

Cambios paleoambientales en la desembocadura del río Guadalquivir durante el Holoceno reciente

F. Ruiz ⁽¹⁾, A. Rodríguez-Ramírez ⁽¹⁾, L. M. Cáceres ⁽¹⁾, J. Rodríguez Vidal ⁽¹⁾, C. Yañez ⁽²⁾, L. Clemente ⁽²⁾, M. L. González-Regalado ⁽¹⁾, M. Abad ⁽¹⁾ y J. R. De Andrés ⁽³⁾

⁽¹⁾ Dpto. Geodinámica y Paleontología. Univ. Huelva. Campus Universitario de La Rábida. 21819-Palos de la Frontera (Huelva).

⁽²⁾ Dpto. Geocología. I.R.N.A.S.E., C. S. I. C., Avda. Reina Mercedes, s/n. 41012-Sevilla.

⁽³⁾ I.G.M.E.. Servicio de Geología Marina. Ríos Rosas, 23. 21003-Madrid.

ABSTRACT

Late Holocene palaeoenvironmental changes ($\approx$ 2000 BP) in the Doñana National Park (Guadalquivir estuary, SW Spain) were studied using geomorphological techniques, lithostratigraphic analysis and ostracode faunas. Two cores were drilled in the Las Nuevas estuarine ridge, showing an environmental evolution with five phases: 1) brackish lagoon (the Roman Lacus Ligustinus); 2) energetic event (storm?, tsunami?); 3) brackish lagoon with reduction of the ostracode density; 4) transitional, with the first apparition of fresh-water species; and 5) temporary pond, located between cheniers and levees.

Key words: Late Holocene, Doñana, ostracodes, geomorphology.

Geogaceta, 31 (2002), 167-170

Introducción

Los estuarios son el resultado de la interacción de olas, mareas y aportes fluviales, con modificaciones derivadas de los cambios en el nivel del mar y el clima (Davies, 1964). En consecuencia, se precisan análisis multidisciplinarios (geomorfológicos, sedimentológicos, paleontológicos, mineralógicos) para poder obtener una información detallada de los cambios ambientales que se han producido en estas áreas litorales (Dabrio *et al.*, 1996; Borrego *et al.*, 1999; Carretero *et al.*, in press).

Uno de los grupos faunísticos más utilizados para delimitar estos cambios son los ostrácodos. La diversidad de sus asociaciones, la presencia de especies con morfologías diferentes en función de los parámetros físico-químicos del agua o su capacidad de adaptación a medios dulceacuicolas los definen como un grupo adecuado para el análisis de las variaciones ambientales en estuarios, deltas u otros medios de transición (Marocco *et al.*, 1996; Ruiz *et al.*, 2000a).

Este trabajo pretende distinguir los elementos geomorfológicos y su evolución en el registro holoceno del Parque Nacional de Doñana (estuario del río Guadalquivir) durante el Holoceno Reciente ($\approx$ 2000 años

BP), en base a las asociaciones de ostrácodos obtenidas en dos testigos extraídos en el cordón de Las Nuevas (Fig. 1).

El estuario del río Guadalquivir

El río Guadalquivir, con una longitud de 560 km, drena una cuenca de 57.000 km², formada principalmente por rocas sedimentarias terciarias. Este río forma un amplio estuario (1800 km²), cerrado parcialmente por flechas litorales. En su parte suroccidental, incluye el Parque Nacional de Doñana (50.720 ha), una Reserva de la Biosfera que representa el último sector de marismas poco modificadas del sistema.

La hidrodinámica actual del estuario está controlada por el régimen fluvial, la acción de las olas y las corrientes de deriva. El caudal medio es de 164 m³/s, aunque puede exceder ocasionalmente de los 1.000 m³/s entre Enero y Febrero (Vannay, 1970; Menanteau, 1979). El régimen de olas de la plataforma adyacente depende de los vientos dominantes del Suroeste. Este factor, unido a unas corrientes de deriva de dirección Oeste-Este, ha favorecido el crecimiento de flechas litorales que delimitan amplias marismas mareales y dulces en su interior.

