

Depósitos coralinos litificados en el Estrecho de Gibraltar

Lithified coral mounds in the Gibraltar Strait

F.J. Izquierdo, M. Esteras y N.G. Sandoval

Sociedad Española de Estudios para la Comunicación Fija a través del Estrecho de Gibraltar. (SECEG,SA). C/ Estebanez Calderon, nº 3, 1ªA. Madrid, 28020.

ABSTRACT

With the results obtained in the various marine campaigns carried out in the Strait of Gibraltar Sill, an area covered with ahermatipic coral mounds and hardgrounds very lithified has been encountered in its central and deepest part (180-300 m). The strong marine currents and the different nature of the waters (Mediterranean and Atlantic) that meet in the Strait play a main role in the development of the deep mounds because they are responsible for the elongated shape and lithification that affect both coral mounds and hardgrounds between them. The term lithoherm, already used in the Strait of Florida, is adopted for these kinds of biogenic sediments.

Key words: Strait of Gibraltar, ahermatipic corals, subsea lithification, lithoherms.

Geogaceta, 20 (2) (1996), 401-404
ISSN: 0213683X

Introducción

Con el objetivo de obtener un conocimiento lo más detallado posible de las áreas por las que discurren las trazas de las diferentes soluciones constructivas propuestas (puente o túnel) para realizar el enlace fijo entre España y Marruecos a través del Estrecho de Gibraltar, se han llevado a cabo una serie de campañas de investigación geofísica, oceanografía, toma de muestras (1840), sondeos cortos (45 con penetración máxima de 5m), inspección mediante el sumergible tripulado "ARGUS" (17 inmersiones), etc., que han aportado una gran cantidad de información sobre los diferentes aspectos geológicos de la zona. Los estudios se han centrado principalmente en dos sectores que atraviesan el Estrecho de norte a sur (Fig. 1): [1] Corredor de Umbral (zona de menores profundidades, situado al O de Tarifa) y [2] Corredor del monte Hércules (zona de menor distancia entre las costas española y marroquí, al O de Algeciras). En el presente artículo haremos referencia principalmente al Corredor del Umbral ya que ha sido éste el más intensamente investigado.

Geológicamente, la zona se incluye en el denominado Arco de Gibraltar, rasgo fisiográfico generado por el desplazamiento hacia el O, durante el Mioceno inferior-medio, del Bloque de Alborán sobre los segmentos corticales Sudibérico y Magrebí (Balanya y García Dueñas, 1988), dando como resultado el apilamiento de las diferentes unidades situadas en el prisma de acreción existente junto al frente bético-rifeño. Las Unidades de Flysch, en las que se incluye la totalidad del Umbral, están constituidas por una serie de

