

Aportaciones al conocimiento de la biología, ultraestructura y micropaleontología del *Corallium rubrum* (L.) y de algunas otras variedades (*C. konojoi*, *C. elatius* y "coral fósil") en uso en la industria coralígena

Guillem MATEU

SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA
NATURAL DE LES BALEARS

Mateu, G. 2007. Aportaciones al conocimiento de la Biología, Ultraestructura y Micropaleontología del *Corallium rubrum* (L.) y de algunas otras variedades (*C. konojoi*, *C. elatius* y "coral fósil") en uso en la industria coralígena. In: Pons, G.X. i Vicens, D. (Edit.). Geomorfologia Litoral i Quaternari. Homenatge a Joan Cuerda Barceló. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 14: 137-154. ISBN 84-96376-13-3. Palma de Mallorca.

Se aportan observaciones propias y de otros autores sobre la biología, paleoecología, ultraestructura, fisiología del Coral rojo (*Corallium rubrum*) y de otras "variedades" utilizadas en joyería e industria del coral. El "coral fósil" de Sciacca y el coral-rosa (*konojoi*) y coral blanco-japonés ("*elatius*") han acrecentado su uso ante la sobre-explotación y escasez del coral rojo en el Mediterráneo. Nuevos conocimientos bioquímicos obligan a un replanteamiento sobre el proceso de biomineralización del eje esquelético y de las espículas del *C. rubrum* que son distintos y no que el eje esquelético proceda de la recristalización de espículas o escleritos originados por escleroblastos mesogleicos de los pólipos. Fenómenos geotectónicos y climáticos, Pliocuaternarios obligaron al *Corallium rubrum* a un cierto estancamiento en el área mediterránea.

Palabras clave: *Corallium rubrum*, "coral fósil", coral rosa o *konojoi* y coral blanco *elatius*, biología, ultraestructura, industria.

APORTACIONS AL CONEIXEMENT DE LA BIOLOGIA, ULTRAESTRUCTURA I MICROPALAEONTOLOGIA DEL *Corallium rubrum* (L.) I D'ALTRES VARIETATS (*C. konojoi*, *C. elatius* I "CORALL FÒSSIL") A L'ÚS DE LA INDÚSTRIA CORAL-LÍGENA. Observacions pròpies i bibliogràfiques ens ajuden a conèixer millor la biologia, ecologia, ultraestructura i biomineralització del *C. rubrum*. A més a més, l'aprofitament del "Coral fòssil" i de varietats rossa i blanca ens ajuden a resaltar la necessitat de regular la sobreexplotació del *C. rubrum*, del que nous estudis bioquímics han descobert que les espínules mesogleiques són independents de la biomineralització de l'eix esquelètic del corall. Causes geotectòniques i climàtiques tenen molt a veure amb l'acantonament mediterrani del *C. rubrum*.

Paraules clau: *Corallium rubrum*, "corall fòssil", corall rosa o *konojoi* i corall blanc *elatius*, biologia, ultraestructura, indústria.

Guillem MATEU, Laboratori de Micropaleontologia; Edifici Guillem Colom - UIB.

Introducción

Desde aquella Primera Consulta Técnica sobre el *Corallium rubrum*, celebrada por el CGPM en Palma de Mallorca (13-16 Diciembre de 1983), se fueron desarrollando investigaciones pluridisciplinares acerca de la Biología, Micropaleontología, Paleoeología y Diagenesis mineralógica de este Antozooario, de gran interés en el mundo del arte y de la industria. Pero fue, sobre todo a partir de las publicaciones de diferentes autores, como fruto de un programa de investigación del Instituto Español de Oceanografía (I.E.O., 1986) lo que, temporalmente, reavivó en nuestro país el interés por el estudio de coral. Posteriormente tales investigaciones fueron expuestas en la segunda Consulta Técnica del Consejo General en Pesca del Mediterráneo (C.G.P.M.) de la FAO (Mateu, 1988), celebrada en septiembre de 1988 en Torre del Greco (Italia), ciudad cercana a Nápoles, centro mundial de la industria y del arte coralígenos (Liverino, 1984).

A todos aquellos estudios e investigaciones sobre el coral rojo hay que añadir otras más recientes innovaciones bioquímicas, paleoecológicas y ultraestructurales mediante microscopia electrónica sobre este polípero, material cada vez más escaso debido a la sobrepesca y tan difícil de cultivar que los industriales tienen que acudir al uso de formas exóticas y hasta a la explotación de yacimientos fósiles o subfósiles (Allemand *et al.*, 1990; 1994; Grillo *et al.*, 1990; Russo, 1995; Sartoretto, 1995, etc.).

Biología del Coral

En el estudio multidisciplinar del coral durante estas dos últimas décadas se han aportado datos nada despreciables sobre su

bioecología, destacando que sus condiciones óptimas de vida se cumplen debajo de la termoclina de verano, en niveles con irradiación inferior a 130 cal/cm²/año, en aguas poco agitadas, en ausencia de sedimentos y a profundidades óptimas de 60 a 100 m (Stiller *et al.*, 1983).

Además, ahora van conociéndose mejor las estrategias reproductoras del *C. rubrum*, ya que a la sabida colonización por larvas plánulas hay que añadir las observaciones de Lasker (1984) (*in* Russo, 1995) sobre la propagación asexual del coral. Si las larvas alcanzan grandes distancias, la forma asexual por propágulos o fragmentos autotómicos coloniza espacios más próximos y a la vez vigoriza con mutantes obtenidos por vía sexual la larga vida y las exigencias ecológicas de tales octocoralaris que se localizan, sobre todo, en rendijas y grutas sciafilas y en espacios libres de algas del nivel infralitoral.

Frente a la sobre-explotación de los fondos coralígenos un mayor conocimiento de la dinámica de implantación de sus larvas y del desarrollo de sus colonias puede acercarnos al difícil cultivo industrial del coral, teniendo en cuenta que el tiempo excesivo en la obtención de individuos de 15 cm de altura exigirán unos 25 años para su desarrollo y posterior utilización en joyería.

La preferencia de sus larvas (plánulas, ciliadas y libres) para fijarse sobre "coralígeno" o sustrato orgánico endurecido, no sólo implica el conocimiento previo de las diversas especies que forman las comunidades de dichos ecosistemas y la estratificación de sus poblaciones (Gili y Ros, 1984; Mateu *et al.*, 1986b), sino que el tiempo y lugar de desprendimiento de larvas por las colonias de *C. rubrum* nos indica que las cerca de 2000 larvas/colonia desprendidas, suelen desarrollar su vida pelágica entre junio y setiembre (Stiller *et al.*, 1983) y que

su posterior implantación no puede desvincularse de un sustrato biogénico específico y de cierto grado de porosidad de la roca, en áreas posiblemente vinculadas a fenómenos volcánicos (Sanz, 1983).

