són la calcita i l'aragonita. Aquest resultat pot considerar-se totalment esperat donat la quasi total naturalesa bioclàstica del sediment, no obstant, la difracció ha posat en

evidència la presència, encara que no molt important, de quars.

No es pot descartar que la presència de quars dintre la composició del sediment que hem analitzat pugui estar lligat a la producció d'algun organisme que el pugui sintetitzar, no obstant, el que n'és la font important sense dubte són els mecanismes que generen els episodis de pluges de fang que afecten sistemàticament Mallorca (Fornós et





**Fig. 5.** Difractograma de raigs X.  
*Fig. 5. Diffractogram of X-rays.*

**Taula 4.** Percentatge de continguts en carbonats, bàsicament d'origen biològic.

*Table 4.* Percentage of contents in carbonates, basically of biological origin.

Mostra	Contingut en % en carbonat	Contingut en % de matèria orgànica
CAA	76,0	4,79
CAB	97,0	5,30
CAC	87,5	5,06
CASOL1	71,0	5,63
CASOL2	75,0	5,74
CEA	83,5	2,78
CEB	85,0	3,75
CEC	89,5	3,97
CESOL1	61,5	8,93
CESOL2	68,0	10,02

*al.*, 1997). Aquestes pluges, que precipiten el sediment eòlic transportat en suspensió des del nord d'Àfrica, presenten una taxa de deposició considerable de  $13,5 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$  (Fiol *et al.*, 2005), malgrat que s'han enregistrat volums de  $11,63 \text{ g m}^{-2}$  en un sol episodi excepcional. Dintre de la composició d'aquest sediment importat des de l'exterior illenc, el 43,3% es correspon a la fracció dels silicats i dins aquests, el 43% dels components es correspon al quars (Fornós *et al.*, 2004).

#### Carbonats i calcimetria

Sense cap dubte els carbonats són els protagonistes en la composició dels sediments dunars de la badia de Campos, on la major part dels grans tenen un origen biològic (Taula 4). Malgrat tot, i com era d'esperar la presència de carbonats és més elevada a les mostres corresponents a sediments de duna, que presenten una mitjana del 86,41% de carbonats amb una desviació estàndard del 4,92, que els nivells més edafitzats que tenen una mitjana 68,87% amb una desviació del 4,12. A més, cal destacar que el contingut més baixos es donen a les dues mostres més inferiors dels perfils (CAA i CEA) que corresponen als nivells de duna més antics i un major grau de litificació.

#### Matèria orgànica

Els resultats que s'han obtingut en la determinació de la matèria orgànica són els que exposen a la Taula 4, on de forma lògica destaca el major percentatge a les mostres corresponents als nivells de paleosòls. Malgrat tot, aquest aspecte, respecte dels demés analitzats, mostra considerables diferències pel que fa a les mostres d'un i altre localitat. Mentre el perfil proper al nucli de ses Covetes (CE) presenta valors molt diferenciats entre el nivells netament de duna i els paleosòls; el perfil del Clot de s'Arena a sa Barrala (CA), presenta una major similitud de valors en el cinc nivells, encara que més alts a les dunes i més baixos en els paleosòls, pel que fa a la seva comparació al de ses Covetes (CE).

El valor en percentatge més alt de matèria orgànica obtingut, un 10% de la mostra, es correspon amb la mostra del nivell de paleosòl (CESOL2), localitzat en el perfil més proper a ses Covetes. La raó d'aquest valor, pot ésser una important presència de restes de carbó vegetal que es troben incidides en aquest nivell. D'aquestes restes de carbó vegetals, que interpretem com a antics incendis naturals de la vegetació d'aquests paratges, són presents a tots els afloraments corresponents a

aquest nivell superior de paleosòls al llarg de tota l'àrea d'estudi; no obstant, el punt de recollida de la mostra CESOL2 aquests hi són en més abundància que a la resta d'indrets.

#### *Color dels sediments analitzats*

Des del punt de vista de la determinació del color sobre sediment sec de les mostres que hem analitzat, cal dir que aquestes no presenten visualment cap diferència amb la blancor dels sediments de platja actual, fet que té molt a veure amb la seva majoritària composició bioclàstica (Mateu, *et al.*, 2003). Pel conjunt de les sis mostres de sediment de duna que hem treballat, el color, segons l'escala *Munsell*, és (10YR7/3), el que es correspon amb un color marró extremadament pàl·lid; mentre que, cada un dels nivells de paleosòls mostra una determinació diferent amb unes tonalitats més fosques: CASOL1 = (10YR5/2); CASOL2 = (10YR6/2); CESOL1 = (10YR4/4) i CESOL2 = (10YR4/2).