Entre las referencias históricas que describen la morfología de este litoral, destaca la obra *Geographica* del historiador y cronista romano Estrabón, escrita entre los años 29 y 7 A.C. Describió este estuario como un lago (*Lacus Ligustinus*), donde convergían dos corrientes fluviales principales separadas por una isla central. Esta descripción sería corroborada cuarenta años después por Mela en su obra *Chorographica*.

Metodología

En un primer paso, se efectuó una ampliación del estudio geomorfológico del Parque Nacional de Doñana realizado por Rodríguez-Ramírez (1996), a partir de fotos aéreas a escala 1: 33.000, tomadas en 1956. La cartografía inicial de los elementos fluviales (levees, canales), marinos (flechas), mixtos (cheniers) y las actuales lagunas permanentes o temporales fue parcialmente modificada con la observación directa en el campo, debido a las escasas diferencias de altura topográfica (< 1 m) entre ellos.

Un área más restringida (Las Nuevas) fue escogida para el muestreo, al contener los prin-

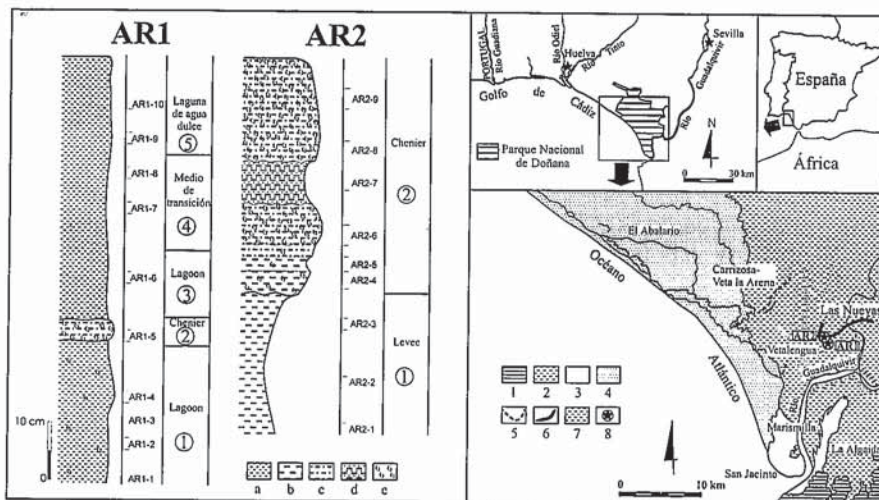


Fig. 1.- Localización geográfica y geomorfología de la desembocadura del río Guadalquivir. Leyenda: 1: sustrato Plio-Cuaternario; 2: marismas; 3: flechas litorales; 4: sistemas de dunas cuaternarias; 5: cordones litorales; 6: cordones estuarinos; 7: levees arcillosos; 8: situación de los testigos estudiados (AR1, AR2). Litología: a-b: arcillas; c: arcillas limosas; d: limos arcillosos; e: restos de macrofauna.

Fig. 1.- Geographical setting and geomorphology of the Guadalquivir River mouth. Key: 1: Plio-Quaternary substrate; 2: marshes; 3: spits; 4: Quaternary dune systems; 5: littoral ridges; 6: estuarine ridges; 7: clayey levees; 8: situation of the two drillings studied (AR1, AR2). Lithology: a-b: clays; c: silty clay; d: clayey silt; e: fragments of macrofauna.

