

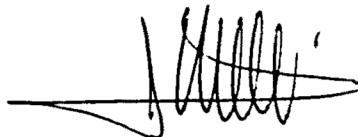
UNIVERSIDAD DE BARCELONA
FACULTAD DE BIOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA

ESTUDIO TAXONOMICO, BIOGEOGRAFICO Y ECOLOGICO DE LOS
CRUSTACEOS EPIGEOS E HIPOGEOS DE LAS BALEARES
(Branchiopoda, Copepoda, Mystacocarida y Malacostraca)

Memoria presentada para optar al grado de Doctor en Ciencias

Joan Ll. PRETUS

vº Bº
El Director de la Tesis

A handwritten signature in black ink, consisting of a series of loops and a long horizontal stroke at the end, identifying the director of the thesis.

Dr. Miguel Alonso García de Amilibia
BARCELONA



A la memòria del meu pare

PREFACIO

La presente memoria es el resultado de una serie de trabajos encaminados a conocer la biota de los crustáceos dulceacuícolas de las Baleares, en relación a su entorno ecológico y a su significado biogeográfico. Contribuye a ampliar una parte de los estudios de hidrobiología regional iniciados por Margalef en las islas a principios de los cincuenta. También tratan de profundizar en el conocimiento de la estigofauna insular; en esta línea vale recordar que la biospeleología nace, a nivel mundial y a comienzos de siglo, con los descubrimientos carcinológicos de Émile Racovitza precisamente en Mallorca. Entre los autores citados y el presente trabajo distan por tanto unos cuarenta y unos ochenta años, respectivamente, y he de apresurarme a apuntar que, entre tanto, han existido autores que han tratado o incluido referencias faunísticas muy importantes sobre los crustáceos acuáticos, principalmente hipogeos de Mallorca. Falta, sin embargo, un tratamiento conjunto del archipiélago balear, y la exploración de las islas menores, que se ha pretendido iniciar.

Como material de trabajo, la elección de los grupos de crustáceos estudiados en las Baleares y el total o parcial olvido de otros es resultado, por un lado, de cierta predilección inevitable, pero también del mayor avance en su conocimiento que recientemente han tenido sobre áreas próximas de mayor envergadura, y de cuya comparación podrían así extraerse mayores conclusiones. Los malacostráceos estigobios han experimentado un desarrollo creciente en el último decenio, principalmente en los lugares donde apenas se habían iniciado, tanto en las tres penínsulas mediterráneas como en algunos puntos del Norte de Africa, especialmente Marruecos. Han sido estudiados por autores nacionales, o por otros convencidos de la trascendencia de promover su estudio, como ha sido el notable papel de la escuela holandesa en el de los anfípodos epigeos y la estigofauna ibérica en general; más apagado ha quedado el avance en las faunas subterráneas costeras de nuestro país, escasamente partícipes de

los avances que les imprimió la escuela de Delamare, Chevreux, Remane o Angelier en los años cincuenta; poco sabemos, igualmente, de los ostrácodos, ciclópodos y harpacticoides ibéricos, no sólo hipogeos sino también superficiales. No ocurre lo mismo afortunadamente para los calanoides y branquiópodos, de los que se dispone de monografías recientes en diferentes países que circunvalan nuestra área de estudio.

Cierto número de obsesiones surgidas de la encrucijada intelectual de iniciar un trabajo centrado sobre la biogeografía insular ('islomanía': cf. Schoener, 1988), al cabo han resultado vanas, y las más válidas contribuciones son de alcance puramente naturalístico. Se deben más al azar o al empecinamiento, que a la exhaustividad de un diseño de trabajo. Aún ante estas perspectivas, algunas personas se han arriesgado por completo a ofrecer su colaboración en esta tarea. Miguel Alonso, como director, no sólo me ha transmitido una refrescante e inusual experiencia como taxónomo e incansable explorador, sino su rigor en el trabajo. Aurea Gómez ha convertido lo que era tarea individual en una hermosa empresa colectiva. Especialmente quiero manifestar su ayuda en la ilustración gráfica.

En las islas he contado con el ofrecimiento infraestructural del Instituto Tecnológico de la Bisutería (Maó), que me permitió trabajar en la química del agua; del Institut Menorquí d'Estudis (Maó), por el soporte económico dado a las campañas submarinas y al equipamiento con material de campo; y del Departamento de Biología de la Universidad de las islas Baleares (Palma), por su continuo ofrecimiento y ayuda logística. La posibilidad de trabajar por breves espacios de tiempo con especialistas en los grupos tratados, o establecer correspondencia con ellos ha sido muy valiosa. Agradezco la generosidad y disposición de Nicole Coineau (Banyuls), Theodore Monod y Philippe Cals (Paris), Raymond Rouch (Moulis), Jan H. Stock, Jos Notenboom y Howard P. Wagner (Amsterdam), L.B. Holthuis y Charles Fransen (Leiden), Sandro Ruffo (Verona), Torben Wolff (Copenha-

que) y George Wilson (California), Elías Sánchez (Tenerife), Bernard Dussart (Les Eyzies) y Geoff Boxshall (Londres).

La localización de la gran mayoría de los medios epigeos y cavernícolas no se encuentra en la cartografía, y su muestreo ha sido posible gracias a la participación de quienes más los conocen, y a los que expreso nuevamente mi agradecimiento. En Lluçmajor, Lluís Gradaille, Bartomeu Sastre; fuentes, Martín Llobera y Antonia Ferriol; las grutas, con Miquel Trias y Jaume Damians. Diversas excursiones y muestreos han sido compartidos con Javier García, Damià Jaume, Jordi de Manuel, Lluç García, Llorenç Pons, Guillem Orfila y Josep Márquez. Las campañas submarinas no habrían sido posibles en lo más mínimo sin la experiencia y el material ofrecido por Florian Orfila, quien ha sometido sus costumbres de bucear tranquilamente bajo aguas azules a las de acompañarme en la infructuosa búsqueda de remipedios en las grutas. La recolección pluviométrica durante medio año, han sido posibles por la ayuda desinteresada de los responsables de las 14 estaciones colectoras menorquinas, a todos ellos transmito mi sincero agradecimiento; Delfín Tió se ofreció no sólo a recoger muestras durante todo un año, sino a lavar diariamente el colector con lo que la química de la precipitación ha podido ser mucho mejor estimada y comprendida. En su análisis he contado con la colaboración inestimable de Magda Pons y Vicente Llabrés. Numerosos aspectos se han visto mejorados por la colaboración de diferentes personas, como Josep Pinyol, Ramón Vallejo, Ramón Josa, Joan Rita, Antoni Martínez, Gabriel Moyà, Mikel Zabala y Antoni Obrador. Vaya para todos ellos y quizás algunos más que ahora puedan quedar involuntariamente en el anonimato, mi agradecimiento.

INDICE

CAPITULO 1. EL MEDIO ACUATICO EN LAS BALEARES	1
1.1 GENERALIDADES FISICAS Y BIOTICAS	1
1.1.1 EL MEDIO EPIGEO	5
1.1.1.1 Aguas corrientes	5
1.1.1.2 Aguas estancadas	7
1.1.1.2.1 Charcas en zonas este- parias	8
1.1.1.2.2 Humedales costeros	10
1.1.2 EL MEDIO HIPOGEO Y LA FREATOBIOLOGÍA	12
1.1.2.1 Medio intersticial	14
1.1.2.1.1 Litoral	14
1.1.2.1.2 Hiporreico	18
1.1.2.1.3 Hipotelminorreico	19
1.1.2.2 Medio cavernícola	22
1.1.2.2.1 Zona vadosa	23
1.1.2.2.2 Lagunas anquialinas	23
1.1.2.2.3 Grutas submarinas	27
1.2 MINERALIZACION DE LAS AGUAS SUPERFICIALES	34
1.2.1 COMPONENTES DE LA MINERALIZACIÓN: VALORES MEDIOS Y VARIABILIDAD INTRAINSULAR	34
1.2.1.1 Alcalinidad	35
1.2.1.2 Sulfatos	38
1.2.1.3 Cloruros	39
1.2.1.4 Calcio	42
1.2.1.5 Magnesio	44
1.2.1.6 Sodio	47
1.2.1.7 Potasio	48
1.2.1.10 Conductividad	49
1.2.1.11 Relación Alcalinidad/Cloruros	51
1.2.2 DOMINANCIAS IÓNICAS GLOBALES POR ISLAS	51
1.2.3 ANÁLISIS FACTORIAL DE LA MINERALIZACIÓN	58
1.2.3.1 Correlaciones lineales	58
1.2.3.2 Análisis de componentes principales	60
1.2.3.3 Ordenación regional de las aguas mediante ACP	61
1.2.3.4 Influencia del aerosol salino	64
1.2.3.5 Desvíos en aguas naturales	65
1.2.4 QUIMISMO DE LA PRECIPITACIÓN	70
1.2.4.1 Introducción	70
1.2.4.2 Muestreo y analítica	72
1.2.4.3 Seguimiento del ciclo anual 1987/88	73
1.2.4.3.1 Características de la estación pluviométrica, del muestreo y analítica	73
1.2.4.3.2 Precipitación, conduc- tividad, cloruros	74
1.2.4.4 Variación entre estaciones durante el otoño de 1987	77
1.2.4.4.1 Conductividad	77
1.2.4.4.2 Cocientes iónicos	78
1.2.4.4.3 Aporte total por unidad de superficie	79
1.2.4.4.4 pH	79

CAPITULO 2. BRANQUIOPODOS Y COPEPODOS	81
2.1 APORTACIONES SOBRE BRANQUIOPODOS Y COPEPODOS . .	81
2.1.1 BRANQUIOPODOS	82
2.1.1.1 Orden Anostraca	82
2.1.1.1.1 Fam Branchinectidae	82
2.1.1.1.2 Fam Artemiidae	85
2.1.1.1.3 Fam Branchipodidae	85
2.1.1.2 Orden Spinicaudata	86
2.1.1.2.1 Fam Cyzicidae	86
2.1.1.2.2 Fam Lepthesteriidae	91
2.1.1.3 Orden Anomopoda	94
2.1.1.3.1 Fam Daphniidae	94
2.1.1.3.2 Fam Moinidae	109
2.1.1.3.3 Fam Macrothricidae	111
2.1.1.3.4 Fam Bosminidae	114
2.1.1.3.5 Fam Chydoridae	114
2.1.1.4 Orden Notostraca	126
2.1.1.4.1 Fam Triopsidae	126
2.1.2 COPEPODOS EPIGEOS	127
2.1.2.1 Orden Calanoida	127
2.1.2.1.1 Fam Acartiidae	127
2.1.2.1.2 Fam Temoridae	128
2.1.2.1.3 Fam Pseudodiaptomidae	131
2.1.2.1.4 Fam Diaptomidae	132
2.1.2.2 Orden Cyclopoida	137
2.1.2.2.1 Fam Cyclopidae	137
2.1.2.3 Orden Harpacticoida	147
2.1.2.3.1 Fam Tisbidae	147
2.1.2.3.2 Fam Harpacticidae	148
2.1.2.3.3 Fam Ameiridae	148
2.1.2.3.4 Fam Canthocamptidae	149
2.1.2.3.5 Fam Cletodidae	150
2.1.2.3.6 Fam Laophontidae	152
2.1.3 COPEPODOS ESTIGOBIOS	152
2.1.3.1 Orden Cyclopoida	153
2.1.3.1.1 Fam Cyclopidae	153
2.1.3.2 Orden Harpacticoida	156
2.1.5.2.1 Fam Ameiridae	156
2.1.3.3 Comentarios biogeográficos sobre los copépodos estigobios	158
2.1.4 BIOGEOGRAFÍA DE LOS BRANQUIOPODOS Y COPEPODOS EPIGEOS	159
2.1.4.1 Distribución ecológica de los calanoides	163
2.1.5 COMUNIDADES DE CRUSTACEOS Y REPARTICION DEL ESPACIO ECOLOGICO	165
2.1.5.1 Relación entre los grupos y los parámetros químicos	179
2.1.5.2 Organismos indicadores	184
2.2 LIMNOFAUNA Y BIOGEOGRAFIA INSULAR	188
2.2.1 INTRODUCCION: ALGUNOS ANTECEDENTES EN EL ESTUDIO DE LOS LAGOS COMO ISLAS	188
2.2.2 RECONOCIMIENTO DEL GRADO DE ASOCIACION EN COMUNIDA- DES DESDE UN PUNTO DE VISTA ESTADISTICO	196
2.2.2.1 Modelo aleatorio: simulación de una hipotesis nula	198
2.2.3 CONTRIBUCION A UNA ECOLOGIA DESCRIPTIVA DE LA INSULARIDAD	206

2.2.3.1. Representatividad del muestreo . . .	206
2.2.3.2 Diversidad del eje especies comunes	
- especies raras	208
2.2.3.2 Simulaciones en el tiempo	212
2.2.3.2.1 Ajuste a la teoría del	
equilibrio dinámico	214
3. CAPITULO 3. MISTACOCARIDOS Y MALACOSTRACEOS EPIGEOS E	
HIPOGEOS	219
3.1 REVISION TAXONOMICA Y DISTRIBUCION	219
3.1.1 DEROCHEILOCARIS	219
3.1.2 IBEROBATHYNELLA	228
3.1.3 MONODELLA	235
3.1.4 TYPHLOCIROLANA	259
3.1.5 LEKANESPHAERA	267
3.1.6 PROASELLUS	271
3.1.7 JAERA	277
3.1.8 MICROCHARON	287
3.1.9 DISCONNECTES	298
3.1.10 MICROCERBERUS	307
3.1.11 ECHINOGAMMARUS	325
3.1.12 GAMMARUS	349
3.1.13 RHIPIDOGAMMARUS	354
3.1.14 PSEUDONIPHARGUS	360
3.1.15 METACRANGONYX	400
3.1.16 SALENTINELLA	417
3.1.17 BOGIDIELLA	429
3.2 BIOGEOGRAFIA HISTORICA DE LOS MALACOSTRACEOS	
HIPOGEOS	449
3.2.1 LA ESTIGOFAUNA COMO DOCUMENTO PALEOBIOGEOGRAFICO	450
3.2.1.1 Fauna limnotroglobia	451
3.2.1.2 Sobre la persistencia de especies	
paleógenas continentales	456
3.2.1.3 Faunas neógenas talasoides	462
3.2.1.4 Relaciones y problemas entre la	
paleogeografía balear neógena y algunas	
microdistribuciones actuales.	466
3.2.2 FAUNA MARINA CAVERNICOLA Y BATIAL	470
3.2.2.1 Decápodos marinos relictos	475
CONCLUSIONES	478
BIBLIOGRAFIA	482

CAPITULO 1. EL MEDIO ACUATICO EN LAS BALEARES

1.1 GENERALIDADES FISICAS Y BIOTICAS

El Archipiélago Balear está formado por tan sólo 4 islas mayores, que se diferencian toponímicamente en dos grupos geográficos, relevantes biogeográficamente y así muy utilizados en la literatura naturalística. El grupo meridional constituye las Islas Pitiusas, con Ibiza (572 Km²), Formentera (96 Km²), y sus numerosos islotes periféricos. Mallorca (3500 Km²) y Menorca (700 Km²) constituyen el grupo de las Islas Baleares propiamente dichas, en ocasiones mencionadas igualmente como Islas Gimnési-cas o Gimnesias. Al grupo gimnesio se añaden por su proximidad islotes como Dragonera y los del subarchipiélago de Cabrera (20 Km²). La presente memoria se basa en la exploración únicamente de las 4 islas mayores mencionadas, quedando excluidos por tanto todos los islotes del archipiélago.

No se pretende aquí una exposición de las características geológicas globales (Colom, 1975a; Obrador, 1973; Bourrouilh, 1983; Rangheard, 1984, 1985; Pomar, 1979, 1985; Pomar et al., 1983; Gómez, 1987; Ramos, 1988; Fontboté, Obrador y Pomar, en prensa) o climáticas (Guijarro, 1986; Jansá, 1979) del territorio de estudio, ni es posible en el presente una descripción genéti-ca y geomorfológica de los enclaves acuáticos de las islas. Bas-tará, para los fines de esta introducción, con describir aque-llos aspectos físicos a los que se hace referencia en capítulos posteriores y que són útiles para la comprensión de la dis-tribución de las comunidades de crustáceos. Con este propósito se describen seguidamente las características generales de las localidades prospectadas y los métodos de muestreo utilizados.

En lo referente a las restricciones fisiográficas elemen-tales que actúan sobre la diversificación de los biotopos acuá-ticos de las islas, hay que mencionar de entrada la práctica



ausencia de zonación altitudinal. La Serra de Tramuntana de Mallorca posee las mayores elevaciones del archipiélago, formando encadenamientos de cotas máximas comprendidas entre 1000 y 1443 m de altitud. Las primeras organizaciones relevantes de la red hídrica epigea surgen entre 800 y 500 m s.n.m. Por ello, a falta de zonas lacustres y lóaticas instaladas sobre un verdadero piso montano con episodios de hielo, los rasgos diversificadores más importantes de las aguas baleáricas pasan a ser la diferente cuantía pluviométrica anual entre comarcas, y además, el tipo de sustrato. A estos factores viene a añadirse de forma evidente el factor de interacción con la costa, que genera sus correspondientes sistemas prelitorales con rangos de salinidad específicos según el régimen hidrodinámico de cada humedal.

Como es de esperar, las agrupaciones de biotopos acuáticos homólogos se encuentran localizadas en comarcas e incluso islas, más que extendidas irregularmente sobre el territorio insular, pues la diversidad fisiográfica no está igualmente repartida en el archipiélago. En Mallorca, en general una isla carbonatada, predomina la diversificación orográfica, con su correspondiente gradiente pluviométrico; la carstificación y los lechos aluviales son igualmente mucho más ricos y variados que en las demás islas. En el sur de la isla, procesos diagenéticos pueden dar lugar a la creación de nuevos sustratos calizos impermeables sobre antiguas superficies fisuradas por procesos tectónicos locales. En Menorca concurre mayor diversidad de rocas sedimentarias, con rocas silíceas impermeables en la parte septentrional, y carbonáticas en la meridional, éstas fisuradas y diaclasadas, permeables. A esta diversificación comarcal de Menorca se opone una fuerte tendencia a la uniformización hacia las aguas oligohalinas cloruladas, debida al aporte constante de aerosol salino, levantado por el viento (Jansá et al., 1983), efecto que se pretende cuantificar en el apartado 1.2.4. La isla de Ibiza carece de suficiente diversidad fisiográfica y geológica para poder compararse a las islas comentadas, si bien no dejaba de ser

interesante por el Río de Santa Eulària, agotado actualmente por la sobreexplotación de los acuíferos. No faltan en esta isla buen número de fuentes, así como extensas aguas salobres (Les Feixes) y sus salinas, que igualmente aparecen en Formentera, isla donde además vuelven a proliferar acumulaciones naturales de agua en cubetas rocosas impermeables.

A esta rápida visión superficial del contexto fisiográfico de las lagunas y charcas, hay que añadir la presencia de charcas naturales en las depresiones de los suaves relieves miocenos postorogénicos de tipo calcarenítico, con frecuencia separadas del sustrato rocoso por suelos rojos arcillosos o arcilloso-arenosos, descarbonatados, del tipo de Terra Rossa, y de carácter impermeable; estos se encuentran como suelos relictos localizados en varias comarcas de todas las islas.

El clima de las islas (Jansá, 1979, 1985) es de tipo mediterráneo, con fuerte déficit hídrico en la estación calurosa, en todas sus comarcas, incluyendo las cotas más elevadas de la Serra mallorquina (fig. 1.1).

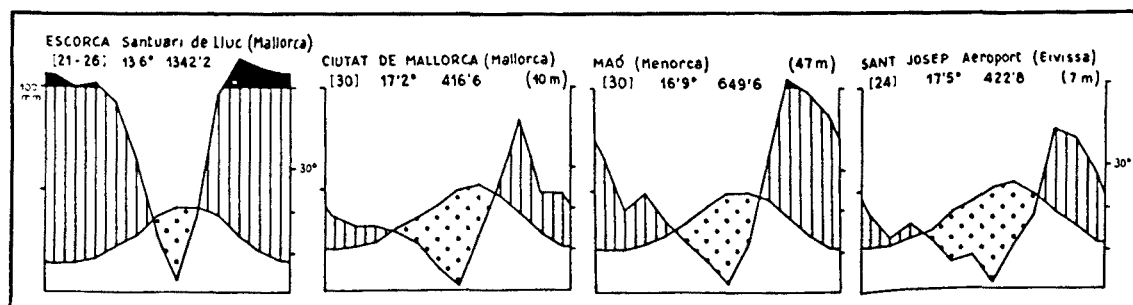


FIG. 1.1. Diagramas climáticos en 4 localidades de las Baleares (según Panareda & Nuet, 1980, con datos de J. Raso).

A la estación seca sigue inmediatamente la más lluviosa del año, con un 40% de las lluvias totales caídas en otoño; invierno y primavera proporcionan, por separado, un 25% de la precipitación anual. Esta precipitación sigue un gradiente general de mayor a menor humedad desde las islas septentrionales a las meridionales (fig. 1.2).

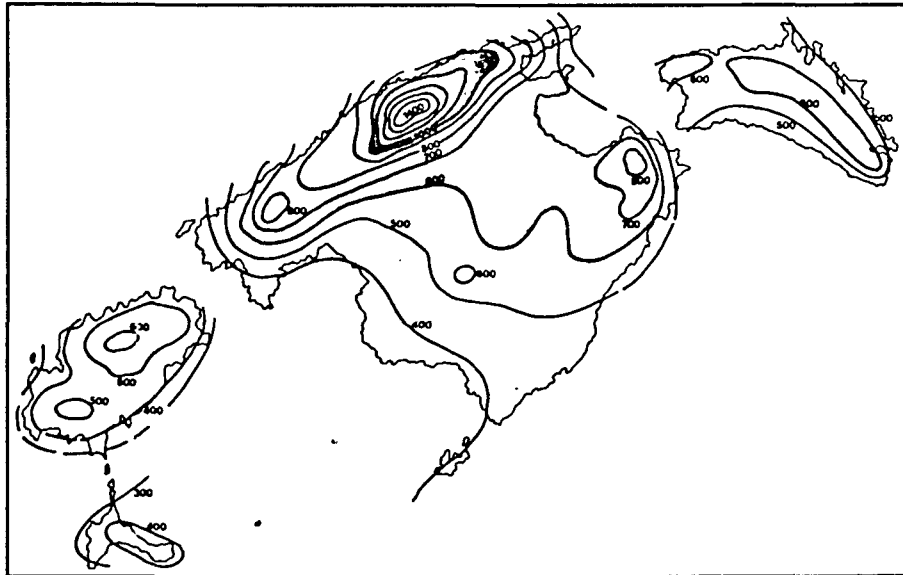


FIG. 1.2. Distribución de la precipitación anual en Baleares (en mm). Según Jansá (1985).

Esta variación regional, debida a la posición relativa de las islas respecto de los frentes lluviosos, se acrecienta en Mallorca con una variación comarcal desencadenada por la orografía; en la Serra se dan los máximos de todo el archipiélago, con media de 1434.7 mm en Es Gorg Blau (Panareda y Nuet, 1980), mientras el sector meridional cae en la zona de sombra pluviométrica de las sierras tanto de Levante como de Tramuntana, con 350 a 500 mm. A grandes rasgos, existen por tanto diferentes zonas climáticas en el archipiélago: (1) clima húmedo en la Serra de Tramuntana (> 800 mm), (2) clima subhúmedo en el centro y norte de Mallorca y en Menorca (450 a 700 mm), (3) clima semiárido en el sur de Mallorca (350 a 500 mm) y en las Pitiusas, donde es aún más acentuado (300 a 470 mm). Jansá (in Colom, 1978) calcula la pluviosidad media de las diferentes cuencas hidrográficas de Mallorca, con máximos en la cuenca de Lluc (1128 mm) y mínimos en las de Andratx (428 mm) y Campos (440 mm), al sureste y suroeste de la isla respectivamente.

Las temperaturas medias de las tierras bajas se sitúan entre los 17° y 18° C, aunque en el llano central de Mallorca son menores, con 16 °C, y con riesgos de heladas, por tener temperaturas invernales más frías, con media en 9°C, mientras el resto está entre 10° y 12°C.

1.1.1 EL MEDIO EPIGEO

1.1.1.1 Aguas corrientes

Existen importantes contribuciones faunísticas centradas en el estudio de las aguas corrientes de las islas (Margalef, 1950a, 1951b, 1952a,b,c, 1953a; Stock, 1968, 1977b), principalmente en las fuentes. En Mallorca, se han contabilizado alrededor de 180 fuentes en la Serra de Tramuntana (Ferriol et al., 1987). Algunas de estas fuentes mantienen pequeños cursos de agua epigeos, como ocurre igualmente en las fuentes costeras de todas las islas. El resto de los cursos de agua del archipiélago son temporales o efímeros, excepto los que circulan por talvegs emplazados sobre el nivel de base regional, o nivel del mar. Un ejemplo interesante lo constituyen los barrancos del sur de Menorca, valles cársticos encajados que presentan circulación hídrica permanente en Algendar, Trebalúger, Son Fideu, Son Boter y Es Rellotge; sus aguas permanentes son invadidas por gammáridos epigeos incapaces de residir en los biotopos temporales de las islas, de la misma manera que se encuentran en las fuentes de los macizos mallorquines e ibicencos. El resto de redes hidrográficas, antes de conectarse con la costa, son de carácter temporal y constituyen los llamados "torrents", muy diferentes según su ubicación. En la Serra de Tramuntana, como en Mortítx, Es Guix y otros de difícil acceso, éstos se inician con un perfil escarpado, formando a diferentes cotas repisas en forma de olla o gour ("gorgs"); éstos reciben mucha energía erosiva durante la arroyada, de la que sobreviven más tarde aguas estancadas en forma de pequeñas lagunas limpias o humosas, que reciben apenas insolación; se trata de ambientes colonizados por ciclópodos y

cladóceros ubicuistas, como *Ceriodaphnia reticulata*, y no se han hallado especies intersticiales entre las gravas acumuladas en los remansos. En estos gours sobrevive el único vertebrado acuático endémico de las islas, el anuro mallorquín *Alytes muletensis*. En la comarca septentrional de Menorca los torrentes naturales, como los de s'Alairó, Rafal Roig o Binissarmenya, raramente son perennes, y nunca son abruptos, pues se extienden sobre los suaves relieves de origen hercínico, geomorfológicamente seniles; están invadidos por herpetofauna introducida. Algunos insectos acuáticos que los ocupan pueden tener distribución relictas, como el plecóptero *Tyrrhenoleuctra minuta* (Pons, 1986). Sin embargo, muchas redes de drenaje son canales artificiales de saneamiento que colaboraron a desecar zonas húmedas sobre el norte de la isla cuya extensión presumiblemente era mucho mayor en el pasado.

Las zonas intermedias de los torrentes mallorquines, donde se acumulan cantos y gravas, son aptas para la prospección del medio hiporreico, si bien por no estar suficientemente granoclasificados o por existir procesos de precipitación carbonática, resultan difíciles de prospectar; esto ocurre por ejemplo en Ternelles y en el Torrent de Sant Miquel. En el Torrent Solleric (Orient) las gravas de tamaño menor y libres de cementación son mucho más apropiadas para el muestreo por el sondeo de Bou-Rouch.

Estos medios lóticos, ricos en macrófitos o materia vegetal alóctona, contienen en su parte epigea peracáridos y harpacticoides, así como algunos ciclópodos ubicuistas o propios de aguas corrientes. Su muestreo se realizó por tanto mediante exploración visual y por tamizado de volúmenes de agua conteniendo vegetación o sedimento, sobre mallas de 1 mm, 100 μm y 50 μm de poro, que eran conservadas y estudiadas por separado. Las muestras de agua para la química se colectaban de la parte epigea, no habiéndose hecho mediciones de las condiciones del hiporreico. Se obtuvieron

y analizaron así 315 muestras biológicas en ambientes lóticos del archipiélago.

1.1.1.2 Aguas estancadas

Las balsas y lagunas de aguas del interior de las islas de dimensiones inferiores a los 50 m de diámetro raramente quedan reflejadas en la cartografía; sin duda ello ha repercutido en un retraso notable en su estudio, del que se requería una previa disposición a la exploración del territorio, si se compara con el más antiguo examen de las zonas húmedas prelitorales, ya iniciado por autores clásicos en los diferentes aspectos naturalísticos. El esfuerzo ha proporcionado resultados faunísticos inesperados, puesto que una gran parte del total de especies epigeas de branquiópodos y copépodos hoy conocidos proceden de estos sistemas permanentes, temporales o efímeros; y ello no debe sorprender, puesto que sus aguas son en general de menor mineralización, se llenan a partir de chaparrones fuertes, y no por drenaje de cuencas que van acumulando agua en el subsuelo. Thiéry (1987) estima que el llenado de las "dayas" africanas requiere al menos una precipitación de 10 a 50 mm diarios, y así su inundación dura de 4 a 12 horas. Estas lluvias son en general las de mejor calidad por su baja mineralización (cf. apartado 1.2.4.3.2). La prospección de estas aguas leníticas de pequeño volumen ha llevado a analizar hasta el presente 395 muestras zooplanctónicas, habiéndose visitado algunas de ellas en 5 a 10 ocasiones. No se ha establecido un límite inferior de tamaño para el muestreo de estos sistemas; han sido sondeadas charcas pluviales, piletas o abrevaderos de los que pueda extraerse alguna especie; son especialmente abundantes en zonas altas cercanas al litoral las cubetas en la roca o "rock pools", llamados en las islas "cocons"; estos sistemas al llegar a la costa constituyen las llamadas cubetas supralitorales, cuyo poblamiento ya forma parte del primer piso de la biología marina; contienen aquí algunos crustáceos característicos, con el harpacticóide

Tigriopus fulvus. En cuanto a las cubetas de aguas dulces, existe una notable diferencia en la riqueza y entidad zoosociológica de estos sistemas rocosos efímeros y las verdaderas charcas como entidades históricas del paisaje a las que ahora nos referiremos. Sin embargo, algunas especies raras sólo se han citado de estos ambientes inestables, como el cladócero *Moina micrura*.

1.1.1.2.1 Charcas en zonas esteparias o endorreicas

El régimen pluviométrico de llanura en la zona mediterránea es de tipo subestépico a subhúmedo, con al menos un mes seco al año (Daget, 1977). Se diferencia de las zonas esteparias de otras regiones paleárticas por no coincidir el periodo lluvioso con la estación cálida. Quizá es oportuno pensar cómo influye el hecho de una inundación centrada en una época invernal sobre las posibilidades de persistencia de faunas terciarias, de tipo tropical, sobre el área mediterránea. Una *Alona* iberobaleaar, *A. iberica*, relacionada con una especie o núcleo de especies circunscrito por los paralelos de 40° N y S, es en apariencia termófila, y se encuentra preferentemente a partir de Abril.

El perfil pluviométrico del archipiélago balear señala el inicio de una zona subárida desde el sur de Mallorca hasta Formentera. En Menorca (Jansá, 1979) existen zonas subáridas y endorreicas en Ciutadella y en las regiones costeras, donde se desarrolla igualmente una comunidad esteparia de crustáceos. Cuando los sustratos rocosos o edáficos presentan las condiciones apropiadas de endorreismo e impermeabilidad aparecen comarcas con cierta profusión de charcas temporales de desarrollo invernal. Este es el caso de la plataforma de Lluçmajor, en Mallorca, de ciertos enclaves menos definibles de Ciutadella y diversos puntos de Menorca, y en Formentera. En Menorca, la ubicación de charcas muy importantes por su fauna coincide por centrarse en localidades en que se reconoce la reorganización del sistema cárstico en pequeñas cuencas endorreicas. Tal es el caso de las charcas de

Torrellafuda y Binigafull (Ciutadella), asociadas a simas, o a un poljé, como el descrito en Curniola (Fayas & Bayó, 1973).

El conjunto de balsas temporales de Lluçmajor ha sido estudiado por diversos autores (Mayol, 1977; Jaume et al., 1987; Sastre, 1987; Tur, 1987; Jaume, 1989). Rita (1988) reúne gran parte de esta información y amplía y describe su significado geomorfológico. La plataforma caliza tabular miocena de Lluçmajor, elevada en más de 90 m sobre el nivel del mar actual, está cubierta de suelos fersialíticos cuya génesis y grado de aloctonía dista aún de quedar plenamente establecida. Estos suelos están separados de la roca madre, una eolianita pleistocena intercalada entre los suelos y el basamento calizo; contienen horizontes cálcicos que forman pantallas o costras calizas de tipo caliche. Su carácter diagenético, formado por recristalizaciones compactas de carbonatos, les confiere impermeabilidad por falta de porosidad; al erosionarse el suelo superior, sus cubetas y depresiones quedan expuestas al encharcamiento. Estas estructuras edáficas, con series a veces sucesivas de eolianita, costra caliza y suelos rojos, se forman bajo condiciones climáticas semiáridas que han de haber existido durante el Pleistoceno.

En Menorca existen numerosos encharcamientos debidos a la impermeabilidad directa del zócalo, tanto de los esquistos y areniscas del Carbonífero (Bassa Verda de Binissarmenya, en Maó), como de los del Buntsandstein (Es Mal Lloc, Verda de la Vall, en Ciutadella). Sobre las plataformas calizas neógenas se forman pequeñas áreas endorreicas en las que se centra una charca temporal. Otras veces es el carácter de acuífero colgado local lo que mantiene el nivel de afloramiento (Lluriach, en Mercadal), proporcionando aguas a veces permanentes si la profundidad del encharcamiento está sobreexcavada (Clot des Guix, Alaior). Los suelos rojos arcillosos depositados o generados sobre las plataformas miocenas son impermeables al hidratarse, y así pueden

formarse aguas turbias de pequeña extensión, y con elevado grado de permanencia bajo clima subhúmedo.

1.1.1.2.2 Humedales costeros

Forman las aguas regionales más extensas y mejor conocidas de las islas, actualmente por su significado paisajístico y por su amenaza de desaparición y contaminación. Dejando aparte las lagunas costeras o albuferas conectadas por canales o golas al mar, del que reciben el efecto de sus oscilaciones de nivel, son muy interesantes los sistemas prelitorales, desconectados (Morella, en Maó, Albufera de Mercadal, las dos en Menorca) o nivelados freáticamente con el mar (Estany de ses Gambes, en Campos, Mallorca). Gran parte de las llanuras litorales con suelos ácuicos y zonas húmedas mallorquinas se ubican en los llanos de Inca-Sa Pobla y de Campos; dichas llanuras corresponden a depresiones con subsidencia activa durante el Neógeno Superior y el Cuaternario, estando ocupadas por salobres en la comarca subárida de Campos y por marismas de afloramiento en Alcudia-Muro, con importantes gradientes de salinidad que enriquecen las comunidades naturales (Martínez et al., 1985).

El conjunto de zonas salobres de Mallorca parece muy interesante desde el punto de vista biogeográfico; las aportaciones de Margalef (1953a) revelando la existencia de ostrácodos como *Loxoconcha gauthieri* y *Potamocypris steueri*, ausentes en las marismas del resto de las islas, se ven reforzada por el hallazgo de comunidades específicas de aguas salinas, con *Daphnia mediterranea*, *Moina salina* y *Arctodiaptomus salinus*. Igualmente interesante es el aislamiento del decápodo *Palaemon elegans* en el Estany de ses Gambes (Santanyí), del que sin embargo no se ha podido localizar ningún ejemplar en las dos visitas a dicha localidad. Por lo demás, especies propias de los márgenes costeros continentales ibéricos o generalizados faltan en las islas, como los decápodos *Atyaephyra desmarestii* (Margalef,

1952a) y *Dugastella*, o los peces ciprinodóntidos, aunque en Mallorca existió un *Aphanius* que habitaba las lagunas salobres del centro de la isla, tras la retirada del mar burdigaliense (Colom, 1978). Siguiendo entre los decápodos, tampoco se ha encontrado en el distrito balear el palemónido *Palaemonetes zariquieyi*, común entre Tarragona y Valencia (Zariquiey, 1968) y ecológicamente más ubicuo en las aguas dulces litorales de las costas levantinas ibéricas. En las islas sólo vive el citado *Palaemon elegans*, muy común en los 'graus' o desembocaduras lagunares de los torrentes. En la Albufera de Alcudia vive *Gasterosteus aculeatus*, y el poecílido *Gambusia affinis holbrooki* está extendido por las numerosas zonas húmedas insulares. Las aguas propiamente costeras, como la Albufera des Grau son habitadas por especies litorales marinas, siendo reseñables el misidáceo *Mesopodopsis slabberi* (Ferrer, 1923), y el anfípodo tubícola *Corophium insidiosum*, por otra parte el anfípodo más común en otras regiones, como en las lagunas costeras del mar Tirreno (Diviacco, 1983). Los copépodos más comunmente hallados son *Acartia latisetosa*, *Tisbe longicornis*, *Harpacticus littoralis*, *Nitocra lacustris* y *Mesochra heldtii*. Aguas con menores oscilaciones de salinidad, como el Estany des Ponts (Alcudia) o el Estany des Peix son habitadas por mayor número de componentes marinos, con anfípodos del género *Melita* y *Elasmopus*.