### **Discussió i conclusions**

El sediment que compon els camps dunars holocens de la badia de Campos es correspon amb arenes biogèniques carbonatades i amb una mida de gra que va de mig a fi. El major percentatge de grans són de naturalesa biològica no identificable i gairebé la fracció litoclasts té una presència inapreciable; tot plegat, aquesta generalitat permet comparar-lo amb els trets que caracteritzen els sediments que Jaume i Fornós (1992) varen classificar com a fàcies d'arenes bioclàstiques indiferenciades.

De tot el conjunt de paràmetres analitzats, igual que de les dades obtingudes i que hem descrit anteriorment, no se ha

pogut establir diferències significatives entre els dipòsits eòlics suposadament més antics i el que hem considerat més recents i/o actuals. Aquesta manca de resultats contrastats, tant en la composició com en els aspectes texturals del sediment, es produeix al llarg de la seqüència vertical d'ambdós perfils analitzats. Així mateix, i tenint present la considerable distància que separen els dos perfils analitzats dintre del mateix sistema, la similitud dels resultats obtinguts entre ambdós fan pensar que l'homogeneïtat mineralògica i textural també té una component horitzontal dintre del propi camp dunar.

En aquest sentit i des d'una perspectiva d'anàlisi macroescalar, tot apunta a que des del màxim transgressiu Flandrià fins a l'actualitat, els canvis ambientals que s'han esdevinguts en els sistemes litorals de Mallorca no hagueren de generar modificacions importants de la dinàmica litoral i tampoc de la font o "fàbrica" de sediment. Idea que es sustenta en les quasi nul·les diferències esmentades en el registre sedimentològic respecte dels nivells A, B i C de la seqüència vertical analitzada. Només la magnitud dels volums de sediments deixats a cada episodi eòlic, evidencien una diferent durada i un diferent rang de les oscil·lacions del nivell relatiu del mar succeïdes des del màxim Flandrià fins a l'actualitat. És més, des del nivell A fins al C hi ha una considerable i progressiva reducció de la superfície que ocupen els dipòsits eòlics deixats (Servera, 1997) fet que ens manifesta una menor durada i un menor rang de l'oscil·lació marina com més recent és ha estat aquesta.

Malgrat la manca de diferències físiques i químiques en el sediment que compon l'estratigrafia holocena d'aquests camps dunars, la clara identificació dels nivells A B i C separats per nivells de pale-

osòls, en posa en evidència canvis remarcats en la morfodinàmica eòlica d'aquest indret al llarg de l'Holocè. En aquest sentit i a la espera en el futur d'un treball més específic que presenti una cronologia basada en datacions absolutes, des de la consulta i interpretació de les dades i referències de treballs que tenien altres objectius, es proposa una primera aproximació cronològica a la possible morfodinàmica i paleogeografia que s'ha esdevingut en aquest espais litorals des del màxim Flandrià.

## Agraïments

Desitjo agrair la col·laboració prestada de Joan Cifre en l'anàlisi de difracció de raigs X, Joan Miquel Carmona per la paciència i predisposició en el procés de preparació de mostres.

## Bibliografia

- Ahlbrandt, T. S. 1979. Textural parameters of eolian deposits. In: *McKee E. D. (ed.): A Study of Global Sand Seas*. U. S. Geol. Survey Prof. Paper. 1052: 21-51.
- Bird, E. C. F. 1990. Classification of european dune coast. In: *Bakker, T. W.; Jungerius, P. D. i Klijin, J. A. (eds.): Dunes of the European Coasts; geomorphology, hydrology, soils*. Cremlingen, Catena Suppl. 18: 15-24.
- Burjachs, F.; Pérez-Obiol, R.; Roure, J. M. i Julia, R. 1994. Dinàmica de la vegetació durante el Holoceno en la isla de Mallorca. *Trabajos de Palinología Básica y Aplicada. X Simposio de Palinología* (A.P.L.E.): 199-210. Universitat de València.
- Butzer, K. W. 1962. Coastal Geomorphology of Majorca. *Ann. of The Association of American Geographer*, Vol. 52 2: 191-212.
- Butzer, K. W. 1975. Pleistocene littoral-sedimentary cycles of the Mediterranean basin: a Mallorquin view. In: *Butzer, K. W. i Isaac, G. L. (eds.): After the Australopithecines: stratigraphy, ecology and culture change in the Middle Pleistocene*. 25-71. Chicago.
- Butzer, K. W. i Cuerda, J. 1960. Nota preliminar sobre la estatigrafia y paleontología del Cuaternario marino del Sur y SE. *Boll. Soc. Hist. Nat. Baleares*, 6: 9-29.
- Christiansen, C. i Bowman, A. D. 1986. Sea level changes, coastal dune building and sand drift, North-Western Jutland, Denmark. *Geografisk Tidsskrift* 86: 28-31.
- Christiansen, C.; Dalsgaard, K.; Moller, J. T. i Bowman, D. 1990. Coastal dunes in Denmark. Chronology in relation to sea level. In: *Bakker, Th. W.; Jungerius, P. D. i Klijin, J. A. (eds.): Dunes of the European Coasts; geomorphology, hydrology, soils*. Cremlingen, Catena Suppl. 18: 61-70.
- Cuerda, J. 1989. *Los tiempos cuaternarios en Baleares*. Conselleria de Cultura, Educació i Esports, Govern Balear. Palma de Mallorca. 310 pp.
- Fairbridge, R. W. 1961. Eustatic changes in sea level. In: *Ahrens, L. H.; Press, F.; Rankama, K. i Runcorn, S. K. (eds.): Physics i chemistry of the Earth*. Vol. 4, Pergamon Press, Londres. 99-185.
- Fiol, Ll. A., Fornós, J. J., Gelabert, B. i Guijarro, J. A. 2005. Dust rains in Mallorca (Western Mediteranean): their occurrence and role in some recent geological processes. *Catena*, 63: 64-84.
- Fornós, J. J. 1987. *Les plataformes carbonatades de les Balears*. Tesi doctoral, inèdita. Universitat de Barcelona. 950 pàg.
- Fornós, J. J., Crespí, D. i Fiol, Ll. A. 1997. Aspectes mineralògics i texturals de la pols procedents de les pluges de fang a les Illes Balears: la seva impotància en alguns processos geològics recents. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 40: 113-122.
- Fornós, J. J., Fiol, Ll. A. i Guijarro, J. A. 2004. Episodis significatius de pluges de fang