El crecimiento alométrico del coral implica un desarrollo distinto no sólo entre las ramas principales (0,2 - 0,5 cm/año) y secundarias (0,1 - 0,81 cm/año), sino también entre el esqueleto axial y el cenosarco, que crece más rápidamente. Además el desarrollo diametral del coral (*Corallium rubrum*) de unos 2 mm/año (García-Rodríguez *et al.*, 1986) supone unos ritmos de crecimiento, controlados por factores genéticos y ambientales y expresados en aquellas bandas concéntricas del esqueleto axial, donde el color claro, hialino y poco denso de las bandas estivales, indicarían mayor contenido orgánico y el color opaco y oscuro y más denso de las bandas invernales, correspondería a un mayor contenido en carbonatos (García-Rodríguez y Massó, 1986).

De ahí que la colonia de pólipos del Coral alternaría un proceso larvario veraniego con una mayor actividad de biocalcificación invernal, dentro de unos parámetros de acidez, temperatura y salinidad compatibles con la formación de carbonatos y teniendo en cuenta el grado de competencia que sobre el Ca tienen sobre todo el Sr y el Mg, que ofrecen un factor de discriminación, menor en el estroncio que en el magnesio en los corales calcítico-ahermatípicos, mientras en las formas aragonítico arrecifales, como los Heliopóridos, prevalece el Sr sobre el Mg (Mateu *et al.*, 1986a).

Una línea muy interesante de investigación es la que actualmente se sigue en el Museo Oceanográfico de Mónaco en la búsqueda de un modelo biológico para interpretar la biocalcificación de estos octocoralarios (Grillo *et al.*, 1990; Allemand *et al.*,

1990; 1994). Con la tradicional observación del microscopio fotónico el eje esquelético del coral aparece enfundado en el cenosarco que comprende ectodermo periférico y monoestratificado, mesoglea y células en contacto con el mismo eje esquelético (Lacaze-Duthiers, 1864). Ya destacamos el papel bioconstructor de estos pólipos en régimen colonial y comunicados por canales longitudinales periaxiales y canaliculos anastomosados a través de la masa cristalina axial que dimos por micrita (Mateu, 1986) y que Grillo *et al.* (1990) definen como calcita fibrosa, cuya materia orgánica (0,50%) juega un importante papel en la biocalcificación de los corales, que como vamos a ver, es diferente en el esqueleto axial y en las espículas.

Allemand *et al.* (1994), al diferenciar las estructuras calcíticas del esqueleto y de las espículas o escleritos del *C. rubrum* y analizar sus respectivas matrices orgánicas concluyen lo siguiente: 1) que la sulfatoglicosamina se da en la matriz de las espículas y no aparece en la matriz de los esqueletos, 2) que tanto la materia soluble de la matriz como la insoluble, es menor en el esqueleto que en las espículas y sólo estas últimas contienen sulfato-glicosaminoglicans (GAGS), y 3) que la matriz orgánica sólo alcanza el 1,6% del *C. rubrum*, con un 75% de materia insoluble y un 25% de materia soluble, el primero rico en aminoácidos no polares (glicina) y el segundo en ácido aspártico. Todo esto hace pensar que tanto en el esqueleto como en las espículas, los procesos de biomineralización, tanto cualitativos como cuantitativos, son distintos, ya que las matrices mineralizadoras son distintas, el ectodermo "secretor" de eje y espículas es diferente y las macromoléculas orgánicas realizan un papel distinto en la biomineralización del eje esquelético y de las espículas. Ambos tienen proteínas, carbohi-

dratos, glicosaminoglicans (GAG), pero sólo las espículas tienen sulfatoglicosaminoglicans (GAGS) tanto en su fracción soluble como en la insoluble. Lo que supone que el esqueleto axial no proviene de un proceso de recristalización biomicrobiana de espículas o escleritos, como antes se pensaba (Mateu *et al.*, 1986b).

Interesa incrementar los conocimientos sobre la Biología del coral con su metabolismo, sus exigencias tróficas y biotópicas, sus modos y tiempos de reproducción sobre todo teniendo en cuenta el desprendimiento e implantación de larvas sobre determinadas coberteras biogénicas, sin descuidar el grado de mortandad natural y/o provocada. Temas a ensayar en una difícil acuicultura de unos Antozoarios cuya lentitud de creci-

miento se contrapone a su gran demanda industrial.

En el Mediterráneo, con biotopos coralígenos generalmente por debajo de la termoclina veraniega y con una media anual de 15 a 16° C de temperatura, se dan casos de mortandad de *C. rubrum* si las temperaturas de verano fueron excesivamente elevadas (Stiller y Riniere, 1983). Además se ha observado un cierto geonegativismo de larvas plánulas del coral cuando remontan a la superficie a fines de junio, mientras, a finales de setiembre se han recogido larvas en aguas más profundas. Esta vida planctónica libre puede durar unos 15 días, dando paso a la vida bentónica del coral a partir de una masa discoidal con depresión central que se fija en el sustrato "coralígeno" (Lámina 1),

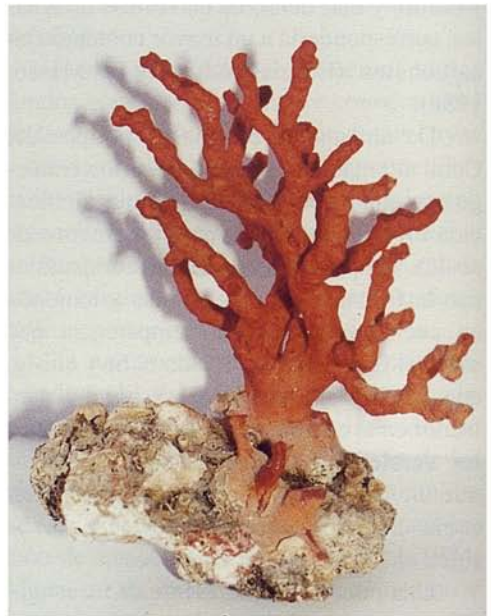


Lámina I

Fig. 1. Coralígeno de sedimento orgánico compactado y consolidado con serpulidos, briozoos, etc. sobre el que crecen varios estolones de *Corallium rubrum*.