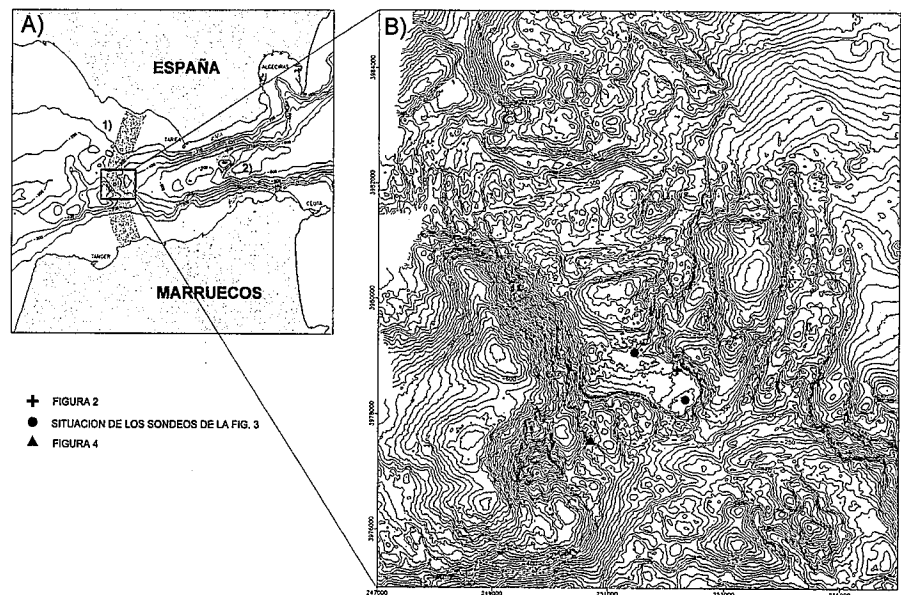


Fig. 1. -A) Mapa de situación: 1. Corredor del Umbral. 2. Corredor del monte Hércules. B) Batimetría del sector central del Umbral (equidistancia, 10 m), las zonas más elevadas corresponden al monte Seco (al N), monte Tartesos (centro) y cresta de Kmara (al S), en todas ellas aflora el sustrato de flysch. Entre ellos se sitúan las zonas cubiertas por acumulaciones bioclásticas de corales, los procesos de encostramiento afectan a todo el área.

Fig. 1. -A) Situation map: 1. Sill Corridor. 2. Mount Hercules Corridor. B) Bathymetry of the central Sill (equidistance, 10 m). The high reliefs correspond to mount Seco (in the N), mount Tartesos (centre) and crest of Kmara (in the S), in all of them the flysch units are cropping out. The areas between them are covered by coral deposits, encrusting processes affect all the zone.

mantos de naturaleza fundamentalmente arcilloso-calcareo, desde el Cretácico medio hasta el Oligoceno y arenoso-margosa, hasta el Burdigaliense, que se continúan con similitud de litologías a ambos lados del Estrecho. Los materiales

presentes en el fondo marino deben corresponder a varias de las unidades reconocidas en las áreas emergidas, según confirman las distintas investigaciones llevadas a cabo. Sin embargo, en los sectores centrales, y más profundos del Um-



Fig. 2. - Aspecto de un lateral de un montículo (lithoherm) de varios metros de altura situado en la meseta existente al sur del monte Tartesos, se puede observar la abundancia de organismos adheridos a su superficie. Foto tomada de una grabación del "ARGUS" (prof. 270 m).

Fig. 2. - Lateral view of a mound (lithoherm) of several metres height situated on the meseta at the south of mount Tartesos, many living organisms can be observed attached to its surface. Photo taken from an "ARGUS" video recording (depth :270 m).

bral hay una zona donde no ha sido posible determinar la naturaleza del sustrato debido a la presencia de acumulaciones bioclásticas, principalmente coralinas, muy cementadas y encostradas, de espesor desconocido, que son objeto del presente artículo.

Fisiografía y dinámica marina

El Umbral del Estrecho de Gibraltar conecta las plataformas española y marroquí con una dirección aproximada N-S, representa una elevación topográfica en relación con las áreas que lo bordean cuyas profundidades llegan a alcanzar más de 500 m en la zona oriental y hasta 630 m en la occidental (Hoyas de Levante y Poniente respectivamente), si bien a mayores distancias tanto hacia el mar de Alborán como hacia el Atlántico son muy superiores. Los fondos mínimos en el Umbral son de 90 m (monte de Seco) en el sector septentrional, 150 m (monte Tartesos) en la parte central y 200-250 m (Cresta de Kmara) en la meridional mientras que las profundidades máximas se alcanzan en la zona central con más de 300 m. Por su parte, el monte Hércules se encuentra en la denominada Cresta Central del Estrecho, una elevación alargada y orientada en dirección E-O con cotas que alcanzan los 450 m desde los 650 m de su base.

