

Las perforaciones del ODP-Leg 161 en el Mediterráneo Occidental

ODP-LEG 161 drills the Western Mediterranean

M.C. Comas (*), R. Zahn (**), A. Klaus (***) y ODP Leg 161 Scientific Party

(*) Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, CSIC y Universidad de Granada, 18002 Granada, España

(**) GEOMAR, Research Center for Marine Geosciences, D-24148 Kiel, Alemania

(***) Ocean Drilling Program, Texas A&M Univ., College Station, Texas 77845-9547, EUA

ABSTRACT

Leg 161 drilled a transect of six sites in the Western Mediterranean. Sites 974 (Tyrrhenian Basin) and 975 (Menorca Rise, South-Balearic Basin) were dedicated to paleoceanography and Sites 976, 977, 978, 979 (Alboran Basin) focused on tectonic goals but also involved paleoceanographic studies. A total length of 3.9 km of sediment and rock cores were collected from nearly 1 kilometer below the sea floor. One of the most intriguing paleoceanographic results of Leg 161 was the discovery of sapropels in the Western Mediterranean. Pleistocene sapropels were recovered at Site 974 and Site 975, and Pleistocene organic-rich layers at Sites 976, 977, and 979. Site 976 cored 258.97 m of high-grade metamorphic rocks down into the basement, and demonstrates that the basement beneath the Alboran Sea is formed by rocks of continental origin that have undergone exhumation and decompression. Sites 977, 978 and 979 cored through a zone of structures within the sedimentary sequence, yielded information on the compressive post-Messinian tectonic reorganization of the Alboran basin.

Key words: *Ocean Drilling Program, Western Mediterranean, Tectonics, Plio-Pleistocene, Miocene, Sapropels*

*Geogaceta, 20 (2) (1996), 408-411
ISSN: 0213683X*

Introducción

El Leg 161, en el Mediterráneo Occidental, fué la segunda de las dos campañas de sondeos submarinos profundos realizadas por el Ocean Drilling Program (ODP) en el Mediterráneo durante el pasado año 1995. Durante 57 días, el N/O JOIDES Resolution perforó y recuperó testigos continuos de materiales en un total de dieciséis pozos, agrupados en seis zonas de perforación (Sites) a lo largo de una transecta desde el Mar Tirreno hasta el Mar de Alborán (Comas, Zhan, Klaus *et al.*, 1996) (Fig. 1).

Los Sites 974 (Mar Tirreno) y 975 (Mar Sur-Balear) fueron esencialmente dedicados a objetivos paleoceanográficos, mientras que en los Sites 976, 977, 978, y 979 (Mar de Alborán) se abordaron objetivos tectónicos, si bien también estudios sobre paleoceanografía y sedimentación.

Los objetivos paleoceanográficos principales del Leg 161 se centran en el conocimiento de: 1) la presencia y épocas de depósito de sapropeles en el Medite-

rráneo Occidental; 2) los factores físicos, químicos y biológicos que controlaron la formación de los sapropeles o lechos ricos en materia orgánica; 3) los controles ambientales y la historia paleoclimática durante el Plioceno y Pleistoceno; 4) la dinámica del intercambio de masas de agua entre el Atlántico y el Mediterráneo durante los últimos 5 millones de años (m.a.) y los parámetros hidrográficos durante los ciclos de alta productividad y anoxia; y 5) el restablecimiento de condiciones marinas abiertas tras el depósito de la secuencia evaporítica o desecación del Mediterráneo-, hacia finales del Mesiniense o inicios del Plioceno.

Los objetivos tectónicos, limitados a la cuenca del Mar de Alborán, abordan temas relativos a la dinámica, cinemática y deformación de la litosfera continental durante la génesis de las cuencas extensionales neógenas de retroarco mediterráneo (Horwarth y Berckhemer, 1982). Referidos a la cuenca extensional miocena de Alborán, los objetivos específicos son: 1) el tipo de corteza y la naturaleza del basamento; 2) el carácter, la magnitud y edad de las estructuras extensionales durante las etapas de rifting; 3) la

deformación compresional tardía - plegamiento y tectónica transcurrente post-Miocena-; 4) la importancia y significado del magmatismo y volcanismo en la evolución tectónica; y 5) el cálculo y modelos de subsidencia, tectónica y total, en los distintos sectores perforados.