Fig. 2. Ejemplar de *C. rubrum* de 9 cm de alto x 10,5 cm de ancho, procedente de Punta del Vent (Formentor - Mallorca). Profundidad 60 m. (Fotos: G. Mateu Vicens).



Lámina II

Fig. 1. *Corallium rubrum* con epibiontes (serpúlidos) y desgastado su cenosarco por esponjas y organismos endolíticos (Sa Foradada, Deya. Mallorca). Profundidad 30 m.

Fig. 2. *C. rubrum* de unos 20 mm de diámetro en su zona de máximo grosor, por pertenecer a la VI clase de edad de *C. rubrum* de Harding (In: García-Rodríguez & Massó, 1986) tendría de 10 a 15 años.

formando colonias, que por gemación pueden alcanzar el número de hasta 136 por m² en las anfractuosidades y unos 19 por m² en paredes verticales o subverticales, siendo nula su presencia en áreas de régimen hidrodinámico fuerte (Harmelin, 1983).

No solamente la hidrodinámica incide en la vida coralígena, también la competición interespecífica, la ruptura de la fijación en el sustrato, el acúmulo de sedimentos, la predación no humana y la invasión de organismos endolíticos y epibiontes como las esponjas que, atacando el cenosarco erosionan la estructura calcárea del esqueleto. Además de otros pequeños organismos sésiles como briozoos, serpúlidos, foraminíferos, hidrozoos, etc.

Hay registrados episodios de mortandad catastrófica como aquel del siglo XIX de Sciacca (Liverino, 1984) (Láminas IX y X), de carácter vulcano-sísmico-sedimentario y con casi 11 millones de kg de coral, o más recientemente en agosto del 83, la muerte de las colonias de *C. rubrum* de las costas de Provenza, por el excepcional recalentamiento de las aguas superiores a los 32 m. Otras causas letales relacionadas con la contaminación, podrían favorecer un desequilibrio competitivo del ecosistema coralígeno motivando una masiva reproducción de organismos epibiontes e incrustantes que, como pasa con los serpúlidos (v.g. del género *Filograna*) rebajan sobremanera la vitalidad del coral (Harmelin, 1983).

Paleoecología del Coral

La distribución mediterránea del coral (Marchetti, 1965) parece estar relacionada a las áreas volcánicas y sísmicas de un mar (Hsü *et al.*, 1978), cuyo origen y desarrollo del ecosistema ahermatípico, hay que vincularlo a la continentalización plio-pleistocé-

nica del mismo. Convertido en doble cubeta termostática, con temperaturas meso-batipelágicas no superiores a los 15° C y con aguas epipelágicas sujetas a los cambios climáticos atlánticos perialpinos, que son incompatibles con los ecosistemas maduros del sistema aragonítico-arrecifal de los países tropicales (Mateu, 1991).

Los factores geotectónicos finimiocénicos, sobre todo en Alborán y Gibraltar (Campillo *et al.*, 1992) y las fluctuaciones glacioeustáticas pleistocénicas han hecho posible el acantonamiento coralígeno en el Mediterráneo cuya línea de costa ha sufrido regresiones aproximadas de casi -125 m (Mateu *et al.*, 1984) con la franja infra-circalitoral, sujeta a condiciones subáreas en los estadios pleniglaciares y actualmente ocupada por el ecosistema coralígeno de los tiempos interglaciares.

En el contexto paleoecológico del Holoceno (10.000 a. B.P.) y más concretamente a partir de la Transgresión Flandriense de hace unos 7000 a. B.P. (Mateu *et al.*, en prensa) el ecosistema coralígeno, en general se ha mantenido ya que su actividad genética y biocenótica parece compatible con los gradientes de variación batimétrica y eustática de sus áreas de producción (Wells, 1957), a nivel local y de forma esporádica alterados, por ejemplo, por los citados episodios catastróficos de Sciacca (Sicilia) posiblemente vinculados a la geotectónica del todavía activo arco calabro-tunecino (Genesseeux *et al.*, 1983). Como tampoco puede olvidarse que la hipohalinización de las aguas mediterráneas respecto de las atlánticas en los momentos de máxima deglaciación podría haber alterado el modelo hidrodinámico a través de Gibraltar (Caralp, 1988) causando estagnación y depleción de oxígeno en el Mediterráneo, favorables a la precipitación de calcita magnésica como el que hubo en el

área tirrénica y del estrecho de Sicilia (Vergnand-Grazzini *et al.*, 1988), donde se produjo el enorme yacimiento de "coral fósil" explotado después por la industria italiana (Peruzy, 1923).

Los componentes químicos del coral (82 a 87% de CO_3Ca ; 7% de CO_3Mg y el resto de SO_3Ca , fosfatos, materia orgánica, etc.), su nivel de dureza de 3,3 a 3,4 de la escala de Mohr y su peso específico que oscila entre 2,6 a 2,7, exigen de este antozooario una notable estenohalinidad y un nivel térmico relativamente estable. De ahí que el excesivo aporte de aguas de lluvia y fluviales puede alterar la salinidad de los ecosistemas coralígenos y el rápido aumento de producción planctónica de dinoflagelados ("marea roja") pudo no ser ajeno a ciertas alteraciones paleoecológicas del coral, como lo fueron de otros grupos estenohalinos a través de la historia biológica marina (Erba 1994).

Micropaleontología del Coral

El coral rojo, *Corallium rubrum*, crece sobre sustrato orgánico más o menos endurecido llamado "coralígeno" (Lámina 1) que, junto con el sedimento de sus oquedades e intersticios nos dio un contenido protistológico y microalgal de 85 especies de foraminíferos y 16 formas de cocolitofóridos. El estudio taxonómico, ecológico e "histórico" de 45.200 individuos de estos microorganismos asociados al coral rojo (Mateu y Gazá, 1986) nos permitió ver que sólo un 47% de foraminíferos proceden del antiguo ecosistema arrecifal balear de hace unos siete millones de años, o sea que pasaron la crisis evaporítica mediterránea del Mesiniense y viven hoy adaptados al nivel infra-circalitoral donde se reproduce el coral rojo. Las demás especies del coralígeno

