

Dinámica de incorporación y transporte de sedimentos finos y minerales de la arcilla entre la zona interna y externa de la bahía de Cádiz

Fine Sediments and clay minerals embodiment and transport dynamics between inner and outer sectors of Cadiz bay

M. Achab, J. M. Gutiérrez Mas, A. Sánchez Bellón y F. López Aguayo.

Dpto. Cristalografía y Mineralogía, Estratigrafía, Geodinámica y Petrología y Geoquímica. Facultad de Ciencias del Mar. (Univ. de Cádiz) Apto 40. 11510. Puerto Real (Cádiz). Email: achab.mohammed@uca.es

ABSTRACT

Fine sediments and clay minerals are continuously being exchanged between the inner and outer sectors of Cadiz bay, because of the influence of tidal currents. This study accounts for the analysis of embodiment and transport dynamics processes of fine sediments from continental areas and tidal flats to tidal creeks and the inner bay and from themselves to external bay and continental shelf. It has been determined the transport path of fine sediments by means of the interpretation of clay mineral associations present in sediments and the areal distribution of I/IS coefficient.

Sedimentary dynamics are controlled by the contribution sediments source that directly discharge in Cadiz bay (rivers, brooks, tidal creek) and the action of superficial water currents over surface salt marsh. Other way of fine materials embodiment are gravitational movements as: slumps and slides, occurring tidal creek and salt marsh. Exchange with external areas is made through Puntales strait by tidal flows, as a consequence of the remobilization and resuspension of the lagoon bottom muddy sediments.

Key words: clay mineral, sedimentary dynamics, Cadiz bay.

Geogaceta, 27 (1999), 3-6
ISSN: 0213683X

Introducción

Teniendo en cuenta las características ambientales y procesos que tienen lugar, en la bahía de Cádiz se diferencian varias zonas que, de forma general, se pueden resumir en cuatro, las cuales pueden subdividirse a su vez en varios subambientes. Estas zonas son: a) marisma y llanura mareal, que ocupan las zonas más internas y abrigadas. La marisma está ocupada por vegetación halófila y está surcada por un complejo sistema de caños mareales de gran importancia en la hidrodinámica de la bahía y en la transferencia de sedimentos finos entre la bahía interna y mar abierto; b) caños mareales (*tidal creek*) que drenan la marisma y la llanura mareal; c) el Saco, que es la zona inundada más interna (*lagoon*) y d) La bahía externa, que se encuentra en la parte más abierta y desprotegida, bien comunicada con la plataforma continental (Fig. 1).

En cuanto a la naturaleza de los sedimentos, heredados, especialmente de los minerales de la arcilla, están condicionados por los afloramientos y unidades presentes en el continente, en la costa y en el fondo. Estas formaciones aportan mate-

riales al medio marino a través de procesos directos, como erosión de acantilados, o a través de los aportes de la escorrentía superficial y sistemas fluviales que vierten directamente a la bahía, como el río Guadalete. Las unidades geológicas más importantes presentes en las áreas continentales y zonas periféricas a la bahía de Cádiz son: arcillas, arena y margas del Triás subbético, del Mioceno superior y Plio-cuaternario; arenas y gravas fluviales cuaternarias de la cuenca del río Guadalete y fangos arcillosos, arenas de dunas y playas presentes en la bahía de Cádiz (Mabesoone, 1963 y 1966; Viguier, 1974; Zazo, 1979; Segado *et al.*, 1984; Gutiérrez-Mas *et al.*, 1990; López Galindo *et al.*, 1999).

Métodos

El estudio se ha realizado a partir de 247 muestras de sedimentos extraídas con draga Van Veen en zonas de marisma, caños mareales y, especialmente, los fondos marinos de la bahía de Cádiz y de la plataforma continental adyacente. También se han realizado catas y sondeos, con objeto de conocer las secuencias sedimentarias.