En la conformación de los humedales menorquines es importante la dinámica litoral reciente, con la formación de albuferas (Son Bou, Alaior), fondos de bahía (Fornells, Addaia), tómbolos anegados (Sa Mesquida, Maó) y marismas prelitorales en las playas encajadas de los barrancos (Algenar, Trebalúger, Canutells) o limitadas por rocas impermeables (Algaiarens); otras veces dependen de acuíferos locales independientes como los humedales de Binimel.là y Lluriach (Mercadal) (Fayas, 1982).

Las partes bajas del sur de Ibiza y norte de Formentera son ocupadas por extensas salinas y estanques hiperhalinos, debidos

a la existencia de fenómenos de subsidencia locales cuaternarias (Pomar, 1985).

1.1.2 EL MEDIO HIPOGEO Y LA FREATOBIOLOGIA

El gran avance en la biogeografía de la estigofauna ha consistido en la exploración de los medios freáticos, haciendo extensible una tarea, originalmente centrada en las cuevas, a otras posibilidades de acceso al manto freático: pozos, medio intersticial hiporreico y litoral, fuentes, y también cavidades marinas. Diferentes autores se han ocupado en la clarificación y delimitación de los distintos ambientes del mundo subterráneo o hipogeo (Sterba, 1964; Vandel, 1968; Rouch, 1968a,b). En las Baleares la atención zoológica se ha centrado básicamente en la exploración de las cuevas de Mallorca, donde se han obtenido la mayoría de especies descritas hasta la actualidad. De ellas, las cavidades costeras glacioeustáticas, con sus lagunas anquialinas son sin duda los biotopos acuáticos hipogeos regionales más característicos en Mallorca, centrados en diferentes comarcas del levante insular (Gines, 1983).

Los estudios estigofaunísticos dan comienzo en Mallorca entre 1905 y 1912, con las contribuciones de Racovitza y Chevreux, al describir *Metacrangonyx longipes* y *Typhlocirolana moraguesi*. Existe un entorno de investigación local que es sensible a estos hallazgos, con Pujiula, Garcias Font y Menacho, que divulgan y aportan breves contribuciones de relativo interés. Un salto en el tiempo lleva al periodo entre 1951 a 1961, donde se progresa en Mallorca y Menorca con los trabajos de Margalef (1951e, 1952a,b, 1953a,b, 1976), y los derivados de la expedición de Strinati y Coiffait (1961) a Menorca: Ruffo (1960), Chappuis y Rouch (1961), Kiefer (1960), Karaman (1978). Un tercer estadio surge desde 1973, con aportaciones principalmente centradas en Mallorca, con los trabajos de Dancau (1973 a,b), Dalens (1977), Serban (1977), Ginés y Ginés (1977), Lescher-Moutoué (1978),

Gourbault y Lescher Moutoué (1979) y Stock (1978). Las contribuciones taxonómicas más recientes se deben a Platvoet (1984) Stock y Iliffe (1987), y Pretus (1986, 1988).

Existen técnicas de observación de la fauna intersticial in vivo a partir de resinas (Coineau & Coineau, 1979). En el trabajo de campo, además de la observación y colección directa suele ser de utilidad el trampeo, con sus variantes para cada biotopo (Boutin & Boulanouar, 1983). Las técnicas de muestreo subterráneo más importantes llevadas a cabo son las descritas y utilizadas por numerosos autores (Chappuis, 1942; Bou, 1974):

(1) para el medio hiporreico de grano grueso, el sistema descrito por Delamare-Deboutteville y puesto a punto por Bou & Rouch (1967), dispositivo a base de una bomba tipo Norton acoplada a un tubo de acero de 0.5 a 1.5 m de longitud, con perforaciones que se hunde en las gravas a muestrear. Danielopol (1982), alcanzando niveles de hasta 6.5 m de profundidad en el manto freático, ha puesto de manifiesto el creciente número de especies que pueden hallarse conforme aumenta la longitud del tubo de muestreo, en ambientes lóticos. Mediante análisis multivariantes pueden establecerse distintas profundidades en las que dominan diferentes especies, hallándose grupos interesantes hasta 2.5 m de profundidad (Dole, 1983).

(2) para el medio intersticial litoral, con arenas finas a gruesas emergidas, el método de Karaman-Chappuis, realizando una excavación por medio de una pala hasta que aflora el agua freática, de la que se extraen unos 50 a 100 l y se filtran. Los organismos de pequeña talla se ven arrastrados por los flujos centrípetos, existiendo una pérdida de eficiencia del material colectado por litro de agua con el tiempo. Para ambos sistemas es ventajoso añadir unas gotas de rosa de Bengala que tiñe los organismos, facilitando su separación, o bien separando los organismos aún vivientes.

(3) la red freatobiológica de Cvetkov (1968), diseñada para la prospección de aguas a cierta profundidad; se trata de una red de plancton eficiente si es corta y ancha, provista de una válvula de seguridad entre el cono de la red y el colector del filtrado, con lo que pueden ejercerse movimientos bruscos de izamiento y caída de la red en los pozos a fin de remover el sedimento y atrapar los organismos. Más de un centenar de pozos en las Baleares han sido prospectados. De esta manera se amplía notablemente la abordabilidad de la fauna cavernícola, tratándose de un método de uso generalizado en exploraciones recientes en área biogeográficamente afines (Notenboom & Meijers, 1985; Boutin & Boulanouar, 1984).

(4) el buceo directo con escafandra autónoma en (a) grutas anquialinas, alcanzando pisos sumergidos de aguas marinas difícilmente abordables desde la superficie, (b) grutas marinas con acceso a mantos de agua superficiales desalinizados en sus partes internas. También se hacen accesibles los ríos subterráneos cuyas cámaras de aire se hallan divididas por sifones que impiden el recorrido directo. Otros métodos de muestreo, como el filtrado de fuentes con mangas apropiadas, durante varias horas, no se ha experimentado más que en ocasiones puntuales en Menorca.

1.1.2.1 Medio intersticial

1.1.2.1.1 Litoral

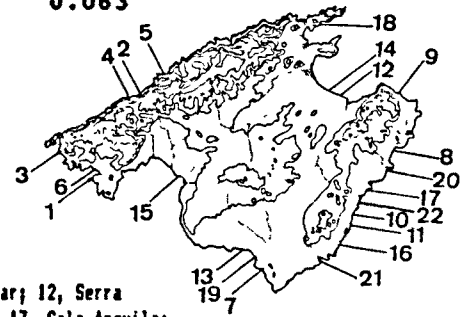
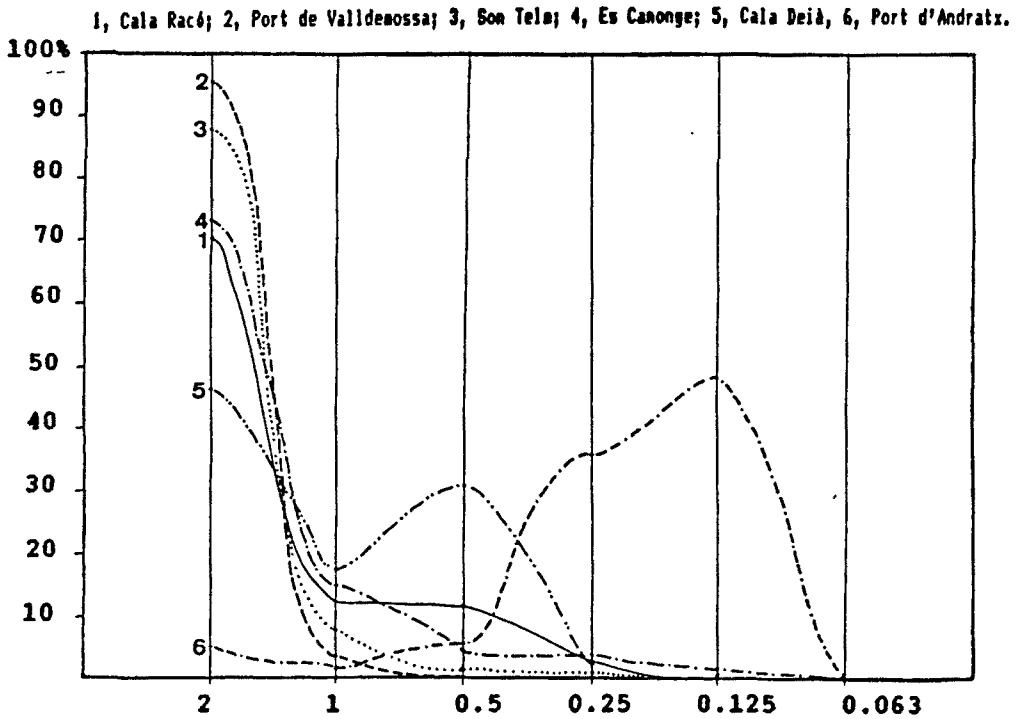
Iniciada en los años treinta e impulsada por Stanko Karaman y Chappuis (Chappuis, 1946), la prospección sistemática de las playas de los lagos y de las costas marinas (Küstengrundwasser) se desarrolla tanto en Norteamérica (Pennak, 1950; Chappuis & Delamare-Deboutteville, 1958), donde se descubrieron así los mistacocáridos, como en las playas marinas del entorno europeo. Existen en los inicios tres núcleos de investigación: Kiel (Remane, Schulz, Noodt), Banyuls (Delamare-Deboutteville) y

Roscoff. Los trabajos más próximos a nuestras costas se deben a Angelier (1951, 1953a, b), Chappuis y Delamare-Deboutteville (1954) en Francia, y Delamare-Deboutteville (1953a, 1954a) en las riberas norteafricanas, y España (1954b), y culminan con una monografía al respecto (Delamare-Deboutteville, 1960). Una generación posterior de autores ha estudiado en detalle la biología de los microparasélidos y otros grupos zoológicos frecuentes en el litoral (Coineau, 1962b, 1963, 1968, 1970a, 1971, 1979, 1981, 1982, 1984), Coineau & Renaud-Mornant (1977), con especial atención a las islas (Coineau, 1964a, b, 1966, 1970b, 1977), Coineau & Chandrasekhara (1972), complementados con estudios del psammon del piso infralitoral (p.ej. Renaud-Debyser & Salvat, 1963).

En las Balears sólo dos localidades formaban parte del acervo de muestras litorales en la época clásica de los cincuenta, una en Palma y otra en Cabrera, recogidas, sin más comentarios, en el mapa de Delamare-Deboutteville (1954a, 1960). Quizá estén relacionadas con la expedición de Jolivet a Cabrera en octubre de 1951 (Jolivet, 1953).

Como parte importante del presente trabajo, se han recogido diferentes muestras faunísticas de las playas baleáricas, de las que se han estudiado los mistacocáridos, microparasélidos, microcerbéridos y bogidiélidos. En total se han obtenido 114 muestras intersticiales litorales. Tras cada excavación según el sistema de Karaman-Chappuis se tomaba medida de la conductividad, y se guardaba una muestra de arena para determinar su granulometría, uno de los principales factores abióticos a tener en cuenta. En las figuras 1.3 a 1.6 se sintetizan algunos tipos granulométricos de playa, ordenados por regiones naturales en Mallorca y Menorca.

FIG. 1.3. Granulometrías en playas del sector de la Serra (en mm).



7, Es Dolç; 8, Es Ribell; 9, Cala Mitjana; 10, Cala Murada; 11, Cala Salgar; 12, Serra Nova; 13, La Ràpita; 14, Santa Margalida; 15, S'Arenal; 16, Cala Arsenau; 17, Cala Anguila; 18, Cala Pi; 19, Es Trenc; 20, Sa Coma; 21, Cala Mondragó; 22, Cala Virgili.

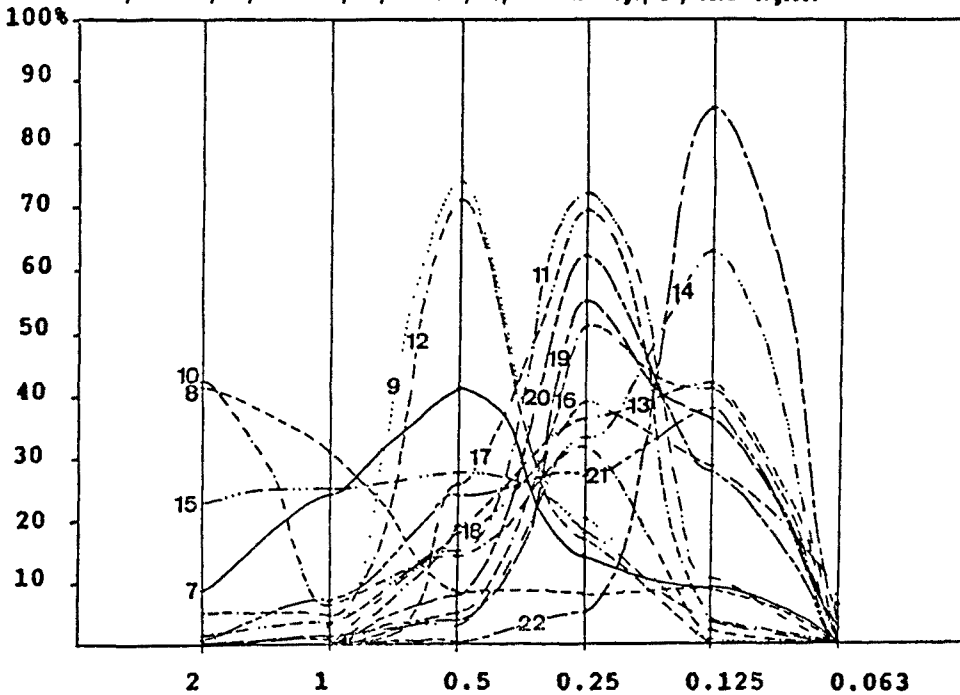


FIG. 1.4. Granulometrías del sector sur y oriental de Mallorca (en mm).

FIG. 1.5. Granulometrías en la costa de Tramuntana (en mm).

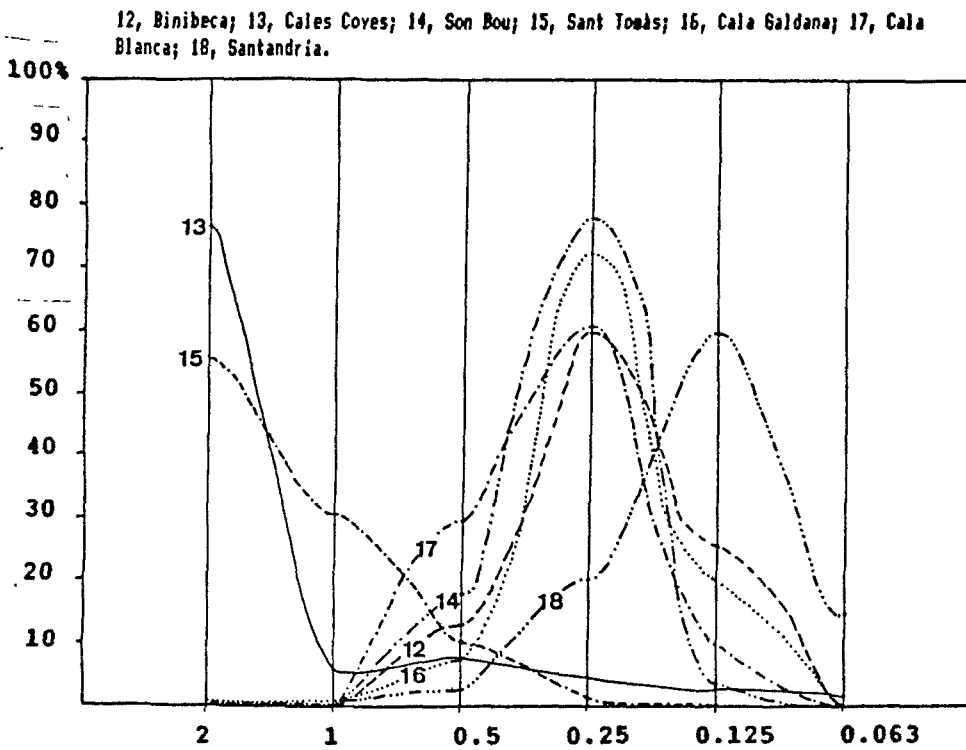
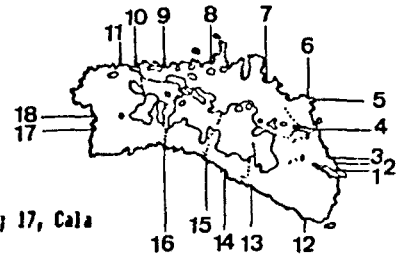
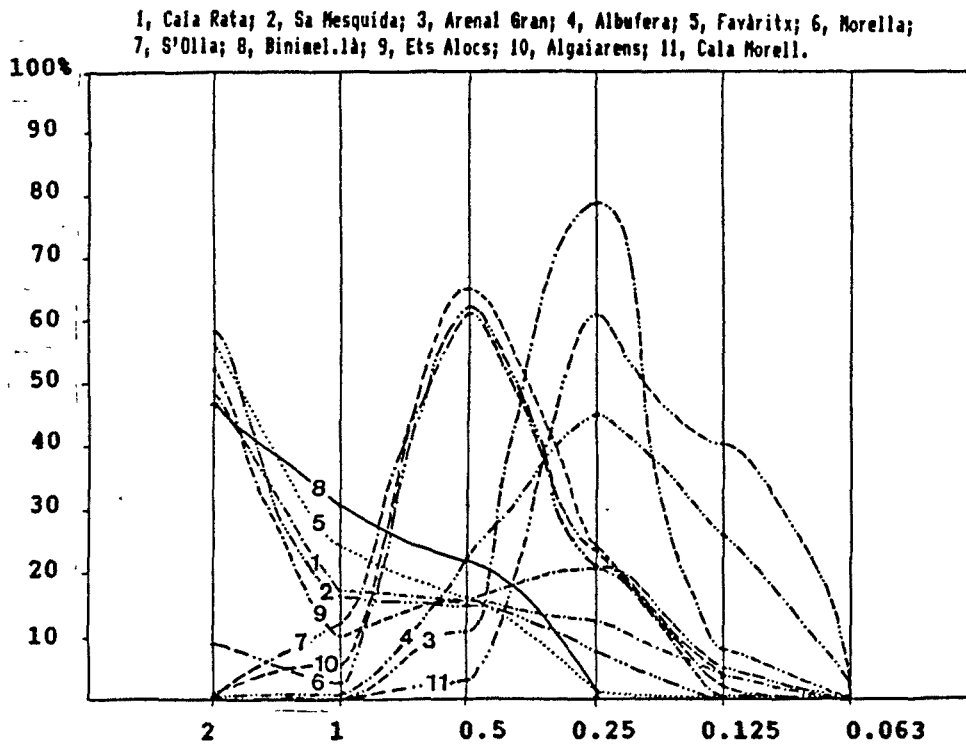


FIG. 1.6. Granulometrías en la costa de Migjorn (en mm).

Otros factores importantes son la existencia de un flujo intersticial de agua dulce hacia el mar, que mantiene la renovación y oxigenación del agua; la presencia de restos de *Posidonia* entre la arena, cuyas fibras cementan los granos y empaquetan los estratos arenosos reduciendo su habitabilidad. La dominancia silícica o caliza de los granos se ha considerado como determinante en la distribución de los mistacocáridos (Delamare-Deboutteville, 1960).

1.1.2.1.2 Hiporreico

El biotopo hiporreico constituye un medio de transición entre las aguas superficiales y las aguas freáticas (Angelier, 1962). Según este autor, la velocidad superficial de la corriente de los cursos de agua y la temperatura determinan migraciones verticales, limitadas por la variación del contenido en oxígeno en profundidad. La investigación ecológica de la fauna hiporreica lleva a establecer fundamentos para su aplicación como indicador biológico respecto de aguas subterráneas para el consumo humano (Danielopol, 1978).

Se ha discutido sobre la existencia de límites entre la fauna hiporreica y la freática (Motas, 1963). La extensión de la fauna hiporreica hacia los países septentrionales ha sido recortada por las glaciaciones; no sólo se conoce este hecho en Europa, sino que se manifiesta también en la banalidad faunística del litoral de los grandes lagos de Norteamérica (Chappuis & Delamare-Deboutteville, 1958). Sólo el género *Parastenocaris* parece capaz de recuperar los antiguos dominios preglaciares. Sin embargo, Holsinger et al. (1983) han revelado la persistencia de asélidos y crangoníctidos troglobios en cavidades cubiertas por el glaciar de Saskatchewan, reduciéndose la validez general de las concepciones clásicas al proponer que las aguas cavernícolas han actuado de refugio subglacial para aquellos organismos.

El medio hiporreico presenta un marcado interés ecológico en conexión con el medio superficial del río en cuestión, siendo la descarga de nutrientes del medio hiporreico crucial para la productividad del cauce (Stanford & Ward, 1988).

En las Baleares los medios hiporreicos relacionados con cursos superficiales de agua se centran en la Serra de Tramuntana mallorquina, en conexión con cauces de fuerte pendiente de los que derivan aluviones de grano grueso. Son escasas las localidades de inundación permanente, y se deben a su ubicación sobre el nivel de base marino. Especialmente interesante resultan las gravas del Torrent de Pareis, en el valle de Sa Calobra, en la vertiente marina de la Serra. Los barrancos miocenos de la parte oriental de Mallorca y del sur de Menorca carecen de la granoclasificación adecuada, dominando el relleno de lodos, lo que dificulta la reticulación apropiada del medio intersticial hiporreico.

1.1.2.1.3 Hipotelminorreico

Una parte de la isla de Menorca, su mitad septentrional o 'Tramuntana', consta de terrenos paleozoicos y mesozoicos con pelitas, lutitas y areniscas impermeables, organizadas geomorfológicamente en pequeñas unidades de vertiente, y cuyos valles albergan discretos elementos acuíferos de pequeño espesor, aunque con poblamiento estigológico frecuente. Su acceso y muestreo depende de la existencia de pozos muy característicos de la comarca ("pous de rossec"), de escasa profundidad, y muy usados para abastecer el ganado. Su caudal es muy bajo, y recientemente se ven sometidos a una sobreexplotación muy acusada con el uso de bombas de extracción. En los manantiales y en las costas acantiladas estos medios afloran directamente en superficie, pudiendo encontrarse crustáceos estigobios bajo las piedras de los pequeños hilillos de agua de régimen efímero, hallazgos de los que es difícil no sorprenderse.

En el marco de la tarea descriptiva general del medio hipogeo, y paralelamente al desarrollo del concepto de medio intersticial y del de su fauna hipogea asociada (Orguidan, 1959), Milan Mestrov (1962) reconoce un tipo específico de medio subterráneo, que llama hipotelminorreico, describiéndolo y delimitándolo de la siguiente manera:

"Le biotope hypotelminorhéique se rencontre sur les collines ou les montagnes, dans les forêts ou dans les prairies, à faible profondeur, dans des terrains (argiles, limons, etc.) renfermant un système de canalicules parcourus par une eau à courant lent. Ce milieu est occupé par un chevelu de racines de plantes; il est riche en matières organiques.....Si l'eau (de pluie) tombe sur des terrains partiellement ou complètement imperméables, l'eau s'écoule dans les couches superficielles du sol, et réapparaît sur les pentes ou au bas des montagnes, sous forme de sources."

Este término caracteriza por tanto aquellos medios sub-superficiales no freáticos, en régimen vadoso de circulación, que se deslizan sobre terrenos impermeables y bajo el suelo, a través de los canales de origen orgánico o inorgánico, que en régimen aéreo determinarían la aireación del suelo. Rouch (1968a), en su clasificación del mundo subterráneo, incluye el medio hipotelminorreico dentro del grupo de terrenos permeables 'en petit':

"le terrain aquifère repose sur un mur imperméable au-dessus duquel l'eau circule donnant lieu à des nappes libres ou des nappes captives...Dans tous les cas on peut assimiler le milieu hypothelminorhéique à une nappe éluviale de déversement de plus ou moins grande étendue."

Más adelante Rouch (1970) trata nuevamente este medio:

"le milieu hypotelminorhéique correspond à des nappes superficielles situées dans les dépôts éluviaux de pente".

Lescher-Moutoué (1968) describe el comportamiento de las exsurgencias del medio hipotelminorreico en relación a la pluviometría, mediante filtrado en continuo, descubriendo una fuerte influencia del volumen de precipitación sobre la cuantía de la fauna hiporreica colectada. La autora amplía el número de géneros dado por Mestrov habitantes de dicho medio, con *Microcharon* y *Bathynella* entre los malacostráceos. Más tarde (Lescher-Moutoué, 1973) se ocupa en redefinir el biotopo hipotelminorreico, tratándolo como una "nappe superficielle suspendue", dentro del que distingue dos tipos:

"Au niveau des milieux interstitiels suspendus, il convient de distinguer les ruissellements hypodermiques dans le régolite (milieu hypotelminorhéique) des nappes qui se développent dans le cortex de désagrégation. Dans le premier cas, les réserves sont très peu abondantes et les habitats ainsi réalisés sont toujours précaires. Dans le second cas, au contraire, les réserves peuvent être abondantes".

Danielopol (1982) asume la identificación del medio hipotelminorreico con el regolito, término debido a Bloom (1969), con el que se designa "cualquier material rocoso, suelto, no consolidado, de la superficie de la Tierra, cualquiera que sea su origen"; según Bloom, regolito equivale al concepto de suelo en sentido general. Strahler (1988) define al regolito como "capa de partículas minerales que cubre la roca firme; puede proceder de la meteorización de roca firme subyacente o haber sido transportada desde otros lugares por agentes fluidos". Rouch (1986a) reafirma el mérito de Mestrov por llamar la atención a los biólogos sobre "la présence d'espèces troglobies dans des

habitats proches de la surface", aunque considera ahora al medio hipotelminorreico como formado "dans le cortex de désagrégation, c'est à dire dans les formations d'altération de la roche mère".

El medio hipotelminorreico de la comarca septentrional de Menorca está especialmente organizado sobre las lutitas y areniscas del Carbonífero (La Mola de Maó - Favàritx, cuenca alta del torrente de Tirant, Ses Pesqueretes-Cala Mica, Cala en Calderer). La esquistosidad de este material es el responsable de la existencia de microcavidades húmedas a lo largo de los prolongados períodos de sequía epigea, que sin duda permiten un estadio quiescente a los anfípodos subterráneos (*Pseudoniphargus*) y planarias (*Dendrocoelum* sp.) que allí se encuentran. De esta manera no parece necesaria la sospecha de que ciertas planarias posean diásporas de resistencia, ciertamente inexistentes en los anfípodos; toda vez que se conocen casos de resistencia a la falta de agua libre en ejemplares adultos de *Dugesia sicula*.

1.1.2.2 Medio cavernícola

Constituye el núcleo clásico de investigación biospeleológica en las Baleares. Su interés es extraordinario, por la profusión de ambientes aptos para investigación en biogeografía ecológica cuyas posibilidades han sido trazadas (Culver, 1970; Culver et al., 1973; Dickson, 1979; Hüppop, 1986; Rouch, 1971, 1977, 1986a; Sket, 1986a; Turkin, 1981). En las cavidades subterráneas es donde se ha descrito *Balearonetes sesrodesanus* (Dalens, 1977), el único género de crustáceos endémico de las Baleares, desde que fue resuelto el problema del supuesto género epigeo *Porrassia* (Marcus, 1912), tratándose éste último de un inmaduro de *Orchestia gammarella* (Stock, 1976b). Dentro de la documentación espeleológica balear existen trabajos dedicados a las morfologías cársticas fluviolacustres (Pomar et al., 1975, 1976; Ginés & Ginés, 1975, 1977; Hennig et al., 1981; Grün, 1986; Fornós et al., 1989). Existen también trabajos de síntesis

biospeleológica en Ginés y Ginés (1977), y Ginés (1982, 1983). En las Pitiusas, Trias (1983) sintetiza el estado de su conocimiento espeleológico, que en cuanto a medios acuáticos es prácticamente inexistente.

La exploración se centra en tres pisos alternativos del ciclo hidrogeológico respecto al nivel de base marino: la zona de infiltración y de circulación o vadosa; la zona freática o nivel de base (Rouch, 1968a, 1986a), con sus lagunas paralitorales o anquialinas; y finalmente los dominios submarinos. Las dos últimas tipologías corresponden a la inundación de cavidades cársticas originadas en fases de glaciario, con el nivel de base mucho más bajo que el actual, o reactivadas durante las mismas. En la tabla 1.1 se dan las concentraciones de algunos iones en las aguas superficiales para distintos tipos de cavidades.

1.1.2.2.1 Zona vadosa

Existen cubetas aisladas de la circulación general, los 'gours' o 'gorcs'. En la zona de circulación permanente se encuentran los escasos cursos fluviales de las islas. Ginés (1983) y Ginés y Ginés (1987) reconocen 8 localidades con conducción activa, asociadas al carst de la Serra de Tramuntana, de las que aquí se han investigado la Cova dets Estudiants y la Cova de les Rodes. En Menorca existen 2 medios fluviales importantes, Font de Sa Vall y Cova den Curt, el último de ellos descubierto y explorado recientemente (fig.1.7).

1.1.2.2.2 Lagunas anquialinas

Las aguas mixohalinas de las cuevas paralitorales (Sket, 1988) han sido centro de interés tanto por su poblamiento estilogógico como por las peculiaridades químicas, los fenómenos de estratificación y sus posibles niveles oligóxicos (Sket, 1981, 1986a; Manning et al., 1986; Palmer et al., 1986; Jickells,

TABLA 1.1. Concentraciones iónicas en aguas de algunas cavidades representaivas de diferentes biotopos hipogeos. (*, cavidad con características morfológicas intermedias con las de tipo paralitoral). (cf. cap. 1.2. para analítica).

	$\mu\text{S/cm}$	HCO_3^-	Cl^-	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
	meq/l					
RIOS SUBTERRANEOS						
Mallorca						
*Cova de les Rodes	1338	6.40	10.0	5.40	7.48	1.62
Cova dets Estudiants	671	4.32	2.0	0.87	4.86	3.20
Menorca						
Cova den Curt	820	3.98	4.0	3.19	2.14	1.30
LAGUNAS PARALITORALES						
Mallorca						
Cova de Sant Martí	2660	6.95	21.0	16.7	3.80	7.10
Cova de na Barxa	7450	6.22	85.0			
Cova den Bessó	703	5.10	4.0	2.52	2.06	3.06
Cova de sa Sinia	1641	5.45	15.0	13.1	3.60	5.12
Cova de sa Torre	10190	6.73	130			
Cova de na Gleda	5670	5.30	65.0			
Menorca						
Cova de s'Aigo	13600	4.72		8.40	24.6	
Cova de sa Tauleta				6.22	13.3	
Cova de ses Figueres	1670	3.77			2.83	5.79
Cova Polida	17800	1.26			8.4	36.4
Formentera						
Coves de sa Pedrera	4610	3.05				

1988), así como de los fenómenos de disolución y recristalización derivados de los equilibrios químicos del sistema de carbonatos, tras la mezcla entre agua marina confinada y agua dulce rica en carbonatos (Smart, 1984; Palmer & Williams, 1984; Herman et al., 1986). El término 'anchialine' fue definido por Holthuis en 1973 para designar lagunas epigeas sin contacto directo con el mar pero recibiendo influencia de las mareas. Más tarde se ha propuesto rectificar su deletreo con la voz 'anchihaline' (Stock et al., 1986), por estar en la línea de los términos de la clasificación de las aguas salobres del convenio de Venecia (1958). Esta actitud ha sido de nuevo contestada (Holthuis, 1987), alegando no sólo su rectitud ortográfica y etimológica, sino el hecho de no haberse propuesto para designar un rango de

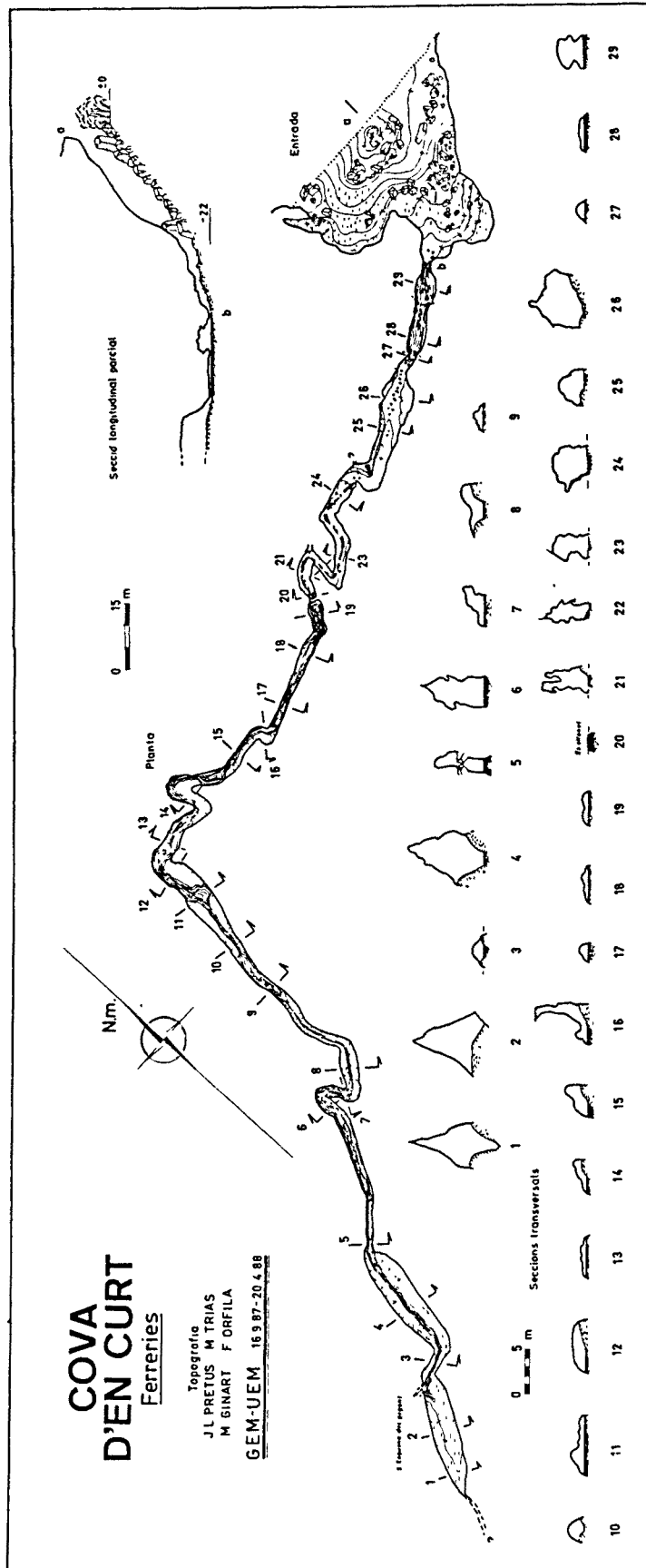


FIG. 1.7. Topografía del medio fluvial de la Cova den Curt.

salinidad. El término se usa ambivalentemente, ajustándose por ejemplo los autores americanos a la denominación original.

Ginés & Ginés (1977, 1987) dividen el carst de Mallorca en una serie de comarcas, en 4 de las que existen lagos glacioeustáticos, y de ellas las de Muntanyes d'Alcudia y Marina de Manacor, suficientemente alejadas entre sí, han sido exploradas por nosotros. En Menorca existen tres comarcas, Biniancolla, Mola de Fornells y Parella, con lagunas de este tipo, y en Formentera se conoce la de las Coves de sa Pedrera. Todas ellas han sido prospectadas (Pretus, 1989b).