- ocorregudes els mesos de febrer i març de 2004 a Mallorca (Mediterrània occidental). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 47: 43-50.
- Ginés, J. 2000. *El karst litoral en el levante de Mallorca: una aproximación al conocimiento de su morfogénesis y cronología*. Tesi doctoral, Departament de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears. 595 pp.
- Gómez, Ll.; Balaguer, P.; Mateu, J. i Roig, F. X. 2000. *SEDIPME 2000: Sedimentología de les platges de Menorca*. Memòria inèdita. Institut Menorquí d'Estudis, Consell Insular de Menorca. 52 pp.
- González-Hernández, F. M.; Goy, J. L.; Zazo, C. i Silva, P. G. 2001. Actividad eólica – cambios del nivel del mar durante los últimos 170.000 años (Litoral de Mallorca, Islas Baleares). *Rev. Cuaternario & Geomorfología*, 15 (3-4): 67-75.
- Goy, J. L.; Zazo, C. i Cuerda, J. 1997. Evolución de las áreas margino-litorales de la costa de Mallorca (I. Baleares) durante el último y presente interglacial: nivel del mar holoceno y clima. *Boletín Geológico y Minero*, Vol. 108-4 y 5: 455-463.
- Hesp, P. A. i Short, A. D. 1999. Barrier Morphodynamics. In: *Short, A. D. (ed.): Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester. 307-333.
- Hoffmann, G. i Schultz, H. D. 1987. Holocene stratigraphy and changing coastlines at the Mediterranean coast of Andalucía (SE-Spain). In: *Zazo, C. (ed.) Late Quaternary sea-level changes in Spain. Trabajo sobre Neogeno-Cuaternario*, 10: 153-158.
- Jaume, C. i Fornós, J. J. 1992. Composició i textura dels sediments de platja del litoral mallorquí. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 35: 93-110.
- Llobera, M. i Servera, J. 1994. *Informe geomorfológico y ambiental de la zona de la playa des Trenc y Salobrar de Campos*. Document tècnic inèdit. Gabinet d'Anàlisi Ambiental i Territorial, Palma.
- Martín, J. A. i Rodríguez-Perea, A. 1996. Participación vegetal en la construcción de los sistemas dunares litorales de Mallorca. In: *Grandal, A. i Pagés, J. (eds.) Cuadernos. Laboratorio Xeolóxico de Laxe, 21. IV Reunión de Geomorfología*. O Castro, A Coruña. 785-799.
- Martín, J. A., Rodríguez-Perea, A. i Roig, F. X. 2004. El papel de las bermas vegetales de Posidonia oceanica en la protección de la playa emergida d'es Peregons (SE de Mallorca). In: *Pons, G. X. (ed.): IV Jornades de Medi Ambient de les Illes Balears. Ponències i resums*. Soc. Hist. Nat. Balears. Palma. 60-62.
- Mateu, G.; Mateu-Vicens, G.; Nadal, G.; Rodríguez, B.; Gil, M. & Celià, L. 2003. Los foraminíferos de la mar Balear como componentes biogénicos de los sedimentos de playa. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 46: 95-115.
- Mateu, G.; Ramón, G.; Moyà, G.; García, C. i Ramis, C. 1982. *Estudio ecológico del salobrar de Campos (Mallorca), Cala Tirant, Salines Vèlles (Menorca), Ses Salines (Ibiza) y S'Estany Pudent (Formentera)*. I Fase., Consell General Interinsular. 163 pp. Palma.
- Mateu, G.; Viñals, M. J.; Moreira, M. i Nadal, G. 2001. La Transgresión Flandriense a través de los foraminíferos bentónicos de la Mar Balear. In: *Pons, G. X. i Guijarro, J. A. (Eds.): El canvi climàtic: passat, present i futur*. Mon. Boll. Soc. Hist. Nat. Balears, 9, 13-31. Palma de Mallorca.
- Pardo, J. E. 1991. *La erosión antrópica en el litoral valenciano*. Tesi Doctorales 4. Generalitat Valenciana, Conselleria d'Obres Públiques, Urbanisme i Transports. València. 240 pp.
- Pardo, J. E. i Sanjaume, E. 2001. Análisis multiescalar de la evolución costera. *Cuadernos de Geografía*, 69/70, 95-126. València.
- Pettijohn, F. J.; Potter, P. E. i Siever, R. 1987. *Sand and sandstone*. Springer-Verlag. New York. 321 pp.
- Pye, K. i Tsoar, H. 1990. *Aeolian sand and sand*