El análisis de las muestras ha consistido en la determinación de la distribución de tamaños de grano y contenido mineralógico, mediante análisis por

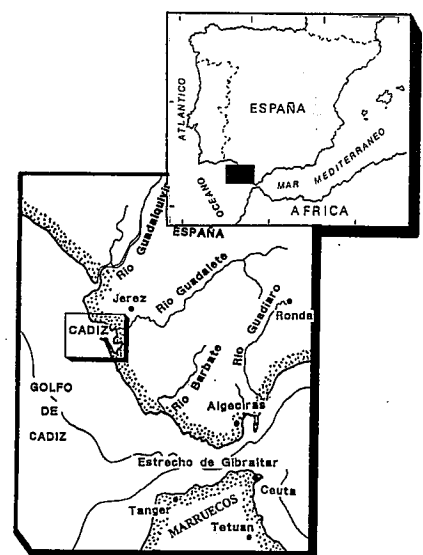


Figura 1.- Situación geográfica de la zona de estudio.

Figure 1.- Geographic situation.

difracción de Rayos-X en la fracción arcilla. El tratamiento de los datos se ha realizado con el conjunto de muestras, tanto en la llanura mareal, marisma, caños y áreas periféricas. Se ha utilizado el análisis factorial multivariante, con objeto de establecer las trayectorias de transporte de sedimentos finos desde las áreas emergidas y fondos del lagoon a las zonas más externas y abiertas.

Resultados y discusión

En los sedimentos del fondo de la zona interior (saco o lagoon), predominan los fangos arcillosos, mientras que en la bahía externa domina la fracción arena, apareciendo grava cerca de los bajos costeros y fango frente a la desembocadura de ríos y caños mareales (Gutiérrez-Mas *et al.*, 1996). Las catas y cortes geológicos realizados en las zonas de marisma que ocupan las partes interiores de la bahía, muestran secuencias de naturaleza composicional variable según cada sector (Fig.2.1 y 2.2): En la zona activa del borde del caño (río San Pedro), la secuencia sedimentaria está constituida por arenas finas de origen marino con intercalaciones de niveles de arcilla, sobre la que aparecen arenas con laminación cruzada de bajo ángulo y encima las arcillas sali-

trosas de la actual marisma, sobre la que se encuentra una abundante vegetación halófila y, más hacia el interior de lentisco y aulagas. En la zona intermareal, sobre los depósitos descritos anteriormente y en discordancia con ellos, aparecen depósitos de carácter fango-arcilloso generados a causa de desprendimientos por desplazamiento gravitacional (*slide* y *slumps*) (Fig. 3), que tiene lugar en los bordes de los caños y marismas.

En el caso de la zona de marismas cercanas a la localidad de Puerto Real (Fig.2.3), los materiales fango-arcillosos de la actual llanura mareal yacen sobre una antigua rasa o plataforma marina labrada en la base de un pequeño acantilado de materiales plio-cuaternarios, que aportan sedimentos directamente al medio marino, a través de los aportes de la escorrentía superficial y erosión de ladera y por erosión en su base. En la zona próxima al borde del caño Zurraque, la secuencia sedimentaria (Fig.2.4), presenta en la base niveles limo-arenosos con cantos de cuarcita de influencia continental, que cambian lateralmente a fango y arena de origen fluvio-marino. Sobre estos materiales aparecen fangos salitrosos de marisma cubiertos por vegetación halófila. En el margen sur del caño de Sanctipetri (Fig. 2.5), la secuencia sedimentaria

muestra en la base un nivel de arena-limosa sobre el que se encuentran los fangos salitrosos característicos de la marisma y la vegetación halófila.