El Estrecho de Gibraltar posee una gran singularidad oceanográfica debido a su ubicación en la zona de confluencia de las aguas de origen

atlántico (temperaturas entre 13.5 y 16 °C y salinidades inferiores al 37‰) y las del Mediterráneo occidental (temperaturas medias inferiores a 12.9 °C y salinidades por encima del 37‰). La distinta naturaleza de ambas masas de agua provoca su diferenciación por densidades dando lugar a un flujo de salida, en profundidad, de las aguas mediterráneas hacia el O y otro de entrada, en superficie, de las atlánticas hacia el E originándose intensos procesos de mezcla en la interfase. Este hecho unido al efecto que en el área tienen las mareas oceánicas provoca la existencia de fuertes corrientes marinas cuyas máximas velocidades pueden llegar a alcanzar 2,5 m/s en el fondo y aun mayores en superficie. Por otra parte, debido a las variaciones de los gradientes geostróficos con los ciclos mareales en el Estrecho las corrientes sufren importantes oscilaciones tanto en sentido como en módulo. Hay que destacar que es precisamente en las zonas del Umbral y del monte Hércules donde las corrientes son máximas ya que es en ellas donde las secciones hidráulicas son mínimas, en un caso por poseer las menores profundidades y en el otro las menores anchuras.

Características de las formaciones coralinas

Las campañas de investigación realizadas en el Estrecho de Gibraltar han revelado la presencia en ciertas zonas de un recubrimiento constituido por acumulaciones bioclásticas, principalmente coralinas, generalmente muy cementadas y de

espesor desconocido sobre las que crecen organismos vivos de la misma naturaleza, así como un encostramiento generalizado sobre todo tipo de sustratos que afecta a un área más extensa. Con los resultados obtenidos se ha elaborado una detallada cartografía geológica (Sandoval *et al.*, 1996.) en la que ha sido posible determinar con exactitud la distribución de las formaciones biogénicas, quedando limitadas, en el Umbral, a la franja situada entre las coordenadas U.T.M. 3.976.000 / 3.984.000 de latitud y 247.000 / 255.000 de longitud donde las profundidades oscilan entre 150 y más de 300m, mientras que en el monte Hércules parecen cubrir toda la zona investigada.

La morfología de las áreas cubiertas por este tipo de sedimentos (deducida por batimetría de detalle y sonar de barrido lateral) es muy irregular. Sobre un fondo relativamente plano se elevan montículos de varios metros de altura y decenas de longitud (Fig. 2), suelen tener forma alargada, con el eje mayor orientado según la dirección de la corriente predominante (E-O). Aparecen cubiertos por organismos vivos (corales, briozoos, balanus, esponjas, etc.) o muertos, pero en posición de vida, cuya distribución varía según la profundidad y orientación respecto a las corrientes marinas. En las zonas donde la estructura interna de los montículos es reconocible se aprecia una grosera estratificación en capas de varios centímetros de espesor desigualmente cementadas. Los testigos y muestras obtenidas (Fig. 3) indican que se trata de conglomerados bioclásticos, principalmente de corales ahermatípicos, tanto ramificados como solitarios con proporciones variables de fragmentos de briozoos y balanus, en general poco o nada rodados. La composición de la matriz oscila entre los tamaños arena y arcilla siendo destacable una fracción de barro micrítico probablemente originado por la precipitación directa de calcita rica en Mg. El porcentaje de matriz es variable lo que hace que la porosidad sea también muy irregular, con zonas en las que es prácticamente nula y sólo existe la de origen mólido y otras en las que ocupa un importante volumen de la roca. Es común la presencia de grandes vacuolas o huecos de origen deposicional tapizados por cemento calcáreo. El grado de cementación es normalmente alto variando en relación directa con el porcentaje de matriz tal y como se ha observado en algunos testigos que han atravesado varias de las capas antes aludidas, esto da lugar a una alternancia entre niveles de mayor y menor grado de cementación, al cortar varias de ellas. En los límites entre capas sucesivas se aprecian, en algunos casos, superficies oscuras originadas por alteración y precipitación de óxidos de Mn, de aspecto similar al que presenta el fondo marino actual.