Esos temas tectónicos y paleoceanográficos conectan entre sí, tanto en cuanto al conocimiento de la evolución tectónica como la paleogeografía de la cuenca bajo el Mar de Alborán son fundamentales para entender la historia de las conexiones entre el Océano Atlántico y el Mar Mediterráneo, que condicionaron tanto la desecación mesiniense como la circulación marina del Mediterráneo Occidental desde hace 5 m.a.

De los dieciséis pozos de perforación efectuados se recuperaron un total de 3.9 km de rocas y sedimentos, bajo lámina de agua de entre 1118 y 3469 m, con penetraciones máximas del orden de los 1000 m bajo el fondo marino, y con una recuperación de materiales de entre el 60 y el 100% en los distintos sondeos. Para asegurar un muestreo total del relleno sedimentario, se utilizaron sistemas de APC (Ad-

vanced Piston Core) y XCB (Extended Core Barrel) perforando tres pozos contiguos en cada Site. Correlaciones de alta resolución entre los tres pozos contiguos y entre los testigos recuperados en cada uno de ellos, permitieron obtener un registro continuo, sin perturbación u omisión alguna, de las secuencias estratigráficas del Plioceno y Pleistoceno perforadas en cada Site.

En los sondeos se tomaron además datos de propiedades de los materiales mediante registros de logging combinados (Quad-combo, BHTy FMS), en el total del pozo o para secciones específicas, y datos de flujo de calor.

En esta comunicación se resumen los resultados científicos preliminares del Leg 161, de acuerdo con lo datos obtenidos en los sondeos y según el trabajo realizado por el equipo de 28 científicos (Shipboard Scientific Party) de nueve países diferentes, que participaron en la campaña a bordo del JOIDES Resolution.

Principales hallazgos

La Figura 2 compendia las secuencias estratigráficas y litologías de sedimentos y rocas de basamento encontrados y reconocidos en el Mediterráneo Occidental durante el Leg 161. La mayor parte de los materiales muestreados corresponden a sedimentos de hace menos de 5.5 m.a., que constituyen secuencias estratigráficas completas del Pleistoceno al Plioceno inicial, o forman parte de su transición a depósitos del Mioceno terminal. Solo en el Mar de Alborán se perforó el basamento y se recuperaron además sedimentos del Mioceno medio. A la izquierda de la columna representada en la Figura 2 se indican (números romanos) las unidades litológicas diferenciadas a bordo del JOIDES Resolution (Comas, Zhan, Klaus *et al.*, 1996).

Site 174 (Mar Tirreno): Este Site, situado en el Tirreno central sobre el extremo oriental del margen de Cerdeña (Fig. 1 y 2), reocupó el Site 652 (ODP Leg 107; Kastens, Mascle, Auroux *et al.*, 1987), y obtuvo la secuencia completa del Plioceno al Pleistoceno, al recuperar 202 m de sedimentos de facies marinas profundas, que incluye eventos sedimentarios ricos en materia orgánica y niveles vulcanoclásticos. Un total de 36 sapropeles -lechos ricos en carbono orgánico que reflejan estadios particulares de producción biológica marina y cambios climáticos en el Mediterráneo- fueron encontrados entre los sedimentos del Pleistoceno, con concentraciones máximas del 6% de materia orgánica total.