- dunes. Unwin Hyman. London. 396 pp.
- Rosselló, V. M. 1969. El litoral de Es Trenc (Sur de Mallorca). *Anales de la Universidad de Murcia* XXVII (1-2), 223-246.
- Sanjaume, E. 1985. Las costas valencianas. Sedimentología y morfología. Universidad de Valencia. 505 pp.
- Servera, J. 1997. *Els sistemes dunars litorals de les illes Balears*. Tesi doctoral, Departament de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears. 904 pp. + Atlas Geomorfològic 138 pp.
- Servera, J. 1998. Els sistemes dunars litorals holocènics: les dunes de sa Ràpita - es Trenc (Mallorca). In: *Fornós, J. J. (ed.): Aspectes Geològics de les Balears (Mallorca, Menorca i Cabrera)*. Palma de Mallorca, Universitat de les Illes Balears. 251-306.
- Servera, J.; Martín Prieto, J. A.; Rosselló, J. i Rodríguez-Perea, A. 1994. Estudi de les causes del retrocés de la platja de l'arenal de sa Ràpita. *XIII Jornades d'Estudis Locals. El desenvolupament turístic a la Mediterrània durant el segle XX*. Institut d'Estudis Balearics, Govern Balear. Palma. 235-246.
- Servera, J. i Rodríguez-Perea, A. 1996. Morfologies parabòlica de los sistemas dunares litorales de Baleares. In: Grandal, A. i Pagés, J. (eds.) *Cuadernos. Laboratorio Xeolóxico de Laxe, 21. IV Reunión de Geomorfología*. O Castro, A Coruña. 645-658.
- Solé Sabarís, L. 1961. Algunes precisions sobre les oscil·lacions climàtiques quaternàries a les costes catalanes i balears. *Miscel·lània Fontserè*. Barcelona. 399-427.



# Un llistat bibliogràfic

Damià Vicens i Guillem X. Pons

Després d'haver llegit aquest llibre, en resulta més que evident la marca, la transcendència del seu treball en molts de nosaltres. Molts dels articles d'aquesta monografia compten amb alguna referència de Joan Cuerda. Vet aquí un llistat dels seus treballs.

## BIBLIOGRAFIA

### LLIBRES

- Cuerda, J.** 1975. *Los tiempos Cuaternarios en Baleares*. Inst. Est. Bal. Palma. 304 pp. i 20 làmines.
- Crabtree, K., **Cuerda, J.**, Osmaston, A. H. i Rose, J. 1978. *The Quaternary of Mallorca*. Quaternary Research Association. Field meeting guide. 114 pp.
- Cuerda, J.** 1987. *Moluscos marinos y salobres del Pleistoceno balear*. Caja de Baleares "Sa Nostra". Palma. 420 pp.
- Cuerda, J.** 1989. *Los tiempos Cuaternarios en Baleares*. Conselleria de Cultura Educació i Esports. Reedició ampliada. 310 pp. i 20 làmines.
- Cuerda, J.** i Sacarés, J. 1992. *El Quaternari al Migjorn de Mallorca*. Conselleria de Cultura Educació i Esports. Govern Balear. Palma. 130 pp.