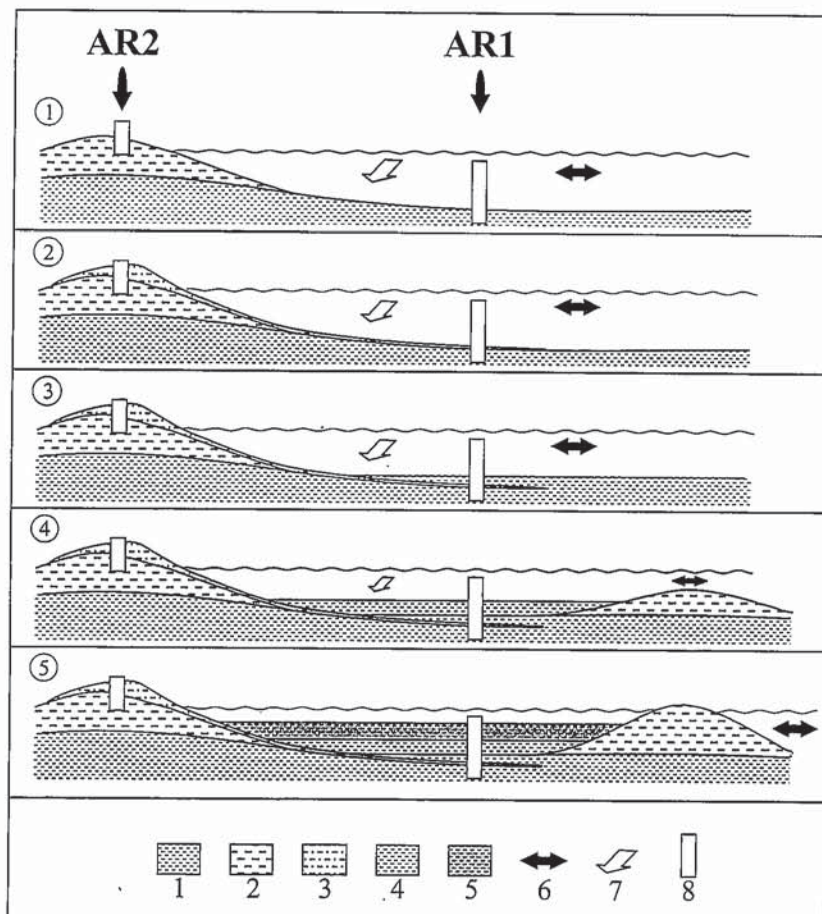


Fig. 2.- Evolución del sector de Las Nuevas (Parque Nacional de Doñana). Leyenda: 1: depósitos de lagoón (arcillas); 2: depósitos de levee (arcillas); 3: chenier (arcillas limosas); 4: depósitos de transición (arcillas); 5: depósitos de laguna (arcilla); 6: influencia mareal; 7: influencia fluvial; 8: sondeos estudiados.

Fig. 2.- Evolution of the Las Nuevas area (Doñana National Park). Key: 1: lagoon deposits (clays); 2: levee deposits (clays); 3: chenier (silty clays); 4: transitional deposits (clays); 5: pond deposits (clays); 6: tidal influence; 7: fluvial influence; 8: drillings studied.

cipales caracteres geomorfológicos del estuario. Se tomaron dos testigos (AR1 y AR2) con un testificador manual de 2 cm de diámetro, cuya litología y principales rasgos de la macrofauna fueron descritos directamente durante la campaña de campo. Dos muestras de cada litología observada fueron analizadas mediante un Sedigraph 5000. También se han efectuado dos dataciones de ^{14}C sobre conchas de moluscos (*Cardium edule*) en los laboratorios Beta Analytic (Miami, USA). La edad se ha calibrado aplicando un efecto reservorio de -440 ± 85 años, determinado por Dabrio *et al.* (1996) para el litoral suratlántico español.

Un total de 19 muestras fueron seleccionadas para el análisis de los ostrácodos presentes. Cada muestra (15 g) fue levigada a través de un tamiz de 63 μm y posteriormente secado el residuo a 70°C . En cada una, se intentaron separar 300 valvas y caparazones de ostrácodos, o bien la fauna total de ostrácodos si la densidad era inferior.

Resultados

Geomorfología básica

El estudio geomorfológico ha permitido delimitar los levees fluviales asociados al río Guadalquivir y a sus antiguos cauces, con dos direcciones principales: N-S y E-W. Estos levees tienen una anchura variable (300-1500 m) y una longitud de hasta 5 km, levantándose entre 0,5 y 0,7 m sobre las marismas adyacentes. Algunos levees están cubiertos por cheniers («vetas»), con características acumulaciones lumaquéllicas de moluscos que definen las máximas alturas de la zona (Fig. 1: Carrizosa, Las Nuevas).