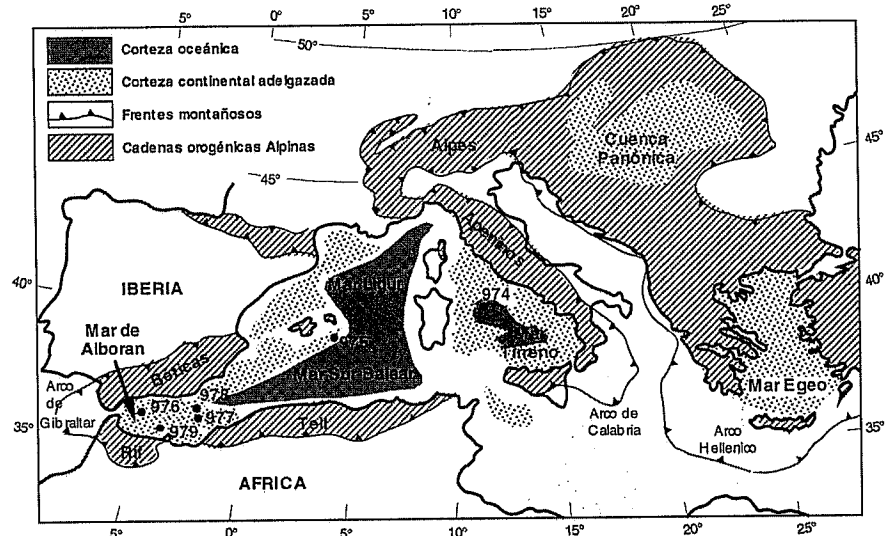


Fig. 1.- Sitios de perforación del Leg 161 en el Mediterráneo Occidental sobre un mapa tectónico que muestra las cuencas neógenas Mediterráneas y las Cadenas Montañosas circundantes (datos de varias fuentes).

Fig.1.- Leg 161 drill sites in the Western Mediterranean, on a tectonic map showing the Neogene Mediterranean basins and mountains belts (data from various sources).

Site 975 (Cuenca Sur-Balear): Localizado al sur de Menorca, entre el Promontorio Balear y la cuenca Argelino-Balear, en un punto clave para estudiar la historia de la entrada de aguas atlánticas y la circulación hacia el oeste de las mediterráneas, este Site (Fig. 1 y 2) recuperó también una secuencia completa de los sedimentos plio-pleistocenos, con facies marinas, y penetró y muestreó a través de la "M-unconformity"- el techo de la secuencia evaporítica del Mesiniense correlacionable en todo el Mediterráneo (Ryan, Hsu, *et al.*, 1973)- hasta una profundidad de 314 m bajo el fondo marino. Entre la secuencia de los sedimentos del Pleistoceno se encontraron 38 niveles de sapropeles, con contenido en materia orgánica total de más de 2,8%. Se muestrearon dos ciclos de la serie evaporítica superior mesiniense (yesos y laminitas micríticas), y sobre estas facies se encontraron sedimentos ricos en carbonatos, de edad Plioceno inicial/Mioceno terminal, que representan un cambio de condiciones restringidas a marinas abiertas, producido tras la crisis de salinidad y desecación del Mediterráneo.

Sites 976, 977, 978 y 979 (Mar de Alboran): El Site 976, situado sobre un horst de basamento en la Cuenca Oeste de Alborán, penetró y muestreó una secuencia de 660 m de sedimentos plio-pleistocenos y miocenos; y bajo ellos, directamente bajo sedimentos y brechas tectónicas del Mioceno medio, 259 m de rocas metamórficas pertenecien-

tes al basamento (Fig 2 y 3). La secuencia metamórfica recuperada incluye esquistos con metamorfismo de grado alto, gneises y gneises migmatíticos, mármoles dolomíticos y calcíticos, rocas calcosilicatadas, y granitos; estos últimos perteneciendo probablemente a diques. Entre las facies metamórficas se encontraron rocas de falla (milonitas y cataclasitas) intercaladas que expresan una extensa fracturación en el basamento. Las fábricas petrográficas de esquistos y gneises indican que esas rocas sufrieron una deformación dúctil y posteriormente frágil. Estimaciones preliminares, realizadas a bordo del Resolution, sobre las condiciones de presión-temperatura en la evolución metamórfica de los esquistos sugieren sensibles disminuciones de presión, a temperatura constante o en aumento. Los gneises y gneises migmatíticos se consideran indicativos de la impronta posterior de un metamorfismo de alta temperatura bajo condiciones de baja presión, con probable formación de granitos (Platt *et al.*, en prensa). La asociación de litotipos encontrada en el basamento de la Cuenca Oeste de Alborán, se asemeja fuertemente a la que poseen algunas sucesiones metamórficas de las unidades del Complejo Alpujarride en las Cordilleras Béticas occidentales, concretamente a las vecinas al macizo peridotítico de Ronda.