### ARTICLES A REVISTES CIENTÍFIQUES I CONGRESSOS

- Cuerda, J.** (sense data). Informe sobre muestras recogidas por D. Francisco Calvet. Informe inèdit.
- Cuerda, J.** i Muntaner, A. 1950. Nota sobre un nuevo yacimiento hallado en Palma de Mallorca como perteneciente al Plioceno. *Bol. de la sección de Baleares. B. R. S. Esp. Hist. Nat.*, 48(1): 541-543.
- Cuerda, J.** i Muntaner, A. 1951. Visita a un nuevo yacimiento cuaternario. *Bol. de la sección de Baleares. R. S. Esp. Hist. Nat.* (s. n.).
- Cuerda, J.** i Muntaner, A. 1952. Nota sobre las playas con *Strombus* del Levante de la Bahía de Palma. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 1,1: 1-8.
- Cuerda, J.** i Muntaner, A. 1953. Contribución al estudio de las terrazas marinas cuaternarias de Mallorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 1,1: 13-15.



- Cuerda, J.** 1954. Nota sobre un yacimiento cuaternario marino hallado en el subsuelo de la Ciudad de Palma. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 1,4: 35-36.
- Cuerda, J.** 1955. Presencia de *Ranella scrobiculata* L. en su variedad *nodulosa* Segre y *trinodosa-nodulosa* Bors y de *Arca plicata* Chemnitz en el Tirreniense con *Strombus* de Mallorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears.*, 1: 86-87.
- Cuerda, J.** 1955. Notas paleontológicas sobre el Cuaternario de Baleares (I). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 1: 59-70.
- Cuerda, J.** 1956. Notas paleontológicas sobre el Cuaternario de Baleares (II). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 2: 105-112.
- Muntaner, A. i **Cuerda, J.** 1956. Hallazgo de un esqueleto de *Myotragus balearicus* en una duna cuaternaria de Capdepera. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 2: 114.
- Cuerda, J.** 1957. Fauna marina del Tirreniense de la Bahía de Palma (Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 3: 3-76.
- Cuerda, J.** 1957. Contribución al estudio de la fauna tirreniense de la isla de Mallorca. INQUA V International Congress. 35-36.
- Colom, G., **Cuerda, J.** i Muntaner, A. 1957. Les formations quaternaires de Majorque. In: Solé-Sabarís, L., Hernández-Pacheco, F., Jordà, F. i Pericot, L. (Eds.): *Livret guide de l'Excursion LLevant et Majorque*. V Congreso internacional INQUA: 27-52.
- Cuerda, J.** 1959. Tritónidos fósiles del Cuaternario de Mallorca. *Estudios Geológicos*, 15: 119-130.
- Cuerda, J.** 1959. Presencia de *Mastus pupa* Bruguière en el Tirreniense de las Baleares Orientales. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 5: 45-50.
- Cuerda, J.** i Sacarés, J. 1959. Hallazgo de *Myotragus balearicus* en un yacimiento de edad posttyrrheniense. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 6: 51-55.
- Cuerda, J.**; Sacarés, J. i Miró, M. 1959. Nota sobre un nuevo yacimiento cuaternario marino. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 5: 31-33.
- Cuerda, J.** 1960. Nuevo yacimiento marino en Santa Ponsa (Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 6: 71-72.
- Butzer, W. K. i **Cuerda, J.** 1960. Nota preliminar sobre la estratigrafía y la paleontología del Cuaternario marino del Sur y S.E. de la isla de Mallorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 6: 9-29.
- Cuerda, J.** i Muntaner, A. 1960. Nota sobre diversos niveles tirrenienses localizados en las cercanías de Cap Orenol (Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 6: 37-46.
- Butzer, K. W. i **Cuerda, J.** 1961. Formaciones cuaternarias del litoral Este de Mallorca (Canyamel – Porto Cristo). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 7: 3-29.
- Butzer, K. W. i **Cuerda, J.** 1962. Nuevos yacimientos marinos cuaternarios de las Baleares. *Notas y Comunicaciones Inst. Geol. Min.*, 67: 25-70.
- Butzer, K. W. i **Cuerda, J.** 1962. Coastal stratigraphy of Southern Mallorca and its implications for the Pleistocene chronology of the Mediterranean Sea. *Journal of Geol.*, 70,4: 398-416.
- Cuerda, J.** i Sacarés, J. 1962. Nuevos yacimientos cuaternarios marinos en el levante de la Bahía de Palma. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 8: 77-80.
- Cuerda, J.** i Sacarés, J. 1962. Sobre la edad de las brechas con *Myotragus* de Porto Colom y sus relaciones con las playas cuaternarias tyrrhenienses. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 8: 80-81.