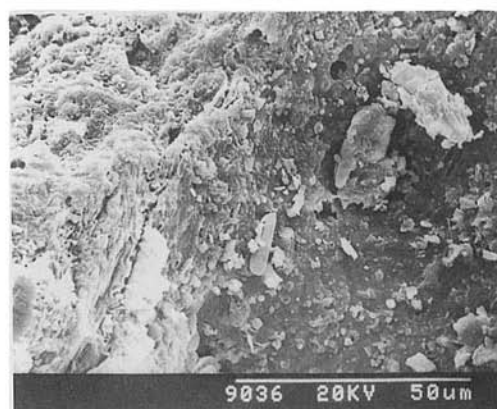
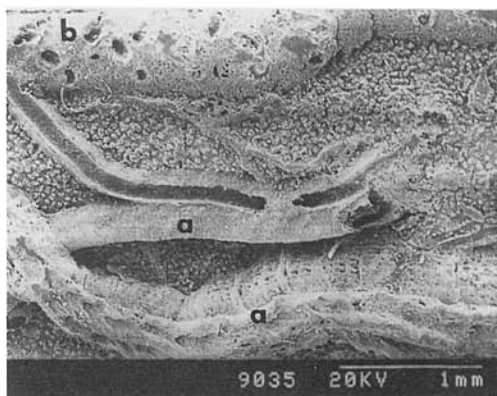


Lámina III

Fig. 1. *Corallium rubrum* atacado por epibiontes sobre todo poliquetos (serpúlidos) (a) y briozoos (b) y otros microorganismos endolíticos que degradan el coral. (Microscopía electrónica de barrido, M.E.B.).

Fig. 2 y 3. Cocolitofóridos y otros microorganismos adheridos al *C. rubrum* (M.E.B.).

no son plio-pleistocénicas o sea propias de un Mediterráneo abiohermático o sea no arrecifal ni tropical, convertido hoy en mar semicerrado y termostato del Atlántico. Desaparecieron los macroforaminíferos arrecifales y finimiocénicos (*Amphistegina*, *Heterostegina*, etc.) y tan solo ciertos Soritidae (*Peneroplis*, *Amphisorus*, *Dendritina*, etc.) evocan entre el bentos aquellas condiciones fitotropicales de fines del Terciario, como la abundancia de determinadas formas planctónicas sedimentadas entre el sustrato coralígeno, unas (*Gobigerinoides trilobus*, *G. ruber*, *Orbulina universa*, etc.) recuerdan las comunidades epipelágicas anteriores a la desecación mediterránea y otras como la exuberante presencia de *Globorotalia inflata*, forma sinistrorsa y mesoepipelágica está relacionada con el marcado enfriamiento superopliocénico del Mediterráneo de 3,2 a 2,5 millones de años B.P. (Mateu y Gazá, 1986b).

La evolución micropaleontológica del Plioceno y del Pleistoceno, en los niveles infra-circalitorales del Mediterráneo, va ligada a la gradual implantación del ecosistema coralígeno, donde se reproduce el *C. rubrum* y cuyas biofacies están dominadas ahora por foraminíferos bentónicos calcáreo-perforados (Homotrematidae, Discorbidae, Cibicididae, Ephidiidae), calcáreo-porcelanoides (Hauerinidae, antes Miliolidae) y aglutinados (Textulariidae) además de tantas otras especies, cuya sistemática y ecología ya tenemos descrita, sobre todo a partir de aquellos datos radiométricos de Kukla et al. (1979) que sitúan el límite Plioceno/Pleistoceno en los depósitos de los "solitary corals" (*C. rubrum*?) de Santerno, en la costa italiana del Adriático y cuya antigüedad de 1.85 ± 0.1 m. a. B.P., situaríamos ahora en el Plioceno superior, siguiendo la Comisión Internacional de Estratigrafía (1989) que coloca el límite Plioceno/

Pleistoceno en los 1.6 Ma. B.P. o sea casi 200.000 años más "moderno" de lo tradicionalmente establecido. Límite entre el Terciario y el Cuaternario que con la "astronomically calibration Timescale" de Lourens et al. (1996), basado en la precesión solar registrada en los ciclos sedimentarios de sapropeles y carbonatos marinos del SE. de Calabria, vuelve a una mayor antigüedad de 1,806 Ma. B.P. la edad del Cuaternario, más conforme con los datos radiométricos de Kukla et al. (1975) de aquellos depósitos coralígenos provenientes del mismo Adriático italiano.

Ultraestructura del Coral

Precisamente el análisis con microscopio electrónico de barrido (scanning) y la difracción con RX del "coral fósil" de Sciacca (Láminas IX y X), ofrece un esqueleto axial (Lám. X, fig. 1) recubierto de una funda roja (a) a manera de cenosarco que recubre un anillo de material compacto (b) que envuelve una serie de canalículos longitudinales, entorno a unos septos secundarios (d) entre grandes espacios longitudinales libres de calcita. La ultraestructura del anillo compacto (b) aparece en fig. 3 más o menos fibrosa, mientras que en fig. 4 y 5 a unos 2500 aumentos, aparece la estructura micrítica de la calcita de un coral con escasa compactividad axial. Aquí tendríamos que relacionar esto con procesos lentos de disolución que han permitido conservar los grandes rasgos de su estructura y cuya cubierta roja nos recuerda aquellos procesos de estructuras orgánicas mineralizadas donde un medio sedimentario sobresaturado de CO_2Ca , en su primer momento y en exceso de iones de magnesio podría inhibir la precipitación de la calcita y favorecer la conservación de la envoltura orgánica o

cenosarco con la progresiva formación de núcleos microcristalinos entre las capas proteicas (Mateu *et al.*, 1980; 1986a).

Las ultraestructura del "coral fósil" (Lámina X) podemos compararla con las correspondientes al "coral rosa" o *C. elatius* (Láminas IV y V) y al "coral blanco" o *C. konojoi* (Láminas VII y VIII) y vemos que, la estructura fibroso-cristalina del esqueleto axial es en ambos de una gran compatividad, detalle que posiblemente guarda una determinada relación con el porcentaje de matriz orgánica en espiculas y esqueleto axial.

Y como caso curioso ofrecemos un ejemplar de coral rojo cubierto de epibiontes (Lámina II, Fig. 1) donde la presencia de poliquetos (Lámina III, Fig. 1) y cocolitofóridos (Lámina III, Fig. 2 y 3) suponen un deterioro progresivo del cenosarco y cuya notable tasa de mortandad, como hemos observado en ciertas áreas del litoral de Mallorca, se debe a la invasión de organismo sesiles (esponjas, poliquetos, etc.), favorecida por la alteración natural y/o antropológica del medio marino.