En los minerales de la arcilla presentes en zonas de marisma, llanura mareal y cauce de caños (río San Pedro, Sanctipetri, Zurraque, etc.) (Fig.2) predomina la illita (50 a 70%) aunque los contenidos son muy variables de una zona a otra. Así, la concentración de Illita es más alta en la parte alta del intermareal (*schorre*), en el borde del caño, con valores del 68%, mientras que en el fondo de los caños es algo menor. (52%). El contenido de esmectitas pasa del 7% en el intermareal alto al 15% en el fondo de caños e intermareal bajo (*slikke*). En cuanto a otros minerales, el interstratificado IS presenta concentraciones relativas del 6%. La caolinita muestra concentraciones del 14%, con valores más altos en zonas de borde de caño, ríos y llanura mareal y la clorita entre 11% y 15%.

Los resultados del análisis factorial han proporcionado dos factores que explican conjuntamente el 100% del modelo: El factor 1 representa 64% de la varianza y asocia: illita (0.93), caolinita (0.65) y esmectitas (-0.96). Este factor predomina en la bahía externa y en las zonas de llanura mareal y marismas de la bahía interna. Los valores más altos (*factor scores*) muestran una serie de bandas que, desde las zonas interiores, convergen en el centro de la bahía, y que, a partir de este punto, se separan en otras tres que se orientan hacia mar adentro, una hacia el NO, siguiendo el margen norte de la bahía, otra hacia el O y una tercera hacia el SO (Fig. 4). Estas bandas representan zonas del fondo donde las asociaciones mineralógicas de los minerales de la arcilla presentan una gran constancia, e indican las trayectorias de los flujos que transportan materiales finos en suspensión y que, parte de los cuales, precipitan durante el transporte, depositándose en el fondo.

El factor 2 (36 %) asocia: interstratificado IS (0.8) y clorita (-0.73). Los valores más altos de este factor, predominan en los fondos arenoso-fangosos de la bahía interna.

La distribución areal de los valores de la relación I/IS (Fig. 4), muestra que los valores más altos, zonas de mayor contenido relativo en Illita, se encuentran en el margen NO de la bahía externa y al norte de ésta, cerca de Rota, constituyendo una banda paralela a la línea de costa y a las isobatas. Esta banda, puede representar la trayectoria de los flujos que, siguiendo el litoral, penetran en la bahía desde fuentes ubicadas más al norte, y que penetra a través de las corrientes litorales. Los valores más bajos se

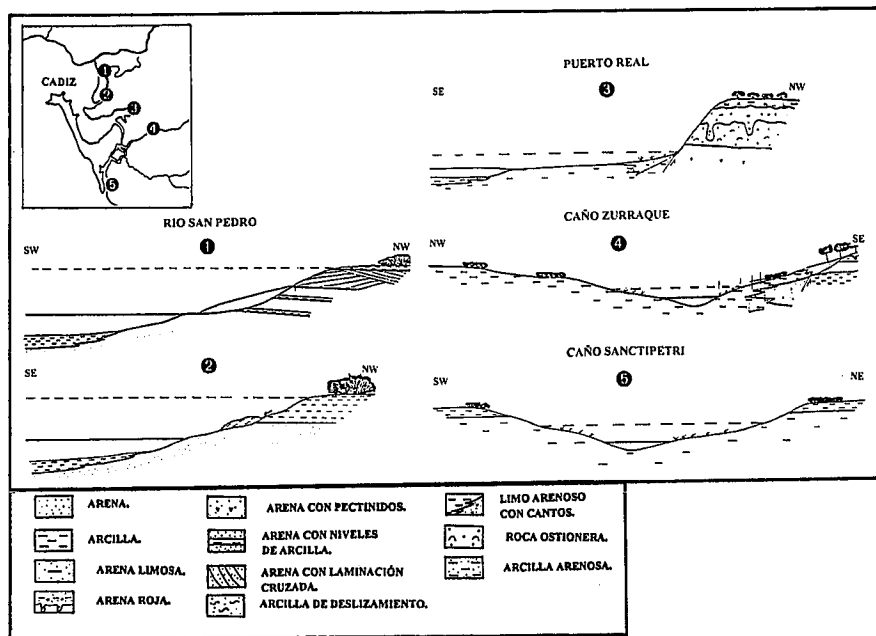


Figura2.- Cortes geológicos representativos de bahía de Cádiz: 1 y 2) Margen occidental del caño del Río San Pedro; 3) Límite interno de la marisma de Puerto Real; 4) Curso medio del caño Zurraque y 5) Zona de desembocadura del caño de Sancti Petri.