Las áreas situadas entre los montículos son relativamente planas aunque de microbatimetría irregular, están formadas por sedimentos también bioclásticos en los que el esqueleto está prin-

principalmente compuesto por fragmentos de corales y de roca de litología diversa cuyo tamaño varía desde microconglomerático a arenoso (inferior, por tanto, al de los montículos), poseen un mayor grado de rodadura y porcentaje de matriz y menor porosidad. La litificación y encostramiento en estos sedimentos es muy importante. Este tipo de fondos suele estar desprovisto de sedimentos no consolidados si bien se producen grandes acumulaciones de grava bioclástica en zonas deprimidas o al abrigo de las corrientes junto a los montículos (Fig. 4). La superficie presenta, a pequeña escala, una gran irregularidad debido a los procesos de disolución y erosión que han actuado, a pesar del importante encostramiento existente. Destaca la presencia de pátinas oscuras de óxidos (probablemente de Fe y Mn). Todo este conjunto de características son las típicas de fondos endurecidos o "hardgrounds" originados por la actuación simultánea de procesos de disolución, erosión, encostramiento, litificación y actividad orgánica. El espesor es desconocido, si bien en algún sector han sido atravesados en su totalidad (< 5m) hasta alcanzar el substrato de flysch.

Al microscopio los depósitos de montículos varían entre calizas bioclásticas conglomeráticas (tanto matriz como clasto-soportadas) y arenosas, en general clasificables como biomicruditas. Cuando el esqueleto está constituido por fragmentos grandes de corales la matriz arenoso-margosa contiene porcentajes de hasta un 30% de cuarzo además de cantidades variables de fragmentos de roca de las diferentes litologías de flysch presentes en el área. Los bioclastos pertenecen en su mayor parte a corales ahermatípicos, con claro dominio de los ramificados sobre los solitarios. Es frecuente la presencia en la matriz de restos rodados de tamaño arena de algas corallináceas (rodofíceas), que indican un aporte de sedimentos desde las plataformas o desde áreas elevadas como el monte Tartesos ya que este tipo de organismo únicamente habitan en áreas someras dentro de la zona fótica. Abundan en la matriz los restos de diversos foraminíferos plantónicos.

Los análisis del cemento, realizados por difracción de rayos X y microscopio electrónico, muestran que se trata de agregados cristalinos micríticos de calcita con alto contenido en Mg (origen típicamente marino). La intensa cementación calcárea es un proceso de fundamental importancia y muy extendido en todo el área del Umbral, es el responsable de la litificación tanto de los depósitos bioclásticos de las zonas centrales como de los sedimentos de talud y borde de talud reconocidos en varias de las inmersiones efectuadas por el "ARGUS" en tomo a las plataformas.

Tipos de organismos y edades

La clasificación de los corales y briozoos recogidos en muestras y sondeos (Alvarez, G. et al., 1995) indican la existencia de formas ramifi-