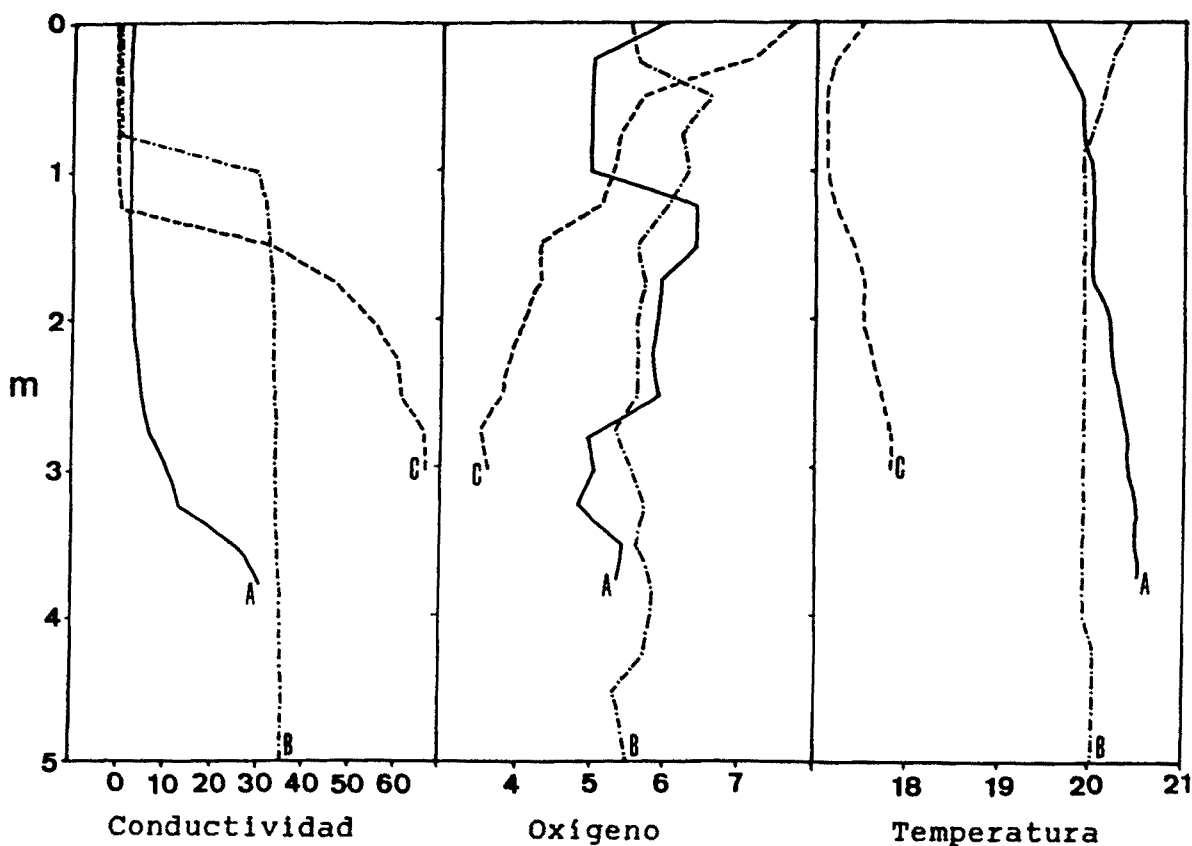


FIG. 1.8. Perfiles de temperatura (°C), conductividad (mS/cm) y oxígeno (mg/l) en tres lagunas anquialinas de Baleares.

Los primeros datos relativos a la estratificación de las lagunas anquialinas de Baleares (fig. 1.8) muestran la debilidad de la capa superficial salobre, encontrándose a escasa profundidad el agua marina, sin duda por la proximidad de la costa. No se observan tampoco reducciones importantes del oxígeno disuelto en la profundidad de máximo gradiente (picnoclina), aunque como es de esperar no se alcanzan en ningún caso niveles de saturación.

1.1.2.2.3 Grutas submarinas

La prospección en los años ochenta de las cavidades anquialinas y marinas en América Central, principalmente en las Antillas y las penínsulas de Yucatan y Florida, así como en las Bermudas y Canarias, ha resultado en una explosión de nuevas especies, géneros y hasta grupos taxonómicos superiores (p. ej. Bowman & Iliffe, 1985; Bowman et al., 1985; Bowman et al., 1985). La biota mediterránea endémica suele considerarse como perteneciente al dominio del Tethys terciario, con lo que son paradigmáticos algunos géneros estigobios que ocupan ambos márgenes del Atlántico templado y subtropical, y el Mediterráneo.

La exploración de las cavidades mediterráneas cuenta ya con una época clásica ejemplificada por la síntesis de Riedl (1966). Decápodos aparte, el interés biogeográfico de las cavidades submarinas es variable; los harpacticoides estudiados por Pesta en el Adriático constan mayormente de especies frecuentes en el litoral (Rouch, 1968a); en el dominio atlántico han aparecido no obstante grupos sistemáticos nuevos tanto entre los harpacticoides (Huys, 1988) como entre los misofrioides y calanoides (Boxshall, 1987, 1989; Boxshall & Iliffe, 1986; Boxshall et al., 1990). Entre los misidáceos se ha descrito una especie vicariante del género *Hemimysis* en Mallorca, *H. margalefi* (Alcaraz et al., 1986), afín a *H. lamornae mediterranea*, tratándose de un género con especies propias de las grutas oscuras (Ledoyer,

1963). La contribución trófica de los misidáceos es importante en las cavidades, por sus ritmos diarios de actividad. En las cuevas menorquinas este género es igualmente el hallado con más frecuencia y abundancia.

La tipificación de diversas cavidades se debe principalmente al buen conocimiento de las costas adriáticas, napolitanas, catalanas o marselesas. Sin contar los túneles submarinos, pueden definirse cuatro tipologías de cavidades por su aislamiento respecto al mar; en particular las "cuevas marginales" (Randhölen) se relacionan por su hidrodinámica más con las cavidades anquialinas que con las marinas. Del gradiente ecológico ocupado por la fauna marina hacia el interior de las cavidades interesa el llamado "quart vide" (Delamare, 1971), en el que no existe un recubrimiento parietal por macrofauna sésil de filtradores. Las causas de la extinción del recubrimiento faunístico están siendo revisadas experimentalmente y con criticismo (Zabala et al., 1984, 1989), hasta tal punto de reconocerse que existe suficiente aporte orgánico y renovación como para mantener algunas cadenas de base heterotrófica, lo que sugiere que la zonación se deba principalmente a comportamientos biológicos de tipo tropismo.

Las cavidades mallorquinas de la región de Artá han sido estudiadas por Bibiloni y Gili (1982), y de ellas se han extraído las únicas listas de crustáceos conocidas hasta el presente de Baleares (Massuti, 1985; Gili & Macpherson, 1987).

El estudio biológico de las cavidades menorquinas ha sido hasta el momento inexistente; desde el punto de vista espeleológico habían tomado cierta relevancia las descripciones del carst subacuático de la Mola de Fornells (Montoriol y Assens, 1957), que formaban parte de un conjunto de trabajos carstológicos sobre Baleares en los que se describen fenómenos de captura por el mar de diversos tipos de arquitecturas cársticas. Aquí se presentan los resultados de una serie de campañas a lo largo de

la costa de Menorca, destinadas a caracterizar el poblamiento cavernícola, y especialmente desde el nivel donde se encuentran los máximos gradientes verticales de temperatura y salinidad hasta el nivel del mar. Esta elección se debe a la constatación hecha por diferentes autores (Sket, 1986a; Yager 1987b) mostrando cómo el carácter oligóxico de las interfases halinas es un refugio para algunos grupos de crustáceos que muestran distribuciones geográficas relictas. Tales niveles oligóxicos no han sido hallados sin embargo en las Baleares.

La mayor parte de las inmersiones se llevaron a cabo entre marzo y noviembre de 1988, comprendiendo una gran mayoría de cavidades inéditas. Las cavidades se ubican entre 12 y 30 m de profundidad, y su desarrollo es muy variado, siendo las más interesantes las que presentan sifones o pozos en los que el agua se estratifica. Se han encontrado igualmente conductos forzados subhorizontales de sección oval. Todo el utillaje de muestreo fué diseñado para quedar fijo a una placa de metacrilato de 50 cm por 30 cm, que llevaba sujetos un termómetro de mercurio, profundímetro, brújula, frascos para muestras y 5 jeringas de 250 ml, con las que se recogía agua para la determinación cloruros (argentometría). A los cascos protectores para la cabeza se instalaron dos linternas, quedando libres las manos para el trabajo de muestreo. La mayor parte de las cavidades se visitaban en dos ocasiones tras una o dos semanas de distancia; en la primera se tomaban muestras de agua a diferentes profundidades y hasta 0 m.; al mismo tiempo se dejaban dos nasas para la recolección de decápodos, una con abertura lateral y la otra superior. Otras 3-4 pequeñas nasas para meiofauna confeccionadas con botellas de plástico lastradas se dejaban en las grietas y fondos de grava o arena de las partes más internas de la cavidad; ambos tipos de trampas eran cebadas con arenque; finalmente se procedía a barrer las paredes oscuras de la gruta con una red de boca cuadrangular de 30 cm de lado y 250 μ m de poro, e igualmente se filtraba el material suspendido al remover los sedimentos. En la segunda

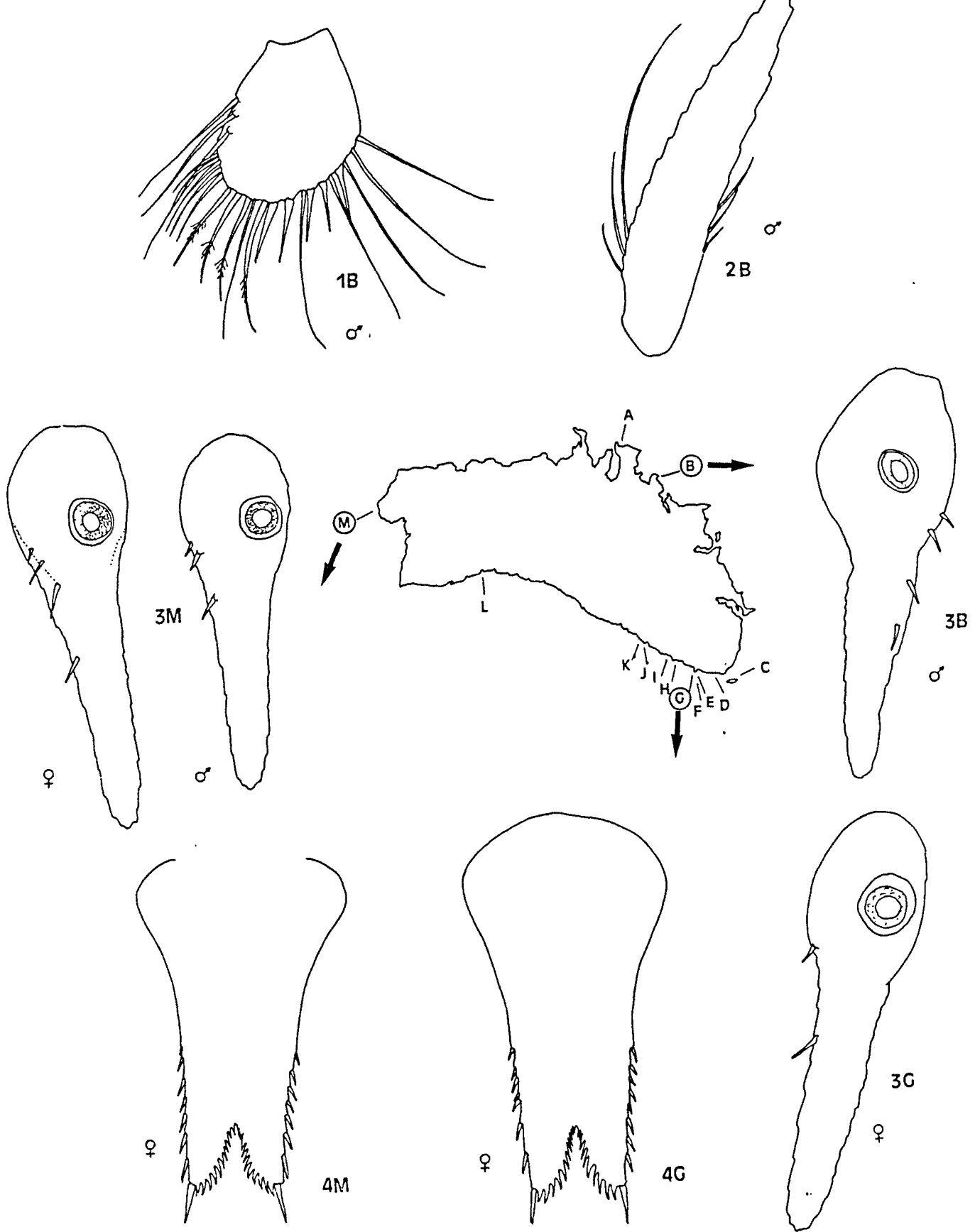


FIG. 1.9. Cavidades submarinas prospectadas (A-M) y morfología de *Hemimysis margalefi* en tres de ellas (B, G, M): 1, artejo distal del palpo de la maxila; 2, escama de la antena 2; 3, endopodio del urópodo; 4, telson.

visita se retiraban las nasas y se procedía a apuntar los principales parámetros topográficos de la cavidad. En la tabla 1.2 se resumen los crustáceos recogidos. La figura 1.9 recoge la localización de las cavidades prospectadas, así como los caracteres diagnósticos de algunas poblaciones de *Hemimysis*.

En la figura 1.10 se presentan los perfiles verticales de temperatura y cloruros en el interior de algunas cavidades, caracterizando la potencia del gradiente termohalino en aguas superficiales oscuras. Las temperaturas están más reguladas en aguas confinadas superficiales, en torno al rango igualmente característico de las lagunas anquialinas, por encima de 17°C. En invierno el descenso de temperatura no es tan elevado como en aguas libres. A pesar de los efectivos gradientes de densidad debida a la salinidad, que inhiben la mezcla vertical, no se han detectado descensos en la carga de cloruros que permitan clasificar las aguas de las cavidades submarinas menos que de polihalinas, reflejo de la escasa potencia de los flujos hidrogeológicos en los medios estudiados. Este no parece ser el caso, por contra, de las cavidades de Artà, en Mallorca.

El material colectado pertenece íntegramente a la fauna marina propiamente dicha. No se han hallado géneros epicontinentales anquialinos. Una excepción notable constituye el hallazgo de isópodos euricópodos en cuevas tanto marinas desde 20 m de profundidad, como en lagos aislados del mar (Cova Polida-), lo que ha llevado a tratar al género *Disconectes* como perteneciente a la estigofauna litoral, y se incluye en la revisión de los malacostráceos. Los misidáceos están representados principalmente por *Hemimysis*, con poblaciones afines a *H. margalefi*, aunque con variabilidad tendente a morfologías intermedias con *H. lamornae mediterranea* (fig. 1.9) (Alcaraz et al., 1986). En cuanto a los decápodos, el carácter general de la lista coincide con el de Gili y Macpherson para las cuevas de Mallorca, si bien se añaden especies de interés. La nueva especie *Odontozona addaia*

TABLA 1.2. Algunos crustáceos colectados en cavidades submarinas. *, primera cita del género en aguas españolas. **, primera cita del género en aguas del Mediterráneo occidental.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
<u>Isopoda</u>														
* <i>Disconectes</i> sp.	+	+					+							
<i>Janiridae</i>										+				
<u>Mysidacea</u>														
<i>Hemimysis</i> sp.		+		+		+	+	+				+	+	+
<i>Siriella</i> sp.		+												
<u>Decapoda</u>														
<i>Lysmata seticaudata</i>		+	+											
* <i>Brachycarpus biunguiculatus</i>				+										
<i>Palaemon serratus</i>						+	+				+	+		
<i>Parapandalus narval</i>		+												
<i>Gnathophyllum elegans</i>														+
<i>Stenopus spinosus</i>		+	+			+	+							+
** <i>Odontozona addaia</i>		+												
<i>Palinurus elephas</i>														+
<i>Scyllarides latus</i>														+
<i>Galathea strigosa</i>		+					+				+			
<i>Dromia personata</i>											+		+	+
<i>Paragalene longicrura</i>			+	+			+				+	+		
<i>Herbstia condyliata</i>											+			
<i>Maja squinado</i>														+

(Pretus, 1990c) (fig. 1.11) da entrada al género en el Mediterráneo Occidental, de donde era desconocido. Igualmente se presenta en el Mediterráneo Oriental la especie afín *O. minoica* (Dounas & Koukouras, 1989), en aguas profundas frente a Creta. Ambas especies son afines a otras descritas en las costas de Florida y mar del Caribe (Gore, 1981; Goy, 1981).

FIG. 1.10. Perfiles de temperatura y cloruros en cuevas submarinas (códigos, cf. fig.): 1a, B (07.88); 1b, B (07.89); 2, D (03.87); 3, F (06.88); 4a, G (06.88); 4b, G (07.88); 5, K (07.88); 6, M (08.89); 6a, M (07.88); 7, C (03.88).

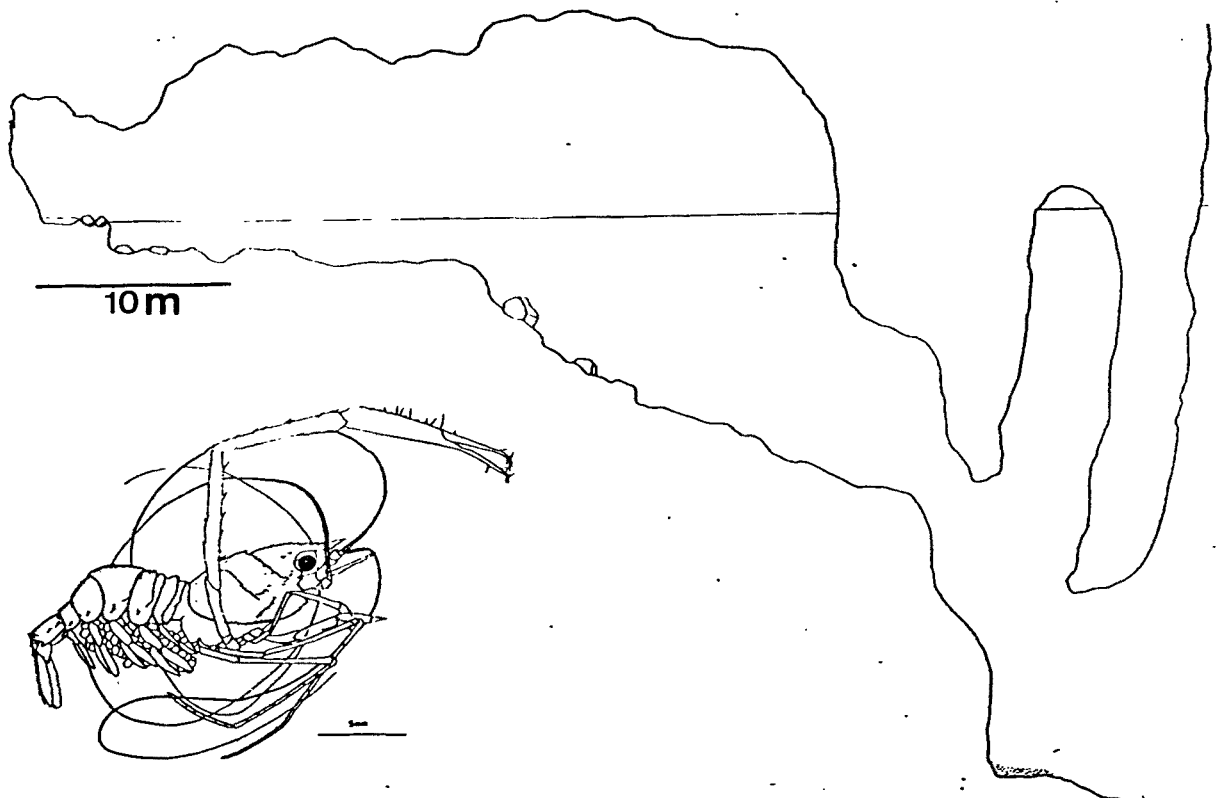
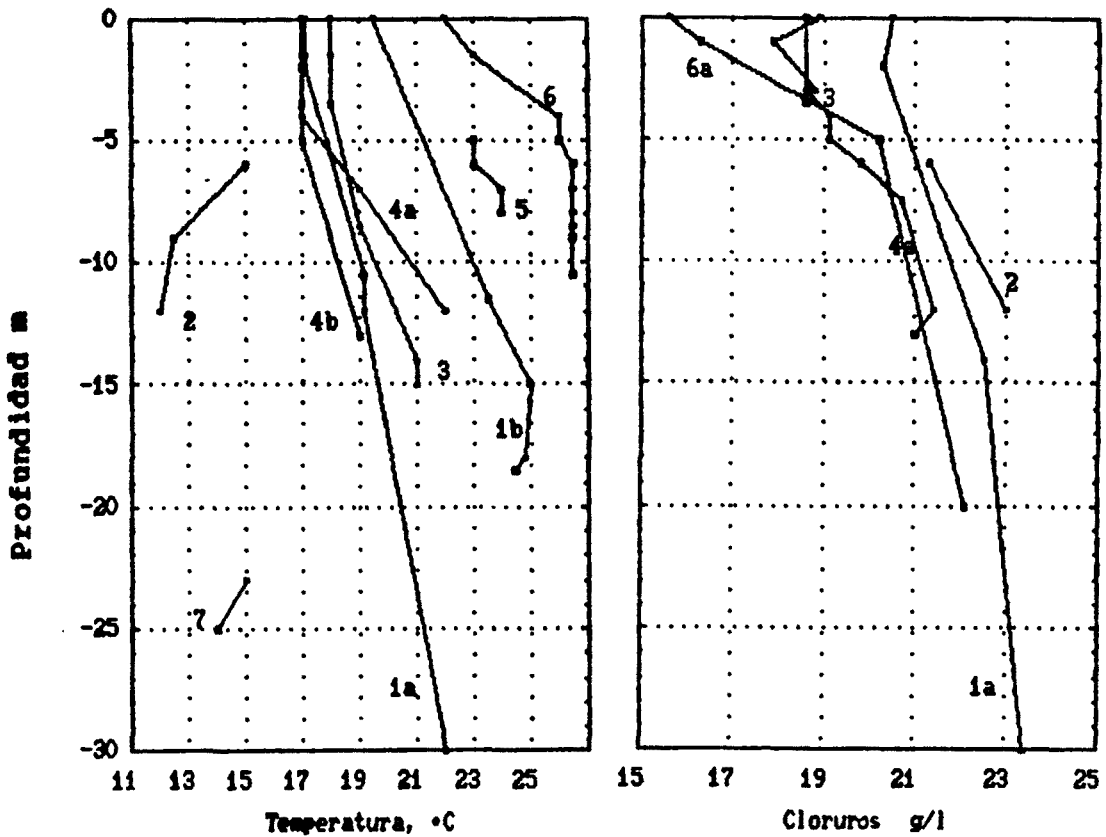


FIG. 1.11. Sección de la cavidad submarina donde se halla el nuevo estenópido *Odontozona addaia*, al NE de Menorca.

1.2 MINERALIZACION DE LAS AGUAS SUPERFICIALES

1.2.1 COMPONENTES DE LA MINERALIZACION: VALORES MEDIOS Y VARIABILIDAD INTRAINSULAR

Como unidades físicas, las islas pueden caracterizarse por los valores medios y variabilidad de los parámetros químicos. Este procedimiento tiene sentido por permitir comparar unas islas con otras, por un lado su parecido en cuanto a los valores medios, y por otro la comparación del rango de su variabilidad. Ambos criterios son aplicables al estudiar los factores que definen la riqueza en especies por islas, en particular la diversidad ambiental, el descriptor más importante y de peor abordabilidad en los análisis de biogeografía insular. En los comentarios descriptivos que siguen se comparan estos parámetros para dos subconjuntos en cada isla, el de las aguas móviles y el de las estancadas. No se han tenido en cuenta las aguas salobres, de aquí que sólo se incluyen aguas cuya conductividad no sobrepasa los 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Para Formentera sólo se poseen datos de alcalinidad.

Los métodos de análisis utilizados aparecen en cada subapartado, excepto para los cationes, que se han valorado mediante espectrofotometría de emisión por plasma de argon, con un Perkin-Elmer Plasma 40. Una submuestra de 50 ml agua, acidificada al colectarse, era destinada a este análisis de emisión. Dos grupos de iones fueron analizados separadamente, Ca-Mg y Na-K. El calibrado de la longitud de onda que proporcionaba señales óptimas de emisión llevó a elegir las bandas principales de cada ión, exceptuando el Na, cuya onda de emisión principal interfiere con la del argon, por lo que tuvo que utilizarse la banda secundaria de 330.237 nm. Las muestras se pasaban en rutinas en que se recalibraban los patrones, puesto que cada rutina contenía grupos de muestras de conductividad similar, reduciéndose además las posibilidades de contaminación entre muestras consecutivas.

1.2.1.1 Alcalinidad

Se ha medido por el volumen de ácido requerido para provocar un descenso del pH hasta un valor próximo a 4.5; el análisis se realizaba, en la mayoría de los casos, in situ al coleccionar la muestra. Las aguas analizadas de cada isla se caracterizan por los valores de la tabla 1.3.

TABLA 1.3. Alcalinidad, meq/l

MEDIA, COEF. DE VARIACION Y RANGOS, POR ISLAS (< 5 mS/cm)				
	<u>Mallorca</u>	<u>Menorca</u>	<u>Ibiza</u>	<u>Formentera</u>
Lóticas				
n	46	152	16	5
media	5.32	4.30	6.47	4.21
c.var.	0.31	0.47	0.23	0.28
Leníticas				
n	65	125	15	8
media	3.34	3.45	4.93	2.54
c.var.	0.56	0.65	0.37	0.38
Rango	1.2-11.7	0.2-15.1	1.9-8.8	1.3-4.5

De la tabla se deduce que las aguas estancadas són regularmente de menor reserva alcalina que las corrientes para cada isla, así como de mayor dispersión sobre la media. Esta regularidad no se repite para otros iones de la mineralización. La menor media y mayor dispersión de las charcas respecto a los torrentes es un reflejo de la menor carga mineral que adquieren las aguas dulces de pequeño volumen, dependientes de un área de drenaje muy pequeña.

Los sistemas acuáticos más variados, interpretando el coeficiente de variación, son las aguas estancadas de Mallorca y el conjunto de aguas de Menorca, en cuyas charcas se observa

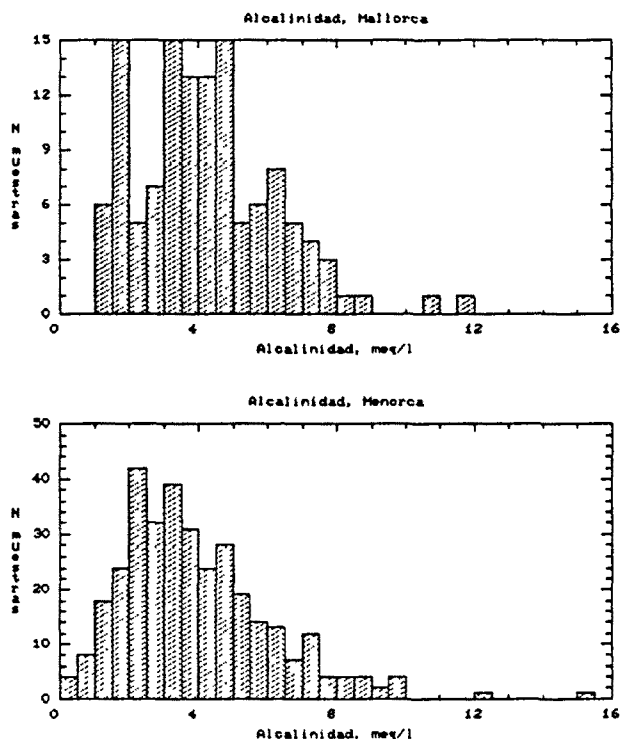


FIG. 1.12. Frecuencias de distintas reservas alcalinas observadas en aguas corrientes y estancadas (< 5mS/cm).

la mayor dispersión (fig. 1.12). En Menorca se encuentran valores de alcalinidad muy bajos, hasta 0.21 meq/l, en charcas sobre substrato rocoso del Buntsandstein, con areniscas rojas de bajo contenido en carbonatos (fig. 1.13). La de menor reserva alcalina es la Bassa Verda (Ciutadella), charca temporal con un rango entre 0.21 y 0.94 meq/l en 6 muestras entre 1984 y 1990. Valores inferiores a 1 meq/l se encuentran igualmente en charcas turbias poco mineralizadas del sector de Ciutadella,

y, por otro lado, en las salinas de Alcudia, temporalmente con 0.91 meq/l, y en una fuente de la Serra (Ferriol et al., 1987) con 0.85 meq/l. Estos valores son minimizados por efecto de ión común del calcio derivado de sales de iones fuertes.

Los valores más elevados de alcalinidad medidos no sobrepasan los 10 - 15 meq/l. Son valores infrecuentes en las islas, y pueden deberse a la disolución de rocas dolomíticas o a la presencia de cationes orgánicos contaminantes. En aguas naturales maduras y bien oxigenadas sólo superan los 10 meq/l y los afloramientos leníticos de S'Albufera de Mercadal en Menorca y pequeñas cubetas del sector dolomítico de Coves Velles. No se encuentran humedales con valores tan extremos como los que exceden de 100 meq/l en algunas zonas endorreicas ibéricas (Alonso, 1985b), de tipo bicarbonatado sódico, y que poseen poblamiento frecuentemente endémico.

- A Aluviones cuaternarios
 - B Arenales o Dunas
 - C Calizas o calizas y dolomías
 - D Areniscas silíceas (Triás rojo)
 - E Lutitas con calizas y areniscas (Paleozoico)
- Margas yesíferas del Keuper resaltadas

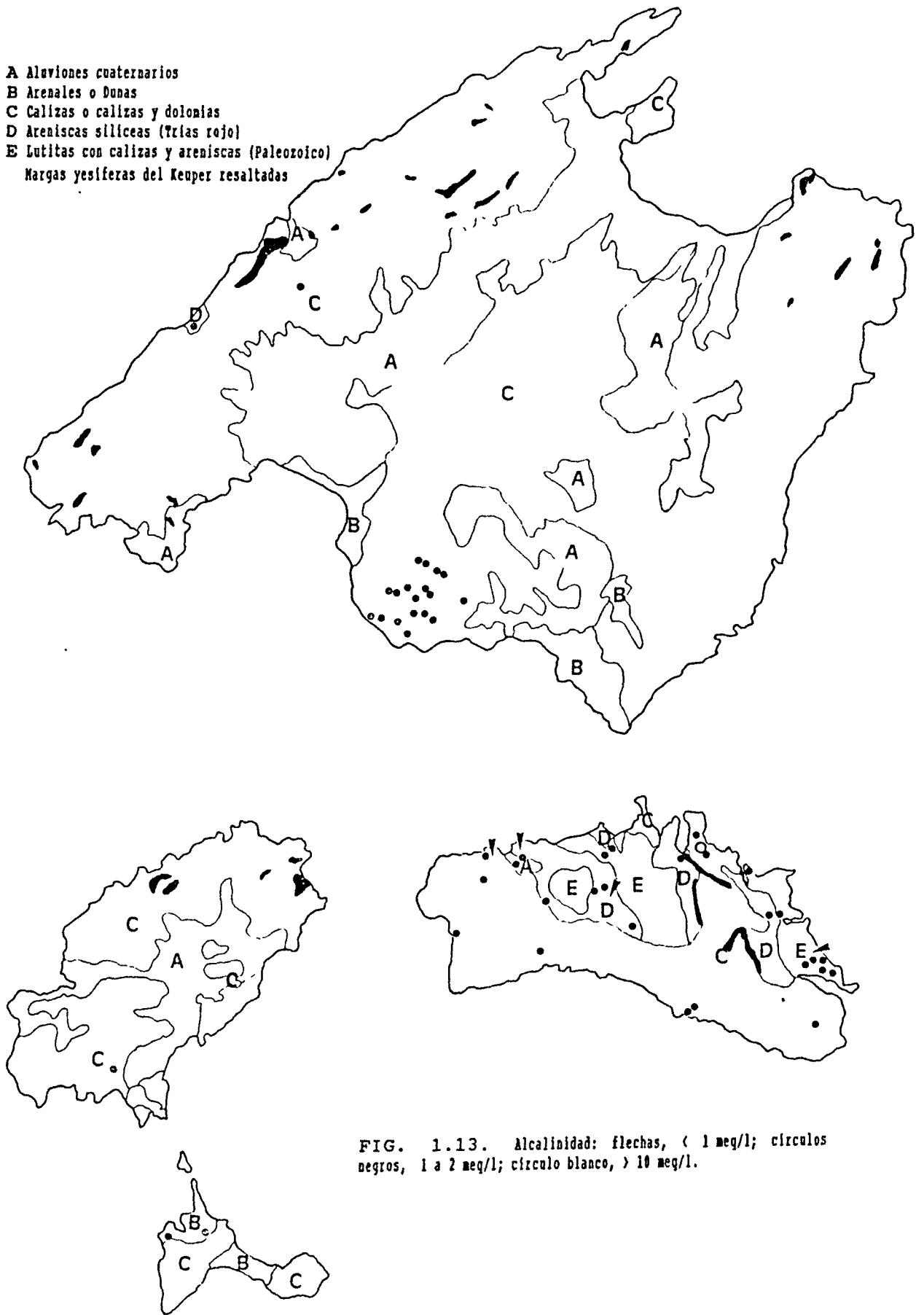


FIG. 1.13. Alcalinidad: flechas, < 1 meq/l; círculos negros, 1 a 2 meq/l; círculo blanco, > 10 meq/l.

1.2.1.2 Sulfatos

Sólo se poseen datos de la isla de Menorca (fig. 1.14), que se han analizado por cromatografía aniónica. Para los ambientes leníticos la media es de 2.77 meq/l, y el coeficiente de variación de 1.42, medidos a partir de 60 muestras. Para las aguas corrientes la media es mayor, 4.09 meq/l, y su coeficiente de variación menor, de 0.71, que refleja una mayor homogeneidad para las aguas corrientes de la isla. Sin tener en cuenta las aguas salobres y salinas litorales, los valores más elevados se ubican alrededor de afloramientos del Keuper, principalmente en la cuenca de la Albufera (Es Puntarró) y en los charcos freáticos de la comarca (Es Clot des Guix), donde se obtienen entre 10 y 25 meq/l. Valores superiores a 5 meq/l son usuales en las aguas corrientes de la parte septentrional de la isla; las de la plataforma meridional son por el contrario muy bajas, frecuentemente con menos de 1 meq/l. En las fuentes de la Serra mallorquina Ferriol et. al (1987) encuentran valores medios de 3.70 meq/l, con valores máximos de 33.8 meq/l excepcionales, puesto que el 90% de las muestras se encuentra por debajo de 9 meq/l.

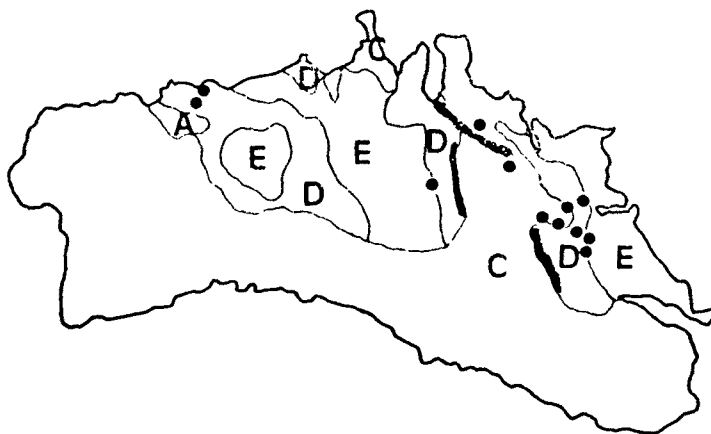


FIG. 1.14. Sulfatos en Menorca, aguas dulces con más de 10 meq/l

1.2.1.3 Cloruros

Se han valorado mediante argentometría. La tabulación de los parámetros estadísticos por islas se dan en la tabla 1.4 y la figura 1.15.

TABLA 1.4. Cloruros, meq/l.

MEDIA, COEF. DE VARIACION Y RANGOS, POR ISLAS (< 5 mS/cm)			
	<u>Mallorca</u>	<u>Menorca</u>	<u>Ibiza</u>
Lóticas			
n	47	167	14
media	4.87	15.04	8.38
c.var.	1.73	0.66	0.59
Leníticas			
n	62	127	6
media	2.97	12.70	8.26
c.var.	0.83	1.61	0.85
Mínimo	1.00	0.45	2.10

Estos datos revelan distintos comportamientos para cada isla (fig. 1.16). En primer lugar, resalta la gran mineralización media de las aguas menorquinas respecto a las demás islas. En segundo lugar se aprecia la mayor dispersión de los datos referentes a las aguas corrientes sobre las estancadas en Mallorca, y el resultado inverso para las menores, especialmente acusado en Menorca, en parte porque se dispone de más información. Existe por tanto una

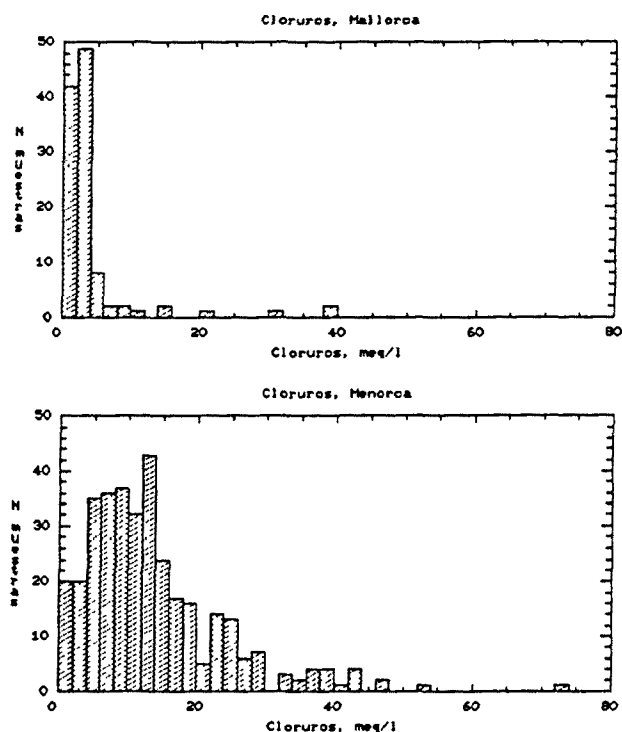


FIG. 1.15. Frecuencias de distintas concentraciones de Cl observadas en aguas corrientes y estancadas (< 5mS/cm).

mayor diferenciación en tramos por parte de las cuencas hidrográficas mallorquinas, superior a la diversificación de los tipos de lagunas. En Menorca, al menos, las aguas corrientes poseen una carga de cloruros mucho más homogénea, y en cambio sus aguas estancadas ofrecen mayor variabilidad. Para Ibiza se dispone de poca información, aunque parece aproximarse más al caso menorquín. Al integrar los cauces torrenciales un área de drenaje mayor, puede plantearse que en Mallorca la diversificación limnológica regional, según los cloruros, se establece a una escala topográfica mayor, con menor detalle o grano para la diversificación local. La menor área de Menorca impide aquella diferenciación regional, pero la pluralidad litológica ofrece posibilidades para una diversificación a pequeña escala, detectable en las aguas de pequeño volumen de tipo charca más que en las corrientes. En resumen, se tiene en Mallorca una diferenciación regional orográfica, no reconocible a pequeña escala, y en Menorca una diferenciación litológica del mismo orden (coef. variación: 1.73 y 1.61) a menor escala.