Figure 2.- Representative geological cross section of Cadiz bay: 1) and 2) Rio San Pedro western edge; 3) Inner limit of Puerto Real salt marsh; 4) Mean section of Zurraque tidal creek; 5) River mouth of Sanctipetri tidal creek.

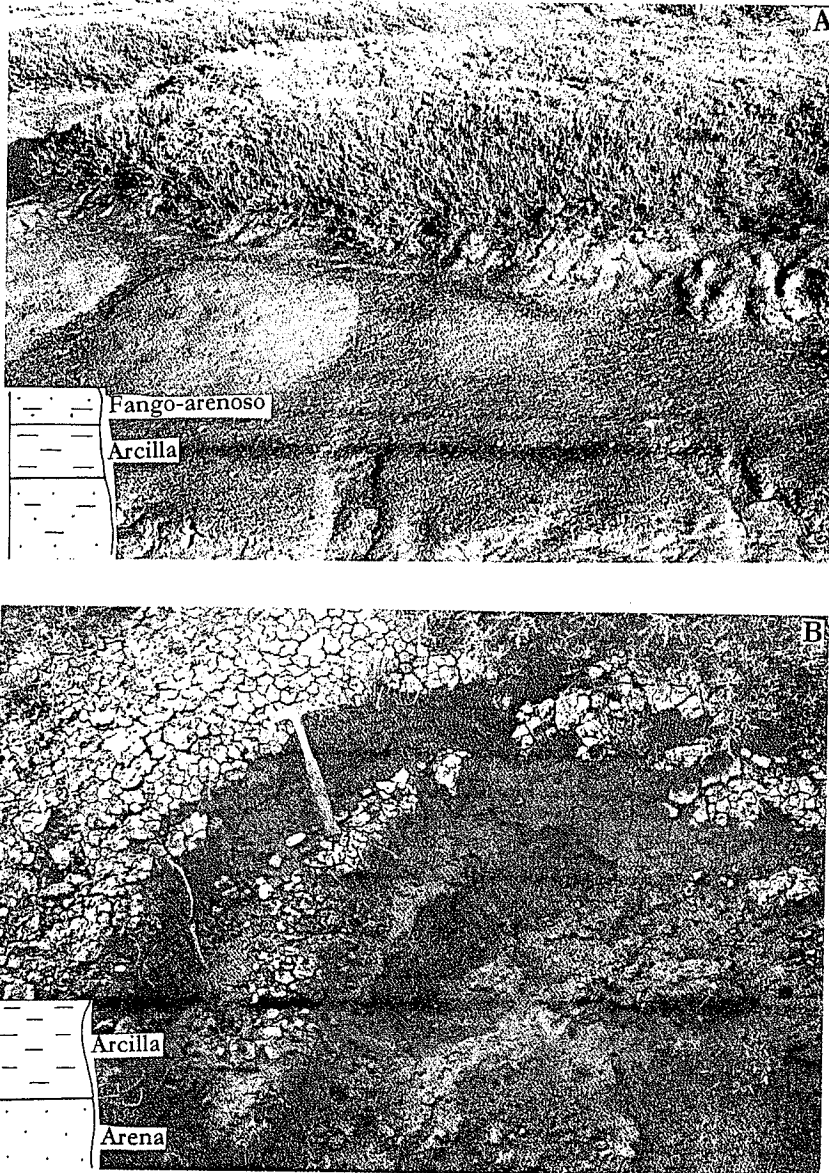


Figura 3.- Imágenes mostrando diferentes modos de incorporación de materiales finos y minerales de la arcilla desde la marisma a los caños mareales: A) Deslizamientos (*slide*) y B) Derrumbes (*slumps*).