Las depresiones están formadas por los canales fluviales (activos e inactivos) y otras áreas confinadas por canales o antiguos levees. Estas áreas permanecen actualmente secas durante gran parte del año, conteniendo aguas permanentes o delimitando lagunas temporales («lucios») desde noviembre a junio.

Finalmente, el estuario está parcialmente cerrado por dos flechas arenosas principales (Doñana y La Algaída), cubiertas parcialmente por dunas activas. Adosados a ellas, aparecen dos antiguos cordones litorales de dirección NE-SW (Vetalengua, Veta la Arena).

Litoestratigrafía y macrofauna

El tamaño de grano del Testigo AR1 es muy homogéneo ($> 75\%$ de arcillas; 20-25 % de limos; $< 2\%$ de arenas). El color permite distinguir entre una capa inferior (-74 a -22 cm; color 10YR 5/3) y un tramo superior (22 cm superiores; color 5Y 4/2). El tramo inferior presenta numerosos fragmentos de raíces y rizolitos. La macrofauna está

ESPECIES/MUESTRAS	AR1-1	AR1-2	AR1-3	AR1-4	AR1-5	AR1-6	AR1-7	AR1-8	AR1-9	AR1-10	AR2-1	AR2-2	AR2-3	AR2-4	AR2-5	AR2-6	AR2-7	AR2-8	AR2-9
<i>Acanthocythereis hystrix</i> **													1						
<i>Basslerites berchoni</i> **					10														
<i>Carinocythereis whitei</i> **		38																	
<i>Cylocypris laevis</i> ***			56																
<i>Cyprideis torosa</i> *	5786	5809	9065	6483	2107	2596	330	104	8	4			94	33	59	103	43	178	2
<i>Cypridopsis vidua</i> ***								3	1	2									
<i>Cyprinotus salinus</i> ***							12	?	14?	242?									
<i>Cypris bispinosa</i> ***										2									
<i>Cytherois fischeri</i> *	371	385	282	116	21		1							1					
<i>Herpetocypris chevreuxi</i> ***										3									
<i>Ilyocypris gibba</i> ***								2	6	8									
<i>Leptocythere castanea</i> *	1733	3308	3829	1360	260	200	71	3	1		3				1				
<i>Leptocythere fabaeformis</i> *													1						
<i>Leptocythere porcellanea</i> *		38		116	31	21	4												
<i>Loxoconcha elliptica</i> *	835	2347	3379	2286	675	652	95	12	18				6	3	9	2		4	
<i>Loxoconcha rhomboidea</i> **		38	56											1					
<i>Neocytherideis subulata</i> **						11													
<i>Palmoconcha guttata</i> **				29															
<i>Palmoconcha laevata</i> **			56	116	21		1						6		1			2	
<i>Pontocythere elongata</i> **						32							5	3		1	2	2	
<i>Semicytherura incongruens</i> **						11													
<i>Semicytherura</i> sp. **		77	56		21														
<i>Urocythereis oblonga</i> **												1	3	2					
<i>Triebelina raripila</i> **						11													
<i>Xestoleberis communis</i> **													1						
TOTAL	8725	12040	16780	10506	3146	3534	514	124	48?	261?	3	1	120	43	70	106	45	186	2
INDIVIDUOS/GRAMO	582	800	1119	700	210	236	34	8	3?	17?	<1	<1	8	2.9	4.7	7.1	3	12.4	<1
% ESPECIES ESTUARINAS (*)	100	98,7	98,7	98,6	98,4	98,2	97,5	95,2	56,2?	1,5?	100	X	87,5	86,5	98,6	99,1	95,6	97,8	100
% ESPECIES MARINAS (**)	X	1,3	1	1,4	1,6	1,8	0,2	X	X	X	X	X	12,5	13,5	1,4	0,9	4,4	2,2	X
% ESPECIES DULCEACUÍCOLAS (***)	X	X	0,3	X	X	X	2,3	4,8	43,8?	98,5?	X	X	X	X	X	X	X	X	X
ZONA	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A2	A2	A3	A3	B1	B1	B1	B2	B2	B2	B2	B2	B2

Tabla 1.- Abundancia de los ostrácodos en las muestras estudiadas.