Discusión y perspectivas

En base a los datos antecedentes, de cosecha ajena y propia, sobre el coral no parece inoportuno destacar la importancia de su estudio para racionalizar su explotación y profundizar en su biología y ecología tratándose de un organismo de alto valor industrial y de difícil cultivo. Estas y otras razones nos mueven a destacar lo siguiente:

1.- El avance en las investigaciones del *C. rubrum* sobre todo de aquellos aspectos bioquímicos (enzimas que regulan la calcificación, cinética de intercambio de iones, matriz orgánica, etc.), embriológicos (eclosiones larvares, periodicidad, selectividad

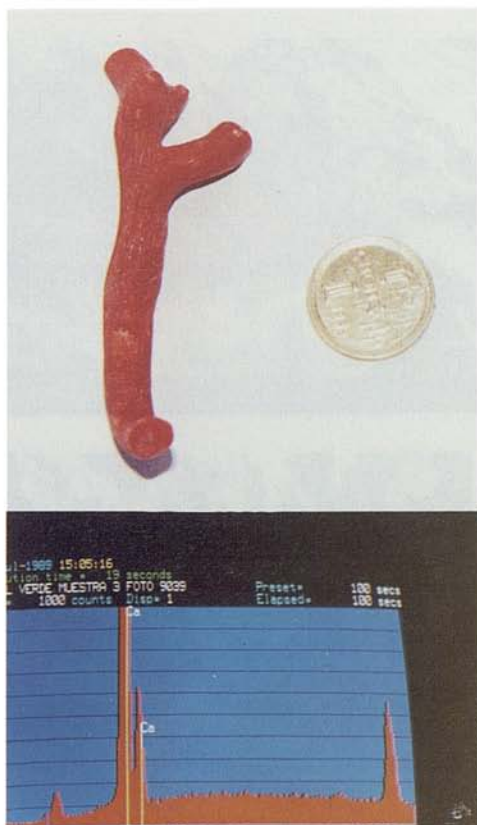


Lámina IV *Corallium "elatius"* - Coral rosa (Boke) del mar del Japón. Profundidad 250 m.

Fig. 1. Fragmento de 65 mm de largo y 7 mm de ancho, de *C. elatius* o coral rosa.

Fig. 2. Microanálisis elemental del coral rosa, netamente calcítico y libre de otros elementos extraños.

en su implantación, etc.), ecológicos (competencia interespecífica, límites de tolerancias a temperatura, salinidad, etc.), son de capital importancia para la difícil acuicultura del coral rojo.

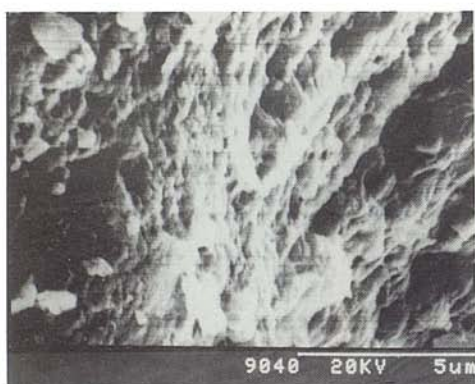
2.- Los estudios paleobiogeográficos y micropaleontológicos del "coral fósil", con la incidencia de los episodios geotectónicos y paleoceanográficos, en el origen y evolución de tales yacimientos, sobre todo sirviéndonos de registros geoacústicos de los



1



2



3



4



5

Lámina V

Fig. 1 a 5. Ultraestructura fibroso-cristalina y naturaleza calcítica del "coral rosa", con un alto grado de compactividad, muy apreciada en joyería (M.E.B.).

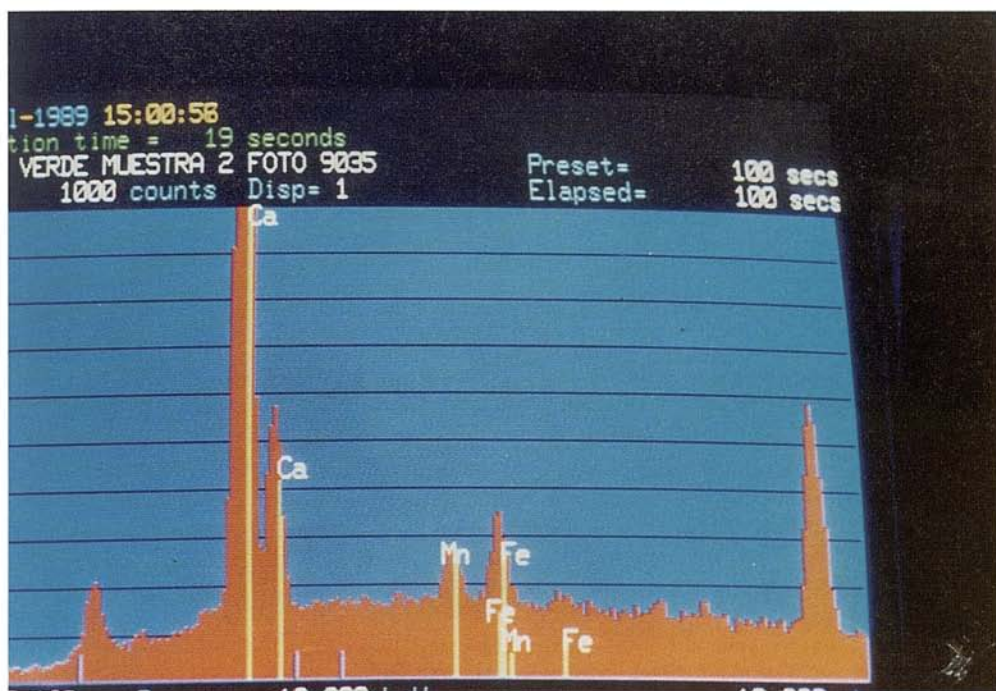


Lámina VI

Fig. 1. *Corallium elatius* con epibiontes (M.E.B.).

Fig. 2. Microanálisis elemental del *C. elatius* con epibiontes, de los que podría depender la presencia de Mn y Fe.