Figure 3.- Pictures show different ways as fine material and clay minerals are embodied from salt marsh to tidal creeks: A) Slide and B) Slump.

dan en los fondos fangosos de la bahía interna, en los depósitos fango-arcillosos de la plataforma continental adyacente a Cádiz y también cerca de la desembocadura del caño de Sanctipetri.

Modelo dinámico de transferencia

A partir de los resultados anteriores, junto al conocimiento del medio, puede elaborarse un modelo de transferencia sedimentaria para la incorporación y transporte de sedimentos finos en la bahía de Cádiz:

Los sedimentos finos y los minerales de la fracción arcilla se incorporan al me-

dio marino de diferentes maneras (Achab *et al.*, 1998):

a) A partir de la erosión de la marisma por acción de las aguas de escorrentía superficial (Fig. 2.5 y 2.2).

b) Erosión de las formaciones geológicas que afloran en el continente, costa y fondos, especialmente de los acantilados plio-cuaternarios (arenas rojas, conglomerado conchífero y areniscas bioclásticas) (Fig. 2.3 y 2.4).

c) Erosión de borde de caños mareales y marisma, por transporte gravitacional, *slide* y *slumps* (Fig. 2.1; 2.2 y Fig. 3); los primeros se dan en la parte baja de los de ríos, caños y llanura mareal (*slikke*), mien-

tras que los *slumps*, aparecen más en la parte alta (*schorre*). Estos procesos, favorecen también la incorporación al flujo mareal de vegetación y humus, junto con sedimento fino y minerales de arcilla.

d) Aportes fluviales de fuentes que desembocan directamente en la bahía, como el río Guadalete, Salado de Rota y río San Pedro, que recibe aportes fluviales o continentales de escorrentía en su tramo alto.

Una vez incorporado el material fino al flujo o al sedimento del fondo, el transporte hacia las zonas externa y mar abierto está condicionado principalmente por tres factores: 1) La acción de las mareas, especialmente de la corriente de reflujo mareal; 2) la fisiografía de la costa y el fondo, especialmente la apertura de la bahía hacia el Oeste y la configuración de la costa, condicionando, además, la velocidad de la corriente; c) La acción del viento y del oleaje, favoreciendo el desplazamiento del flujo mareal o contraponiéndose al mismo (Parrado Román *et al.*, 1996; Gutiérrez-Mas *et al.*, 1998).

En condiciones de temporal del SO, se genera una corriente opuesta a la del reflujo mareal, mientras que con viento del Este (Levante), se produce la removilización de los fondos fangosos y someros de la parte interna de la bahía de Cádiz y de la llanura mareal, dando lugar a una gran cantidad de carga en suspensión, cuya máxima concentración se da precisamente en condiciones de convergencia de marea viva y viento de levante (Gutiérrez-Mas *et al.*, 1999). Posteriormente el material removilizado es transpasado hacia la parte externa de la bahía por las corrientes de reflujo mareal.

Una vez atravesado el estrecho de Puntales, donde la corriente adquiere gran velocidad y capacidad de transporte, los materiales finos alcanzan aguas más profundas de la bahía externa y, debido a la pérdida de velocidad, se inicia un proceso de sedimentación diferencial de las partículas en suspensión. Así, parte del material se deposita sobre las arenas que se encuentran en los fondos de esta zona de la bahía, mostrándose en cartografía como bandas que muestran valores claramente diferentes a las zonas contiguas de las asociaciones y relaciones entre componentes minerales de la fracción arcilla, y que nos indican las trayectorias seguidas por las partículas.