- Cuerda, J.** 1965. Données paléontologiques por l'étude de la malacofaune terrestre des Baléares Orientales. *Rapp. procès verbaux Réunion. C.I.E.S.M.M.*, 18 (2): 507-510.
- Cuerda, J.** i Sacarés, J. 1965. Nuevos yacimientos cuaternarios en la costa de Lluchmayor (Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 10: 89-132.
- Crusafont, M., Angel, B. i **Cuerda, J.** 1965. Supervivencia del *Myotragus* en Neolítico de las Baleares. *Publ. Cát. Paleont.*, 5: 1-6.
- Crusafont, M., Angel, B. i **Cuerda, J.** 1965. Una nueva especie de *Myotragus* en la gran Balear (Nota preliminar). *Publ. Cát. Paleont.*, 7: 16-19.
- Cuerda, J.** 1966. Sobre la edad de algunos yacimientos pleistocénicos con *Myotragus*. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 12: 29-34.
- Cuerda, J.** i Sacarés, J. 1966. Nueva contribución al estudio del Pleistoceno marino del término de Lluchmayor (Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 12: 63-99.
- Cuerda, J.**, Sacarés, J. i Mercadal, B. 1966. Nuevos yacimientos marinos del Pleistoceno superior de Cala Santa Galdana (Menorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 12: 101-105.
- Cuerda, J.** i Galiana, R. 1967. Nota sobre un nuevo yacimiento de cuaternario marino localizado en Cala San Vicente (Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 13: 133-136.
- Cuerda, J.** 1968. Nuevos yacimientos marinos en el término de Palma de Mallorca y su paleogeografía. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 14: 145-170.
- Adrover, R. i **Cuerda, J.** 1968. Mandíbula de *Myotragus* con dos incisivos y dos premolares. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 14: 125-142.
- Colom, G., Sacarés, J. i **Cuerda, J.** 1968. Las formaciones marinas i dunares pliocenas de la región de Lluchmayor (Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 14: 46-61.
- Gaibar, C. i **Cuerda, J.** 1969. Las playas del Cuaternario marino levantadas en cabo Santa Pola (Alicante). *Bol. Geol. Min.*, 70: 105-123.
- Colom, G., Sacarés, J. i **Cuerda, J.** 1968. Las formaciones marinas i dunares pliocenas de la región de Lluchmayor (Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 14: 46-61.
- Cuerda, J.**, Sacarés, J. i Colom, G. 1969. Hallazgo de terrazas pliocénicas marinas en la región de Lluchmayor (Mallorca). *Acta Geol. Hisp.*, 4(2): 25-37.
- Adrover, R. i **Cuerda, J.** 1969. Mandíbula de *Myotragus* de "Es Bufador" (Mallorca) con dos incisivos y dos premolares. *Acta Geol. Hisp.*, 4(4): 99-103.
- Cuerda, J.** i Sacarés, J. 1970. Formaciones marinas correspondientes al límite pliocuaternario y al Pleistoceno inferior de la costa de Lluchmayor (Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 16: 105-141.
- Gasull, L. i **Cuerda, J.** 1970. Observaciones sobre la distribución geográfica y estratigráfica de *Thais (Stramonita) haemastoma* L. s. *Sp. Consul* (Chemnitz). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 16: 143-170.
- Cuerda, J.** 1972. Sur la distribution et l'écologie des espèces de signification stratigraphique du Pleistocène supérieur marin de Majorque. *Rapp. Comm. Int. Mer Méditer.*, 20(4): 541-543.
- Cuerda, J.** i Jaume, G. 1972. Datos para el estudio de la climatología cuaternaria de las Baleares. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 17: 127-130.
- Gaibar, C. i **Cuerda, J.** 1972. Géologie et paléogéographie de l'île de Nueva Tabarca