Table 1.- Abundance of ostracodes in the samples studied.

constituida por escasos fragmentos de *Venerupis decussatus* y *Crassostrea angulata*. Esta uniformidad litológica sólo se ve interrumpida por un intervalo limoso entre -52 y -47 cm, con abundantes valvas de *Cardium edule* y *V. decussatus*. Este intervalo aumenta su espesor hacia el N y tiene continuidad lateral con la parte superior del testigo AR2.

El Testigo AR2 puede ser dividido en dos intervalos litológicos. Entre -66 y -34 cm, presenta una secuencia continua de arcillas verde-grisáceas (70-77 % de arcillas; 22-29 % de limos; < 2 % de arenas) con escasa bioturbación. La escasa macrofauna está formada por el gasterópodo pulmonado *Melanopsis*, acompañado por numerosos fragmentos de raíces. La zona superior (34 cm) está formada por dos niveles de arcillas limosas (54-55 % de arcillas; 44-45 % de limos; 1-2 % de arenas) que contienen acumulaciones lumacológicas de moluscos. La macrofauna está dominada por bivalvos (*C. edule*, *V. decussatus*) y gasterópodos (*Melanopsis*, *Gyraulax laevis*, *Helix* sp.). La edad de estos niveles se encuentra entre 2020 años cal.¹⁴C BP (muestra AR2-3: Beta-154079) y 1990 años cal.¹⁴C BP (muestra AR2-8: Beta-154082). Entre estos dos niveles se intercala un horizonte de limos arcillosos (-

26 a -19 cm), con una menor densidad de moluscos.

Ostrácodos

El Testigo AR1 puede ser dividido en tres zonas en base a ostrácodos (Tabla 1). La Zona A1 (-74 a -36 cm) se caracteriza por unas densidades muy elevadas de valvas (> 500 individuos/gramo), con un máximo a -62 cm. Su asociación básica se compone de *C. torosa*, *Leptocythere castanea*, *Loxoconcha elliptica* y *Cytherois fischeri*. Otras especies (*Palmoconcha laevata*, *Semicytherura* spp., *Neocytherideis subulata*, *Pontocythere elongata*) sólo están representadas por mudas juveniles en muestras aisladas. En la parte superior de esta zona (-52 a -47 cm), la densidad decrece (< 200 individuos/gramo), coincidiendo con la presencia de frecuentes conchas de bivalvos.

La Zona A2 (-36 a -16 cm) se caracteriza por una disminución aún más acusada en el número de individuos por gramo (< 35), con una progresiva desaparición de la asociación anterior y la primera presencia de nuevas especies (*Cyprinotus salinus*, *Cypridopsis vidua*) y caráceas. Por último, los 16 cm superiores (Zona

A3) están dominados por *C. salinus*, con contribuciones menores de *Herpetocypris chevreuxi*, *C. vidua*, y *Cypris bispinosa*. La densidad de esta zona es difícil de estimar, debido a la gran cantidad de fragmentos de estas formas débilmente mineralizadas observadas. Las caráceas (*Chara*, *Nitella*) y los fragmentos de raíces de fanerógamas son muy abundantes.

El contenido en ostrácodos permite delimitar dos zonas en el Testigo AR-2. En las muestras inferiores (Zona B1: -66 a -55 cm), estos microcrustáceos están pobremente representados por algunos ejemplares juveniles de *Leptocythere castanea* y *Urocythereis oblonga*. En las muestras superiores (Zona B2), la densidad es baja a muy baja (< 13 individuos/gramo), con *Cyprideis torosa* como especie más representativa (89 % de las valvas). *Loxoconcha elliptica* y *Pontocythere elongata* también están presentes en la mayoría de estas muestras.