Los valores más bajos del contenido de cloruros se encuentran en las fuentes de la Serra de Tramuntana mallorquina (Ferriol et al., 1987), con hasta 0.14 meq/l. Sin embargo, los valores medios de las fuentes de esta región son muy parecidos a muchas de las masas de aguas temporales de Lluçmajor y de los cursos altos (gorgs) y medios de los torrentes y embalses que bajan de la Serra (Mortitx, es Guix, Aumadrá, Cúber, Gorg Blau), que poseen entre 1 y 2 meq/l de cloruros. En las zonas bajas del resto de Mallorca, y además en Ibiza y Formentera, las aguas son más mineralizadas en cuanto a este ión, para llegar a la mayor parte de Menorca, donde es difícil medir concentraciones inferiores a 2 - 3 meq/l, encontrándose éstas en pequeñas cubetas efímeras y algunas charcas turbias temporales. En efecto, la mayor parte de esta isla contiene elevadas cantidades de cloruros, siendo frecuentes valores superiores a 20 meq/l en la estación húmeda.

- A Aluviones cuaternarios
 - B Arenales o Dunas
 - C Calizas o calizas y dolomías
 - D Areniscas silíceas (Trias rojo)
 - E Lutitas con calizas y areniscas (Paleozoico)
- Margas yesíferas del Keuper resaltadas

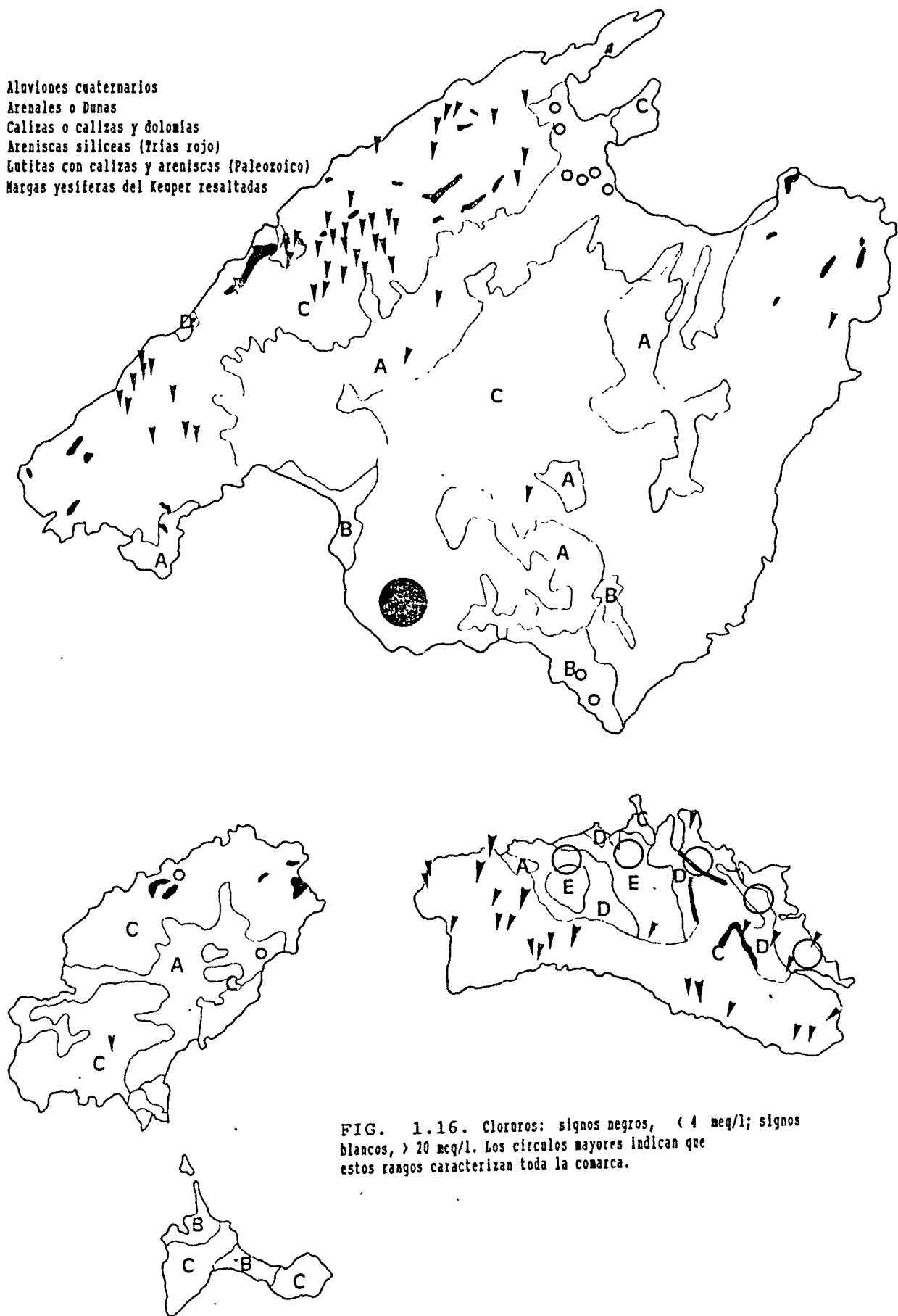


FIG. 1.16. Cloruros: signos negros, < 4 meq/l; signos blancos, > 20 meq/l. Los círculos mayores indican que estos rangos caracterizan toda la comarca.

1.2.1.4 Calcio

Muestra las siguientes concentraciones características por islas (tabla 1.5):

TABLA 1.5. Calcio, meq/l.

	<u>Mallorca</u>	<u>Menorca</u>	<u>Ibiza</u>
Lóticas			
n	45	120	13
media	3.64	7.00	3.66
c.var.	0.62	0.33	0.53
Leníticas			
n	61	81	6
media	2.71	3.98	4.64
c.var.	0.43	0.90	0.91
Rango	0.12-14.3	0.40-25.8	0.80-13.5

El calcio procede de la reserva alcalina al disolverse la caliza, por solubilización de sulfatos y por aportes de sal de proporcionalidad marina, de forma que puede esperarse un notable exceso de calcio sobre la alcalinidad, como pasa en aguas corrientes de Menorca; este hecho no es el usual en Mallorca e Ibiza, donde los valores medios indican que el calcio puede esperarse derivado de la alcalinidad; de esta manera los mínimos de calcio no se corresponden con los dominios de las aguas de escasa reserva alcalina, como los del Bunts menorquín, a no ser que estén muy protegidos por el bosque (Bassa Verda, Ciutadella), sino más bien a las charcas fangosas de bajo contenido en cloruros, tanto de Mallorca como de Menorca, donde se encuentran valores desde 0.12 meq/l (Llucmajor). No obstante, el calcio en esta región es generalmente más abundante, por estar sobre el "caliche" de Llucmajor (1.30 a 5 meq/l) que en las charcas turbias en contacto con arcillas y suelos descarbonatados de la

zona de Ciutadella. Calcio y magnesio flocculan las arcillas, siendo de esperar valores muy bajos en aguas turbias.

En el otro extremo del rango de concentraciones de calcio, los máximos alcanzan 22-29 meq/l, y son debidos a la presencia de sulfatos y cloruros. De esta manera Llobera (com. pers.) registra en la Font des Guix hasta 25.6 meq/l de Ca en aguas con 22.7 meq/l de sulfatos y una importante reserva alcalina de 6.8 meq/l.

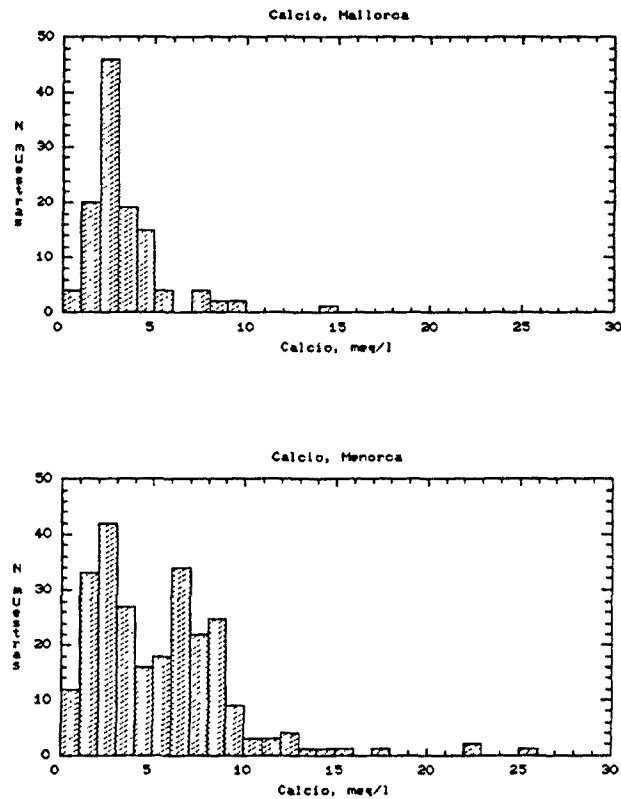


FIG. 1.17. Frecuencias de distintas concentraciones de Ca observadas en aguas corrientes y estancadas (< 5mS/cm).

1.2.1.5 Magnesio

La ordenación por islas de los parámetros estadísticos se presenta en la tabla 1.6..

TABLA 1.6. Magnesio, meq/l

MEDIA, COEF. DE VARIACION Y RANGOS, POR ISLAS (< 5 mS/cm)			
	<u>Mallorca</u>	<u>Menorca</u>	<u>Ibiza</u>
Lóticas			
n	46	161	13
media	3.18	8.32	4.56
c.var.	0.65	0.38	0.37
Leníticas			
n	61	126	6
media	1.29	4.93	4.93
c.var.	1.37	0.76	0.54
Rango	0.10-13.0	0.16-73.6	0.68-8.78

Al igual que el calcio, el coeficiente de variación para las aguas corrientes es menor que en las charcas y lagunas, en el caso de Menorca. Para Mallorca la relación del magnesio es inversa a la del calcio y similar a Menorca e Ibiza. El calcio es por tanto mejor descriptor de la variabilidad ambiental regional de los cursos de agua mallorquines que el magnesio. El origen del magnesio ha de relacionarse con el aporte de la disolución de las rocas dolo-

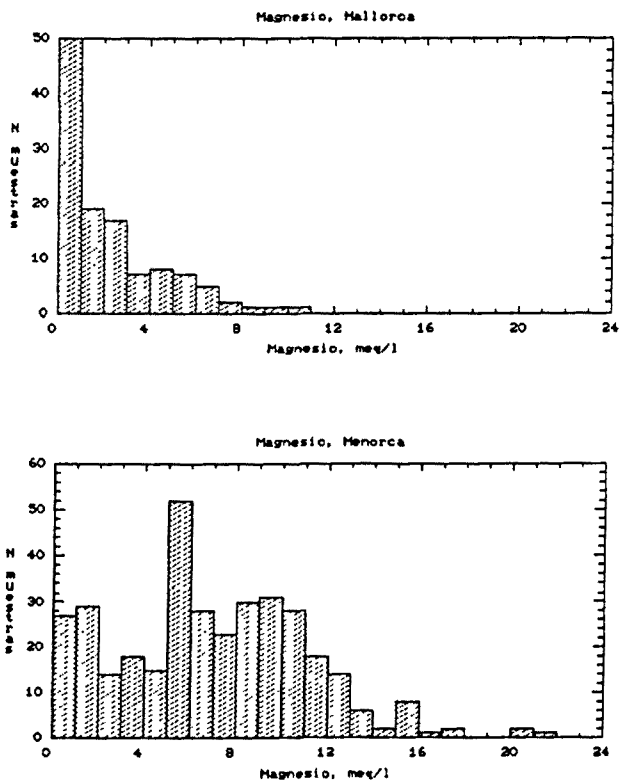


FIG. 1.18. Frecuencias de distintas concentraciones de Mg observadas en aguas corrientes y estancadas (< 5 mS/cm).

míticas del secundario balear, así como con la introducción por la proximidad del mar. Si esto es así, se explica la baja concentración de gran parte de las charcas de la región de Lluçmajor, ubicadas sobre caliches calizos muy puros, y equiparable a algunas de las fuentes y los embalses de la Serra, que no superan unos y otros 1 meq/l de magnesio. Valores mínimos se encuentran igualmente en las charcas turbias de Ciutadella (Verda, Es Mal LLoc, Torrellafuda, Curniola) y Maó (Verda de Binisarmenya), igualmente sobre rocas de matriz caliza o suelos descarbonatados. Es destacable la ausencia de concentraciones de magnesio superiores a 6-7 meq/l en la totalidad de las aguas internas de Mallorca estudiadas, así como las de Ibiza; siendo en cambio muy comunes valores superiores a 10 meq/l para las aguas corrientes del bloque septentrional menorquín, y mucho menores las de los barrancos del sur de la isla. Esto hace pensar en una dominancia del magnesio ligado a los cloruros derivados de aportes marinos (fig. 1.18, 1.19).

- A Aluviones cuaternarios
 - B Arenales o Dunas
 - C Calizas o calizas y dolomías
 - D Areniscas silíceas (frías rojo)
 - E Lutitas con calizas y areniscas (Paleozoico)
- Margas yesíferas del Keuper resaltadas

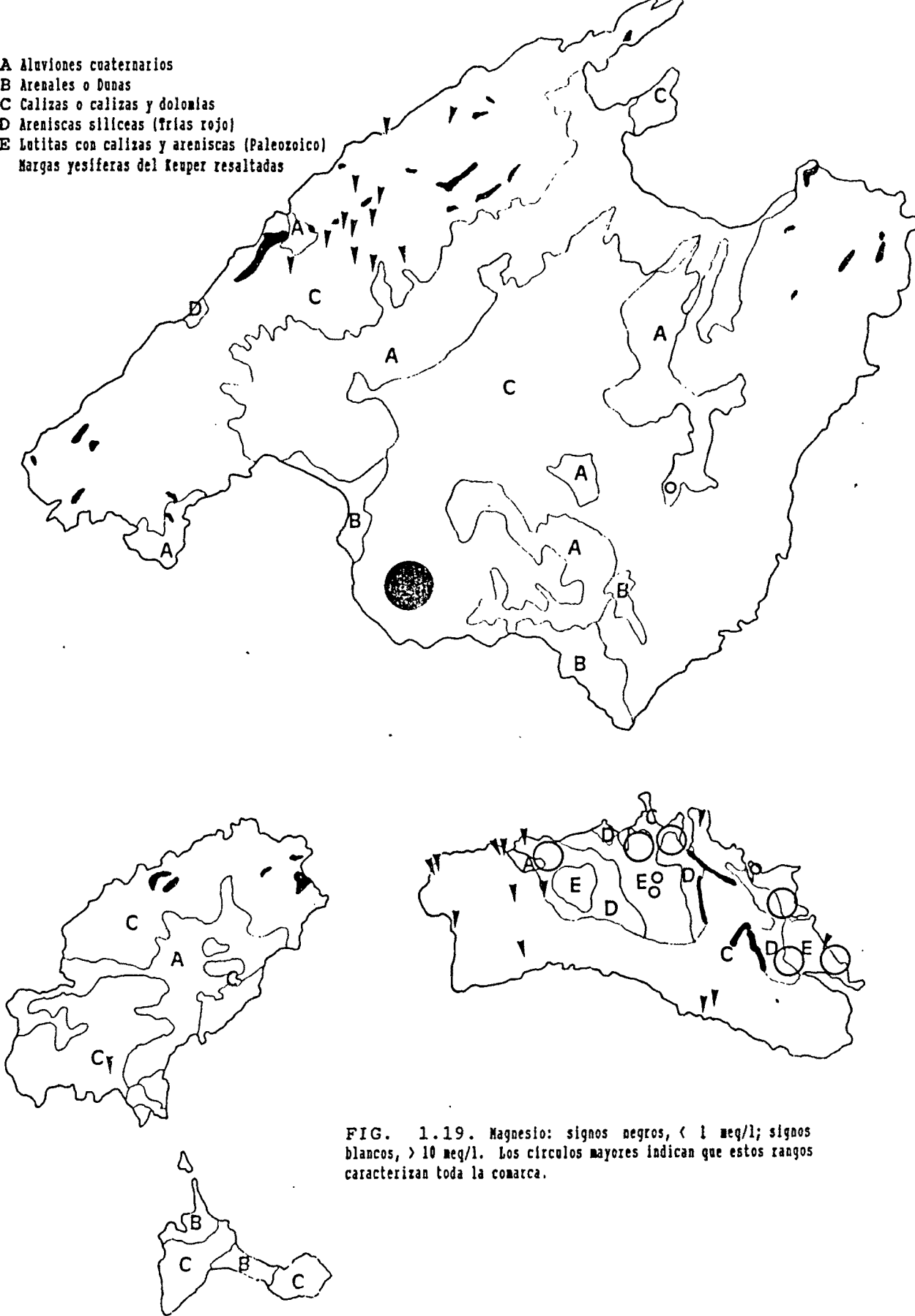


FIG. 1.19. Magnesio: signos negros, < 1 meq/l; signos blancos, > 10 meq/l. Los círculos mayores indican que estos rangos caracterizan toda la comarca.

1.2.1.6 Sodio

El comportamiento del sodio se describe en la tabla 1.7.

TABLA 1.7. Sodio, meq/l.

MEDIA, COEF. DE VARIACION Y RANGOS, POR ISLAS (< 5 mS/cm)			
	<u>Mallorca</u>	<u>Menorca</u>	<u>Ibiza</u>
Lóticas			
n	46	162	14
media	2.88	11.90	5.60
c.var.	1.88	0.55	0.82
Leníticas			
n	61	125	6
media	1.56	8.93	6.35
c. var.	1.39	0.85	0.75
Mínimo	0.29	0.28	1.71

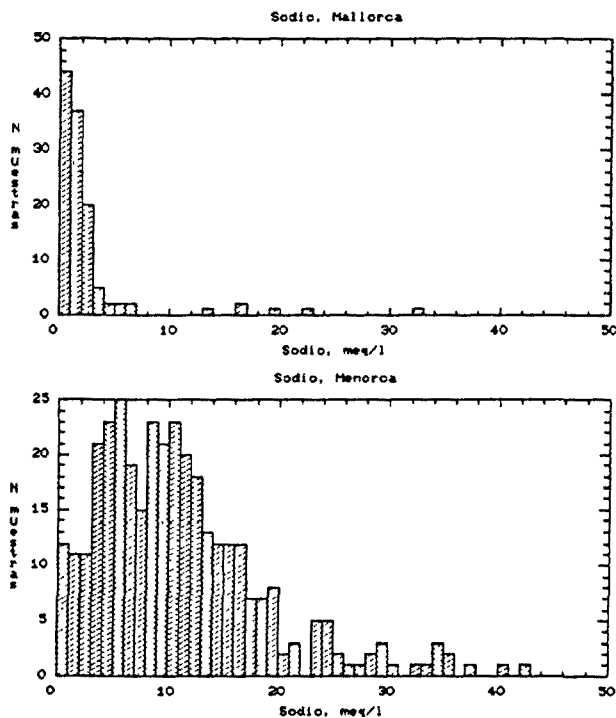


FIG. 1.20. Frecuencias de distintas concentraciones de Na observadas en aguas corrientes y estancadas (< 5 mS/cm).

El elevado contenido medio en sodio de las aguas corrientes menorquinas aparece ligado a los mínimos valores del coeficiente de dispersión para las islas. Por el contrario, los dos tipos de aguas en Mallorca muestran un elevado coeficiente de dispersión, máximo en las aguas corrientes. De esta manera, mientras puede decirse que el sodio uniformiza gran parte de las aguas corrientes menorquinas, diversifica regionalmente las mallorquinas. En la región de Pollença existen

fuentes ricas en sodio (Font de Mal Any, Almadrava). Por otra parte, el bajo contenido en sodio es general para las aguas mallorquinas, lo que hace que su media sea muy baja y su coeficiente de dispersión elevado. Numerosas localidades de la Serra y del llano poseen menos de 1-2 meq/l de sodio. En Menorca sólo se encuentran estos niveles en aguas efímeras, normalmente turbias y de pocas semanas de duración.

1.2.1.7 Potasio

Se trata del menor de los elementos que intervienen en la mineralización, y aunque es tratado como elemento conservativo, su liberación por parte de los organismos puede provocar aumentos reconocibles del potasio disuelto en las aguas en casos extremos. Por lo demás, aparece ligado a formas de silicatos y como componente de la illita. Los parámetros estadísticos encontrados son:

TABLA 1.8. Potasio, meq/l.

MEDIA, COEF. DE VARIACION Y RANGOS, POR ISLAS (< 5 mS/cm)			
	<u>Mallorca</u>	<u>Menorca</u>	<u>Ibiza</u>
Lóticas			
n	45	152	14
media	0.087	0.25	0.16
c.var.	2.11	0.65	1.21
Leníticas			
n	62	110	6
media	0.28	0.36	0.14
c.var.	0.59	1.14	0.43
Rango	0.01-2.30	0.02-2.79	0.03-

Sigue el modelo más habitual por cuanto el coeficiente de variación para aguas corrientes es mayor que las estancadas en Mallorca e Ibiza, y menor en Menorca. En Mallorca sólo se reconocen valores muy bajos en la práctica totalidad de las aguas

de la Serra, de 0.01 a 0.08 meq/l de potasio. El resto de las aguas baleáricas analizadas contienen ente 0.1 y 1 meq/l de este ión, y hasta 2 meq/l an aguas dulces distróficas, muy cargadas con materiales vegetales alóctonos. Las aguas salobres igualmente superan aquellas cifras por simple aporte proporcional de potasio respecto a la salinidad total.

1.2.1.10 Conductividad

La medida de conductividad, corregida a 20°C, es una expresión de la carga iónica total, de manera que contiene la mayor parte de la información referente a la suma de los iones más numerosos de las aguas (fig. 1.21). Los estadísticos centrales y de dispersión por islas son los de la tabla 1.9. La menor mineralización de las aguas en Mallorca respecto a Menorca e Ibiza queda bien representada. Las aguas corrientes son de mayor mineralización que las estancadas en las islas mayores, aunque los rangos modales están considerablemente desplazados entre ambas islas (fig. 1.22).

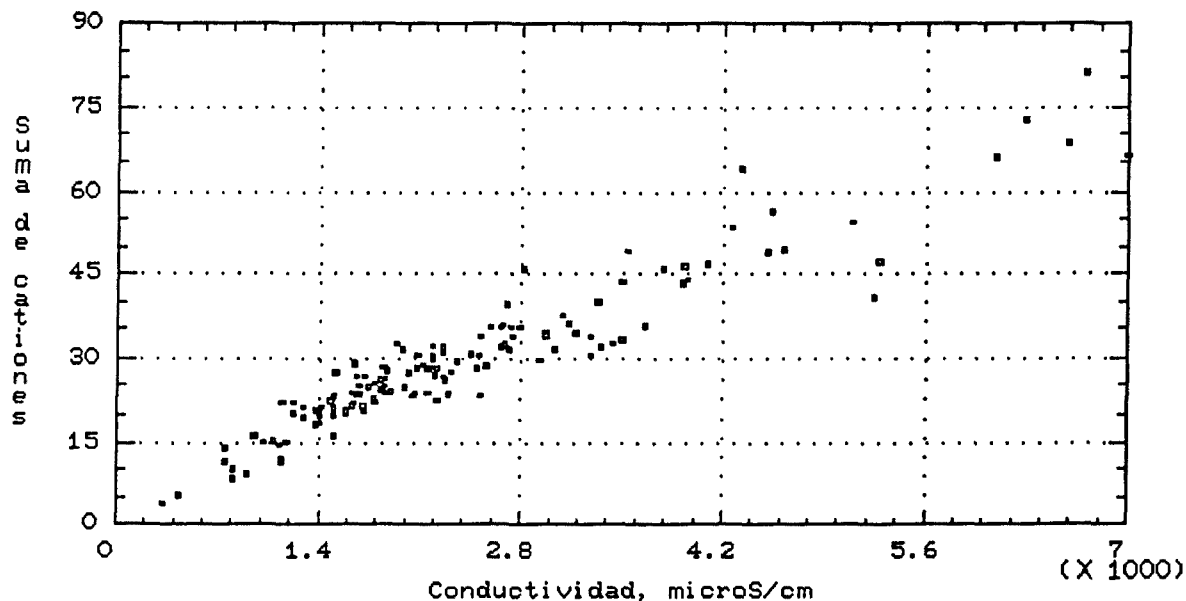


FIG. 1.21. La conductividad como expresión de la mineralización total, tipificada por la suma de cationes Na + Ca + Mg + K.

TABLA 1.9. Conductividad, $\mu\text{S}/\text{cm}$.

COEF. DE VARIACION Y RANGOS, POR ISLAS (< 5 mS/cm)				
	<u>Mallorca</u>	<u>Menorca</u>	<u>Ibiza</u>	<u>Formentera</u>
Lóticas				
n	47	158	19	8
med	956.0	2079.3	1323.6	579.1
c.var.	0.83	0.38	0.42	0.45
Leníticas				
n	59	139	15	
med	528.6	1603.7	1334.9	
c.var.	0.83	0.71	0.59	
Mínimo	158.0	89.3	322	280

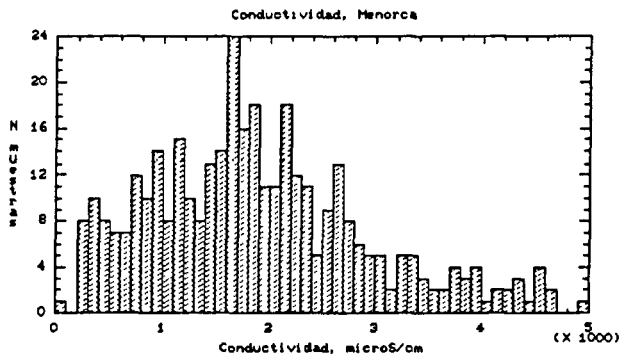
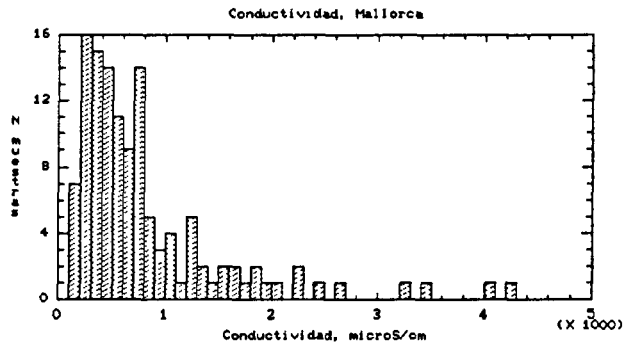


FIG. 1.22. Frecuencias de distintas conductividades observadas en aguas corrientes y estancadas, inferiores a 5 mS/cm.

1.2.1.11 Relación Alcalinidad/Cloruros

El estudio de índices entre iones, como introducción a la composición bi o multivariada de las aguas, ha sido desplazado por los análisis multivariantes que permiten reestructurar la variabilidad química y agrupar las aguas por criterios de afinidad surgidos de su composición conjunta. Sin embargo, como elemento práctico, uno de los índices idóneos para caracterizar por entero el comportamiento de cada isla es el de la relación entre la reserva alcalina y los cloruros. La proximidad al mar es el causante de la existencia de un amplio rango de variación en la composición de los cloruros, aún sólo considerando las aguas menos mineralizadas; por el contrario, las aguas bicarbonatado cálcicas, antes de impregnarse del cloruro marino, no pueden mostrar rangos extremos de alcalinidad de la misma magnitud que aquellos, por lo que el cociente es muy grosero para aguas en avanzado estado de salinización, pero interesante para las más oligohalinas. Su estudio pone de manifiesto la gran variabilidad y el carácter bicarbonatado promedio de las aguas mallorquinas, situación que cambia en Ibiza y se extrema en Menorca, reduciéndose la mayoría de las aguas a un sólo tipo, donde imperan los cloruros sobre las alcalinidades, como manifiesta la distribución de frecuencias de la figura 1.23.

1.2.2 DOMINANCIAS IONICAS GLOBALES POR ISLAS

Del cálculo de los porcentajes de cada uno de los iones analizados se deducen las siguientes dominancias iónicas para las aguas modales o más frecuentes en cada isla, de conductividad inferior a 5 mS/cm (no costeras):

Mallorca: En general los bicarbonatos superan a los cloruros; la ordenación catiónica es $Ca > Mg, Na > K$. Las desviaciones a esta regla se localizan en las siguientes comarcas (fig. 1.25):

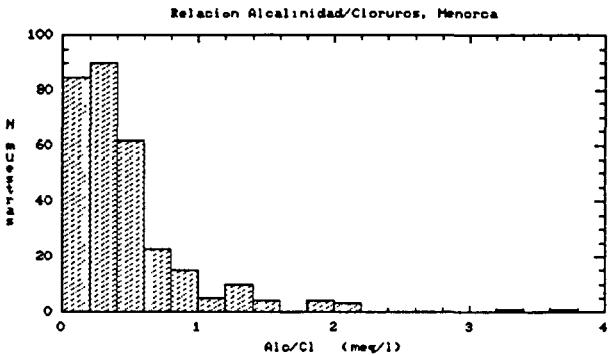
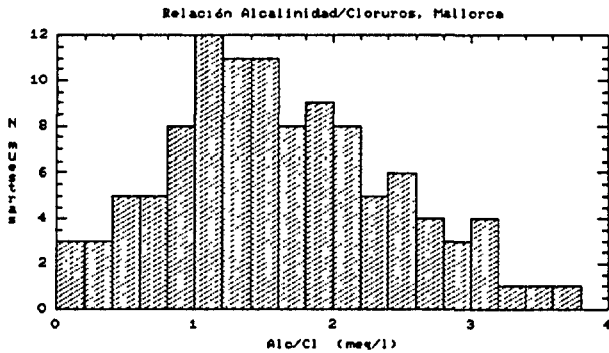


FIG. 1.23. Frecuencias de distintos valores de la relación Alcalinidad/Cloruros (< 5 mS/cm).

1. Mg > Ca, Na

Concurren aquí las aguas corrientes y fuentes de la Serra de Tramuntana siguientes: Font d'Estallencs, Gorg des Bec d'Oca, Font de Masanella, Torrent de Valldemossa, Font a la Torre de ses Animes, Font de Banyalbufar, Font de Ternelles, Torrent Manut, Riera de Palma en diversos tramos. Igualmente en un cauce permanente cerca de Punta n'Amer, en Manacor.

2. Na > Ca, Mg

Algunas charcas en Lluçmajor; charca sobreexcavada en los llanos de Villafranca; torrentes de na Borja, de Massanella y de Sant Miquel, y Fuentes del macizo de Randa (Randa y Aubenyà).

Menorca: Los cloruros superan a los bicarbonatos y sulfatos. La ordenación catiónica es en general: Na > Mg ≥ Ca > K. De este patrón se separan las aguas de las siguientes comarcas (fig. 1.26):

1. Ca > Na, Mg

Terrenos relacionados con las margas yesíferas del Keuper, de aguas mineralizadas: Clot des Guix, charcas al norte de Alaior, Es Puntarró, Biniarroga; Por otra parte, aguas bicarbonatadas en zonas subáridas, de llenado instantáneo y duración efímera o temporal, normalmente al sur de Ciutadella: Cavallería, Torrellafuda, Macarella. Fuente de Torre Solí. Aguas ricas en calcio y magnesio son frecuentes en la región dolomítica de Sant Joan de Carbonell, Sa Roca, L'Anzell, Ses Costes del Toro.

2. Mg > Ca, Na

Región de dolomías del NE de la isla: Prat de s'Albufera de Son Saura, torrente de Cala Molí, Coves Velles, Sa Boval, Tordonet; torrente des Gorg, Biniai, sa Palma. Cuenca de La Vall: Almudaina, FontSanta.

Ibiza: Los cloruros ligeramente superiores a los bicarbonatos. La ordenación catiónica es: Na \geq Mg \geq Ca > K. El Mg domina sobre el sodio en las fuentes y aguas derivadas de Es Broll. En Horts de Corona, en un acantilado marino, prevalece el sodio y precipita el calcio. Otras ordenaciones (fig. 1.25b):

1. Ca > Mg, Na.

Aguas de estanques de regadío. Fuentes: Refila, Torres y Exeró.

En la figura 1.24 se distinguen algunos tipos de aguas insulares de baja conductividad por el comportamiento del calcio frente a la conductividad.

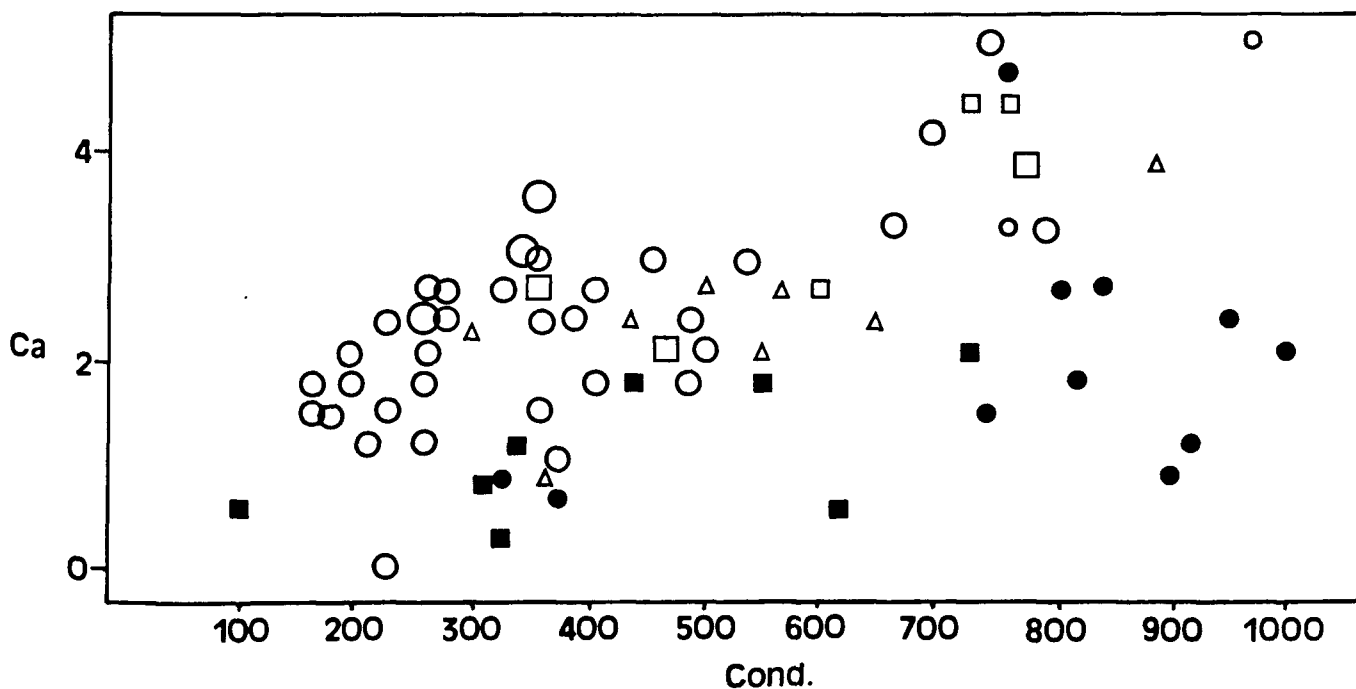


FIG. 1.24. Diferente contribución del Ca (meq/l) a la conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en las aguas de menor mineralización del archipiélago. En blanco, materiales calizos; en negro, cubetas sobre suelos rojos (cuadrados), o sobre areniscas y pizarras en Menorca (círculos). ○, embalses de la Serra; ○, cubetas de Lluçmajor; ○, charcas sobre aluviones; □, aguas corrientes en la Serra; □, aguas estancas en la Serra; △, rockpools calizos en Menorca.