- (Alicante). *Rapp. Comm. Int. Mer Méditer.*, 20(4): 531-533.
- Rosselló, V. M. i **Cuerda, J.** 1973. Notas sobre el Plioceno y Cuaternario del Banc d'Eivissa (Mallorca). *Cuad. de Geogr.*, 13: 5-13.
- Gasull, L. i **Cuerda, J.** 1974. Malacología del contenido gástrico de las grandes estrellas de mar. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 19: 155-174.
- Cuerda, J.** i Galiana, R. 1976. Nuevo yacimiento del Pleistoceno superior marino en la costa Norte de Mallorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 21: 115-124.
- Cuerda, J.** 1976. Los yacimientos cuaternarios del Coll de'n Rebassa. Informe inédit.
- Adrover, R. i **Cuerda, J.** 1976. Dos nuevos yacimientos pleistocenos con malacofauna terrestre en la Isla de Mallorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 21: 125-129.
- Cuerda, J.** 1976. Nota preliminar sobre el Cuaternario de Cabrera (Balears). *Bull. Inst. Cat. Hist. Nat.*, (Sec. Geol. 1): 45-58.
- Cuerda, J.** i Sanjaume, E. 1978. Datos paleontológicos y sedimentológicos del litoral Pleistoceno de Santa Pola. *Cuad. de Geogr.*, 23: 19-62.
- Mateu, J. F. i **Cuerda, J.** 1978. Morfología cuaternaria de la costa entre l'Altet y Cap de Santa Pola. *Cuad. de Geogr.*, 23: 63-82.
- Cuerda, J.** i Osmaston H. A. 1978. Quaternary deposits in the central part of the Bay of Palma. In: Rose, J. (Ed.). *The Quaternary of Mallorca*. Quaternary Research Association-Field Meeting Guide: 61-71.
- Cuerda, J.** i Osmaston H. A. 1978. Shoreline Stratigraphy at El Arenal and the South-East coast of Mallorca. In: Rose, J. (Ed.). *The Quaternary of Mallorca*. Quaternary Research Association-Field Meeting Guide: 73-87.
- Adrover, R. i **Cuerda, J.** 1978. Nuevos yacimientos pleistocénicos con malacofauna terrestre en la Isla de Mallorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 21: 125-130.
- Pomar, L. i **Cuerda, J.** 1979. Los depósitos marinos pleistocénicos en Mallorca. *Acta Geol. Hisp.*, 14: 505-514.
- Cuerda, J.** 1979. Formaciones cuaternarias de la Bahía de Palma. Guía a la excursión nº 4 del VI Coloquio de Geografía. 22 pp. Palma de Mallorca.
- Butzer, K. W. i **Cuerda, J.** 1979. El Cuaternario. *Actas del VI Coloquio de Geografía*: 683-702.
- Mateu, G., Colom, G. i **Cuerda, J.** 1979. Los foraminíferos plio-pleistocénicos de la isla de Cabrera (Balears) y las condiciones paleoecológicas del antiguo mar balear. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 23: 51-68.
- Cuerda, J.** 1981. Dos especies de interés paleontológico halladas en el Eutyrrheniense de Mallorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 25: 169-174.
- Cuerda, J.** 1981. Significación altimétrica y climática de los yacimientos marinos cuaternarios de Baleares. *Estudis Baleàrics*, 1(2): 31-38.
- Gozálvez, V. i **Cuerda, J.** 1981. Los depósitos flandienses en el litoral de Torrevieja (Alicante). *5ª Reunión Gr. Esp. Trab. Cuaternario*. *Actas*: 87-101.
- Cuerda, J.**, Antich, S. i Soler, A. 1982. La secuencia pleistocénica dunar de Son Moson (Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 26: 13-35.
- Cuerda, J.**, Soler, A. i Antich, S. 1983. Nuevos yacimientos del Pleistoceno marino de Mallorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 27: 117-125.
- Butzer, K. W. i **Cuerda, J.** 1983. Pleistocene sea-level stratigraphy of Mallorca. *Rev. Géol.*

*Medit.*, 20: 259-270.

- Cuerda, J.** 1984. A contribution to the Knowledge of Pleistocene coastal Profiles. In: Kuhbier, H.; Alcover, J. A. i Guerau d'Arellano, C. (Eds.). Biogeography and Ecology of the Pityusic Islands. *Monographiae Biologicae*, nº 52: 105-118. La Hague.
- Cuerda, J.**, Antich, S. i Soler, A. 1984. El Pleistoceno del Torrente de Son Granada (Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 28: 67-80.
- Cuerda, J.**, Antich, S. i Soler, A. 1985. Las formaciones cuaternarias del Torrente de Cala Blava en la Bahía de Palma (Balears). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 29: 75-86.
- Costa, M., **Cuerda, J.** i Rosselló, V. M. 1985. Formentera i els Estanys. Panorama Geocològic des del Quaternari. *Cuad. de Geografía de la Universidad de Valencia*, 37: 75-96.
- Cuerda, J.**, Antich, S. i Soler, A. 1986. Las formaciones marinas cuaternarias de Cala Pi (Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 30: 95-104.
- Cuerda, J.**, Gracia, F. i Vicens, D. 1989-90. Dos nuevos yacimientos del Pleistoceno superior marino en Portocolom (Felanitx, Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 33: 49-66.
- Cuerda, J.**, Gracia, F. i Vicens, D. 1989-90. Nuevas citas malacológicas (Bivalvia y Gastropoda) del Pleistoceno marino balear. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 33: 67-79.
- Cuerda, J.**, Gracia, F. i Vicens, D. 1990. Dos nuevos yacimientos del Pleistoceno superior marino en Portocolom (Felanitx, Mallorca). *II Jornades del Medi Ambient de les Illes Balears*. UIB i SHNB. 44-45.
- Cuerda, J.**, Vicens, D. i Gracia, F. 1991. Malacofauna y estratigrafía de Pleistoceno superior marino de Son Real (Santa Margalida, Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 34: 99-108.
- Zazo, C., Goy., J. L., **Cuerda, J.** i Mörner N. A. 1991. Sea level changes on Mallorca. *Abstr. XIII INQUA Congress Beijing*: 417.
- Hillaire-Marcel, C., Ghaleb, B., Gariépy, C., Goy, J. L., Zazo, C. i **Cuerda, J.** 1992. Ages Th/U par spectrométrie de masse des haurs niveaux marins du dernier interglaciaire de Baléares. Chaire de recherche en environnement. Hydro-Québec-CRSNG-UQAM, rapport annuel 1991-92: 48-49.
- Vicens, D., Gracia, F. i **Cuerda, J.** 1992. El Quaternari marí del Torrent Fondo (Formentera, Illes Pitiüses). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 35: 61-66.
- Cuerda, J.** 1993. Nota sobre el Quaternari. In: Alcover J.A., Ballesteros, E. i Fornós, J. J. (Eds.), *Història Natural de l'Arxipèleg de Cabrera*, CSIC-Edit. Moll, Mon. Soc. Hist. Nat. Balears 2: 117-130.
- Cuerda, J.**, Vicens, D. i Gracia, F. 1993. Mollusca (Gastropoda) del Pleistoceno marino balear. Nuevas citas. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 36: 31-40.
- Cornu, S., Pätzold, J., Bard, E., Meco, J. i **Cuerda, J.** 1993. Paleotemperature of the last interglacial period based on  $\delta O$  of *Strombus bubonius* from the western Mediterranean Sea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 103: 1-20.
- Goy, J.L., Hillaire-Marcel, C., Zazo, C. i **Cuerda, J.** 1993. The last interglacial in the Balearic Islands. Morphosedimentary records and neotectonic implications. INQUA Shoreline Commission. *Newsletter of the Mediterranean and Black Sea Sub-commis-*