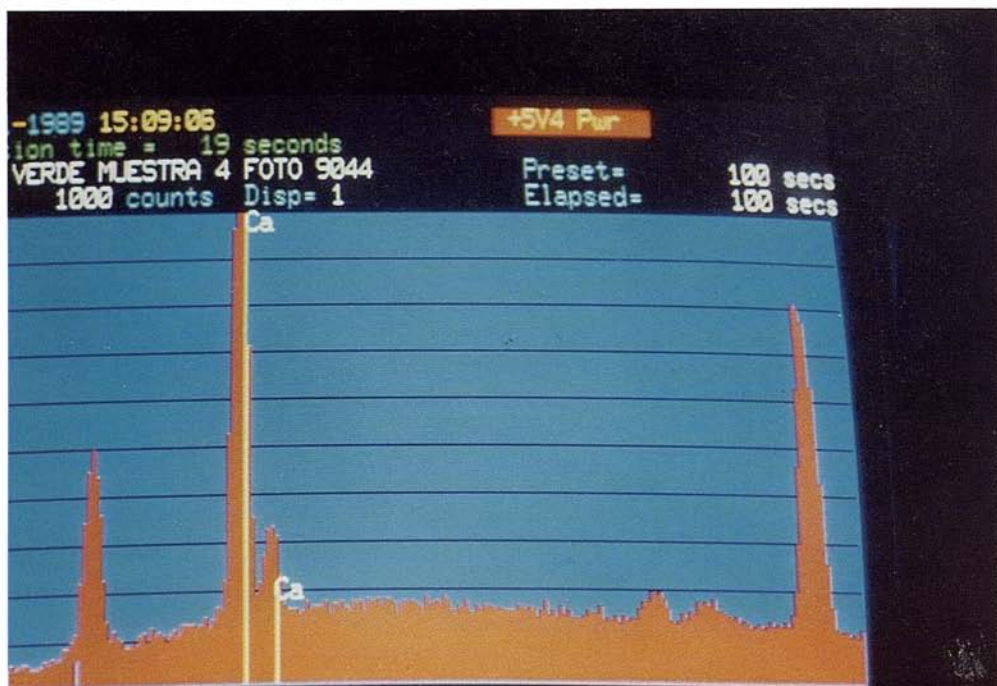


Lámina VII

Fig. 1. Fragmento de unos 40 x 35 mm de *C. konojoi* o coral blanco japonés. Profundidad: de 100 a 200 m.
Fig. 2. Microanálisis elemental del coral blanco o *konojoi*, sin epibiontes.



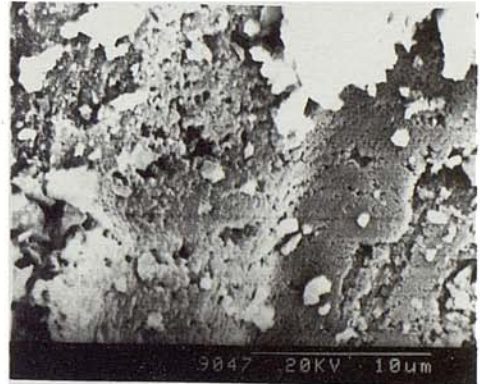
1



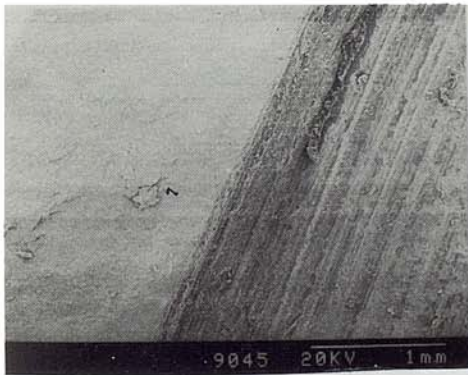
2



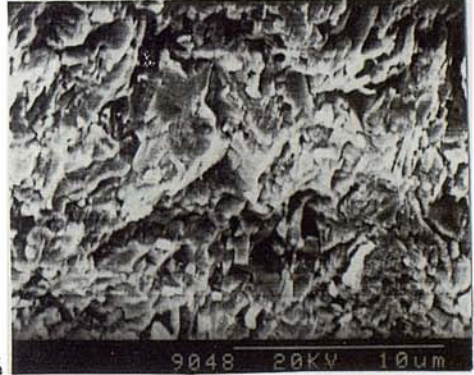
3



4



5



6

Lámina VIII Ultraestructura fibroso-cristalina del coral blanco o japonés (*C. konojoi*) con microscopio electrónico de barrido. (Figs. de 1 a 6).

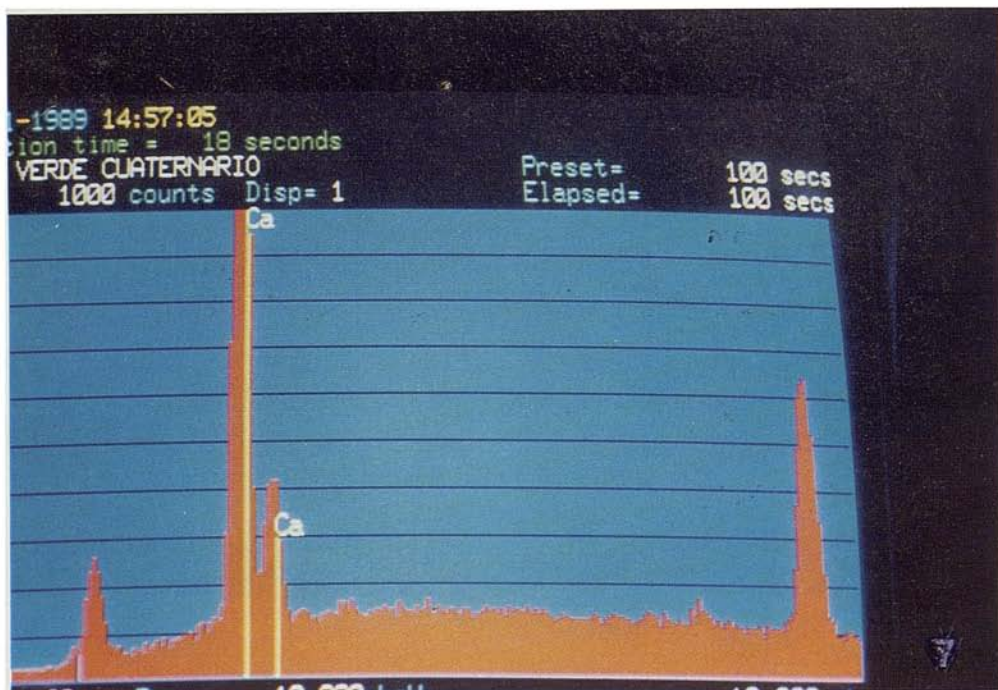
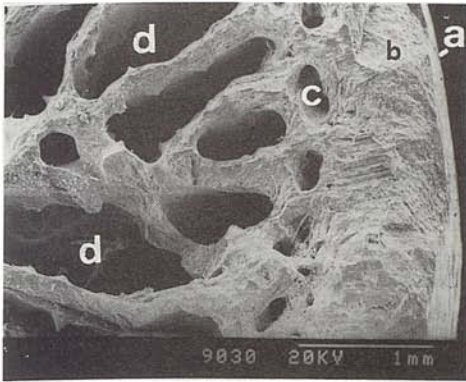


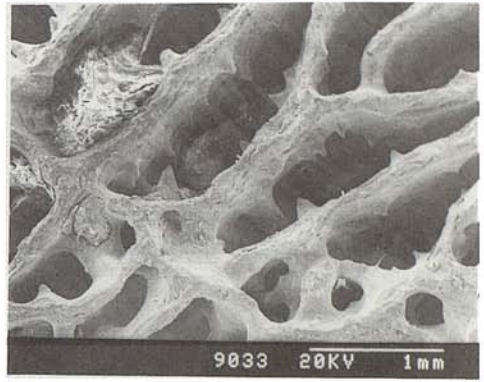
Lámina IX

Fig. 1. "Coral fósil" de Sciacca (Sicilia), antes de su "relleno" artificial de sus oquedades internas, para su uso en la industria coralígena.