Los Sites 978 y 977 (Fig 2 y 3), perforados en la Cuenca Este de Alborán, se sitúan en dos pequeñas cuencas en un ámbito afectado por fallas de salto en dirección y en donde abundan altos de basamento constituidos por rocas volcánicas. Ambos sites

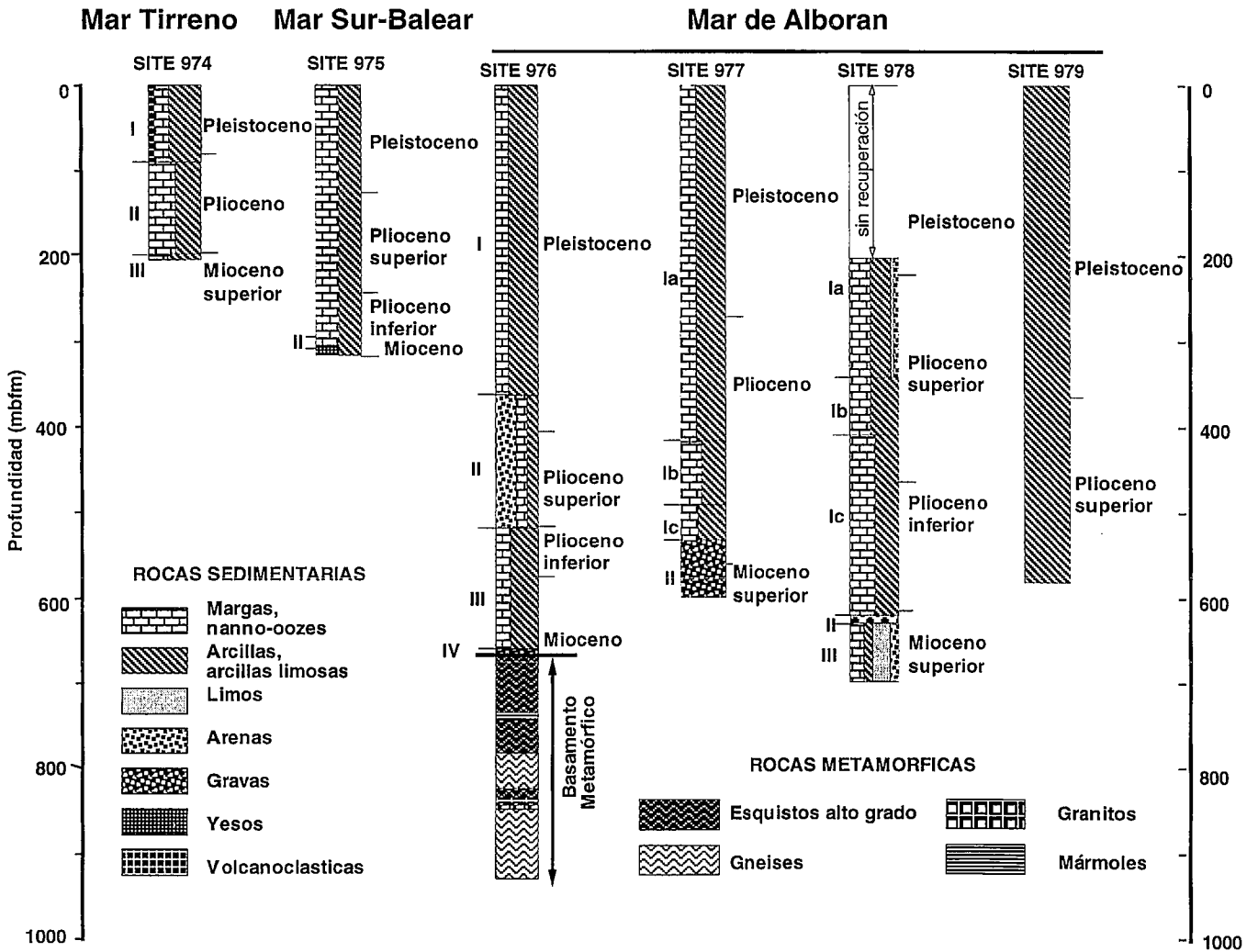


Fig.2.- Litoestratigrafía del total de los materiales recuperados en los sitios de perforación del Leg 161 en el Mediterráneo Occidental.