*sion*, 15: 23-25.

- Cuerda, J.** 1995. Significación climática y cronológica de algunos yacimientos del Pleistoceno superior marino de Alicante. *El Cuaternario del País Valenciano*, 251-259.
- Goy, J.L., Zazo, C., Pirazzoli, P.A., **Cuerda, J.** i González, F.M. 1996. Sea level and climate changes during the Holocene in Baleares Islands (Mallorca, Spain). *In: Linges de rivage et zones cotières au Quaternaire: passé, présent et futur. Résumés et Livret-guide d'excursions*. Perpignan 2-4 décembre 1996. pàgines 31-32.
- Hillaire-Marcel, Cl., Gariépy, C., Ghaleb, B., Goy, J.L., Zazo, C. i **Cuerda, J.** 1996. Global and regional factors controlling changes of coastlines in southern Iberia (Spain) during the Holocene. *Quaternary Sc. Reviews*, 15: 773-789.
- Hillaire-Marcel, Cl., Gariépy, C., Ghaleb, B., Goy, J. L., Zazo, C. i **Cuerda, J.** 1996. U-Series measurements in tyrrhenian deposits from Mallorca further evidence for two last-Interglacial high sea levels in the Balearic Islands. *Quaternary Sc. Reviews*, 15: 53-62.
- Goy, J.L., Zazo, C. i **Cuerda, J.** 1997. Evolución de las áreas margino-litorales de la costa de Mallorca (I. Baleares) durante el último y presente interglacial: nivel del mar holoceno y clima. *Boletín Geológico y Minero*, 108: 455-463.
- Zazo, C., Goy, J. L., Hillaire-Marcel, C., Hoyos, M., **Cuerda, J.**, Ghaleb, B., Dabrio, C. J., Bardají, T., Lario, J. i Luque, L. 1997. The record of sea-level changes in the littoral of Spain during the Quaternary interglacials. *INQUA MBSS Newsletter*, 19: 64-69.
- Zazo, C., Goy, J. L., Hillaire-Marcel, C., Hoyos, M., **Cuerda, J.**, Ghaleb, B., Bardají, T., Dabrio, C. J., Lario, J., Silva, P. G., González, A., González, F. i Soler, V. 1997. El nivel del mar y los interglaciales cuaternarios: Su registro en las costas peninsulares e insulares españolas. *Cuaternario Ibérico*, 23-32.
- Zazo, C., Goy, J. L., Hoyos, M., Dabrio, C. J., Soler, V., Gonzalez, J. A., **Cuerda, J.**, Hillaire-Marcel, C., Ghaleb, B., Bardají, T., Lario, J. i Silva, P. G. 1998. The record of climatic and sea-level changes during the IS 5 in onshore morphosedimentary units of Spanish Coast. *Final Meeting of IGCP 367*, Corinth, Grecia, Abstracts: 73-74.
- Vicens, D., Gracia, F., McMinn, M. i **Cuerda, J.** 1998. El Plistocè superior del Frontó des Molar (Manacor, Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 41: 125-137.













ISBN 978-84-96376-13-3



9 788496 376137