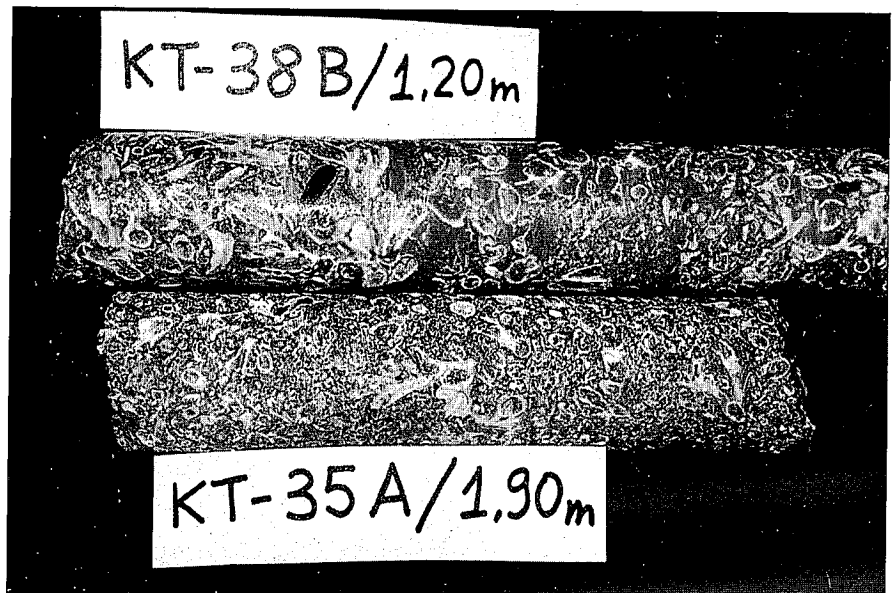


Fig. 3. - Testigos constituidos por conglomerados bioclásticos de fragmentos de corales ahermatípicos ramificados, muy cementados y en matriz arenoso-margosa. Pertenecen a dos sondeos efectuados en la meseta central (prof. 255 m).

Fig. 3. - Bioclastic conglomerates cores of branching ahermatipic coral debris, very cemented and with marly-sandy matrix. Drilled in the central meseta (depth: 255 m).

casas coloniales tales como *Madrepora oculata*, *Lophelia pertusa* y *Dendrophyllia cornigera*, etc., todas ellas ya reconocidas en otras partes del Mediterráneo occidental y Atlántico norte. Se trata de corales ahermatípicos que suelen habitar a grandes profundidades (entre 150 y 1000 m) y en aguas relativamente frías (Teichert, C., 1958). Junto a ellos aparecen formas solitarias (*Caryophyllia cyathus*, *Desmophyllum cristagalli*, etc) también ahermatípicas, pero de menor profundidad. Respecto a los briozoos, dominan en las aguas profundas las formas erectas rígidas firmemente unidas al substrato rocoso y en las someras los tipos flexibles. En las inmersiones efectuadas se observó la abundancia de *Balanus* sésiles, su clasificación no se ha realizado, pero parecen pertenecer al género *Verruca*, típico de aguas profundas y agitadas. Además de los organismos descritos existen en las áreas cubiertas por acumulaciones y costras bioclásticas, aunque en menor proporción, esponjas, gasterópodos, hidrozooos y ophiuros. Un hábitat tan rico en nutrientes favorece la abundancia de peces por lo que constituyen zonas de pesca preferente en el entorno del Estrecho de Gibraltar.

En tres de los testigos obtenidos en la zona central del Umbral (260-280 m), correspondientes a conglomerados bioclásticos, se han realizado seis dataciones mediante C^{14} , que indican edades que oscilan entre 22.000 y 34.000 años para los fragmentos de corales analizados. Estas edades se corresponden con el último período glacial, si bien es claro que la litificación es un proceso activo en la actualidad, aunque con menor intensidad.

Discusión y conclusiones

La existencia de acumulaciones bioclásticas, principalmente de corales ahermatípicos con importantes grados de cementación en aguas profundas ha sido descrita en otras partes del mundo tales como el Estrecho de Florida (Neumann et al., 1977) o el Atlántico norte (Teichert, 1958, las cita en las costas de Noruega). En estas zonas se han reconocido montículos de hasta 50 m de altura rodeados por fondos encostrados, que en el Estrecho de Florida se han denominado *litohermos*. Los litohermos no se consideran bioconstrucciones en sentido estricto sino acumulaciones biogénicas litificadas *in situ*, por debajo de la zona fótica, por lo que nos parece un término apropiado para definir el tipo de depósitos presentes en el Estrecho de Gibraltar, cuyo Umbral, y en concreto sus zonas más profundas, reúne una serie de condiciones que le hacen apto para el desarrollo de litohermos y hardgrounds.