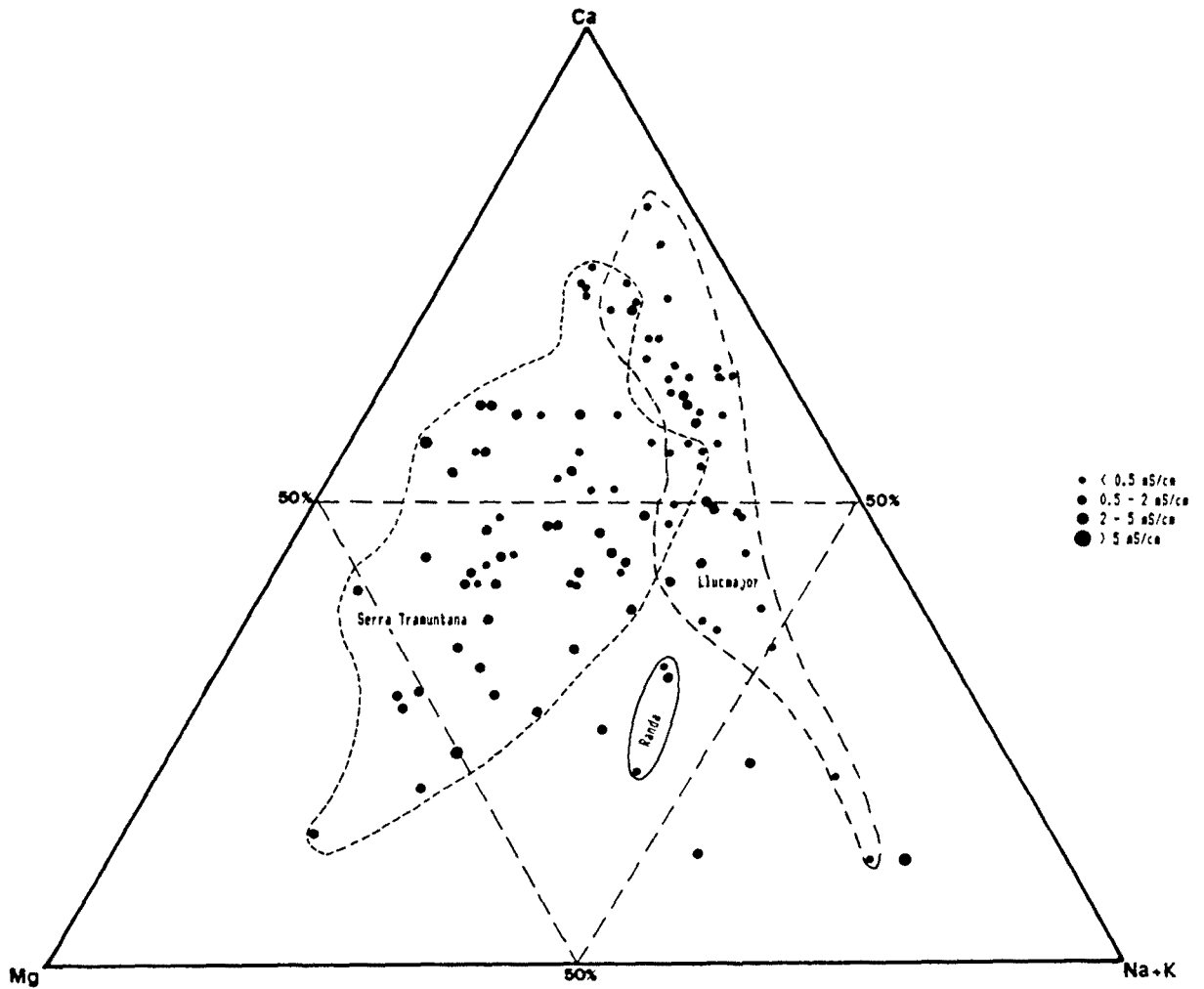


FIG. 1.25a. Proporciones catiónicas para conjuntos regionales de aguas en Mallorca.

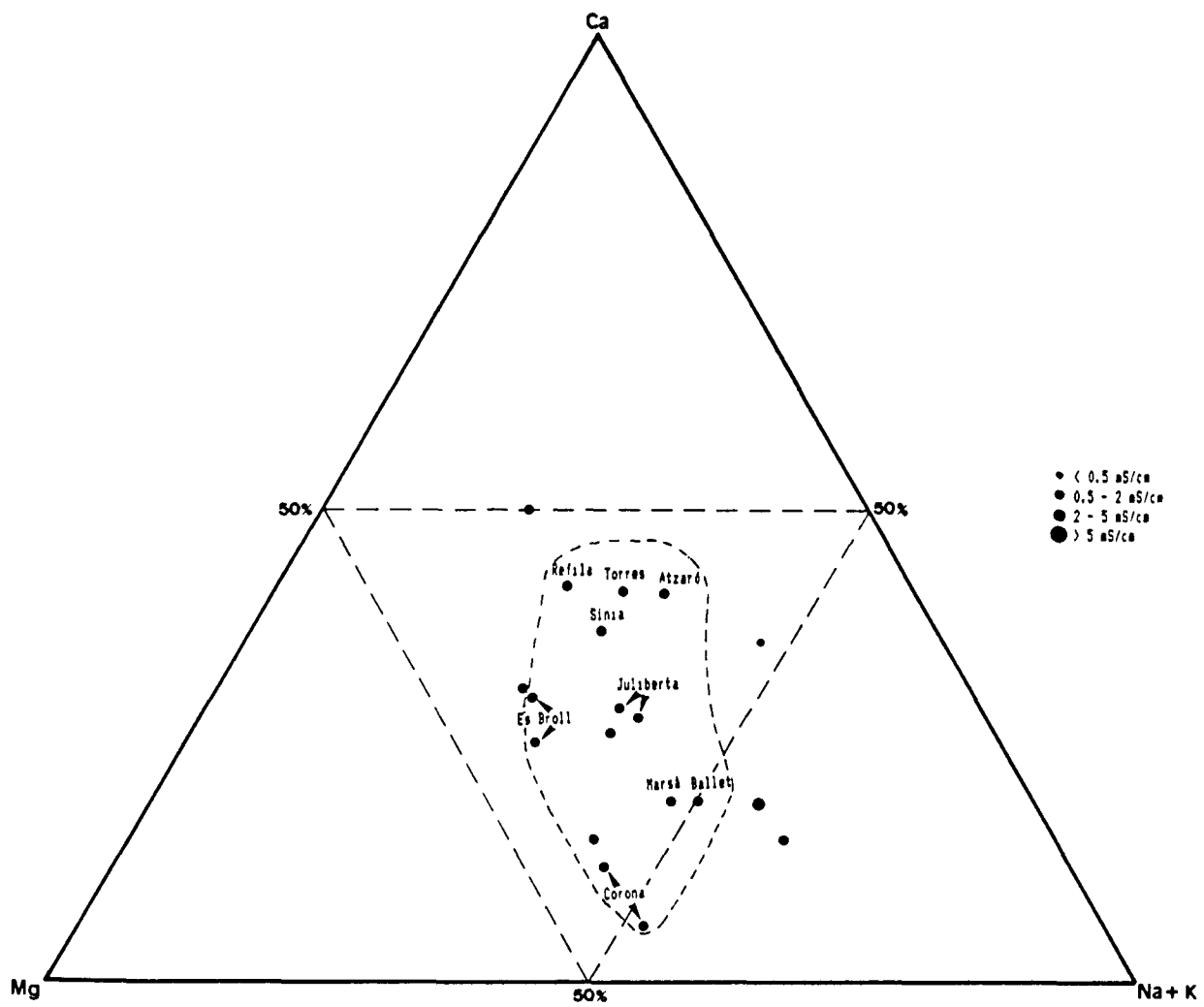


FIG. 1.25b. Proporciones catiónicas en Ibiza, identificando algunas de sus fuentes.

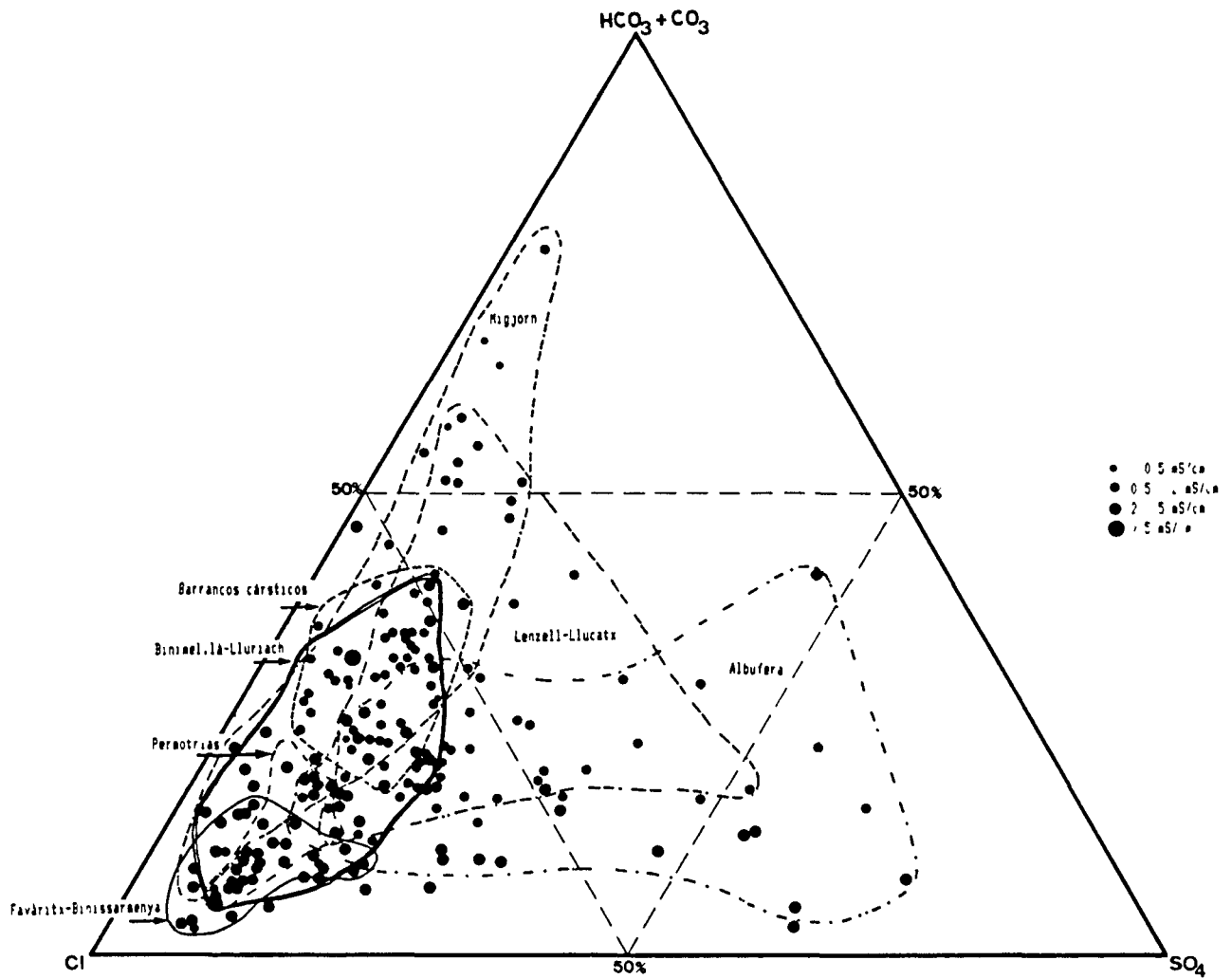


FIG. 1.26a. Proporciones aniónicas para conjuntos comarcales de aguas en Menorca.

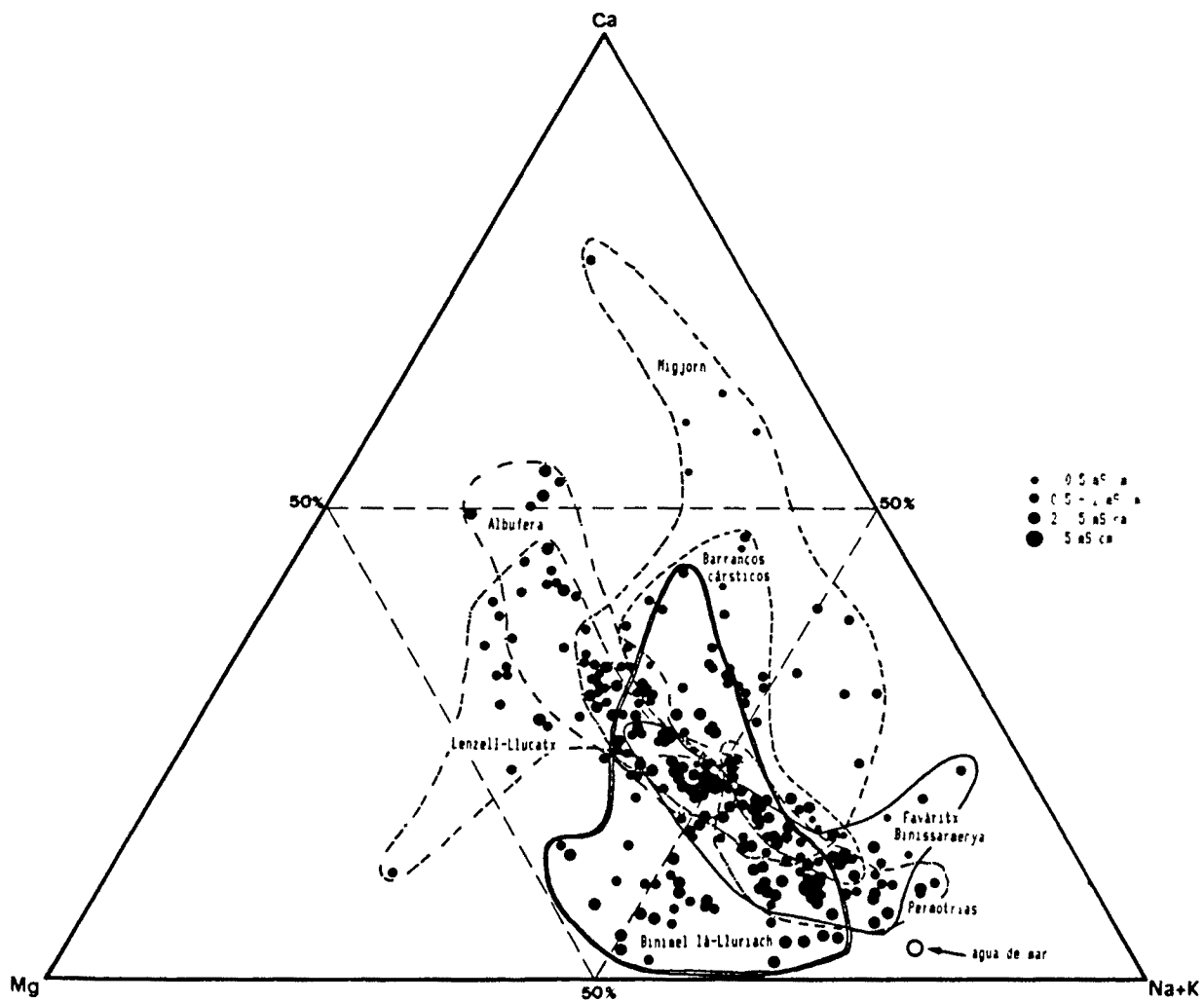


FIG. 1.26b. Proporciones catiónicas para conjuntos comarcales de aguas en Menorca.

1.2.3 ANALISIS FACTORIAL DE LA MINERALIZACION

1.2.3.1 Correlaciones lineales

Se presentan por islas las matrices de correlaciones lineales entre las concentraciones de los iones estudiados, además de la conductividad (tabla 1.12).

TABLA 1.10. Correlaciones lineales de las concentraciones iónicas y conductividad.

Mallorca	COND	HCO3	Cl	Ca	Mg	Na	K	
N: 98								
COND	1.000							
HCO3	.694**	1.000						
Cl	.674**	.455**	1.000					
Ca	.715**	.338**	.402**	1.000				
Mg	.729**	.583**	.447**	.485**	1.000			
Na	.572**	.386**	.818**	.272*	.573**	1.000		
K	.199	.286*	.273*	.136	-.076	.166	1.000	
Menorca	COND	HCO3	Cl	SO4	Ca	Mg	Na	K
N: 111								
COND	1.000							
HCO3	.069	1.000						
Cl	.932**	.095	1.000					
SO4	.403**	-.106	.265**	1.000				
Ca	.356**	-.069	.170*	.621**	1.000			
Mg	.797**	.247**	.708**	.511**	.495**	1.000		
Na	.907**	.139*	.924**	.232**	.177*	.762**	1.000	
K	.390**	.174*	.372**	.117	-.065	.225**	.354**	1.000
Ibiza	COND	HCO3	Cl	Ca	Mg	Na	K	
N: 17								
COND	1.000							
HCO3	.346	1.000						
Cl	.771**	.375	1.000					
Ca	.647*	-.190	.144	1.000				
Mg	.830**	.138	.366	.750**	1.000			
Na	.747**	.289	.721**	.211	.625*	1.000		
K	.133	-.070	.179	.105	.198	.430	1.000	

Significación: * p< 0.01 ** p< 0.001

El significado de las correlaciones separadas por islas es útil para tratar críticamente el resultado del análisis de componentes que se efectuará sobre el conjunto total de aguas dulces, y por tanto, a partir de una única matriz de correlaciones. En las matrices por separado, las de Mallorca e Ibiza contienen aguas con hasta 15 meq/l de cloruros; las de Menorca, hasta 70 meq/l de este ión. De esta manera hemos intentado resolver dos problemas para hacer útiles las matrices de correlación resultantes: por un lado separar las aguas salobres, entendiendo como tales las que contienen masas reales de agua de mar diluidas, para evitar el fuerte efecto correlacionador de sus proporciones iónicas. Este efecto sigue presentándose en el caso de Menorca, donde a pesar de tratarse de aguas interiores del país, el efecto marino se muestra repetidamente. Los límites de concentración impuestas responden al requerimiento de que el rango de variación iónica total esté "ocupado" en todos sus segmentos, minimizando la posibilidad de que las correlaciones aumenten por influencia de valores máximos de concentración iónica, puesto que estos puntos serían mayormente debidos a aguas litorales de tipo salobre.

Los siguientes aspectos ofrecen interés: la conductividad se relaciona con la alcalinidad de forma significativa sólo para las aguas de Mallorca, cuyos rangos de cloruros y alcalinidades son comparables. Esta relación deviene imposible en Menorca, muy afectada por los cloruros. De ello resulta la escasa correlación entre alcalinidad y calcio en esta segunda isla, puesto que gran parte del calcio ha de proceder de cloruros talasoides y también de las frecuentes áreas con sulfatos. El calcio está mucho más correlacionado con los bicarbonatos en Mallorca, donde éstos tienen un papel significativo en el proceso de mineralización del agua. El comportamiento de los cationes entre sí y frente a los aniones es muy similar en las tres islas, con sodio y magnesio manteniendo la mayor correlación, seguidos de magnesio y calcio.

El potasio depende del cloruro sódico en Menorca e Ibiza, mientras que en Mallorca prevalecen factores más heterogéneos.

1.2.3.2 Análisis de componentes principales

Se han ordenado los datos referentes a las concentraciones iónicas de 305 muestras de las Baleares sobre el plano I/II de un análisis de componentes principales efectuado sobre la matriz de correlaciones de los logaritmos de las concentraciones iónicas, con el fin de unificar la variabilidad interinsular e intrainisular en un sólo esquema de relaciones iónicas. Los criterios destinados a optimizar el número de factores se han limitado a reconocer que en análisis cuatrifactoriales, los factores F3 en adelante no responden más que de iones únicos, de escaso poder sintético.

En un ACP de 4 factores surgen los siguientes factores principales: (F1), contribuciones positivas y altas de la mayoría de los iones de la mineralización; (F2), calcio como principal ión correlacionado con el factor, seguido del magnesio. Ambos ejes reflejan o bien (a) la intervención de cloruros y sulfatos (F1) o bien de dolomías con abundantes bicarbonatos de magnesio (F2). Ambas contribuciones se solapan sobre un único factor (F1) cuando se elabora un ACP de sólo 3 factores, lo que resulta simplificador y útil, puesto que en aquellos factores inicialmente separados se dan correlaciones positivas entre todos los iones de la mineralización, excepto la alcalinidad. Con el ACP de 3 factores, se tiene, como cabe esperar, un primer factor que da cuenta de la mineralización por aniones fuertes, que se debe a factores independientes, pero que grava las características del agua de la misma manera. Más interesante resulta entonces la posibilidad de enfrentar este complejo de correlaciones positivas con el segundo factor, que presenta contribución positiva de la alcalinidad. Al invocar la representación de las cargas (scores) o muestras en dicho plano, pueden separarse

diferentes áreas naturales del conjunto de todas las islas, tanto más solapadas sobre el plano cuanto más afines en su conjunto de características químicas. Los mismos factores surgen en análisis parciales por islas separadas, variando sólomente el peso de los factores o su disgregación.

La presentación de los grupos regionales queda definida sobre el plano I/II por la mineralización total (I) y por la relación positiva entre bicarbonatos, calcio y magnesio, por una parte, y negativa con el potasio (II). Se obtiene sí una matriz factorial que recoge el 77.5% de la varianza total:

	FACTOR1	FACTOR2
HCO ₃	0.009	0.908
Cl	0.949	0.119
Na	0.958	0.139
K	0.772	-0.200
Mg	0.817	0.453
Ca	0.557	0.397

1.2.3.3 Ordenación regional de las aguas mediante ACP

Por la posición de las cargas sobre los ejes factoriales, (fig. 1.27) quedan definidas las áreas sobre el plano ocupadas por cada una de las regiones limnológicas de las islas. Las más afines quedan más solapadas. A grandes rasgos puede describirse la limología regional de la mineralización mediante el siguiente recorrido:

1. Charcas de bajo contenido en cloruros y en reserva alcalina. Principalmente aguas temporales estancadas de Lluçmajor (A) y las cubetas sobre las calcarenitas miocenas del sur y oeste de Menorca (B). De este conjunto de aguas más o menos efímeras

se despegan agrupaciones laxas, por tanto heterogéneas, que están formadas por charcas maduras en equilibrio con los suelos de descarbonatación o con rocas silíceas (C), de reducida alcalinidad, 0.5-1.5 meq/l, aunque algo más cloruladas, como la Bassa Verda de La Vall, Curniola, y otras siempre en reducido número por hallarse protegidas en bosques o a cierta altura y distancia del mar. Muchas de las charcas que parecen predisponerse por su litología a entrar en esta zona de aguas muy dulces se enmascaran en el cuerpo regional de Menorca por su elevado contenido en cloruro, sodio, magnesio, etc, como las ubicadas sobre terrenos paleozoicos, de moderada alcalinidad.

2. Aguas de baja conductividad, entre 200-400 meq/l, principalmente bicarbonatadas, y así de alcalinidad moderada, sobre 3-4 meq/l. El núcleo más característico se ubica en la parte central de la Serra de Tramuntana, tanto en parte de sus fuentes como en los arroyos montanos (D). Se trata de las aguas de la región de Lluc, Mortitx, Gorg Blau, Cas Senyó, etc.. que forman el núcleo de la Serra, alrededor de sus mayores elevaciones.

3. En posición intermedia hacia aguas de mayor contenido en cloruros encontramos, sobre los mismos rangos de alcalinidad que en (2), los arroyos del sector norte de la Serra de Tramuntana (Vall den Marc, Pollença) (E) y los del sector meridional, alrededor de Banyalbufar, Valldemossa, Deià y Riera de Palma (F), fuentes de Randa (G), y el conjunto de fuentes de Ibiza (H), entre ellas las del Broll y Corona. Le siguen las aguas del llano central de Mallorca (I) y de Ibiza (J), más cloruladas.

4. Aguas cloruladas. Comprende la totalidad de las aguas corrientes de Menorca, tanto en la comarca meridional (K), con sus aguas encajadas en barrancos, como en la septentrional (L), con sus torrentes temporales y zonas húmedas; en esta región,

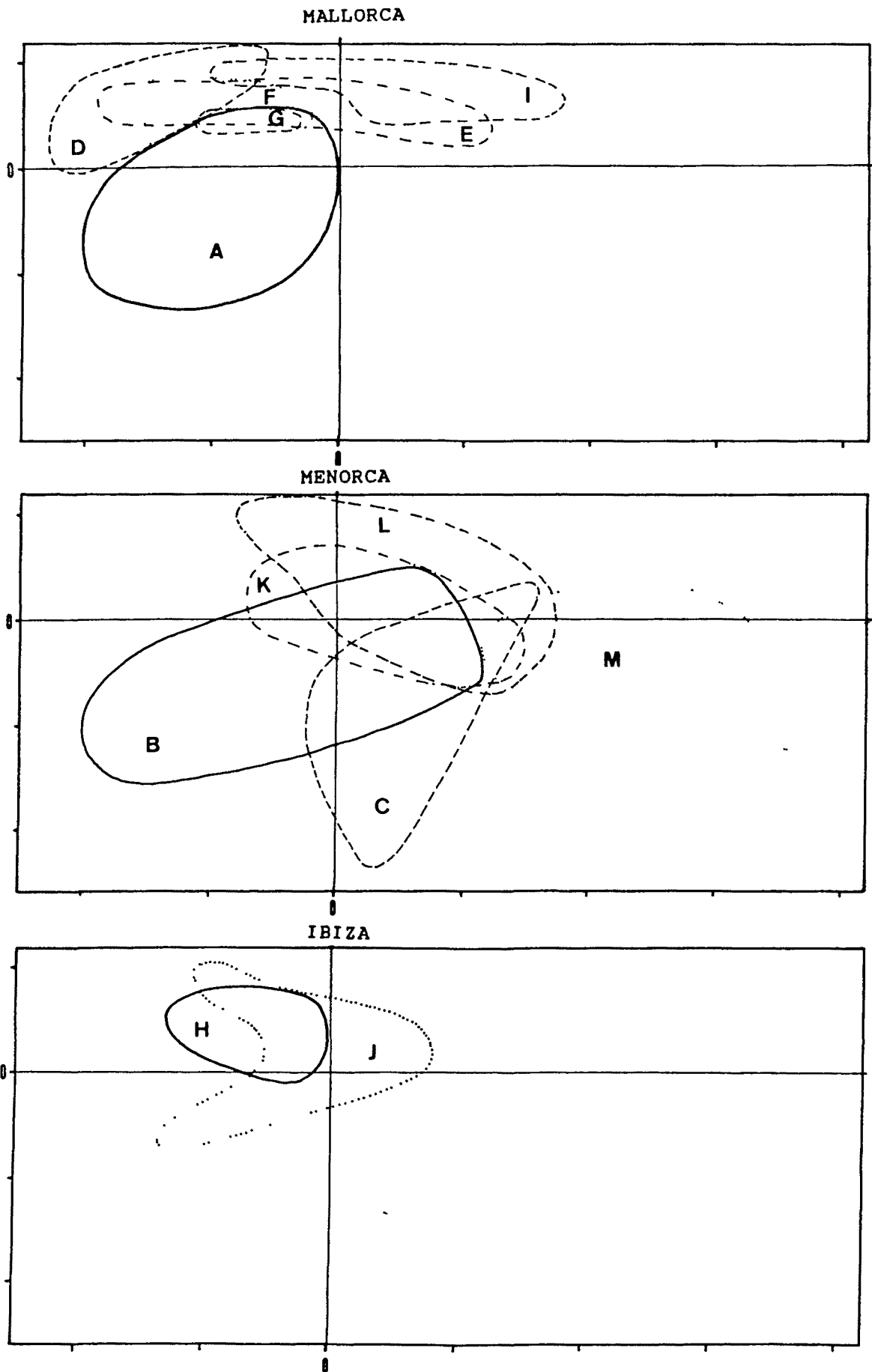


FIG. 1.27. Areas ocupadas por diferentes comarcas limnológicas sobre el plano I(eje X) / II(eje Y) derivado de un ACP de las concentraciones iónicas que definen la mineralización (ver texto).

además, los cauces nacen sobre materiales solubles que comunican su contenido en bicarbonatos o sulfatos a otras regiones. En general su reserva alcalina es variable, puede estar entre 3 y 7 meq/l. Las aguas fuertemente mineralizadas por su proximidad a la costa (M) quedan emplazadas en el extremo positivo del primer factor, y su alcalinidad rebajada.

1.2.3.4 Influencia del aerosol salino

Las proporciones iónicas del agua, en el contexto de los elementos que definen su mineralización, han de estar relacionadas con factores múltiples dependientes de la litología, suelos, composición del agua de precipitación, lavado de aerosoles y depósitos salinos alóctonos sobre el terreno y la vegetación, lluvias de barro, y contaminaciones locales por parte del hombre. Estos factores pueden clasificarse en dos tipos, los que intervienen en la diversificación regional de las aguas y los que tienden a borrarla, uniformizando los ambientes acuáticos. Indudablemente, el aporte salino a través de aerosoles levantados del mar por el viento, y de forma muy afín los propios componentes de la precipitación y de los sólidos suspendidos en la atmósfera, forman parte del segundo tipo de factores, tendentes a uniformizar las proporciones y dominancias iónicas. Respecto a la influencia de los aerosoles salinos, el reconocimiento de su importancia en cada masa de agua puede abordarse con más detalle considerando las desviaciones ión por ión de la composición proporcional prevista del agua de mar. En este caso, si se toma como ión característico al sodio, por su abundancia y carácter conservativo, los índices de cada uno del resto de iones respecto al sodio permiten reconocer los que se presentan en mayor desproporción, tanto por exceso como por defecto. Estos cálculos acumulan los errores analíticos, de manera que sólo se tendrán por válidas las conclusiones respecto a conjuntos regionales de aguas que muestren variaciones del mismo tipo.

1.2.3.5 Desvíos en aguas naturales

Las aguas influenciadas por el aporte marino poseen cloruro sódico dominante, y además una relación de sales secundarias con dominancia proporcional característica. Una vez reconocida la aportación alóctona de mineralización, puede analizarse la concentración residual de cada ión, más útil en la identificación de la química del agua en el plano litológico de las islas. De esta manera las clasificaciones regionales pueden resultar más estables frente a los cambios supraanuales debidas al mayor o menor potencia del aporte salino alóctono. Al referir los cocientes iónicos al sodio como elemento base, se vuelven crípticas aquellas localidades con sodio de origen continental, como puedan ser las derivadas de las fuentes cloruladas de Mal Any o el Torrent d'Almadrava, en Pollença. Pero este estudio no las recoge, al tratarse de aguas ya muy mineralizadas.

Se han tomado como índices de la composición iónica marina los propuestos por Krauskop (1979) (in Bellot & Escarré, 1988):

Cl/Na	Mg/Na	K/Na	Ca/Na
1.13	0.23	0.021	0.044

Se ha hallado el exceso o déficit hipotético de cada ión tras el cálculo de las desviaciones según la expresión

$$D_x = X - Q_x * Na$$

es decir, la desviación D de un ión X procede de restar a su concentración total la parte correspondiente debida al sodio, que se deriva de la proporción marina Q. Un análisis de componentes principales de los 4 valores de desviación iónica por muestra, más la alcalinidad total, ha sido elaborado para presentar las tendencias conjuntas regionales, para aguas no salobres, con menos de 70 meq/l de cloruros. Los tres primeros factores presentan las correlaciones lineales que se tabulan a continuación.

	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3
HCO ₃	0.037	0.978	0.060
D _{Cl}	0.044	0.011	0.018
D _{Mg}	0.831	0.314	-0.202
D _K	-0.103	0.055	0.988
D _{Ca}	0.924	-0.163	0.011

Calcio y magnesio son los iones que ofrecen mayor exceso respecto al sodio, independientemente de la alcalinidad. El calcio total muestra la relación inversa esperada con el factor 2, dominado por la reserva alcalina (el calcio y magnesio debidos sólo a aniones débiles). Aquella surge del efecto de ión común sobre el bicarbonato cálcico, relación que no se repite para el magnésico, de mayor solubilidad. La proyección de las muestras sobre el plano I/II tiene aspecto triangular (fig. 1.28). En el vértice ocupado por aguas de menor alcalinidad y mínima concentración de cationes divalentes totales (F2-/F1-), se agrupan las localidades de aguas finas más genuinas de las islas. Entre las aguas corrientes se encuentran la región de los embalses de la Serra y las fuentes de Can Topa (Sòller) y s'Hort de Baix (Lluc). Algunas fuentes menorquinas se posicionan cerca de este grupo, como la Font des Còssil (Maó) o des Puig Mal (Mercadal), que son meramente subsuperficiales y sobre substrato silícico. Buena parte de las charcas temporales poseen aún posiciones más extremas sobre este vértice, desde las charcas de Bassa Verda, Curniola y Son Blanc (Ciutadella), y Verda de Binissarmenya y Mongofre (Maó), y algunas charcas de Llucmajor como las de Sa Llapassa, S'Aguila, Ses Casetes, o Betlem. El resto de aguas estancadas temporales y efímeras se sitúa en esta región, sin ser extremas.

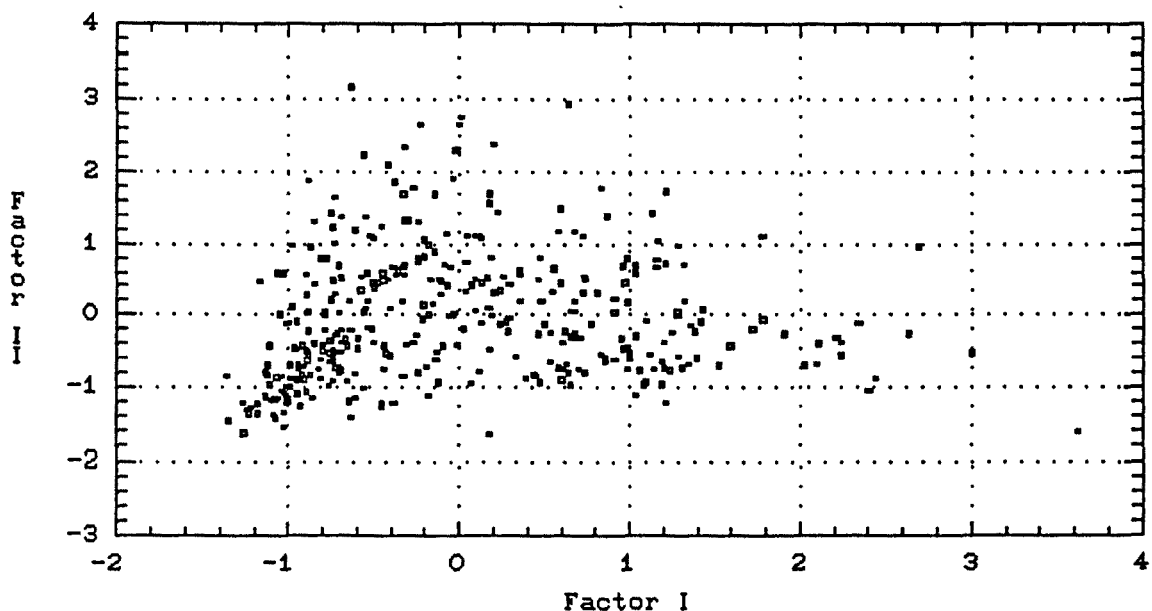


FIG. 1.28. Espacio ocupado por las aguas en el plano factorial I/II, para el total de aguas una vez extraida la influencia marina.

Aguas con valores mínimos de alcalinidad y con tendencias a aumentar su contenido en calcio y magnesio totales se encuentran en charcas del Port des Canonge, localidad de la Serra con afloramientos silícicos; pequeños cursos de agua sobre el paleozoico del noreste de Menorca (Es Murtar, Sa Mesquida) y areniscas silícicas del centro de la isla (Fontrodones, Granada). La cuenca paleozoica de Binimel.là, al norte de Menorca, está concentrada en un área intermedia, con alcalinidades entre 2-3 meq/l, pero con el calcio y magnesio en aumento, con 4-10 meq/l de calcio y concentraciones similares de magnesio y 2-4 meq/l de sulfatos. Siguiendo hacia las aguas más concentradas en cationes divalentes pero de alcalinidad mantenida en el rango citado (F2-/F1+), se encuentran asimismo las cuencas septentrionales de Menorca, con la cuenca de Fornells, desde L'Anzell y el sector de el Toro - Sa Roca, donde afloran manchas del Keuper. El extremo de esta serie de baja alcalinidad es ocupado por la cuenca de S'Albufera des Grau, desde Biniarroga y Es Puntarró, con hasta 15-20 meq/l de sulfatos y de calcio,

relacionados con las grandes manchas de Keuper inmersas en la meseta de Alaior.