Reconstrucción paleoambiental

La datación del chenier de Las Nuevas ($\approx$ 2000 años BP) en los 34 cm superiores del Testigo AR2 y su correlación lateral con un tramo del Testigo AR1 (-52

a -47 cm)) permite trazar sus cambios paleoambientales durante esta época. Pueden distinguirse 5 episodios (Fig. 2):

Primer episodio (Fig. 2, 1: Zona B1 y parte inferior de la Zona A1). Durante este periodo (> 2000 BP), la asociación determinada en la parte inferior de la Zona A1 (*C. torosa*, *L. elliptica*, *L. castanea*) sería indicativa de una zona interna, muy somera, de un lagoon salobre (salinidad superior a 25 por mil), muy próxima a las playas del lagoon (Athersuch *et al.*, 1989; Montenegro y Pugliese, 1996; Ruiz *et al.*, 2000b). Los finos sedimentos observados indicarían un medio de muy baja energía (presencia de mudas A-6), con unas aguas ricas en NaCl debido a la presencia de formas lisas de *C. torosa* (Anadón *et al.*, 1986). La influencia marina sería escasa pero constante, avalada por el transporte de los fragmentos de *V. decussatus* y la presencia testimonial de ostrácodos marinos (*P. laevata*, *P. guttata*, *Semicytherura* spp.), abundantes en la plataforma adyacente (Ruiz *et al.*, 1997). Ésta sería la fauna del *Lacus Ligustinus* descrito por los cronistas romanos.

Las zonas intermareales altas o casi totalmente emergidas de este lagoon estarían representadas por la Zona B1, que representaría un depósito de levée. Se caracteriza por numerosas evidencias de emersión (gasterópodos pulmonados, ausencia de organismos marinos transportados, rizolitos, etc).

Segundo episodio (Fig. 2, 2: Zona B2 y parte media de la Zona A1). Se caracteriza por el depósito del chenier de Las Nuevas (2000-1900 BP), con acumulación masiva de conchas de bivalvos estuarinos (*C. edule*) y algunos marinos transportados. Su formación pudo estar relacionado con: a) un evento energético importante (gran tormenta, tsunami?) que ocasionaría a su vez la ruptura de la flecha de Doñana y crearía el cordón estuarino de Vetalegua, de edad similar (Rodríguez-Ramírez, 1996); b) o bien con una crisis biológica, como ha sido apuntado por otros autores para explicar la génesis de estas formaciones (Rodríguez-Ramírez *et al.*, 1996). En cualquier caso, ocasiona una disminución importante en la densidad y diversidad de las asociaciones de ostrácodos del lagoon (Tabla 1). A partir de este depósito, el Testigo AR2 permanecería totalmente emergido.

Tercer episodio (Fig. 2, 3: parte superior de la Zona A1). Se agudiza la crisis en las asociaciones de ostrácodos, con una drástica disminución de la densidad.

Se produciría el paso a medios intermareales del Testigo AR1, con aumento paulatino de la emersión y disminución de la influencia marina.

Cuarto episodio (Fig. 2, 4: Zona A2). Es una etapa de transición donde la influencia mareal decrece, debido al confinamiento paulatino de la depresión donde se sitúa el Testigo AR1 entre el chenier de Las Nuevas y el siguiente levée creado por el río. El sector se hace probablemente endorreico, alimentándose de las precipitaciones y de las ocasionales crecidas del río y grandes mareas. Aparecen las primeras especies típicas de medios dulceacuícolas (*C. salinus*, *C. vidua*), indicativas de una disminución importante de la salinidad.

Quinto episodio (Fig. 2, 5: Zona A3). La zona queda totalmente aislada. Los ostrácodos presentes son similares a los observados actualmente en las lagunas temporales («lucios») del Parque Nacional de Doñana (Ruiz *et al.*, 1996). Suelen tener escasa profundidad (< 20 cm), pH alcalino (8,5-11) y escasa salinidad (0-0,5 por mil), secándose generalmente entre Junio y Octubre (Toja *et al.*, 1991; Serrano y Toja, 1995). En estas lagunas, las caráceas son abundantes, en especial los géneros *Chara* y *Nitella*, presentes en las muestras superiores del Testigo AR1.