Todo el material fino transportado por la corriente de reflujo no precipita sobre el fondo de la bahía externa y el material que queda en suspensión puede llegar a la plata-

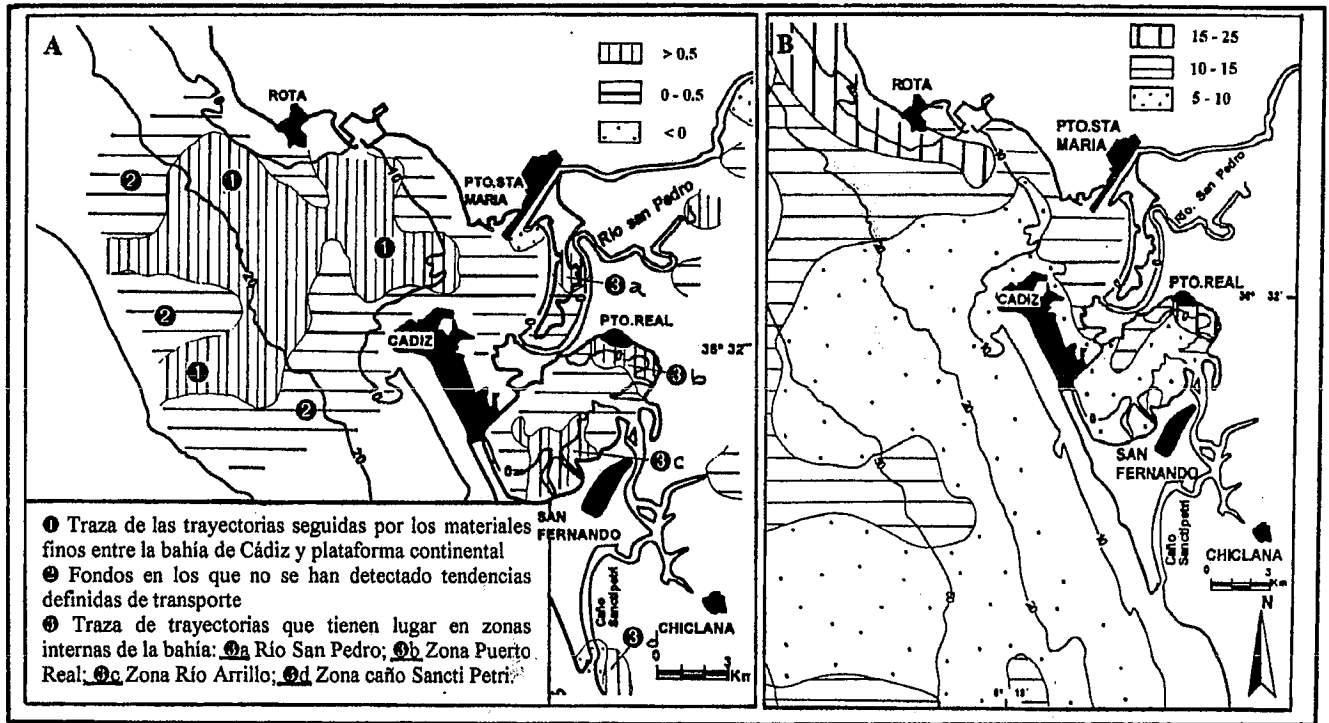


Figura 4.- Trazas de las trayectorias de transporte de los materiales finos y minerales de arcilla. Determinadas a partir de: A) Análisis factorial (F); B) Proporción del mineral illita respecto al mineral interestratificado I-S.

Figure 4.- Transport path traces of fine materials and clay minerals. From: A) Factor Análisis and B) I/IIS coefficient.

forma interna adyacente, donde interactúa con el material transportado por las corrientes procedentes del Norte (Flujo Superficial Atlántico, NASW) (Fig. 4) (Gutiérrez-Mas *et al.*, 1999; Gutiérrez-Mas *et al.*, 1998), que reciben aportes de ríos importantes como el Guadiana y, especialmente, el Guadalquivir, dando lugar a la mezcla de materia en suspensión.