El sentido de mineralización opuesto, ascendiendo hacia el vértice de mayor reserva alcalina (F2+/F1-) está ocupado por los siguientes grupos de aguas: una zona intermedia, de alcalinidades entre 4 y 7 meq/l, y bajo contenido en cationes divalentes de otras procedencias; principalmente fuentes kársticas mineralizadas de las tres islas, como Font den Ballet, de la Cova den Marsà, Juliberta, d'Es Broll y Corona en Ibiza, fuentes del macizo de Randa, Aubenyà, y de la Serra, como la Font des Prat de Massanella, Font Llinàs, de s'Abeurador, de sa Canaleta o Ca's Senyó, en Mallorca, y las de Macarella, Torre Solí, Trebalúger, Canutells y Cala Molí, en Menorca. Igualmente se presentan los torrentes de la Serra, como la región de la Riera de Palma - Puigpunyent, Orient, Massanella, Campanet, Comafreda, Mortitx - Es Bec d'Oca, y Torrent Manut. Hacia el vértice de alcalinidades altas se encuentran algunas fuentes de la región de Estallencs - Banyalbufar, en Mallorca, y Albufera de Mercadal, en las dolomías del norte de Menorca. En estas localidades se valoran 7-10 meq/l de alcalinidad, en gran parte debida a 6-8 meq/l de magnesio y a escasamente 1-2 meq/l de calcio.

El resto de las aguas de alcalinidades entre 4 y 7 meq/l y que poseen además cargas de calcio y magnesio debidas a la disolución de sulfatos y cloruros (F2+/F1+), identifican las cuencas de Lluriach, La Vall, Es Gorc, al norte de Menorca, y, en el resto de las islas, sólo algunas fuentes, Estallencs y Es Guix (Comafreda) en Mallorca, y Refila en Ibiza.

Queda por explicar la desviación de sales respecto de la proporción marina debida al factor 3 del ACP, y que procede fundamentalmente del potasio. Sólo para este ión se reconocen claramente grupos de localidades donde aparece en menor cantidad que la esperada por el contenido de sodio, si éste se debe al

aporte marino. Las aguas más regularmente deficitarias son las corrientes ubicadas sobre el paleozoico del noreste y centro de Menorca, y charcas con vegetación helofítica en esta región, que sugieren un aprovechamiento biológico del potasio aerotransportado. En el otro extremo, el excedente de potasio es una característica de las charcas temporales muy poco mineralizadas, tanto turbias como con vegetación, de Mallorca y Menorca. Se miden excedentes proporcionalmente elevados en las charcas de Lluçmajor. Las aguas corrientes raramente se ven afectadas por excesos relativos de potasio (fig. 1.29).

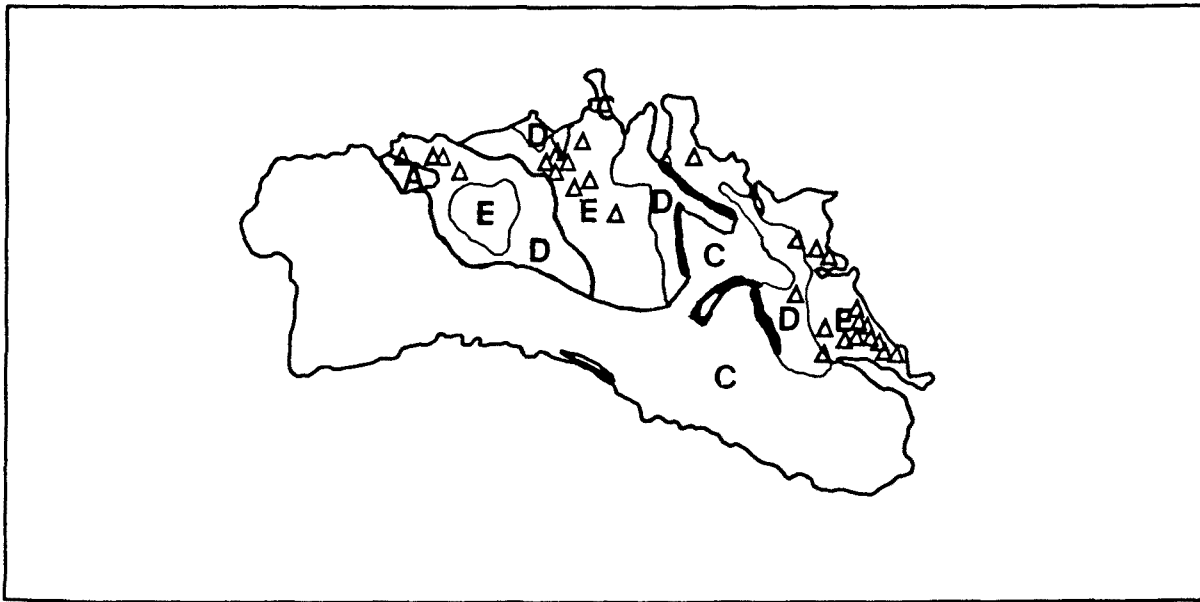


FIG. 1.29. Localidades con aguas fluyentes en las se registra déficit de potasio en relación al sodio.

En la tabla 1.11 se resume la información referente a las desviaciones respecto a las proporciones marinas, dándose las medias por islas del tanto por ciento de cada ión que se explica por la concentración de sodio, suponiendo que todo el sodio procede del mar.

TABLA 1.11. Medias hipotéticas del porcentaje debido a aportes marinos de cada ión, por islas (< 5 mS/cm).

	Mallorca	Menorca	Ibiza
	aguas corrientes / aguas estancadas		
Cl	71.7 / 54.2	99.5 / 98.4	71.5 / 91.0
Ca	3.4 / 3.0	9.9 / 13.1	8.7 / 8.2
Mg	20.7 / 40.0	34.4 / 48.5	25.7 / 33.7
K	95.8 / 34.0	111.6 / 65.4	102.2 / 96.3

A grandes rasgos, el calcio es el ión con mayor índice de continentalidad, siguiendo el magnesio, y después el cloruro y potasio de las charcas de Mallorca. El carácter de estas consideraciones, aún siendo aproximativo por no tener en cuenta el sodio de origen continental, pone de manifiesto la potencia del impacto del aerosol salino sobre las islas. La confirmación de este fenómeno ha de proceder, sin embargo, de la medición real de estos aportes salinos, estudio que se detalla en el siguiente capítulo.

1.2.4 QUIMISMO DE LA PRECIPITACION

1.2.4.1 Introducción

El quimismo de la precipitación está aún escasamente desarrollado en las Baleares. En Mallorca Xamena et al. (1990) ofrecen datos referentes a la Serra de Tramuntana de Mallorca. Por otra parte, es bien conocido el aporte derivado del aerosol salino sobre las islas, con particular manifestación en Menorca. En esta línea de trabajo se han realizado una serie de mediciones durante 1987y 1988 que dan pié a los siguientes comentarios.

En contraste con las aguas estancadas de pequeño volumen, que, por su carácter temporal y llenado quasi-instantáneo, pueden

contener concentraciones de cloruros inferiores a 1 meq/l, las aguas corrientes de la balear menor, incluso las de surgencias cársticas de los valles encajados meridionales y ríos subterráneos (Cova den Curt, Ferreries), no contienen nunca menos de 4 meq/l, siendo los valores medios mucho más elevados. Al iniciarse la esorrentía y la evacuación de las aguas superficiales a través de las cuencas hidrográficas acontece un lavado de la deposición seca que recibe la isla. Esta deposición cuenta, como uno de sus más regulares y importantes contribuyentes, con el impacto sobre las superficies expuestas del aerosol salino levantado por el viento, el cual proporciona unas cifras de deposición total sobre la isla de las más espectaculares a nivel mundial, comparado con otras localidades a igualdad de distancia al mar.

La evaluación cuantitativa mediante colectores del volumen de aerosol salino oceánico depositado en seco sobre la isla se debe a Jansá, Rita y Calafat (1983). Los colectores de sal de impacto consisten en cuadrados de tela virgen dispuestos perpendicularmente al suelo y levantados sobre el terreno mediante una barra, con lo que se maximiza la recepción de sales por impacto. El posterior lavado de las sales en agua permite calcular el peso total de sal retenida, a través de un ión indicativo, en este caso el sodio. El contraste de las concentraciones medidas con la velocidad del viento llevó a las siguientes conclusiones (Jansá, 1983): Existen deposiciones significativas de sal a partir de 15 Km/h de velocidad media y un aumento crítico a partir de 35 Km/h, siendo los vientos del primer cuadrante 3-4 veces más impactantes que el resto. La distribución sobre la isla es relativamente uniforme, con la excepción evidente del area costera; esta homogeneidad se entiende por el carácter regional del aerosol salino, que se origina en el centro del Golfo de León y contamina capas menos bajas de la atmósfera que las debidas a la espuma levantada frente a las costas insulares, con las que se suma impactando

sobre la isla. A ello hay que sumar el carácter frío y seco del viento norte, que acelera la desecación y cristalización de las partículas de aguas levantadas sobre las crestas de las olas, aumentando su probabilidad de mantenerse en suspensión y su desplazamiento atmosférico.

1.2.4.2 Muestreo y analítica

El estudio de la deposición por impacto antes expuesto debe contrastarse con el de la deposición vertical total, y con el de la química de la precipitación, objetivos de los que aquí se presentan los primeros resultados. La obtención de muestras (1987/88) se ha basado en la colaboración de los responsables de las estaciones pluviométricas de la isla (fig. 1.30).

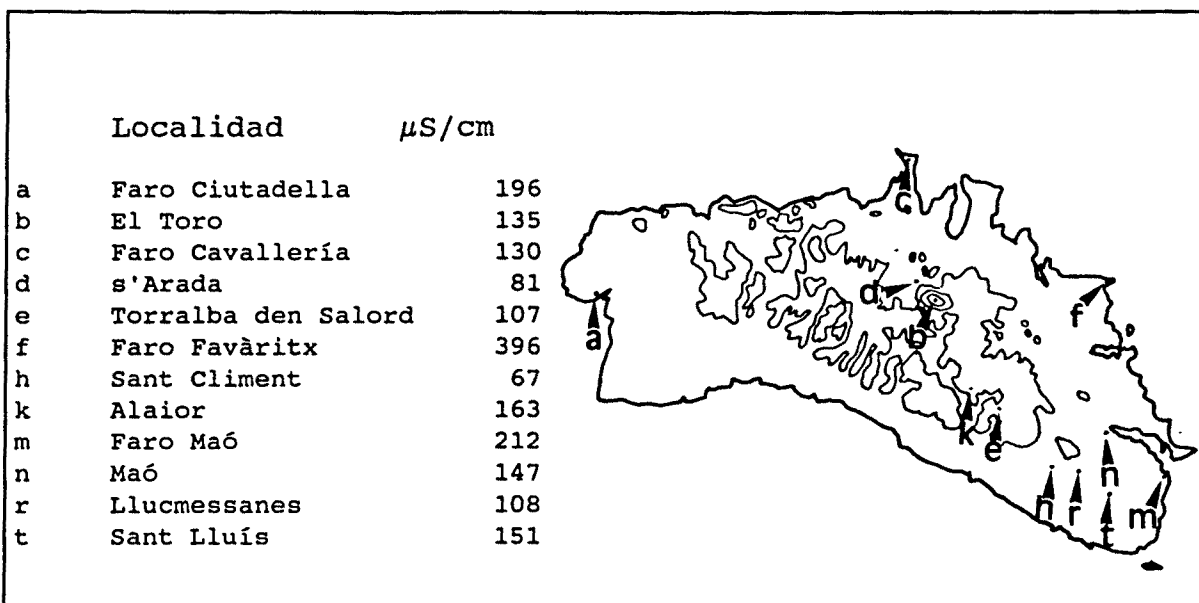


FIG. 1.30. Localización de las estaciones pluviométricas estudiadas, y media ponderada de la conductividad de la deposición total (l-f, k-t) y de la precipitación (h) entre 1-VII y 1-XII de 1987.

El agua del colector convencional metálico de 12 estaciones contiene el lavado de la deposición seca almacenada en el mismo, por lo que los análisis se refieren a la deposición total. En una estación estudiada más prolongadamente, el colector era lavado diariamente con agua destilada para eliminar la contaminación

seca, y del mismo se han tomado los datos del balance anual. Se han extremado las precauciones en la manipulación del agua y el análisis de las muestras, efectuado entre el periodo semanal o quincenal que mediaba entre cada recolección.

Las estaciones pluviométricas pueden clasificarse en 4 tipos según su ubicación geográfica:

- zona costera: en los faros de Favàritx (f), Ciutadella (a) y Maó (m), a nivel del mar; faro de Cavalleria (c), a 80 m s.n.m; estación del núcleo urbano de Maó (n), a unos 3 Km de la costa y sobre el puerto.
- en zona de bosque: estación de S'Arada (d).
- zonas abiertas agrícolas del interior: Sant Lluís (t), Sant Climent (h), Llucmessanes (r), Torralba (e) y Alaior (k).
- zona montana: El Toro, a 360 m s.n.m (b).

1.2.4.3 Seguimiento del ciclo anual 1987-1988

1.2.4.3.1 Características de la estación pluviométrica, del muestreo y analítica

La estación meteorológica elegida se ubica en el sureste de la isla, en las cercanías de Sant Climent, a 92 metros sobre el nivel del mar y unos 4.5 Km de la costa. El colector está ubicado a 1.5 metros de altura. Diariamente se procedía al lavado del colector. Las muestras se recogían y guardaban a baja temperatura sin congelación, y eran recogidas quincenalmente para su análisis. Los parámetros utilizados para caracterizar el ciclo anual son conductividad y cloruros. El propio responsable de la estación recogía la precipitación anotando su volumen, que es el utilizado en los balances. Las muestras de agua fueron analizadas

mediante cromatografía aniónica, por lo que se valoraron los cloruros, sulfatos y nitratos. Los cloruros fueron analizados paralelamente por precipitación de plata, cuando el volumen de muestra lo permitía, estimándose una lectura por exceso mediante argentometría respecto de la cromatografía aniónica, o una lectura deficitaria por esta última vía.

1.2.4.3.2 Precipitación, conductividad, cloruros

Durante el periodo desde Julio de 1987 a Julio de 1988 la precipitación máxima diaria fue de 67 mm (27.04.88), de entre 75 días lluviosos anotados. La conductividad del agua recogida varió entre los límites de 30.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 655 $\mu\text{S}/\text{cm}$, tratándose la última de una cifra excepcionalmente elevada, y obtenida tras una precipitación de 1.5 mm (26.02.88) acompañada de vientos NNW a NE con rachas de 65-70 Km/h, más bien moderadas. Sin embargo, del examen del ciclo anual se deduce que conductividades superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no son infrecuentes en cualquier época del año, aunque principalmente se miden en los meses más ventosos, dentro de la segunda mitad del invierno (fig. 1.31).

Durante el otoño se reciben las lluvias menos mineralizadas. Con respecto a los mínimos de conductividad, parece existir un límite inferior a lo largo del año, contenido en el rango entre 30 y 75 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La conductividad media anual no ponderada es de 116.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$, esto es, la característica de un día lluvioso promedio. La clase modal es muy inferior, en el rango de 50-75 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (fig. 1.32). A estos últimos valores se aproxima mucho más la conductividad media ponderada por el volumen de la precipitación, de 73.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y que es la característica de un volumen de agua de lluvia promedio, independientemente del volumen total de precipitación.

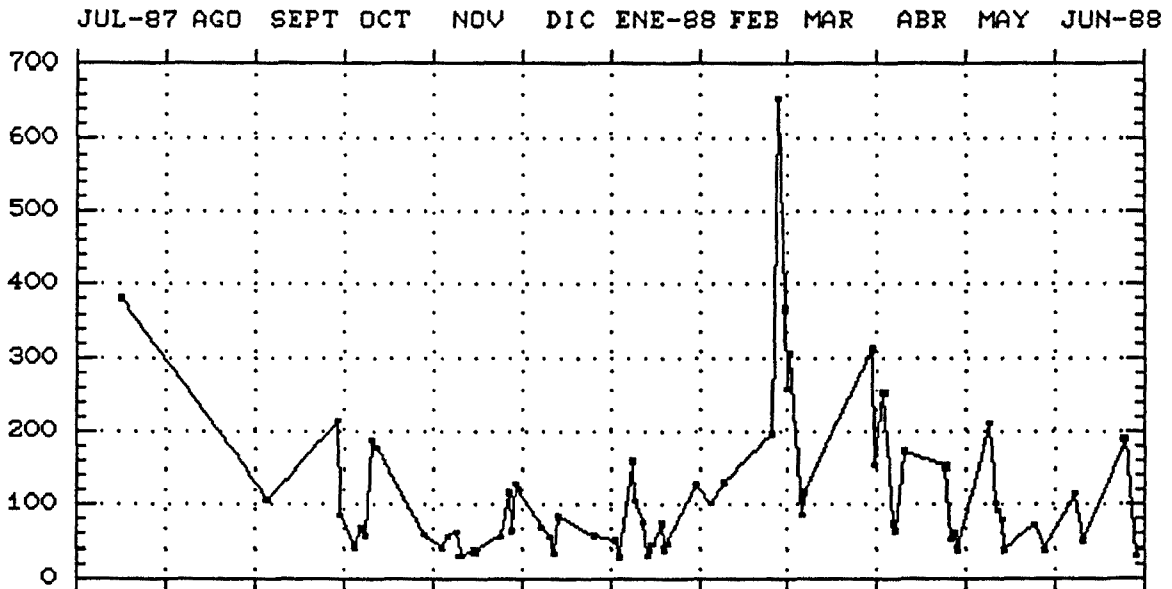


FIG. 1.31. Conductividades, en $\mu\text{S}/\text{cm}$, a lo largo del año 1987-88 para las precipitaciones recogidas en la estación H (Sant Climent).

De esta manera se da más relevancia a las precipitaciones importantes, que controlan la inundación de los sistemas acuáticos. En la Serra de Tramuntana la conductividad media ponderada es de $46.67 \mu\text{S}/\text{cm}$ (Xamena et al., 1990) para el año 1988/89, en un rango entre 17.65 y $203 \mu\text{S}/\text{cm}$.

Los cloruros toman valores muy altos, en correspondencia con los de conductividad. Las concentraciones mínimas se sitúan en $4.25 \text{ mg}/\text{l}$, y las modales en $11.95 \text{ mg}/\text{l}$ (fig. 1.33). La media ponderada de los cloruros, desglosada en dos periodos, proporciona $15.26 \text{ mg}/\text{l}$ en las lluvias de Julio a Diciembre, y de $33.70 \text{ mg}/\text{l}$ en las de finales de Diciembre a Junio, en consonancia con el carácter más ventoso del invierno, principalmente Febrero y Marzo, respecto al otoño.

La relación entre conductividad y precipitación muestra una regularidad por la cual en precipitaciones elevadas no se miden nunca concentraciones iónicas altas. Lluvias inferiores a 10 mm , en cambio, ocupan toda la gama de conductividades, incluso las

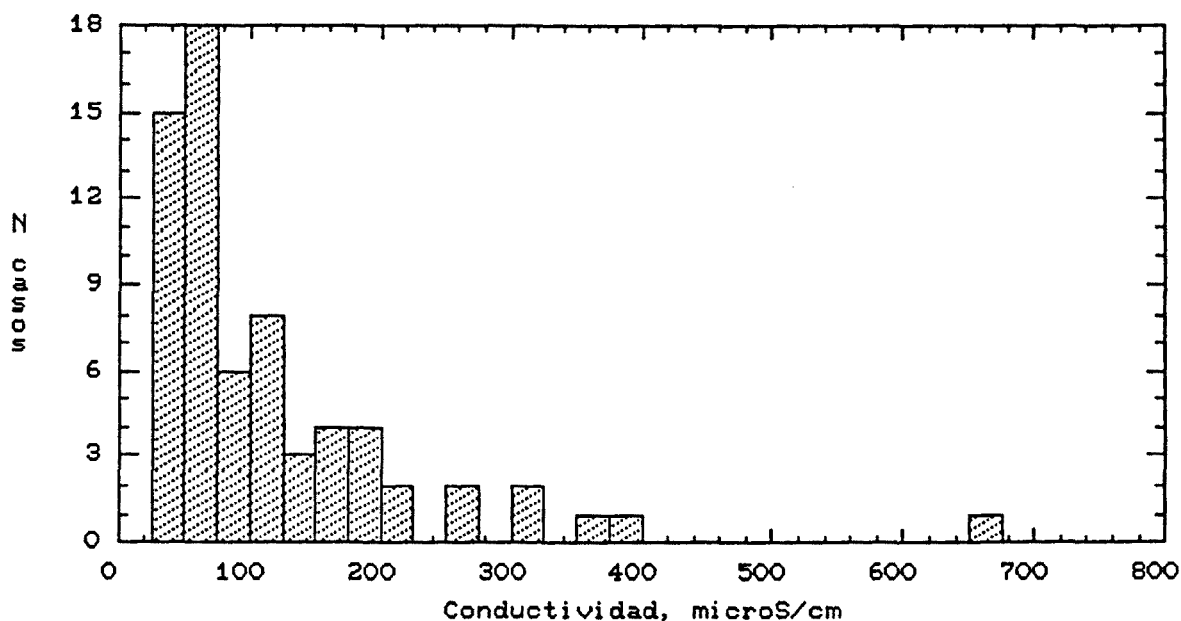


FIG. 1.32. Histogramas de frecuencia de la conductividad en $\mu\text{S}/\text{cm}$ para la estación H (Sant Climent).

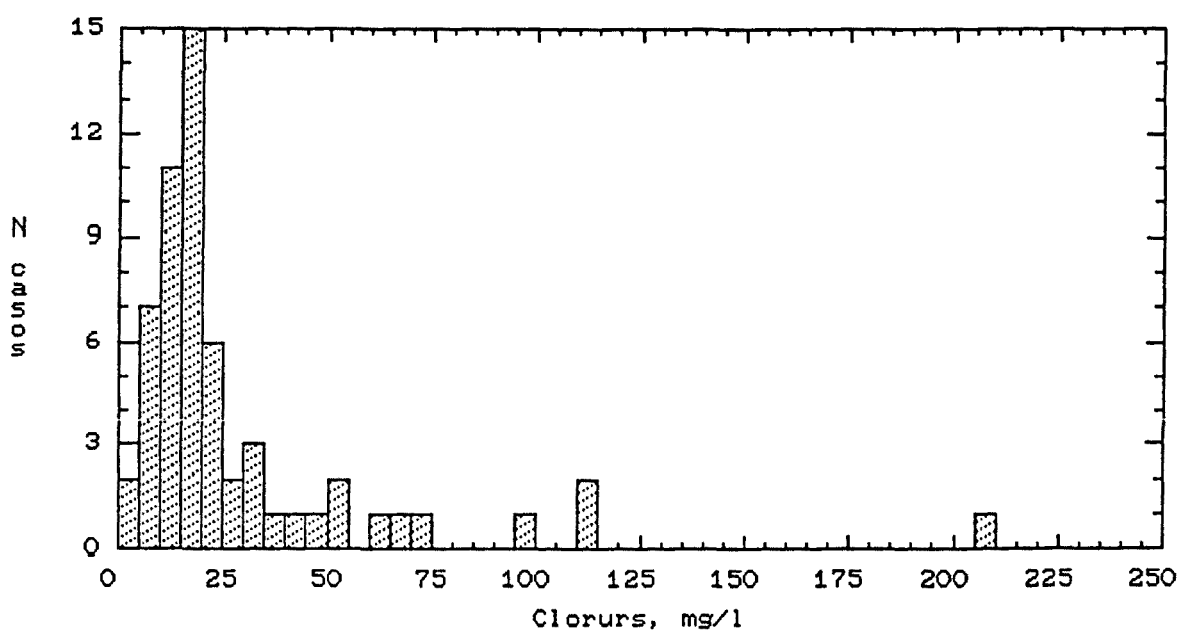


FIG. 1.33. Histograma de frecuencias de los cloruros en mg/l para la estación H (Sant Climent).

más bajas. Una parte de este aumento de conductividad se creía debida al lavado de la deposición seca diaria del colector, que quedaria más diluida tras lluvias importantes. Pero el efecto es más general (Rodá, 1983) y permite tomar con cierto interés la

relación entre ambos parámetros (fig. 1.34). Para el conjunto de los iones se tiene la siguiente relación de dominancias: Aniones, $\text{Cl} > \text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{NO}_3$. Cationes, $\text{Na} > \text{Mg} = \text{Ca} > \text{K}$.

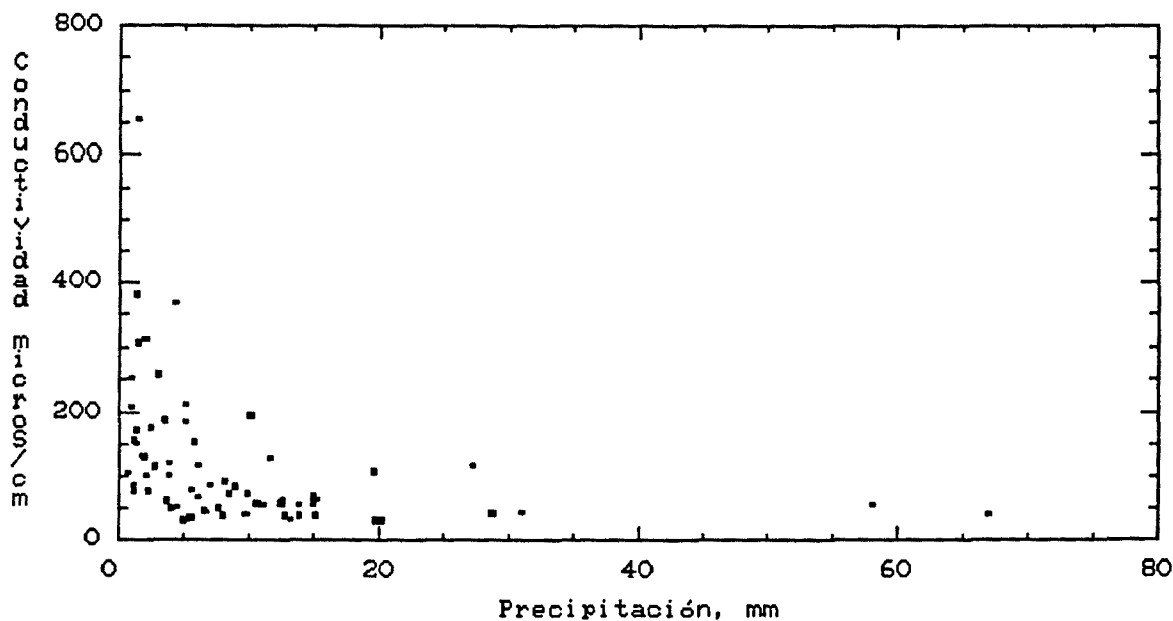


FIG. 1.34. Relación entre la conductividad y el volumen de la precipitación, para la estación H (Sant Climent).

1.2.4.4 Variación entre estaciones durante el otoño de 1987

1.2.4.4.1 Conductividad

Las lluvias recogidas en 12 estaciones repartidas por toda la isla ocupan el periodo de Julio a principios de Diciembre de 1987. La comparación de las medias ponderadas de los diferentes parámetros revela diferencias locales principalmente entre las estaciones costeras bajas y las interiores, las primeras normalmente ubicadas en la proximidad de faros (Maó, Ciutadella, Favàritx, Cavalleria). Entre estaciones interiores se observan diferencias de conductividad media ponderada que oscilan entre $67 \mu\text{S/cm}$ y $163 \mu\text{S/cm}$, aunque no son posibles comparaciones

precisas por la falta de correspondencia entre las fechas analizadas de precipitación entre cada par de estaciones, y por no haber accedido al total de las precipitaciones de cada estación; los valores expuestos son por tanto aproximativos. La estación más elevada de la isla, a unos 360 m (b), no es la de menor mineralización, y se sitúa en una posición intermedia en el rango de conductividades medias ponderadas. La conductividad media ponderada para todas las estaciones no influenciadas directamente por el litoral es de 145 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y es la que sintetiza la deposición total dentro del otoño.

1.2.4.4.2 Cocientes iónicos

Como resumen de los análisis realizados se tiene la siguiente relación de medias de índices entre concentraciones iónicas, comparados con el agua de mar y con los de dos estaciones montañas catalanas (Rodá, 1983):

	Cl/Na	Mg/Na	K/Na	Ca/Na	Ca/Mg
Menorca	0.48	0.21	0.057	0.14	0.69
Mar	1.13	0.23	0.021	0.044	0.19
Montseny	1.20	0.49	0.13	2.62	5.35
Prades	1.23	0.41	0.28	1.96	4.69

Potasio y calcio son los únicos elementos que pueden considerarse sobrerrepresentados en la precipitación de Menorca, aunque distan mucho de serlo tanto como en áreas de lluvias mucho menos mineralizadas como las utilizadas a título comparativo. De los cálculos anteriores se deduce para Menorca un 36.5% de K y un 31.46% de Ca de origen marino, siendo el resto terrígeno, mientras el magnesio se comporta como enteramente talásico. Los datos de sulfatos para la estación de Sant Climent proporcionar

un índice SO_4/Na de 0.062, que es de 0.08 en el agua de mar, y entre 2 y 2.5 para las estaciones de comparación: se trata por tanto de un aporte marino totalitario en la isla.

1.2.4.4.3 Aporte total por unidad de superficie

Si se toman las medias ponderadas de cloruros de la estación Sant Climent para otoño e invierno, que se sitúan sobre 15.3 y 30.7 mg/l de cloruros, y teniendo en cuenta que el 40% de la precipitación anual concurre en otoño, se sigue que un año medio, con 630 mm de precipitación, puede contribuir en 3.85 g/m^2 de cloruros en otoño, y 11.6 g/m^2 de cloruros en el resto de la estación húmeda. Ante la posibilidad de tener estimas de cloruro sesgadas a la baja, un cálculo independiente, basado en la conductividad ponderada, es el siguiente: se tiene $73.4 \mu\text{S/cm}$ por litro promedio de precipitación anual en la estación Sant Climent; usando la corrección que para agua salobre pasa de conductividad a salinidad ($S = C * 0.75$), se tienen 55.05 mg/l de sales totales por litro de precipitación, y por tanto $55.05 \text{ mg/l} * 630 \text{ mm} = 34.7 \text{ g/m}^2$ de sales totales anuales. Si se aplica la fórmula de Knudsen $S = 0.03 + Cl * 1.805$, se llega a estimar indirectamente un aporte anual de 19.2 g/m^2 de cloruros sobre la isla. Este valor es sólo algo superior a los $11.6 + 3.8 = 15.4 \text{ g/m}^2$ de cloruro calculado inicialmente, y del que se preveía una estima a la baja.

1.2.4.4.4 pH

Los datos disponibles referidos a la totalidad de las estaciones de muestreo (fig. 1.35) indican que el pH de la precipitación se distribuye alrededor de un valor medio de 6.59, y en un rango comprendido entre 5.75 y 8.1 unidades. El valor medio es muy próximo al valor modal, 6.58, y a la mediana, 6.53, por lo que la distribución se aproxima considerablemente a la Normal. Si se considera ácida la precipitación inferior a 4.5

unidades de pH, se concluye que en ningún caso se ha asistido a lluvia ácida sobre la isla. Un análisis de la varianza entre estaciones ($F=6.69$, $p<0.001$) implica la existencia de diferencias espaciales de pH. Un test de comparación múltiple (SNK, $p<0.05$) tan sólo separa significativamente una estación (Sant Lluís), que debe interpretarse como sujeta a contaminación periférica, al estar en un núcleo urbano. Priva, por tanto, la igualdad de medias de pH en toda la isla. Los rangos hallados en la Serra de Mallorca (Xamena, 1990) son algo menores, con una media de 5.98 y un rango entre 4.25 y 6.89.

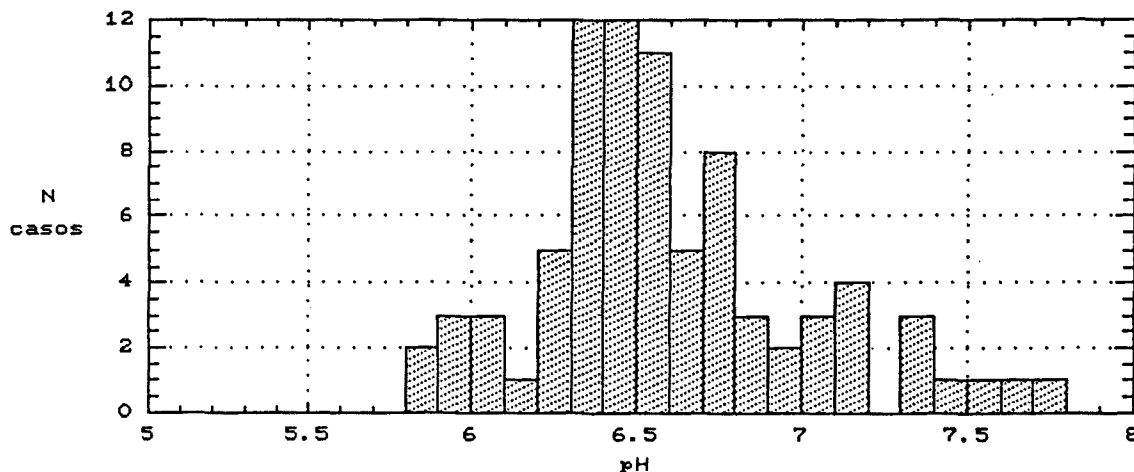


FIG. 1.35. Histograma de frecuencias de las medidas de pH por unidad de precipitación, reuniendo todas las estaciones.

CAPITULO 2. BRANQUIOPODOS Y COPEPODOS

2.1 APORTACIONES SOBRE BRANQUIOPODOS Y COPEPODOS

En el presente capítulo se ofrece una revisión conjunta de algunos aspectos taxonómicos, ecológicos y biogeográficos de los branquiópodos y copépodos de las Baleares. Su principal enfoque es comparado, con la intención de buscar rasgos biogeográficos específicos del archipiélago. Como referencia se cuenta con varias aportaciones sobre la Península Ibérica, Italiana, y Norte de Africa. Mallorca, Menorca e Ibiza fueron estudiadas por Margalef (1951b, 1952b, 1953a). Por otra parte, en Margalef (1947, 1953b), Alonso (1978, 1981, 1985a,b) y Armengol et al. (1975) se reúne la información al respecto sobre toda la Península Ibérica referente a lagunas de pequeño volumen y en Armengol (1978) respecto a los embalses. Algunas aportaciones locales sobre lagunas del Tordera (Sabater, 1984), Doñana (Bigot & Marazanov, 1965), Armengol (1976) y las lagunas extremeñas (Fernández, 1986) son utilizados como materiales de comparación. Se ha utilizado información sobre los crustáceos de otras islas mediterráneas. Aquí se cuenta con las aportaciones de Margaritora et al. (1975) y Champeau y Thiéry (1990) en Córcega, Margaritora et al. (1982) en Sicilia, Stella et al. (1972) y Margraf y Maass (1982) en Cerdeña. La distribución y ecología de cada especie cuenta con las actualizaciones de Dussart y Defaye (1983, 1985), Stella (1982), Dussart (1967, 1969) y Kiefer (1978) para los copépodos, de Amorós (1984), Negrea (1983), Margaritora (1985) y Alonso (1985b) para los cladóceros, y de Alonso (1985a) y Thiéry (1987) para los eufilópodos.

2.1.1 BRANQUIOPODOS

2.1.1.1 Orden Anostraca Sars, 1867

2.1.1.1.1 Familia Branchinectidae Daday

Branchinecta ferox (Milne-Edwards, 1840)

Menorca: Charca temporal turbia en Torrellafuda (Ciutadella) (11.01.88); 316 μ S/cm.

Hembras ovígeras con un máximo de 3.5 cm de longitud hasta el extremo de los cercópodos; los machos no presentan apéndices antenales en esta especie, la parte interna del artejo basal de la antena es rugoso; los ovisacos de la hembra son muy alargados; cercópodos sin sedas en el borde externo, excepto en la región subapical (fig. 2.2). Las primeras sedas filtradoras del primer endopodio van provistas de sedas bilateralmente. Existen taxones próximos a *B. ferox* cuyos caracteres diagnósticos varían sólo gradualmente (Daday, 1910; Linder, 1941), aunque se aceptan como especies distintas (Sramek-Husek et al., 1962); el más distintivo es la setación externa de los cercópodos, exclusivamente subapical en *B. ferox* y más o totalmente extendida sobre el borde externo en *B. orientalis* y *B. cervantesi*, esta última endémica de La Mancha, donde sustituye por vicarianza a la primera, que se expande por el oriente europeo y Asia Menor. La setación bilateral de las sedas filtrantes del primer endopodio es otro carácter que separa *B. ferox* de las dos mencionadas, carácter que se conserva en la población baleárica.