Conclusiones

El estudio de la geomorfología y los ostrácodos obtenidos en dos testigos tomados en Las Nuevas (Parque Nacional de Doñana, estuario del Guadalquivir) ha permitido definir las asociaciones de estos microcrustáceos que caracterizan los principales elementos geomorfológicos que componen esta Reserva de la Biosfera (lagoon salobre, cheniers o «vetas», levees, laguna temporal o «lucios»). Su análisis detallado define cinco etapas en la evolución de este sector estuarino, desde un lagoon salobre a una laguna temporal confinada.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado con los proyectos AMB99-0226-C03-03 y BTE2000-1153 de la D.G.Y.C.I.T., así como el proyecto «Evolución y tendencia evolutiva de la Marisma del P.N. de Doñana» (Ministerio del Medio Ambiente). Es una aportación a los IGCP 396 y 437. Agradecemos a D. Miguel Casalsáñez la preparación de las muestras estudiadas y su apoyo informático.

Bibliografía

- Anadón, P., De Deckker, P., Julià, R. (1986): *Hydrobiologia*, 143, 199-208.
- Athersuch, J., Horne, D. J., Whittaker, J. E. (1989): *Marine and Brackish Water Ostracods*. Synopses of the British fauna (new series), 43, 343 pp.
- Borrego, J., Ruiz, F., González-Regalado, M. L., Pendón, J. G., Morales, J. A. (1999): *Quaternary Sci. Rev.*, 18, 769-788.
- Carretero, M. I., Ruiz, F., Rodríguez-Ramírez, A., Cáceres, L., Rodríguez Vidal, J., González-Regalado, M. L. (in press): *Clay Minerals*.
- Dabrio, C. J., Polo, M. D., Zazo, C., Hoyos, M., Lario, J., Goy, J. L., Sierro, F. J., Flores, J. A., González, J. A., Bardají, T., Borja, F. (1996): In: T. A. M. de Groot (Ed.), «Climate Change and Coastal Evolution in Europe. Final Report». Rijks Geologische Dienst, The Netherlands, 3, 11.1-11.29.
- Davies, J. L. (1964). *Z. Geomorph.*, 8, 27-42.
- Marocco, R., Melis, R., Montenegro, M. E., Pugliese, N., Vio, E., Lenardon, G. (1996): *Riv. Ital. Paleont. Ital.*, 102, 385-396.
- Menanteau, L. (1979): *Les Marismas du Guadalquivir. Exemple de transformation d'un paysage alluvial au cours du Quaternaire récent..* These 3er cycle, Univ. Paris-Sorbonne, 154 pp.
- Montenegro, M. E., Pugliese, N. (1996): *Boll. della Soc. Paleont. Italiana*, spec. vol., 3, 123-132.
- Rodríguez-Ramírez, A. (1996): *Geomorfología Continental y Submarina del Golfo de Cádiz (Guadiana-Guadalquivir) durante el Cuaternario Reciente*. Tesis Doctoral Univ. Huelva, 370 pp.
- Rodríguez-Ramírez, A., Rodríguez Vidal, J., Cáceres, L., Belloumini, G., Manfra, L., Improta, S., De Andrés, J. R. (1996): *Quaternary Sci. Rev.*, 15, 803-809.
- Ruiz, F., González-Regalado, M. L., Serrano, L., Toja, J. (1996): *Aestuarina*, 4, 125-140.
- Ruiz, F., González-Regalado, M. L., Muñoz, J. M. (1997): *Mar. Micropal.*, 31, 183-203.
- Ruiz, F., González-Regalado, M. L., Baceta, J. I., Muñoz, J. M. (2000 a): *Mar. Micropal.*, 40, 345-376.
- Ruiz, F., González-Regalado, M. L., Menegazzo-Vitturi, L., Pistolato, M., Rampazzo, G., Molinaroli, E. (2000b): *Geobios*, 33, 447-454.
- Serrano, L., Toja, J. (1995): *Arch. Hydrobiol.*, 133 (4), 497-516.
- Toja, J., López, T., Gabellone, N. (1991): *Verh. Int. Verein. Limnol.*, 24, 1556-1559.
- Vanne, J. R. (1970): *L'hydrologie du Bas Guadalquivir*. C. S. I. C., Madrid, 176 pp.