Conclusiones

La llanura mareal, la zona de marisma, los ríos y la bahía interna constituyen importantes fuentes de aportes de sedimentos finos y minerales de la arcilla a las aguas y fondos de la bahía de Cádiz e incluso a la plataforma continental adyacente, debido a la existencia de una interacción hidrodinámica activa, en algunos casos casi permanente, debido a la acción de las corrientes mareales.

Los mecanismos de incorporación y transporte de sedimentos finos al medio marino tiene lugar a partir de los aportes de ríos y arroyos que vierte directamente en la bahía y también por la erosión superficial de la llanura mareal y formaciones geológicas aflorantes en las zonas periféricas. Otro mecanismo de incorporación de sedimentos lo constituye el transporte gravitacional, a partir de deslizamientos (*slide*) y derrumbes (*slumps*) que tienen lugar en las riberas de ríos, caños de la marisma y llanura mareal.

El sistema hidrodinámico, fundamentalmente las corrientes de reflujo marea, son el principal mecanismo responsable del transporte y distribución de sedimentos finos desde los sectores internos de la bahía de Cádiz hacia los más externos y plataforma continental adyacente.

Las trazas de las trayectorias de transporte de los sedimentos se han podido determinar a partir de las asociaciones y relaciones proporcionales establecidas entre los minerales de la fracción arcilla, cuyos valores se muestran como bandas sobre el fondo que indican las zonas de mayor persistencia de la corriente.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado con fondos del proyecto de CICYT de Ref: Mar 98-0796.

Referencias

Achab, M., Gutiérrez-Mas, J.M. y Sánchez Bellón, A. (1998): En *European Land-Ocean Interaction Studies*, Huelva-Spain Volumen de abstract: 93-94.
 Gutiérrez-Mas, J.M., Martín Algarra, A., Domínguez Bella, S. y Moral Cardona, J.P. (1990): Serv. Public. Univ. Cádiz: 315pp.
 Gutiérrez-Mas, J.M., Achab, M., Sánchez Bellón, A.; Moral Cardona, J.P. y López Aguayo, F. (1996): *Advances in*

Clay Minerals: 121-123.

Gutiérrez-Mas, J.M., Muñoz Pérez, J.J., Sánchez Bellón, A., Moral Cardona, J.P., Achab, M., Parrado Román, J.M., Gonzalez Caballero, J.L., Domínguez Bellá, S., Santos, A., Morales, J.A., Jódar, J.M., Fernández Palacios, A. y Sánchez Rodríguez, E. (1998): En *European Land-Ocean Interaction Studies*, Huelva-Spain Volumen de abstract: 91-92.
 Gutiérrez-Mas, J.M., Sánchez Bellón y Achab, M., Ruiz Segura, J., Gonzalez Caballero, J.L., Parrado Román, J.M. y López Aguayo, F. (1999): *Boletín Instituto Español de Oceanografía*, 15. Suplemento-1.
 López Galindo, A., Rodero, J. y Maldonado, A. (1999): *Mar. Geol.*, 155: 83-98.
 Mabesoone, J.M. (1963): *Geol. Minj-bouw*: 42:23-43.
 Mabesoone, J.M. (1966): *Geol. Minj-bouw*: 45: 25-32.
 Parrado Román, J.M., Gutiérrez-Mas, J.M. y Achab, M. (1996): *Geogaceta*, 20 (2): 378-381.
 Segado, M., Gutiérrez-Mas, J.M., Hidalgo, F.; Martínez, J.M.; y Cepero, F. (1984): *Boletín Geológico y Minero*. XCV-IV, 310-324.
 Viguier, C. (1974): *Thèse Univ. Bordeaux*, 449pp.
 Zazo, C. (1979): *Tesis Doctoral (2II)*, Univ.Madrid.