Su área de distribución se centra en las áreas estépicas circunmediterráneas, desde Marruecos a Palestina. En el Norte de Africa está muy localizada; en Marruecos se le asigna a la zona lluviosa de montaña; en la Península Ibérica es igualmente rara, y se localiza en la cuenca del Duero, donde prefiere aguas frías y poco mineralizadas (Alonso, 1985a). Diferentes autores

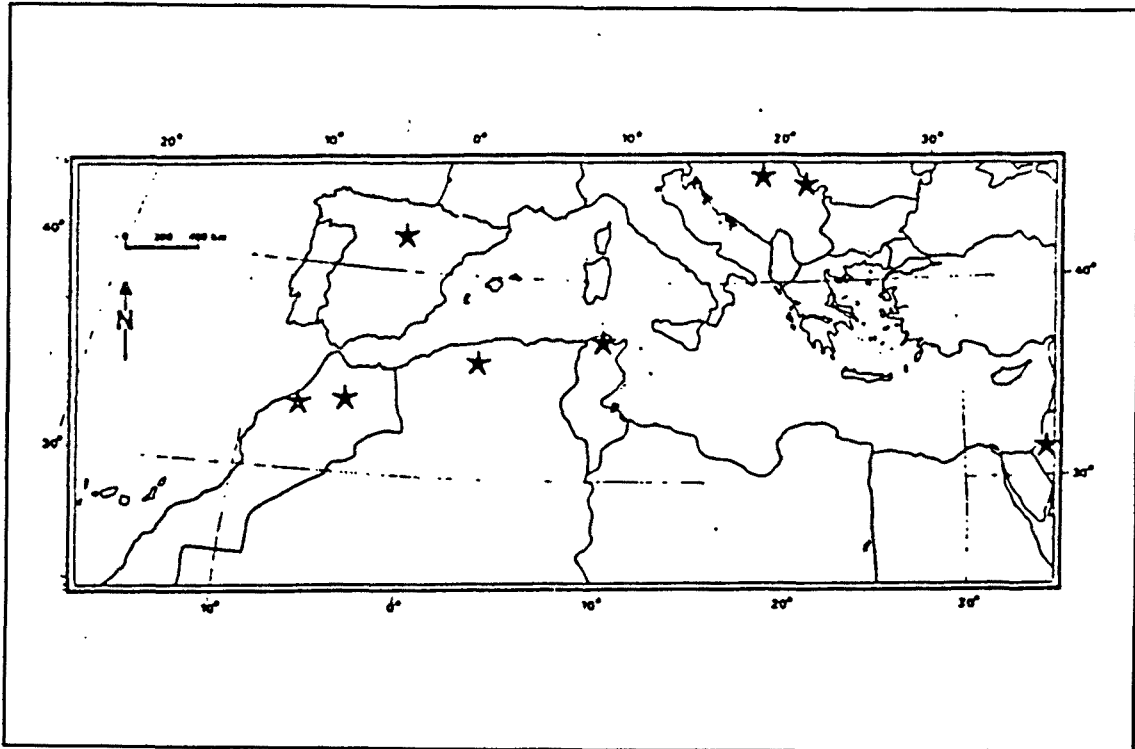


FIG. 2.1. Distribución de *Branchinecta ferox*, según Thiéry (1987).

reconocen su preferencia por aguas alcalinas.

Su presencia en las islas es un tanto sorprendente, por la rareza de sus citas en las áreas continentales donde se encuentra, las cuales poseen además un marcado abolengo endorreico; nada de esto es de esperar en pequeñas islas de clima marítimo, con temperaturas suaves, y quizás su presencia obedezca más a factores hoy en trance de desaparecer, con lo que se trataría de una reliquia del pasado. Sin embargo, su repartición circunmediterránea y su afinidad por pais semihúmedo, comparada con la de *B. orientalis*, expandida sobre la masa continental asiática (Kertész, 1955), obliga a reconsiderar su status ecológico y el significado de su hallazgo en las islas.

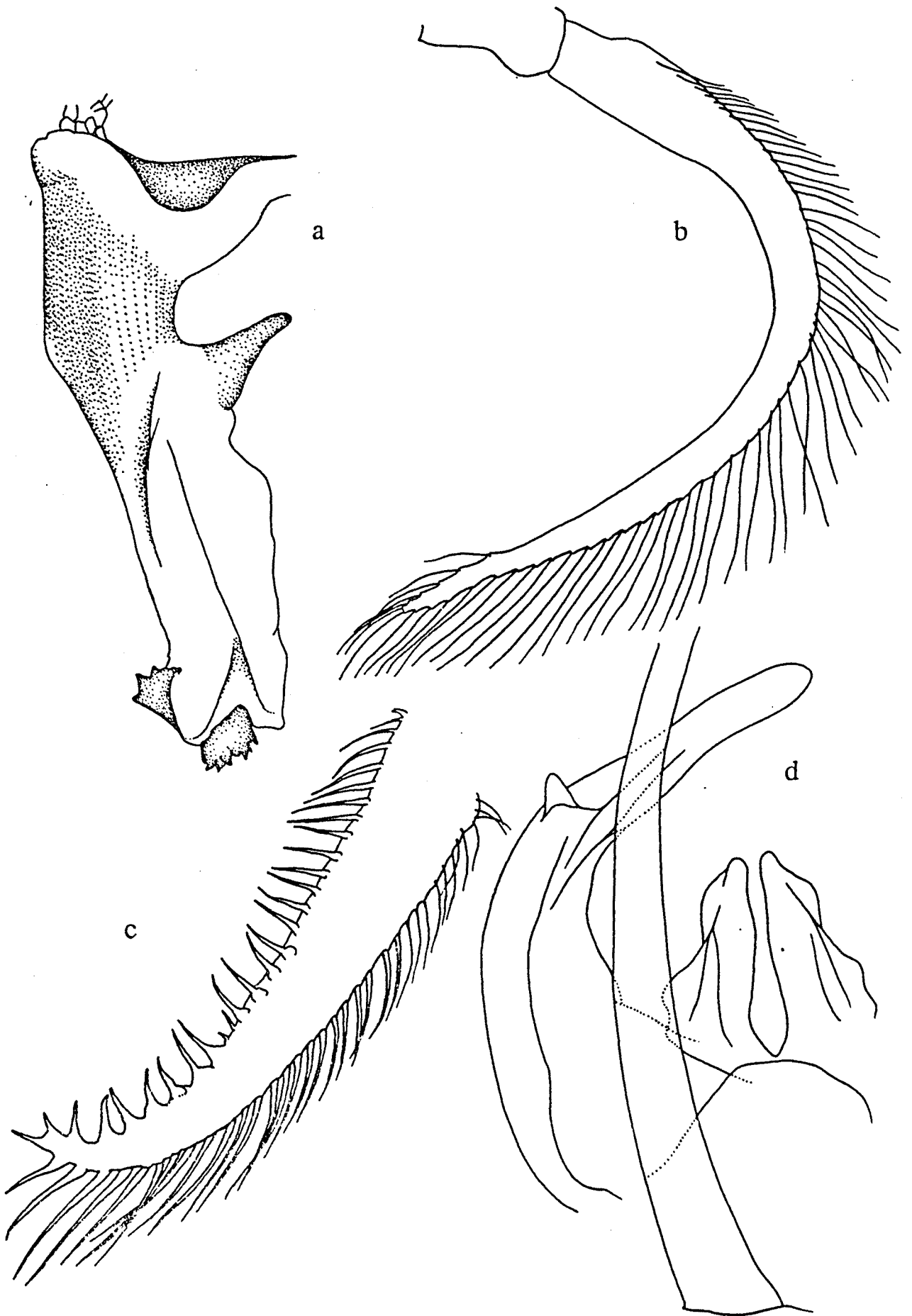


FIG. 2.2. *Branchinecta ferox*: a, hemipene; b, brazo furcal. *Branchipus schaefferi*: c, brazo furcal; d, antenas y clípeo.

2.1.1.1.2 Familia *Artemiidae* Grochowski

Artemia salina (L., 1758)

Mallorca: Salinas de Campos (25.05.87); 265 mS/cm. Ibiza: Salines (Mayo, 1983). Formentera: Estany Pudent y Salines (13.02.88); 136 mS/cm.

Se deben a De Buen (1916) las primeras citas de esta especie en Mallorca, Ibiza y Formentera. En Menorca es notable su ausencia en las aguas salinas del norte de la isla (Addaia, Fornells). La ausencia de *Artemia* en las lagunas saladas de Córcega (Porto Vecchio) se cree debida a su posición alejada de las rutas migratorias del flamenco rosado *Phoenicopterus ruber roseus*, depredador y vector de dispersión de los huevos durables de la especie (Champeau & Thiéry, 1990). Según estos autores, ambas especies muestran una estrecha afinidad en su distribución mediterránea.

Está en franco acuerdo con esta hipótesis ornitócora el hecho de que en las Baleares el flamenco rosado se observa fundamentalmente en las salinas de Campos y en Formentera, donde antiguamente criaba (Mayol, 1978): *Artemia* se localiza en efecto exclusivamente en estas zonas húmedas meridionales, y falta en las del norte de las Baleares, comprendiendo el norte de Mallorca. En Menorca las escasas citas de flamencos (Muntaner & Congost, 1979) corresponden a individuos aislados; Moll (1957) reconoce como áreas visitadas por la especie las Albuferas de Es Grau y de Mercadal, marismas profundas dulces o salobres que no favorecen la instalación de *Artemia salina*.

2.1.1.1.3 Familia *Branchipodidae* Daday

Branchipus schaefferi Fischer, 1834

Mallorca: Aguas temporales estancadas, común en Lluçmajor; 18 localidades; 161 to 528 μ S/cm. Margalef (1958b) la encuentra

en Sóller. Menorca: común en "cocons" (rockpools) calizos semiturbios de la isla, en charcas fangosas y en cubetas humosas cloruladas; Diciembre a Marzo, ocasionalmente en Julio; 21 localidades; 216 a 1157 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y hasta 2770 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ibiza: (Margalef, 1951b; 1953a). Formentera: Aguas temporales de pequeño volúmen en Ses Fontanelles y Porto Saler; 450 y 490 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Pereiópodos con un sólo preepipodito; en el macho, antenas fusionadas, en su base formando un clipeo de dos brazos con lobulaciones en el tercio basal (fig. 2.2); el artejo distal de la antena estilizado, y se curva hacia el centro a partir de una apófisis medial externa; apéndice antenal flageliforme; el pene posee el extremo apical de la parte retráctil con denticulaciones.

Se trata de uno de los primeros colonizadores de aguas de inundación, y uno de los últimos en resistir el avance de la desecación, pudiéndose encontrar amontonados vivos en las últimas charquitas de agua sobrecalentada. Es de menor talla, con hasta solo 8 mm, en aguas de elevada conductividad. Se le reconoce una mayor plasticidad ecológica y euritermia, a pesar de ser relativamente rara hacia el sur de la Península Ibérica (Alonso, 1985a). En Marruecos es la especie más ubicua y euritopa (Thiéry, 1986). En la región mediterránea existen otros tres *Branchipus* que no se han encontrado en la región iberobaleár.

2.1.1.2 Orden *Spinicaudata* Linder, 1945

2.1.1.2.1 Familia *Cyzicidae* Barnard

Cyzicus bucheti (Daday, 1914)

Menorca: Charca semitemporal fangosa en Curniola (Ciutadella); Abril a Junio; 540 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Se trata de la primera localización para la fauna iberobaleár.

Dentro de los Cyzicidos, *C. bucheti* se identifica por la terminación posterior dorsal de las valvas en forma de espolón y el carácter regular y homogéneo de las espinas del telson (fig. 2.3). Se trata de una especie termófila de región subhúmeda a semiárida, reemplazada por *L. mayeti* hacia la zona árida. Thiéry (1986, 1987) la considera común, siendo endémica de la región atlántica de Marruecos (fig.2.4); existe sin embargo una cita en Cerdeña del propio Daday de Dees (1914) al describir la especie. En España habita *C. cycladoides* (= *C. tetracerus*) además de la forma endémica *C. grubei*. La presencia de *C. bucheti* en Baleares (y Cerdeña ?) no solamente impone una disyunción biogeográfica sino que además el espacio geográfico intermedio de ésta es ocupado por otra especie afín, lo que complica el hallar sentido a esta distribución. Sin embargo en España *C. tetracerus* se conoce de únicamente una localidad (Alonso, 1985a), y otra en Sicilia (Cottarelli & Mura, 1983), por lo que la carta de distribución de Thiéry (fig. 2.4) parece bastante precipitada, aún tratándose de una especie paleártica.

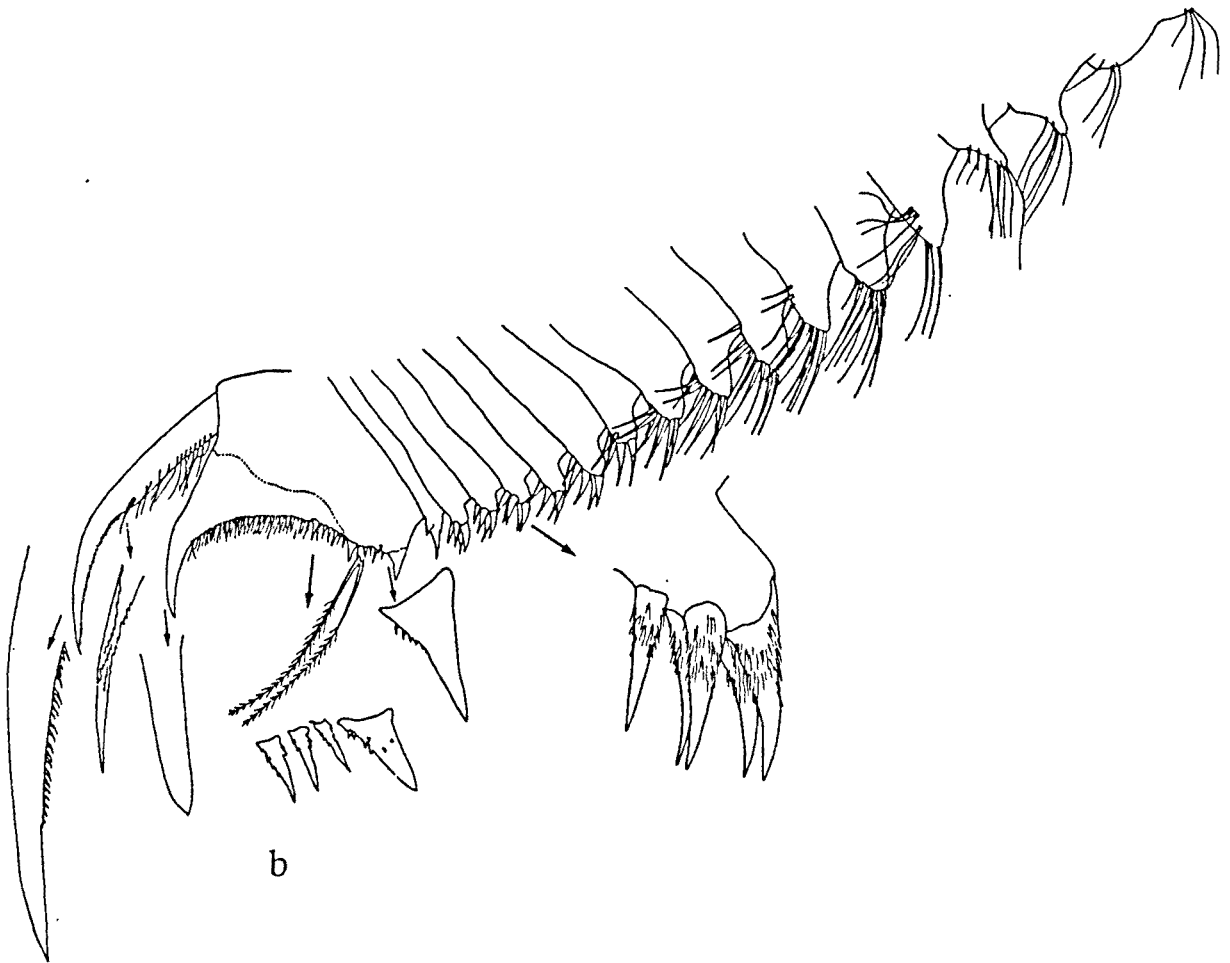
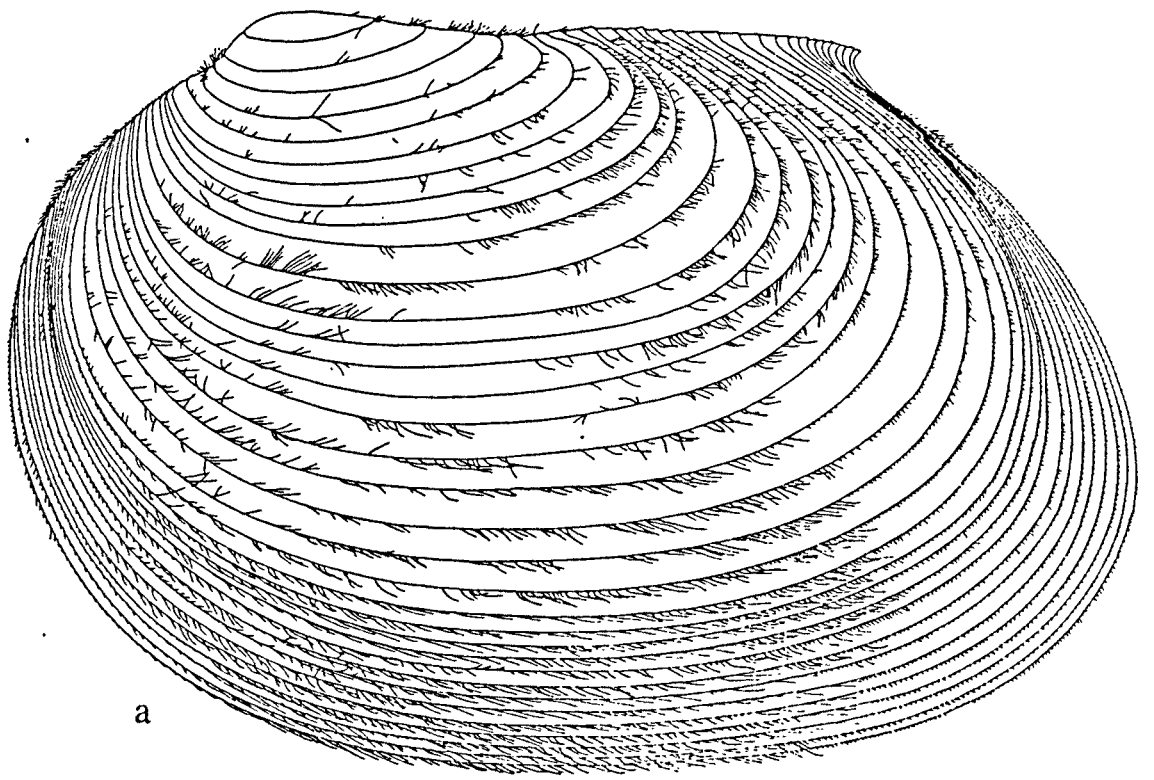


FIG. 2.3. a. *Cyzicus bucheti*: a, valva; b, región dorsal de los segmentos posteriores y telson.

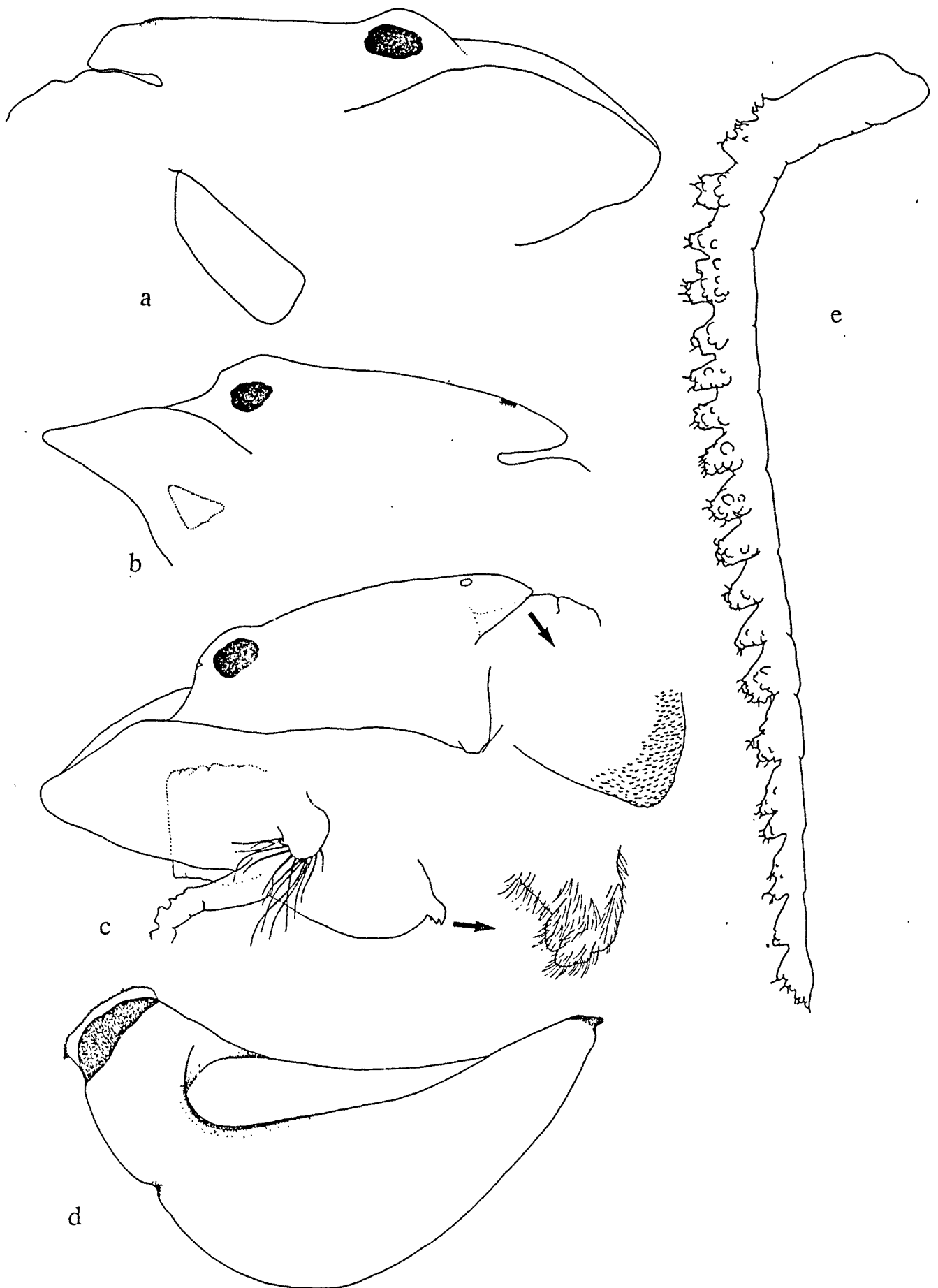


FIG. 2.3. b. *Cyzicus bucheti*: a, cabeza del macho; b, cabeza de la hembra; c, detalles de la región occipital y la región ventral de la cabeza del macho; d, mandíbula; e, antena 1 del macho.



FIG. 2.3. *C. Cyzicus bucheti*: a, antena 2 del macho; b, pinza del primer apéndice torácico; c, pinza del segundo apéndice torácico; d, segundo apéndice torácico.

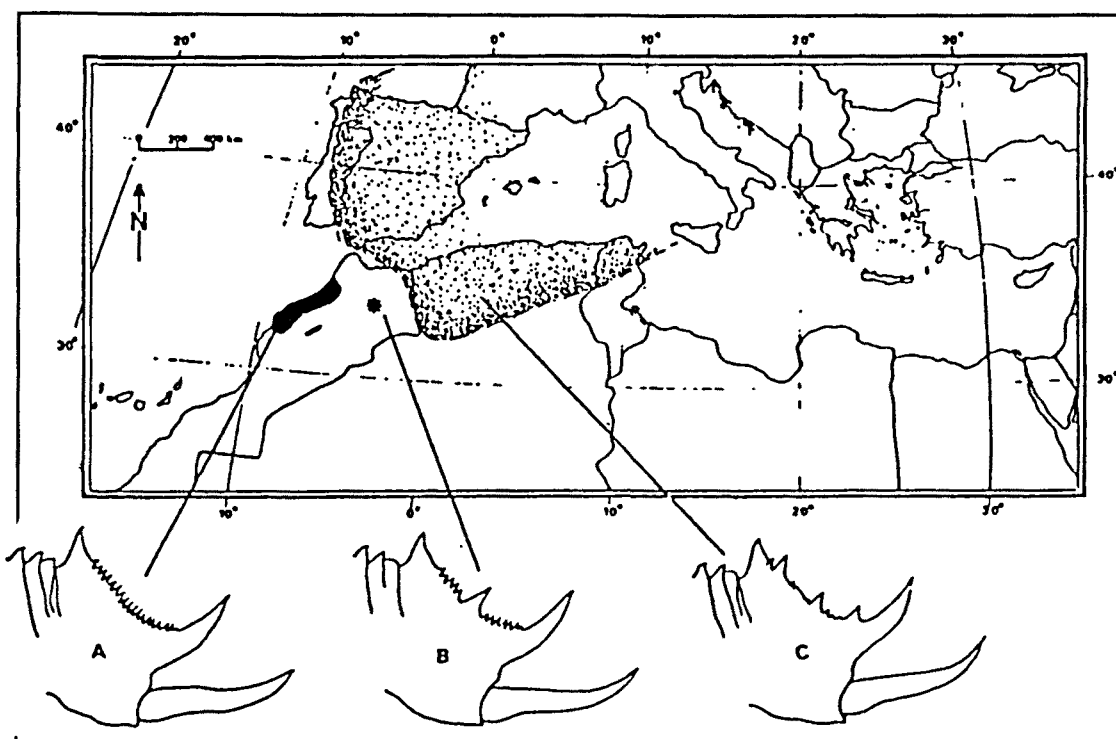


FIG. 2.4. Distribución de *Cyzicus*, según Thiéry (1987). A, *C. bucheti*; C, *C. cycladoides*; B, población intermedia según la morfología del telson.

2.1.1.2.2 Familia Leptestheriidae (Stebbing)

Leptestheria mayeti Simon, 1885

Mallorca: Aguas temporales de Lluçmajor; 5 localidades; 199 a 451 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Menorca: Charca efímera turbia en Mola de Fornells (14.03.87), 1157 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y charca temporal en Binigafull (21.10.-90), 422 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Mayol (1977) halló estos crustáceos en Mallorca, dándolos por *L. dahalacensis* Rüppel. Jaume (1989) los sitúa en su verdadero contexto, *D. mayeti*. Esta especie se separa de la anterior por poseer sólo dos pares de epipoditos ovígeros en las hembras, en lugar de 4-6 (Straskraba, 1966). Además, los últimos 4-5 terguitos abdominales carecen de armadura dorsal en *L. mayeti*. Jaume (1989) da los parámetros biométricos del crecimiento

valvar. Thiéry (1987) la considera termófila de región subárida, lo que se contrapone a *L. dahalacensis* que habita regiones más septentrionales y orientales de Eurasia. *L. mayeti* no existe en España ni el resto de Europa, tratándose las poblaciones baleáricas de residencias satélites de un área de distribución que ocupa el Norte de Africa, desde Marruecos a Libia, y Sicilia (fig. 2.5). En esta isla se ha citado con el nombre de *L. cortieri*, que sólo se distingue de *L. mayeti* por tener la hembra 4 pares de epipoditos ovíferos.

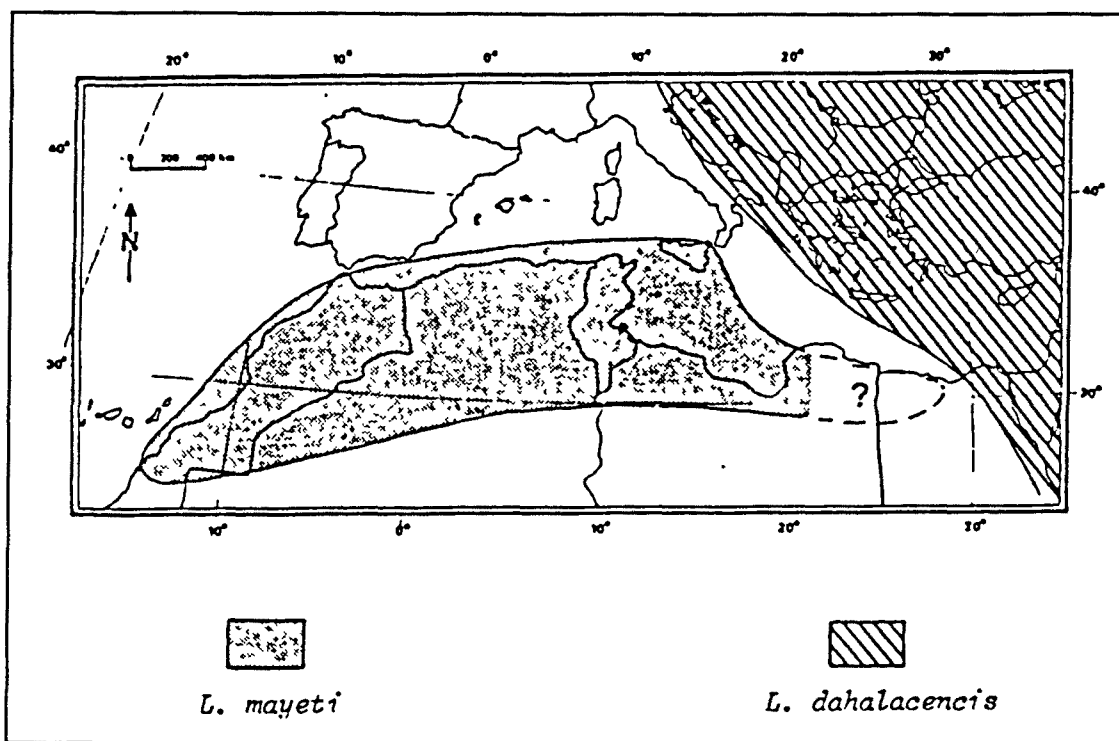


FIG. 2.5. Distribución de *Leptestheria mayeti* y *L. dahalacensis*, según Thiéry, 1987.

- A Aluviones cuaternarios
 - B Arenales o Dunas
 - C Calizas o calizas y dolomias . . .
 - D Areniscas silíceas (Trias rojo)
 - E Lutitas con calizas y areniscas (Paleozoico)
- Margas yesíferas del Keuper resaltadas

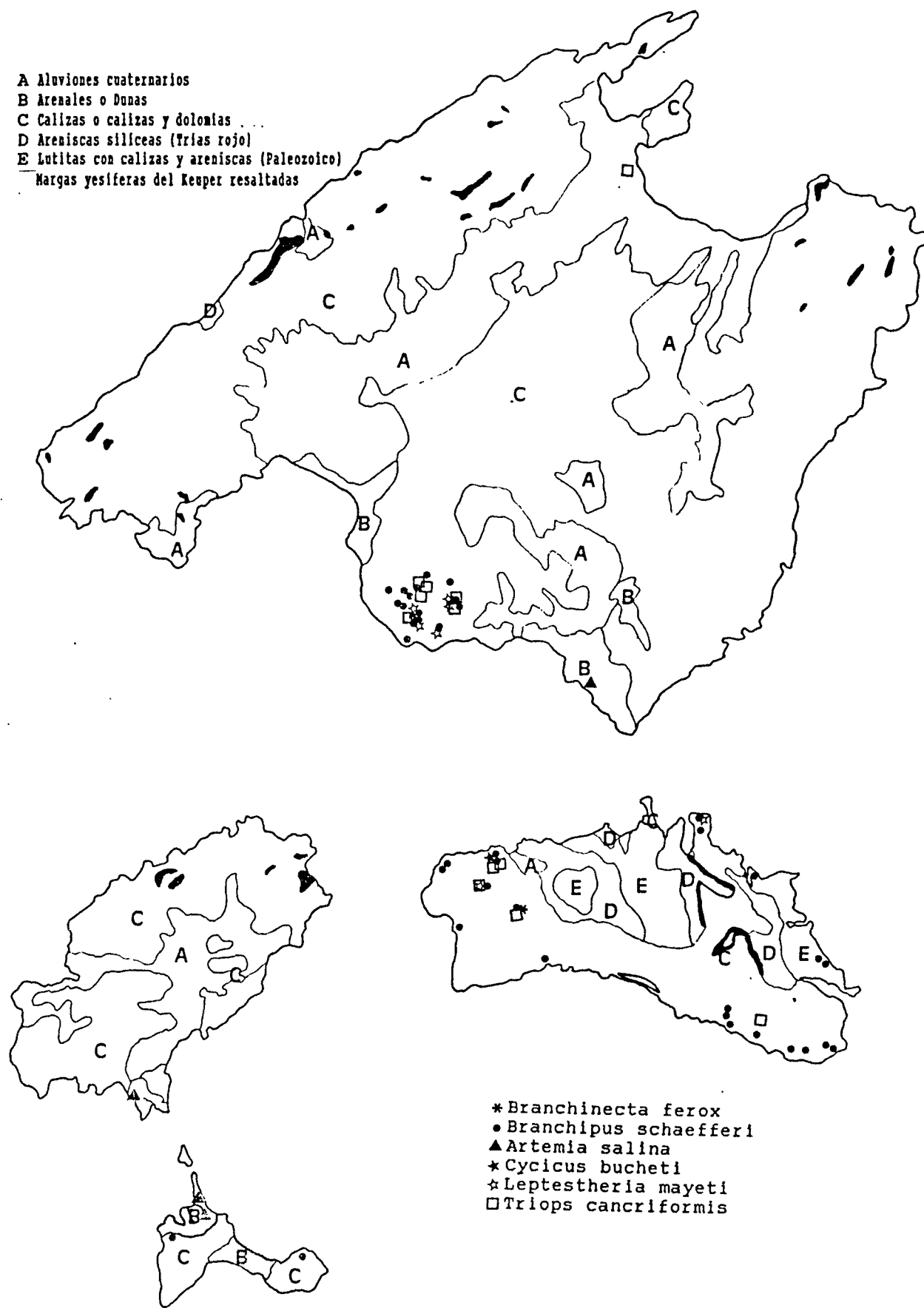


FIG. 2.6.

2.1.1.3 Orden Anomopoda Sars 1865

2.1.1.3.1 Familia Daphniidae (Straus 1820)

Daphnia (Ctenodaphnia) magna Straus 1820

Mallorca: Aguas salobres en las cercanías de la Albufera de Alcudia (5.02.88); Charcas temporales hipereutróficas en Lluçmajor (25.01.88); 3 localidades; 264 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 17.3 mS/cm. Menorca: común en el NE de la isla, rara en el resto; en aguas muy mineralizadas, aunque ausente en aguas salobres en contacto con el mar; de Noviembre a Julio; 15 localidades; 266 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 18.1 mS/cm.

Daphnia (Ctenodaphnia) mediterranea Alonso 1985c

Mallorca: Aguas salobres cerca de Alcudia (05.02.88), salinas de Can Picafort (26.03.89); poblaciones poco numerosas; 17.4 y 160 mS/cm.

Se trata de una *Ctenodaphnia* con la prolongación dorsal de las valvas no expandida lateralmente (fig. 2.7); se caracteriza por el gran desarrollo del rostro y anténula, con una conspicua seda sensitiva antenular; los dientes anales están irregularmente implantados y los péctenes basales son poco marcados. En nuestras muestras no se han encontrado hembras epipiales.

Distribuida en las aguas hipersalinas de la región mediterránea, siendo la primera cita en aguas baleáricas.

Daphnia (Ctenodaphnia) atkinsoni Baird 1859

Mallorca: charcas fangosas en Lluçmajor (28.01.88); 256 $\mu\text{S}/\text{cm}$; 2 localidades. Menorca: charcas fangosas en Ciutadella; Diciembre a Abril; 4 localidades; 204-318 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y hasta 3640 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

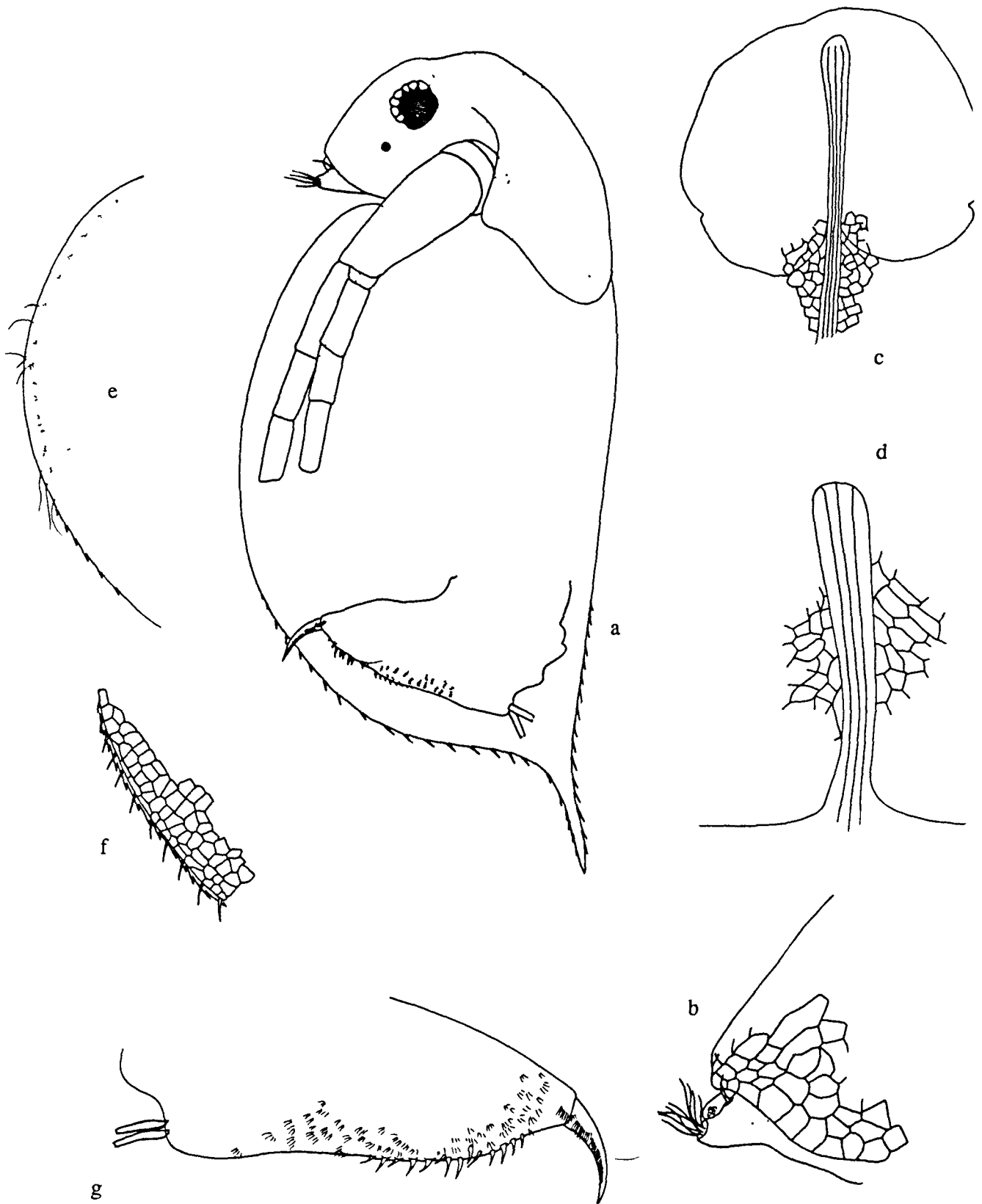


FIG. 2.7. *Daphnia mediterranea*: a, hembra partenogenética; b, rostro y anténulas; c y d, prolongación dorsal de las valvas; e, margen valvar medial; f, margen posterior de las valvas; g, postabdomen.