El modelo genético propuesto para la creación de este tipo de depósitos (Mullins et al., 1981) consiste en el desarrollo de una secuencia de estructuras que se inician con la formación de colonias coralinas simples y aisladas sobre fondos endurecidos. La unión de varias de ellas da lugar a un aumento de la complejidad y diversidad biológica, que provoca el progresivo crecimiento de la colonia por la acumulación de los fragmentos esqueléticos, que constituyen el substrato de nuevos organismos y que actúan como una malla que atrapa sedimentos más finos ya sean bioclásticos o líticos. En el estadio final se llega a la formación de litohermos s.s. en los cuales sobre una estructura constituida por

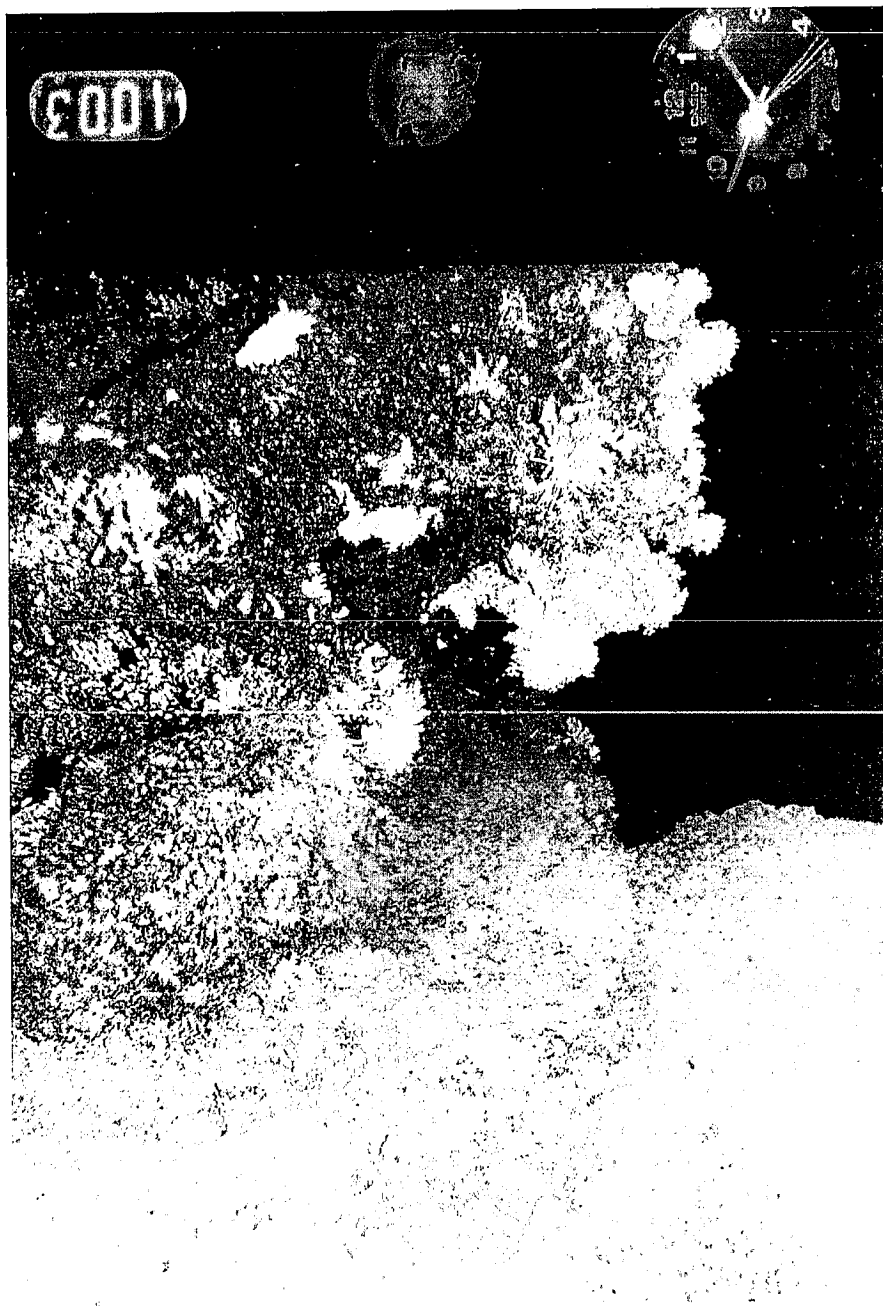


Fig. 4. - Grava muy poco rodada de fragmentos de corales, briozoos y balanus, acumulada junto a un depósito bioclástico litificado. La matriz suele estar constituida por arena y fango calcáreo en fase de consolidación. Foto tomada por el "ARGUS" (prof. 346 m) al O de la meseta central.