Fig.2.- Lithostratigraphic summary of Leg 161 drill sites in the Western Mediterranean.

muestrearon al completo una secuencia considerada post-rift en la evolución tectónica de cuenca de Alboran (Comas *et al*, 1992). Esta secuencia, con espesores de 598 y 695 m en cada Site, se encontró formada por sedimentos del Plioceno y Pleistoceno, de facies marinas distales (turbidíticas y pelágicas), y con testimonios de actividad tectónica sinsedimentaria (slumps y brechas intraformacionales) pero sin intercalaciones de material volcánico o vulcanoclástico. En la base de la sucesión pliocena se encontró un conglomerado marino poligénico con clastos de rocas volcánicas (facies de canal), que se considera relacionado con una superficie erosiva correspondiente a la "M-unconformity" en la Cuenca de Alboran (Jurado y Comas, 1992), y que bien puede testimoniar el inicio de la inundación pliocena tras la crisis messiniense (Cita y McKenzie, 1986).

El Site 979, al suroeste de la Cresta e Isla volcánica de Alborán (Fig 2 y 3), muestreó una secuencia marina plio-pleistocena de 580 m de espesor, que según datos sísmicos está afectada por estructuras compresionales coetáneas, constituida también por facies turbidíticas distales y facies pelágicas sin intercalaciones vulcanoclásticas. Diversas discontinuidades estratigráficas encontradas entre los sedimentos que forman esa secuencia permiten datar las pautas de esa actividad tectónica reciente.

Entre las secuencias sedimentarias del Pleistoceno muestreadas en los sites del Mar de Alborán, también se encontraron niveles ricos en materia orgánica (entre 0.8 y 2 % de materia orgánica total). Se contabilizaron mas de 40 niveles de este tipo, pero con facies sedimentarias distintas a las de los sapropeles encontrados en los Sites

974 (Mar Tirreno) y 975 (Mar Sur Balear), probablemente a consecuencia de la mayor razón de sedimentación en la Cuenca de Alborán durante el Pleistoceno.

Alcance de los resultados

Respecto a los resultados paleoceanográficos, uno de los mas importantes hallazgos del Leg 161 ha sido el descubrimiento de sapropeles en las tres cuencas del Mediterráneo occidental perforadas. Estos resultados han demostrado además que en el Mediterráneo Occidental la formación de sapropeles ocurrió esencialmente durante el Pleistoceno, es decir desde hace 1.8 m.a.. Este descubrimiento requerirá la revisión de los conceptos paleoceanográficos que relacionaban la formación de sapropeles a mecanismos que

ocurrieron solo en el Mediterráneo Oriental, y abre horizontes a nuevos planteamientos en la interpretación y significado de esas peculiares facies mediterráneas ricas en materia orgánica.

Respecto a los resultados tectónicos, las perforaciones en la cuenca del Mar de Alborán han confirmado la naturaleza continental de la corteza bajo esta cuenca, y que el basamento metamórfico de la misma ha sufrido descompresión y exhumación por procesos de tectónica extensional. Además, se ha constatado la existencia de procesos de rifting durante el Mioceno medio, y la deformación compresional de la cuenca con posterioridad al Mesiniense. Estos hallazgos tendrán aplicación inmediata para discriminar entre los modelos geodinámicos propuestos sobre el origen y evolución de la cuenca de Alborán, y por ende para otras cuencas extensionales de retroarco del Mediterráneo.

La explotación científica de las muestras y datos obtenidos durante el leg 161 sigue aún en curso.

**ODP Leg 161 Shipboard Scientific Party:*

M. Comas (*co-chief scientist*), R. Zhan (*co-chief scientist*), A. Klaus (*staff scientist*), C. Aubourg, S. Bernasconi, P. Belanger, W. Cornell, E. De Kaenel, F. De Larouziere, C. Doglioni, H. Doose, H. Fukusawa, M. Hobart, S. Iaccarino, P. Ippach, K. Marsaglia, P. Meyers, A. Murat, G. O'Sullivan, J.P. Platt, M. Prasad, W. Siesser, C. G. Skilbesk, J.I.Soto, K. Tandon, M. Torii, J. Tribble, R. Wilkens.