La placa nugal es reducida y ovoide, y en los adultos está exenta de espinas marginales. Llega a medir 4 mm de longitud. Las diferentes poblaciones muestran rangos variables en la biometría de la placa nugal; en los jóvenes está totalmente dentada, es proporcionalmente mayor, y el dorso de la cabeza está expandido. Euroturánica-mediterránea. Se trata de la primera cita para Baleares.

***Daphnia (Ctenodaphnia) bolivari* Richard 1888**

Mallorca: Charca temporal turbia en Lluçmajor (25.01.88); 199 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Menorca: se trata de una forma dudosa, con la morfología nugal intermedia, en la charca de Torrellafuda, Ciutadella (11.01.88).

La diferenciación respecto de *D. atkinsoni* se ha basado en el mayor desarrollo y en la espinosidad de la placa nugal en los adultos; según este carácter, aparecen estados intermedios que llevan a diferentes autores a dudar de su segregación a nivel de especie (Margalef, 1953b). Sin embargo, *D. atkinsoni* presenta la seda sexual del segundo par de pereiópodos del macho más robusta y fuertemente arqueada en su mitad distal; en *D. bolivari* en cambio es más esbelta y uniformemente curvada. No se ha podido estudiar esta diferencia en la población dada como intermedia de Menorca, por falta de machos. Debe comprobarse su valor en poblaciones continentales. Rara en la Península Ibérica (Alonso, 1980; 1985b).

***Daphnia (Daphnia) pulex* Leydig 1860**

Mallorca: pileta en una fuente de Banyalbufar (5.06.87). Formentera: en un estanque artificial cubierto (13.02.88); 368 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Se trata de una especie cosmopolita y buena colonizadora, aunque es desplazada por *D. longispina* (Hanski, 1983, in Alonso,

1985b); ello explicaría su rareza en las islas, donde aquella especie es más frecuente.

Daphnia (Daphnia) obtusa Kurz 1874

Mallorca: en Lluçmajor, Enero, 6 localidades; 200 a 789 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Esta especie posee una hilera de sedas finas internas en la mitad del recorrido ventral de las valvas. Schwartz et al. (1985) separan con éxito poblaciones de esta especie frente a otras de *D. pulex*, mediante técnicas biométricas. Las principales diferencias residen en el encaje de la anténula con el rostro, curvilíneo en *D. obtusa* y rectilíneo en *D. pulex*; el margen ventral de las valvas posee las espinas menores y más distanciadas en la primera especie, en la cual falta además la hendidura dorsal preanal característica de los machos de la segunda especie.

Frecuente en las aguas de pequeño volumen de Europa Central, prefiriendo aguas turbias y eutróficas. En España se reparte sólo por la región septentrional (Alonso, 1985b).

Daphnia (Daphnia) curvirostris Eylmann 1887

Menorca: En aguas permanentes de S'Albufera de Mercadal, en charcas temporales humosas en Sa Torreta, Binimel.là, Torre Trencada, Atalis, y una localidad de aguas turbias en Sa Torre Nova; Enero a Abril; 8 localidades; 1700 to 4400 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Alonso (1985b) la considera más eurihalina e indiferente a la turbidez que las restantes especies del subgénero, aunque es rara en España. Glagolev (1986) reconoce su euritermia, colectándola a más de 4000 m en el Tibet, y en estanques someros sometidos a temperaturas de 40°C. Tanaka & Tominaga (1986) la encuentran en lagos de alta montaña del Japón. Hebert y Loaring (1986) la reconocen en Norteamérica al estudiar la diversidad

genotípica del grupo *pulex*, el cual no había sido satisfactoriamente desglosado en especies mediante análisis biométricos multivariantes (Dodson, 1981). Benzie (1986) en su análisis cladístico del género *Daphnia* identifica la especie en cuestión, dentro del grupo *pulex*, por el engrosamiento terminal de la seda antenular del macho. Según Negrea (1983), prefiere aguas pobres en vegetación y ricas en materiales orgánicos en descomposición. Conocida en Cerdeña (Margaritora, 1985).

***Daphnia (Daphnia) longispina* O.F. Müller 1785**

Mallorca: Charca con vegetación en Lluçmajor (06.02.88); embalses de Gorg Blau y Cuber (Junio, 347 $\mu\text{S cm}$); charcas freáticas dulces en el Torrente de Pareis (Mayo); 4 localidades. Menorca: común en el norte de la isla, en aguas mineralizadas permanentes o temporales, con vegetación, algunas muy ricas en sustancias humosas; Noviembre a Mayo, accidentalmente en Agosto; 16 localidades; 497 to 3710 $\mu\text{S/cm}$, and up to 13.1 mS/cm .

Se trata de una especie muy ubicua en todo tipo de aguas estancadas. En los embalses de la Serra las dimensiones de los adultos son mucho menores que las de ejemplares procedentes de charcas. Común en la Península Ibérica.

Comentarios ecológicos. El género *Daphnia* cuenta con un considerable número de especies en las islas. Faltan por supuesto las que poseen estrategias euplanctónicas, ciclomorfóticas. Sin embargo, dado el espectro ambiental insular, se ha creído interesante el estudio de la partición del espacio ecológico, basado aquí en la química del agua. Bengtsson (1986) ha estudiado experimentalmente la competencia entre tres especies habitantes de cubetas rocosas, *D. longispina*, *D. magna*, y *D. pulex*. *D. magna* se desenvuelve mejor a bajas temperaturas y aguas eutróficas. Como conclusión general el autor defiende que la competencia entre especies afines no parece suficiente para provocar la

- A Aluviones cuaternarios
 - B Arenales o Dunas
 - C Calizas o calizas y dolomías
 - D Areniscas silíceas (Trias rojo)
 - E Lutitas con calizas y areniscas (Paleozoico)
- Margas yesíferas del Keuper resaltadas

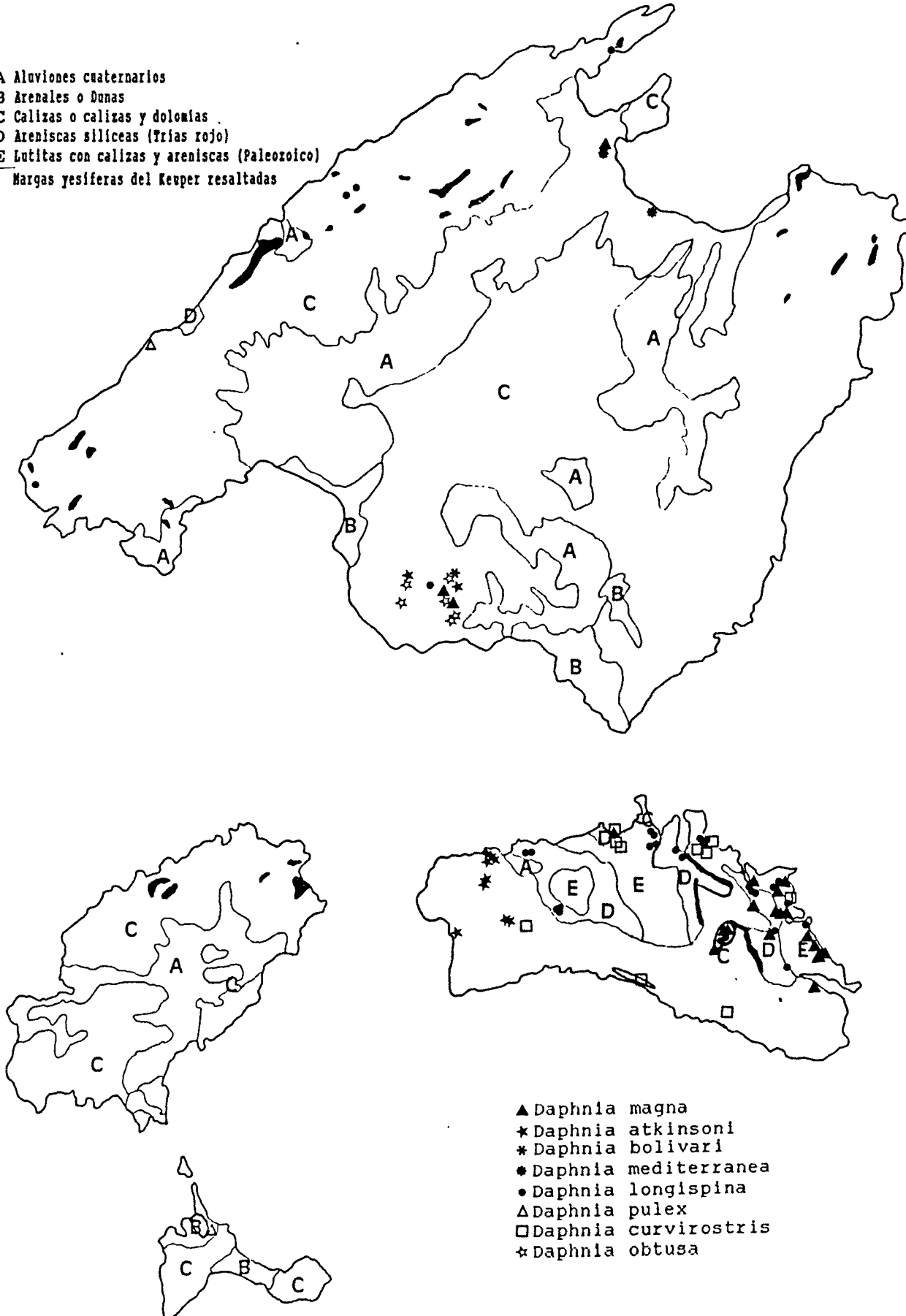
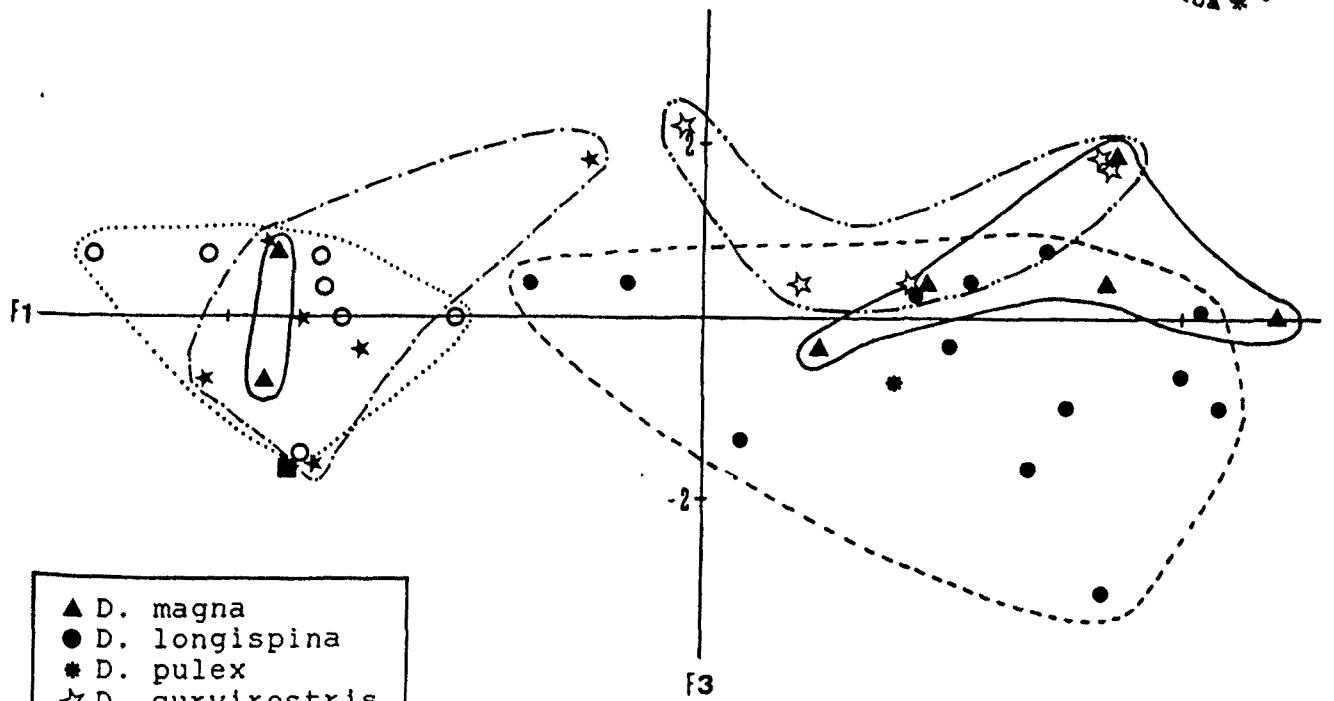
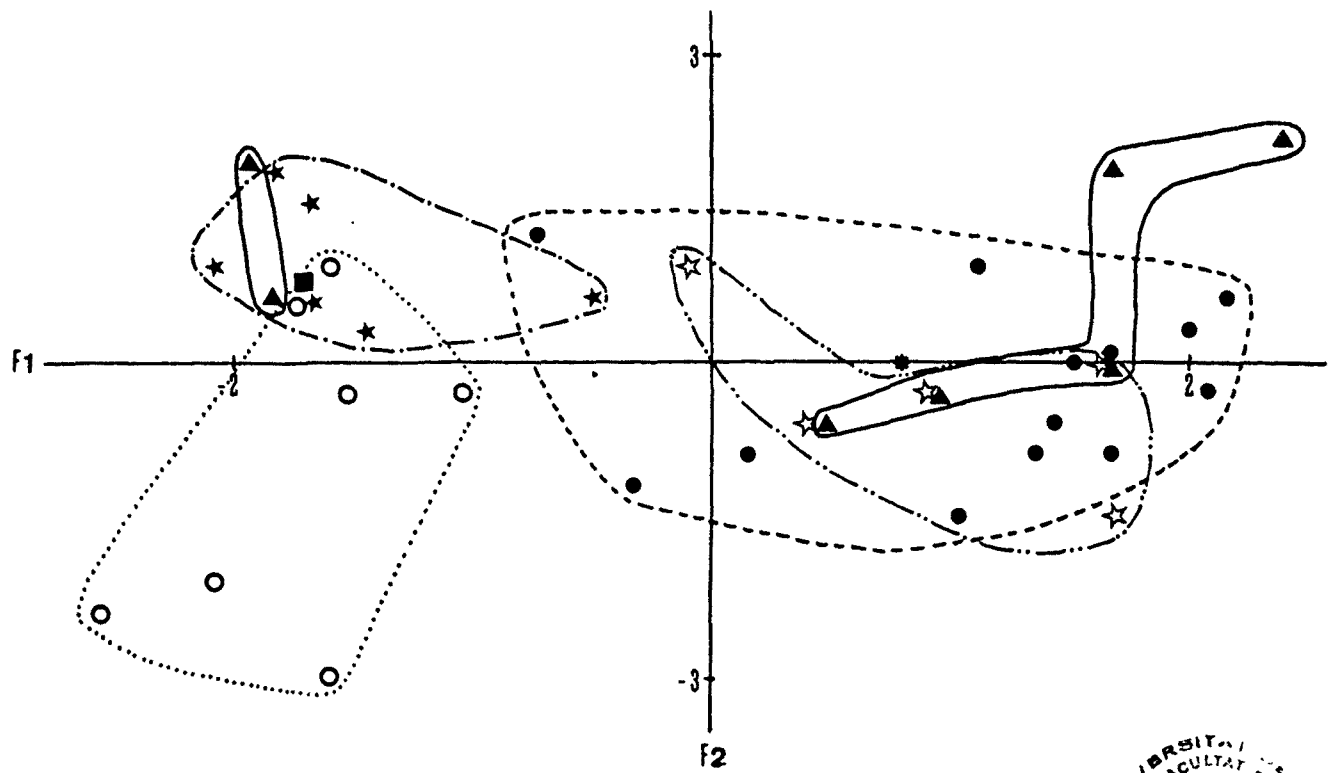


FIG. 2.8.

exclusión de una especie por otra, sino que la distribución local de las especies depende más de las respuestas particulares a los distintos factores abióticos. Ello justifica una aproximación al estudio de la distribución de las especies del género *Daphnia* en relación a los factores ambientales mencionados. No se incluye en este análisis a *D. mediterranea*, por ocupar claramente el espacio de las aguas salinas.

Los primeros planos de un análisis discriminante que maximiza las diferencias entre los 7 grupos de localidades habitados por cada una de las 7 especies (fig. 2.9; F1: 57.6 var., versus F2: 17.5 var., ó F3: 14.8 var.), revelan la existencia de dos agrupaciones de especies. Por una parte se tienen las que toleran la mineralización y son de aguas limpias o humosas: *curvirostris* + *longispina* + *pulex* + *magna*. Un segundo grupo incluye *atkinsoni* + *bolivari* + *obtusa* + *magna*, y se ubica en el área de menor mineralización, frecuentemente en aguas turbias. La doble presencia de *D. magna* en cada uno de los grupos obedece a un fenómeno de desplazamiento de nicho entre islas. En efecto, no existen puntos o localidades intermedias entre las dos áreas definidas por *D. magna*. Además, el área próxima a las aguas dulces y turbias lo forman localidades esteparias del sur de Mallorca, mientras que el área perteneciente al grupo de aguas limpias y mineralizadas lo constituyen únicamente localidades de Menorca, a las que se añadiría una cita del N de Mallorca, coexistiendo con *D. mediterranea*. En esta isla, donde no se ha reconocido aquella especie, las aguas fuertemente mineralizadas son ocupadas por *D. magna*. Se trata, en parte, de un ejemplo de la substitución de una especie vicariante (*D. mediterranea*) por otra de amplia valencia ecológica (*D. magna*). Similarmente se propone la substitución de los diaptómidos argilófilos por *A. wierzejskii* y de los calanoides propios de aguas fuertemente mineralizadas (*A. salinus*) por la misma especie. Ambos casos sorprendentemente ocurren en la misma región limnológica. Se trata del sector NE de Menorca, que contiene aguas turbias dulces y



- | | |
|---|------------------------|
| ▲ | <i>D. magna</i> |
| ● | <i>D. longispina</i> |
| • | <i>D. pulex</i> |
| ☆ | <i>D. curvirostris</i> |
| ■ | <i>D. bolivari</i> |
| ★ | <i>D. obtusa</i> |
| ○ | <i>D. atkinsoni</i> |

FIG. 2.9. Hiperespacio ocupado por las diferentes especies de *Daphnia* en Baleares, reducido a tres ejes mediante un análisis discriminante. Ver texto.

aguas salinas, aunque el poblamiento de calanoides y dáfnidos no conlleva especies características de estos ambientes. Quizás por tanto, pueda pensarse que esta región sea reciente desde el punto de vista histórico. Por otra parte se trata de la región geográficamente más extrema del promontorio balear, lo que es sugestivo en lo concerniente a la consideración de las posibilidades y vías de dispersión de las especies implicadas.

En la misma línea de estudio del espacio ecológico en que se segregan las distintas especies se presentan las medias de los parámetros químicos considerados previamente (tabla. 2.1).

TABLA 2.1. Valores medios de distintos parámetros químicos en localidades con *Daphnia* spp. en Baleares. (Al= reserva alcalina).

	Cl	Al	Na	K	Mg	Ca	N
	meq/l						
<i>D. magna</i>	38.44	2.32	26.36	.51	6.59	1.96	28
<i>D. longispina</i>	11.30	3.04	5.31	.19	3.32	2.02	35
<i>D. curvirostris</i>	13.91	4.56	10.37	.52	5.55	2.12	11
<i>D. pulex</i>	1.50	3.10	1.01	.11	1.43	2.26	2
<i>D. obtusa</i>	2.45	4.42	.86	.82	.91	2.71	6
<i>D. bolivari</i>	1.70	1.75	.32	.14	.36	1.94	1
<i>D. atkinsoni</i>	1.81	1.15	.70	.20	.52	.91	15

La afinidad ecológica entre especies por los parámetros escogidos puede medirse a través del tanto por ciento de los dos errores de clasificación, entre cada par de especies, surgidos del análisis discriminante efectuado sobre aquellos parámetros (tabla 2.3). Por supuesto que el alcance de estas afinidades está limitado al número de parámetros utilizado en el análisis discriminante; sin embargo, complementa las mediciones de afinidad simple en base a las dobles presencias, como la de Jaccard, en el sentido de que éste último mide la afinidad real, que integra la afinidad autoecológica y la derivada de la interacción biótica (relaciones tróficas, competencia); en el

primer caso, en cambio, sólo se observan parámetros relacionados con el medio físico.

Dos especies muy afines por su autoecología, podrían resultar deficientemente valoradas por un índice de afinidad basado en la doble presencia, si su coexistencia estuviera limitada por presiones competitivas con mayor o menor éxito en la exclusión de una de las especies; suposición que es razonable sostener al tratar varias especies de un mismo género.

Como test, se reproduce la afinidad real entre las diferentes especies de *Daphnia*, medida según el índice de Jaccard (tabla. 2.2). Los grupos de especies son los mismos que los que surgen a través de la autoecología de cada especie.

TABLA 2.2. Índice de afinidad de Jaccard (%) entre diferentes *Daphnia*. La afinidad real comporta la misma agrupación de especies que la afinidad derivada del solapamiento del hipervolumen físico ocupado por cada especie.

	longispina	curvirostris	magna	obtusa	atkinsoni
longispina	100				
curvirostris	6.98	100			
magna	3.28	5.40	100		
obtusa	0	0	3.03	100	
atkinsoni	0	0	0	5.0	100

TABLA 2.3. Afinidades en base a los errores (%) en la clasificación de las localidades agrupadas por contener una determinada especie de *Daphnia*, derivados del análisis discriminante de la figura 2.9.

	obtusa	magna	longispina	curvirostris	atkinsoni
obtusa	83.3	0	0	16.7	0
magna	28.6	57.3	0	14.3	0
longispina	7.7	15.4	61.6	7.7	7.7
curvirostris	0	20	20	60	0
atkinsoni	14.3	0	0	0	85.7

***Simocephalus vetulus* (O.F. Müller, 1776)**

Mallorca: Charcas bajo la presa del embalse de Cúber (6-.06.87), 348 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Menorca: Uno de los cladóceros más comunes en las aguas temporales, estancas o derivadas de torrentes retenidos; todo el año; 64 localidades; 709 a 8620 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ibiza: estanques de regadío en Es Broll y Les Feixes (08.02.88); 3 localidades; 693 to 704 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Su presencia es muy característica del sector silícico de Menorca, donde forma poblaciones densas en aguas libres extensas tanto como en pequeñas cubetas con vegetación, y las de ligera movilidad, que abundan sobre estos sustratos impermeables. En cautividad, se sujeta por las antenas a filamentos de algas y pequeños tallos y bate sus apéndices filtradores en esta posición sin desplazarse continuamente, lo que contribuye quizás a hacerla tolerante a un pequeño flujo de agua. Aparece en aguas transparentes y en aguas mineralizadas de cierta turbidez, aunque no en las muy turbias ocupadas por comunidades argilófilas. Es común en países lluviosos, en el litoral de los lagos.

***Simocephalus exspinosus* (Koch, 1841)**

Menorca: Repartida por la isla, pero más frecuente en el noreste, en aguas mineralizadas semipermanentes y temporales: Clot des Guix, Addaia, Fàtima, Morella, Tres Jurats, Camí dets Alocs, Son Abatzer, Torre Blanca, Colàrsega de Maó, Atalis, Canutells; 1651 a 9800 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Presenta un pecten basal que la diferencia de la especie anterior, siendo la forma más circular del ocelo, en lugar de alargado, un carácter no siempre muy exhaustivo. En ocasiones se encuentran ambas especies en una misma muestra. Alonso (1985) reconoce su extensión a aguas turbias con crustáceos argilófilos, fenómeno que no hemos reconocido en las islas, ceñida a aguas semiturbias mineralizadas o transparentes. Ocasionalmente aparece en aguas salobres con influencia marina directa, como se cita en Córcega (Margaritora et al., 1975).

***Ceriodaphnia reticulata* (Jurine, 1820)**

Mallorca: charcos freáticos permanentes transparentes en Sa Calobra; Torrent Sollerich, Torrent Fondo (Febrero, Junio); 470 to 3460 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Menorca: Muy común en aguas estancas y ligeramente corrientes, en toda la isla; Noviembre a Julio; 36 localidades; 706 a 5390 $\mu\text{S}/\text{cm}$, hasta 9800 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ibiza: estanque de regadío (09.02.88); 704 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Especie ubicua, con un característico pecten basal de 4-6 espinas grandes. Parece resistir salinidades mayores que *C. quadrangula*, por lo que es fácil encontrarla en todo tipo de aguas mineralizadas, aunque no saladas, excluyendo las turbias.

***Ceriodaphnia quadrangula* (O.F. Müller, 1785)**

Mallorca: Cúber (06.06.87), 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$, Lluçmajor (Enero) con 18 localidades; 223 a 356 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Menorca: en pequeñas cubetas en roca caliza, y en charcas semiturbias; Noviembre a Agosto; 16

- A Aluviones cuaternarios
 - B Arenales o Dunas
 - C Calizas o calizas y dolomías (C1)
 - D Areniscas silíceas (Trias rojo)
 - E Lutitas con calizas y areniscas (Paleozoico)
- Margas yesíferas del Keuper resaltadas

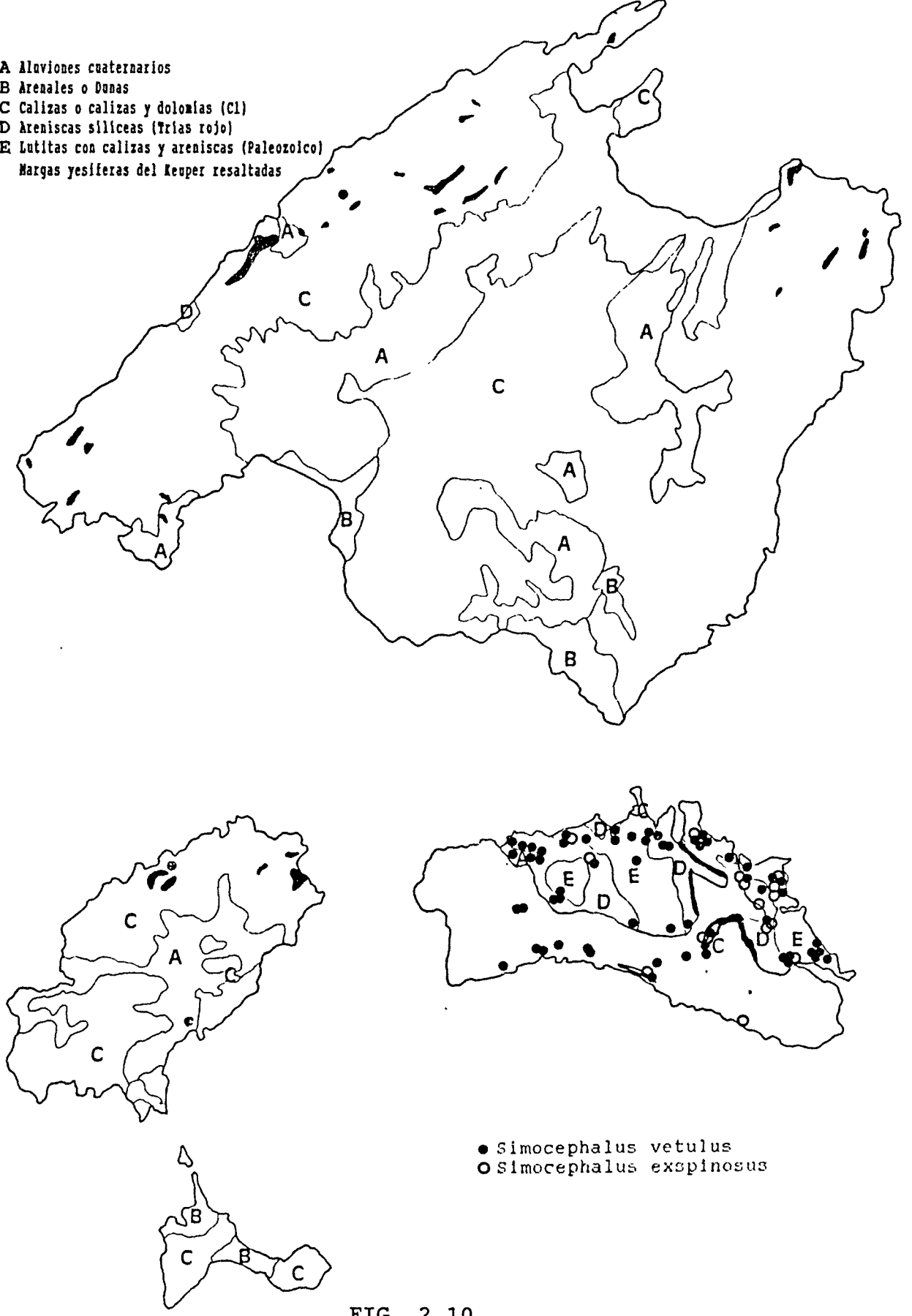


FIG. 2.10.

localidades; 204 a 3010 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y hasta 8700 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ibiza: Charca en Can Mestres (12.02.88), 322 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Su distribución en las islas va en acuerdo con la encontrada por Alonso (1985b), al referir su predilección por aguas temporales y turbias. Aparece con más frecuencia en aguas efímeras, incluso de escasos litros de capacidad, mientras que *C. reticulata* persiste por más tiempo en aguas semipermanentes.

***Ceriodaphnia dubia* Richard, 1894**

Mallorca: estanques de irrigación en Puigpunyent y Massanella, charca efímera en Binibona (Enero y Febrero), charca permanente húmica con caráceas en Lluçmajor; 514 a 890 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Menorca: Bassa Verda de la Vall y Es Mal Lloc, ambas temporales transparentes poco mineralizadas y con vegetación (15.05.84); 216 a 997 $\mu\text{S}/\text{cm}$, Febrero a Mayo.

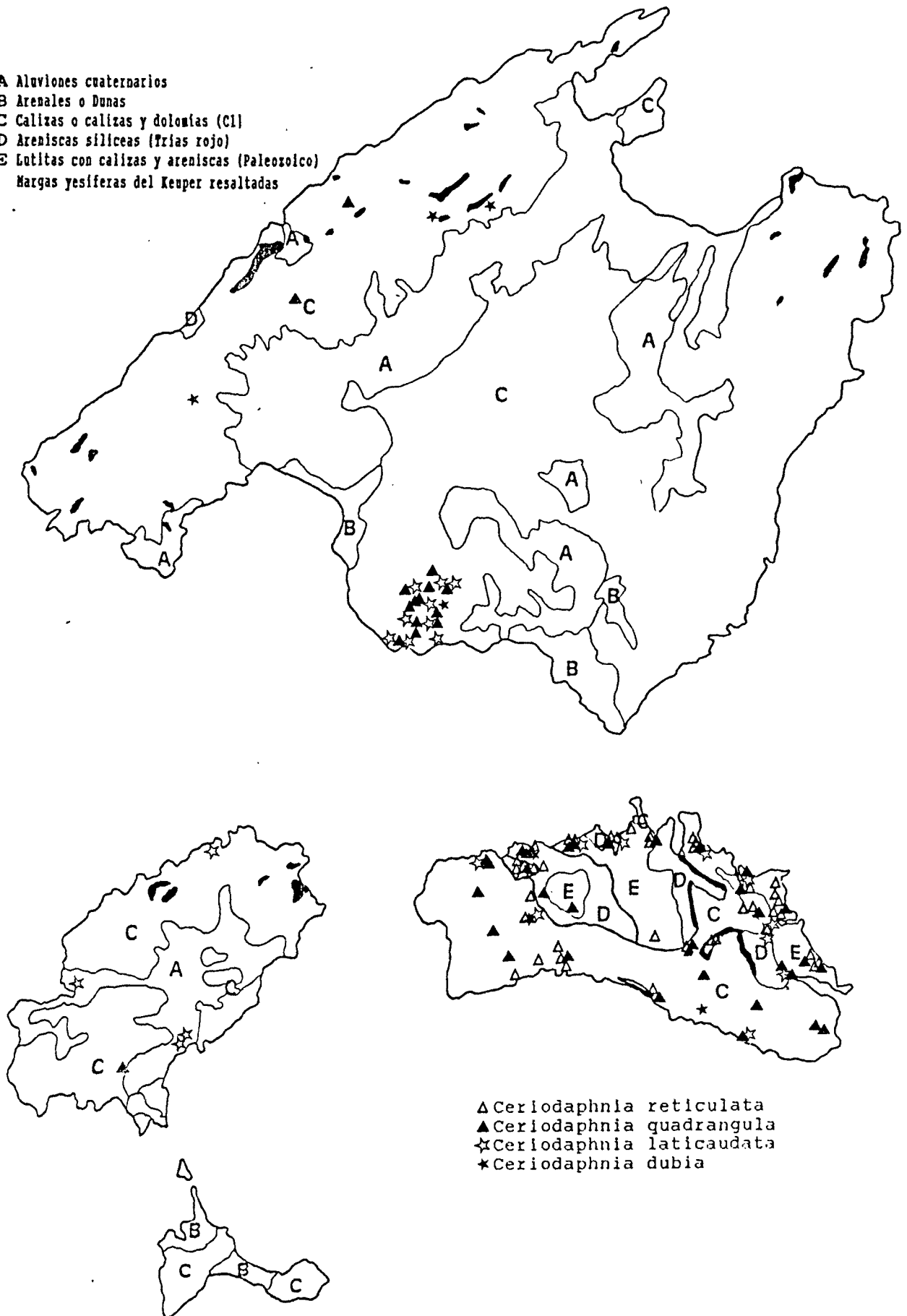
Presenta un micropecten algo más desarrollado entre 1/4 y 2/4 del recorrido de la garra. Es una especie propia de aguas temporales y permanentes limpias. Rara en España (Alonso, 1985b).

***Ceriodaphnia laticaudata* P.E. Müller, 1867**

Mallorca: en aguas temporales de Lluçmajor; 12 localidades; 158 a 1230 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Menorca: charcas turbias o transparentes en invierno y en aguas mineralizadas en verano (21.07.86 y 27.07.86); 12 localidades; 427 a 6830 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ibiza: charcas transparentes en Cala Xarraca, Les Feixes y Sant Antoni; 4 localidades; 1361 a 1335 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Formentera: en pequeñas cubetas temporales calizas de Ses Fontanelles y Porto Saler; 5 localidades; 280 a 1132 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

El postabdomen de esta especie tiene su máxima altura en la mitad de su recorrido; la cabeza no es espinosa. Se trata de una especie aparentemente más común hacia el sur del archipiélago, cuya distribución ecológica cabe aún precisar.

- A Aluviones cuaternarios
 - B Arenales o Dunas
 - C Calizas o calizas y dolomias (Cl)
 - D Areniscas silíceas (Frias rojo)
 - E Lutitas con calizas y areniscas (Paleozoico)
- Margas yesíferas del Keuper resaltadas



- △ Ceriodaphnia reticulata
- ▲ Ceriodaphnia quadrangula
- ☆ Ceriodaphnia laticaudata
- * Ceriodaphnia dubia

FIG. 2.11.