Fig. 4. - Not very rounded gravel of coral, bryozoos and balanus debris, accumulated beside a lithified bioclastic deposit. The matrix is usually made up of sand and carbonatic mud in phase of consolidation. Photo taken by "ARGUS" west of the central meseta (depth: 346 m).

fragmentos de varias generaciones de corales muertos y de varias decenas de metros de espesor se desarrollan colonias vivas de corales y otros organismos bentónicos como briozoos, balanus, ophiuros, etc. adaptados a fondos duros y de alta energía. La morfología de los montículos se debe a la actuación de las corrientes oceánicas, que dan forma elongada, paralela la dirección de

lamisma, a una acumulación que en principio debería ser semiesférica. La potencia de los litohermos en el Estrecho no se conoce con precisión, pero supera los 5 m (máxima longitud perforada en las campañas de sondeos), alcanzando su máximo desarrollo en la meseta ubicada al sur del monte Tartesos (Fig. 1).

En el desarrollo de estas estructuras juega un

papel fundamental la litificación submarina, cuyos mecanismos no son aún bien conocidos, pero que en el Estrecho de Gibraltar deben estar relacionados con la compleja dinámica marina existente. Como ya se ha indicado, en profundidad existe una masa de agua de origen mediterráneo, fría y de alta salinidad, que al llegar a las proximidades del Umbral se ve forzada a ascender desde las grandes profundidades a que se encontraban en el mar de Alborán, con el consiguiente descenso de presión y aumento de la temperatura (lo mismo podría decirse de la parte alta del monte Hércules). Este hecho, unido a los intensos procesos de mezcla que tienen lugar en la interfase con la lámina de agua atlántica que circula en superficie hacia el E, deben provocar una disminución de la solubilidad de la calcita con la consiguiente precipitación del carbonato en forma de cristales de micrita de alto contenido en Mg. Este proceso probablemente ocurra próximo a la interfase agua-sedimento dando lugar a la litificación de las acumulaciones bioclásticas para formar litohermos, donde estén presentes y "hardgrounds" donde no los haya. La litificación a pesar de las edades determinadas en los corales, parece ser un proceso activo en la actualidad, ya que se ha observado la existencia de fangos micríticos en la matriz de gravas bioclásticas sueltas en fase de consolidación tanto en el Umbral como en el monte Hércules, además, la presencia de sucesivas capas dentro de los montículos indican que se trata de un fenómeno más episódico que continuo, asociado a cambios en los factores que inducen la precipitación del cemento calcáreo.

Agradecimientos

Al Dr. K.M. Shimkus, del Instituto de oceanografía P.P. Shrivshov de la Academia de Ciencias de Rusia y a toda la tripulación del "ARGUS" por su espíritu científico.

Referencias

- Alvarez, G., Busquets, P., Reguant, S., Alonso B. (1995). *IV Coloquio Internacional sobre el Enlace Fijo del Estrecho de Gibraltar*. En prensa.
- Balanyá, J.C. y García-Dueñas, V. (1988). *II Congreso Geológico de España. Simposium sobre cinturones orogénicos*, 35-44.
- Mullins, H.T., Newton, C.R., Heath, K., Vanburen, H.M. (1981). *Journal of Sedimentary Petrology*. V 51, N 3, 999-1013.
- Neumann, A.C., Kofoed, J.W., Keller, G.H. (1977). *Geology*. V 5, 4-10.
- Sandoval, N. Sanz, J.L., Izquierdo, J. (1996). *IV Congreso geológico de España*.
- Teichert, C. (1958). *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologist*. V 42, N 5, 1064-1082.