Referencias

- Cita, M.B. y McKenzie, J.A. (1986): In K.J. Hsu (Ed) Mesozoic and Cenozoic Oceans. *Geodynam. Ser.*, 15: 123-140, A G U.
- Comas, M.C., García-Dueñas, V., y Jurado, M.J. (1992): *Geo-Mar. Lett.*, 12:157-164.
- Comas, M.C., Zhan, R., Klaus, A. et al. (1996): *Proc. ODP, Init. Repts.*, 161: College Station, TX (Ocean Drilling Program).
- Horvarth, F. y Berckhemer, H. (1982): In Berckhemer, H., and Hsu, K.J. (Eds.), Alpine Mediterranean Geodynamics. *Am. Geophys. Union Geodyn. Ser.*, 141-173.

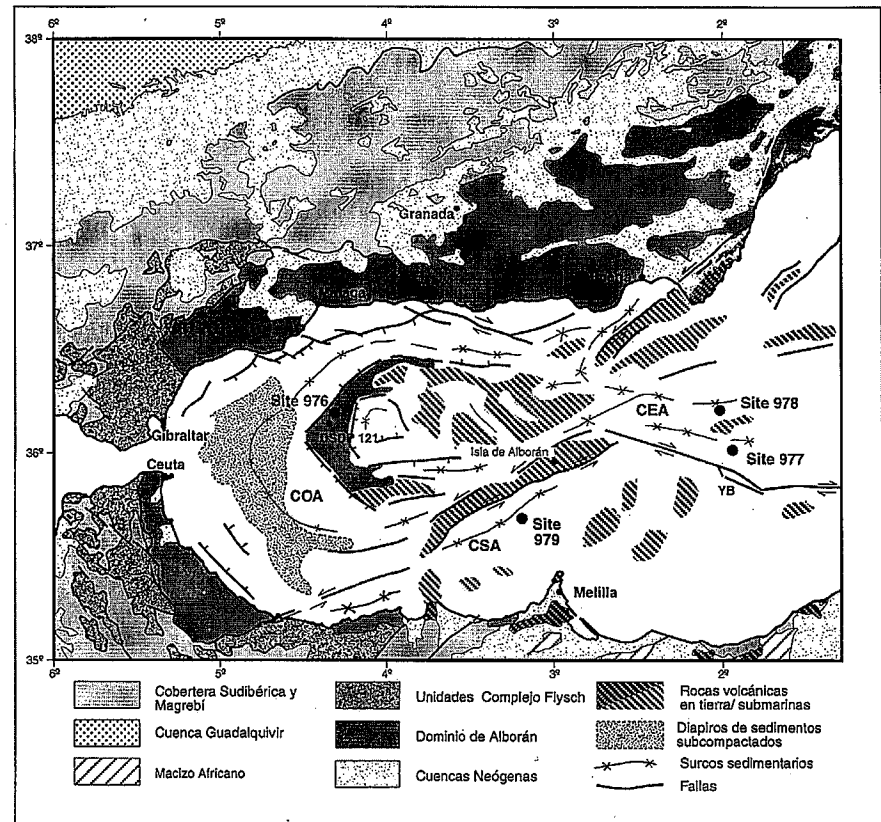


Fig. 3.- Esquema estructural de la cuenca del Mar de Alborán, basado en interpretación de perfiles sísmicos. CEA: Cuenca Este de Alborán; COA: Cuenca Oeste de Alborán; CSA: Cuenca Sur de Alborán; YB: Cuenca de Yusuf.

Fig 3.- Structural sketch of the Alboran Sea basin, based on interpretation of MCS profiles, and the surrounding Betic and Rif Chains. Position of Leg 161 drill sites and DSDP Site 121 is shown. CEA: Eastern Alborán Basin; COA: Western Alborán Basin; CSA: Southern Alborán Basin; YB: Yusuf Basin

- Jurado, M.J., y Comas, M.C. (1992): *Geo-Mar. Lett.*, 12:129-136.
- Kastens, K.A., Mascle, J., Auroux, C., et al., (1987): *Proc. ODP, Init. Repts.*, 107: College Station, TX (Ocean Drilling Program).

- Platt, J., Soto, J.I., y Comas M.C. (en prensa): *Geology*
- Ryan, W.B.F., Hsu, K.J. et al., (1973): *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, 13*. Washington (U.S. Government Printing Office).