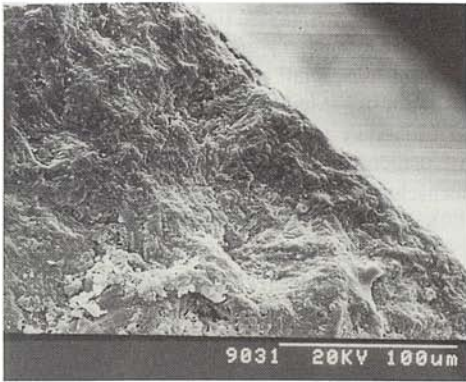
Fig. 2. Microanálisis elemental del "coral fósil".



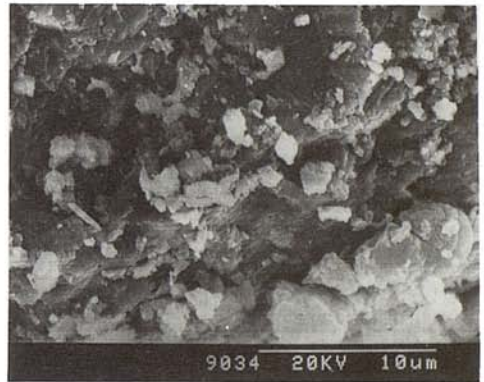
1



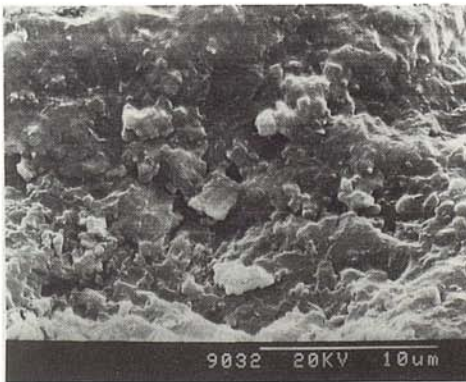
2



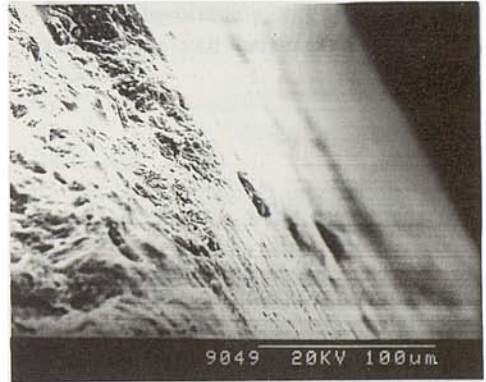
3



4



5



6

Lámina X Diversos aspectos ultraestructurales del "coral fósil", con M.E.B.

Fig. 1. Visión conjunta con la envoltura mineralizada de color rojo que evoca el cenosarco (a) del coral rojo. Aquí recubre un anillo calcítico compacto (b) que rodea un círculo de canales paralelos (c) al eje, con el área interna del endoesqueleto lleno de lagunas irregulares (d), con pérdida extraordinaria del elemento calcítico original.

Fig. 2. Detalle del área interna descalcificada formando trabéculas más o menos anastomosadas.

Fig. 3 y 6. Estructura fibroso-cristalina del coral internamente descalcificado por procesos tafonómicos y medio-ambientales.

Fig. 4 y 5. Aspecto micrítico de la calcita ya que los cristales, al parecer, no sobrepasan las 4 micras de tamaño.

fondos marinos y de sus correspondientes estudios biocronoestratigráficos.

3.- Los análisis con microscopía electrónica y röntgenografía de las diversas "variedades" del coral, pueden servirnos de pauta para su aprovechamiento industrial, siempre buscando formas más compactas o ensayando técnicas de regeneración artificial de su complejo cristalino deteriorado por el tiempo. Aquí un estudio radio-isotópico de tales formas podría orientarnos sobre la edad de los mismos y determinar la tasa de deposición de la cobertera sedimentaria, cuyas posibles causas geofísicas y/o tectonoglacioestáticas se tendrían que esclarecer.

4.- La cartografía biogeográfica de áreas coralígenas y los posibles ecosistemas de niveles batimétricos más profundos, son tareas muy costosas, pero de gran interés para la industria del coral, ante una difícil acuicultura coralígena, cuya lenta tasa de crecimiento de los individuos, no está en consonancia con la abundante demanda industrial de una materia prima, que con criterios ecologistas hay que proteger y racionalizar.

Agradecimientos

A D. Carlos Massó, oceanógrafo del Instituto Español de Oceanografía, coordinador de los estudios de coral rojo en el seno del I.E.O., por su interés en proporcionar medios y materiales.

Al Prof. Dr. B. Liverino de Torre del Greco (Italia) por sus libros y materiales.

Al Dr. Ferrán Hierro, del Servicio de Microscopía electrónica de la Universitat Illes Balears, por la colaboración en microscopía electrónica y microanálisis.

A la Srta. M^a Cruz Iglesias, del Centro Oceanográfico de Baleares, por la transcripción del original.

Bibliografía

- Allemand, D. y Grillo, M.CH. 1990. La biocalcification chez le Corail rouge: *C. rubrum*. Aproxes Biochimique et Physiologique. *Rapp. Comm. int. Mer Méd.*, 32, 1 (M-VIII).
- Allemand, D., Cuif J.P., Watabe N., Ioshi M. y Kawaguchi T. 1994. The organic matrix of skeletal structures of the Mediterranean Red coral, *Corallium rubrum* Stratigraphy of the Western Mediterranean and Southern Calabrian ridges, Eastern Mediterranean. *Bull. Inst. Oceanogr. Monaco*, 14(1): 129-139.
- Blechs Schmidt, G., Cita M.B., Mazzei, R. y Salvatorini G., 1982. Stratigraphy of the Western Mediterranean and Southern Calabrian ridges. Eastern Mediterranean. *Mar. Micropal.*, 7: 101-134.
- Campillo, A.C., Maldonado A. y Manffret A. 1992. Stratigraphic and Tectonic Evolution of the Western Alboran Sea: late Miocene to Recent. *Geo-marine Letters*, 12 (2/3): 165-172.
- Caralp, M.H. 1988. Late Glacial to Recent deep-sea benthic Foraminifera, from N.E. Atlantic and Western Mediterranean. *Mar. Micropal.*, 13: 265-289.
- Erba, E. 1994. Nannofossils and superplumes: the Early Aptian "nannoconid crisis". *Paleoceanography*, 9(3): 483-501.
- García Rodríguez, M. y Masso, C. 1986. Algunas bases para determinación directa de la edad del coral rojo (*C. rubrum*). *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 3 (4): 65-74.
- García Rodríguez, M. y Masso, C. 1986. Estudio biométrico de poblaciones de coral rojo (*C. rubrum*) del litoral de Gerona. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 3 (4): 61-64.
- Genesseeaux, M.G. y Stanley, D.Y. 1983. Neogene to Recent displacement and contact of Sardinian and Tunisian marginal. *Smith Contrib. Mar. Sc.*, 23: 1-20.

- Gili, G.M. y Ros, J.D. 1984. In: *Les sistemas naturals de les Illes Medes*. Ros, Olivella i Gili Eds. Institut Estudis Catalans, 38: 677-705.
- Grillo, M.CH. y Allemand, D. 1990. La Biocalcification chez le corail rouge *Corallium rubrum*. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 32,1 (B-III13).
- Harmelin, J.G., 1983. Biologie du corail rouge. Parametres de populations, croissance et mortalité naturelle. Etat des connaissances en France. *FAO Rapp. Pêche*, 306: 99-103.
- Hsu, K.J., Montadert, L., Bernoulli, D., Cita, M.B., Erickson, A., Garrison, R.E., Kidd, R.B., Melieres, F., Muller, C. y Wright 1978. *History of the Mediterranean salinity crisis*. In: *Inst. Rep. D.S.D.P.*, Vol. XLII. Kidd R.B. and Worstell p. Eds. pp. 1053-1078.
- I.E.O. 1986. Boletín Instituto Español de Oceanografía, 3(4): 1-114.
- Kukla, G., Collins, B.P. y Bender, M.L., 1979. Radiometric age of the *Artica islandica* in Italy: 2 m.y. *Ann. Geol. Pays Hele.*, Tom. hors serie, fasc. II: 699-309.
- Lacaze-Duthiers, H. 1864. Histoire naturelle du corail. J.B. Bailière ed. Paris, 371p.
- Lasker, H.R. 1984. *Mar. Ecol. Progr. Serv.*, 19: 261-268.
- Lourens, L.J., Antonarakou, A., Hilgen, F.J., Van Hoof, A.A.M., Vergnaud-Grazzini, C. y Zachariasse, W.J. 1996. Evaluation of the Plio-Pleistocene astronomical timescale. *Paleoceanography*, 11(4): 391-413.
- Liverino, B. 1984. *I corallo*, Analisi Trend, Bologna, 229 págs.
- Maldonado, A. 1992 (edit.). Alboran Sea. *Geo-Marine Letters*, 12(2/3).
- Marchetti, R. 1965. Recherche and corallo rosso della costa ligure e toscana. Distribuzione geografica. *Rend. Inst. Lomb. Lett. (B. Sci. Biol. Medi.)*, 99.
- Mate, P., Revenga, S. y Masso, C. 1986. Estudio preliminar de la composición química del coral rojo (*C. rubrum*) de distintas zonas del Mediterráneo. *Bol. Inst. Españ. Oceanogr.*, 3(4): 53-61.
- Mateu, G. 1988. Consideraciones sobre la biología, la paleoecología y la ultraestructura del *C. rubrum*. Alternativas de la coralicultura y del aprovechamiento industrial del coral fósil. *FAO Fisheries Report*, 413: 61-66.
- Mateu, G. 1991. *Micropaleontología sedimentaria del Caribe y sus afinidades con las formaciones arrecifales del Mioceno terminal de Mallorca*. Publ. Govern balear - Palma de Mallorca: 128 pág.
- Mateu, G. y Fontarnau, R. 1980. Contribución al conocimiento de las oolitas del Mar Menor (Murcia, España). *Bol. Geol. Min. XCI-III*: 441-457.
- Mateu, G., Rey, J. y Díaz del Río, V. 1985. Les paleolits de la Baie de Palma de Mallorca: interpretation sismique et datation biochronologique. *Rapp. Com int. Mer Médit.*, 29(2): 39-45.
- Mateu, G., Travería, A., Fontarnau, R. y Masso, C. 1986a. Biodiagénesis mineralógica del *Corallium rubrum*. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 3(4): 1-12.
- Mateu, G. y Gazá, M. 1986b. Micropaleontología circalitoral y coralígena, Foraminíferos y cocolitofóridos asociados a *Corallium rubrum* (L.): Sistemática, ecología y evolución paleoceanográfica. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 3(4): 13-52.
- Mateu G., Viñals, M.J., Moreiro, M. y Nadal, G. La Transgresión Flandriense a través de los Foraminíferos bentónicos del mar Balear. (En prensa).
- Perutzy, L. 1923. I corallo e la sua Industria - Napoli, 79 págs. "Biblioteca Storica del Coralo (edit. 1988).
- Russo, G.F. 1995. Autotomi and induced fragmentation in the red coral (*Corallium rubrum*). *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 34, 42.
- Sartoretto, St. 1995. Preliminari results of the growth rates of Deep "coralligene" algal banks in the Bay of Marseille - radiocarbon dating. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 34, 43.
- Sanz, J.L. 1983. Utilización de técnicas geofísicas en la prospección de coral rojo. Posible asociación bio-ecológica. *FAO Rapp. Pêche*: 306: 97-98.
- Stiller, M.A. y Rivoire G. 1983. Biologie et ecologie du corail rouge en Mediterranée française. *FAO Rapp. Pêche*: 306: 89-93.

- Vergnaud-Grazzini, C., Borsetti, A.M., Cati, F., Colantoni, P., d'Onofrio, S., Saliege, J.F., Sartori, R. y Tampieri, R. 1988. Palaeoceanographic record of the Last deglaciation in the Strait of Sicily. *Mar. Micropal.*, 13: 1-21.
- Wells, M.W. 1957. Coral reefs. *Geol. Soc. Amer.*, 67 (1): 609-631.