



## COLMATACIÓN NATURAL Y ANTRÓPICA DE LAS MARISMAS DEL PARQUE NACIONAL DE DOÑANA: IMPLICACIONES PARA SU MANEJO Y CONSERVACIÓN

*Natural and antropic sedimentation rates in the salt marsh of the Doñana  
National Park: Implications for their handling and conservation*

A. Rodríguez Ramírez<sup>(1)</sup>, C. Yañez Camacho<sup>(2)</sup>, C. Gascó<sup>(3)</sup>, L. Clemente Salas<sup>(2)</sup>,  
M<sup>a</sup> P. Antón<sup>(3)</sup>

(1) Departamento de Geodinámica y Paleontología. Universidad de Huelva. Avda. de las Fuerzas Armadas, s/n. 21071– Huelva.

(2) Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología (CSIC), Apartado 1052, 41080 Sevilla, Spain.

(3) Departamento de Medio Ambiente. CIEMAT. Avda de la Complutense 22, Madrid 28040  
arodri@uhu.es

**Resumen:** Las marismas del Parque Nacional de Doñana son una de las zonas húmedas más importantes del mundo. En los últimos cincuenta años han experimentado una preocupante degradación como resultado de la intensa colmatación, que ha repercutido en la transformación de sus características ecológicas. En el presente trabajo se analiza dicha colmatación, comparando las etapas de su evolución holocena (últimos 6000 años) con periodos actuales: últimas cinco décadas (1952-2002) y últimos cuatro años (2000-2004). El estudio permite establecer una comparación entre las tasas de sedimentación naturales y las antrópicas, observándose un aumento considerable en épocas recientes. Las causas se atribuyen principalmente a la alteración de su dinámica hídrica, como consecuencia de los encauzamientos y rectificaciones de los cauces del Guadamar y Guadalquivir. Se analizan los planes de regeneración que han sido elaborados por la Administración Central para intentar paliar este problema.

**Palabras clave:** colmatación, restauración, marismas, Doñana, SW España.

**Abstract:** The salt marsh of the Doñana National Park are one of the most important wet zones in the world. During the last fifty years it has shown a great degradation, due to the intense sedimentation rates. This degradation has influenced in the transformation of its ecological characteristics. In the present work this sedimentation is analyzed, comparing the stages of its Holocene evolution (last 6000 years) with present periods: last five decades (1952-2002) and last four years (2000-2004). The study compares the natural and antropics sedimentation rates; a considerable increase at recent times has been observed. The causes are attributed to the alteration of their hydrologic dynamics, mainly as a result of the channelling and rectifications of the Guadamar and Guadalquivir rivers. The plans of regeneration elaborated by the Central Administration, trying to palliate this problem, are analyzed.

Keywords: sedimentation rates, restoration, salt marsh, Doñana, SW Spain.



A. Rodríguez, C. Yañez Camacho, C. Gascó, L. Clemente Salas y M.<sup>a</sup> P. Antón (2005). Colmatación natural y antrópica de las marismas del Parque Nacional de Doñana: Implicaciones para su manejo y conservación. *Rev. C. & G.*, 19 (3-4), 37-48.

## 1.-Introducción

Las zonas húmedas son los ambientes que presentan un mayor grado de vulnerabilidad (Farnworth y Golley, 1974; Mitsch y Gosselink, 2000). En España la mayor parte de estos medios se encuentran sometidos a una enorme presión antrópica por el entorno en el que se sitúan (González Bernáldez, 1987; Vélez Soto, 1979; Senra, 1984). Este es el caso de las marismas del Guadalquivir, transformadas intensamente a lo largo de los siglos, hasta el punto de quedar hoy día sólo un mero retazo, en estado semivirgen, dentro del Parque Nacional de Doñana (Menanteau, 1979; González Arteaga, 1993; Rodríguez Ramírez, 1998).

En la mayoría de los casos, el amparo bajo una u otra figura de protección no es suficiente para salvaguardar, en un estado aceptable, un espacio natural de estas características (Montes 1995; Bernués, 1997). La dependencia e interrelación con los terrenos aledaños es tan fuerte que la mayoría de los acontecimientos que tienen lugar dentro del área húmeda protegida depende de lo que ocurre aguas arriba, a decenas o, incluso, centenares de kilómetros. El humedal actúa de sumidero final de los aportes de las cuencas vertientes y si estos son de mala calidad los procesos de degradación se intensifican. En el caso de las marismas de Doñana, es la intensa colmatación una de las principales causas de su paulatino deterioro, sin que ésta, aún siendo muy grave, haya sido suficientemente estudiada. La mayoría de los estudios realizados hasta la fecha se refieren a la evolución geodinámica a lo largo del Holoceno (Menanteau, 1979; Zazo *et al.*, 1994; Rodríguez-Ramírez, 1996; Rodríguez-Ramírez *et al.*, 1997). Otros trabajos describen las facies estuarinas holocenas, reconstruyendo el relleno sedimentario a partir de sondeos profundos (Dabrio *et al.*, 1999, 2000; Zazo *et al.*, 1999; Lario *et al.*, 2002).

En el presente trabajo se analizan los procesos de colmatación, tanto naturales como antrópicos, que han tenido lugar en las marismas del Parque Nacional de Doñana desde el Holoceno reciente a la actualidad y sus repercusiones en el medio natural. Se comparan valores naturales, relacionados con los estadios evolutivos iniciales, con valores de sedimentación acontecidos en las últimas décadas,

relacionados con las fuertes actuaciones antrópicas. Hoy día la intensa colmatación es uno de los problemas más acuciantes que tiene este espacio natural, con importantes repercusiones en la distribución de fauna y flora. En las últimas décadas se han dedicado grandes esfuerzos en solucionar el problema de su progresiva degradación, con resultados desiguales, los cuales son analizados.

## 2.-Encuadre geodinámico

Las marismas del Parque Nacional de Doñana se ubican en la desembocadura del río Guadalquivir, entre los 6°15'00" – 6°30'00" longitud Oeste y los 36°50'00" - 37°10'00" latitud Norte (Fig. 1). Hasta finales del siglo XIX presentaban una extensión de 140.000 ha; sin embargo, debido a las diferentes e intensas actividades antrópicas que se han sucedido desde entonces (agricultura, salinas, piscifactorías, etc.), hoy día han quedado reducidas a unas escasas 30.000 ha en estado semivirgen. Dada su importancia como enclave natural, fueron declaradas Parque Nacional en 1960 (P.N. de Doñana), Reserva Mundial de la Biosfera por la UNESCO en 1980, así como Zona Húmeda de Importancia Internacional (Convenio de Ramsar). Es una de las zonas húmedas más significativas del mundo debido a su riqueza faunística, albergando anualmente más de seis millones de aves invernantes.

Las marismas son el resultado de la progresiva evolución del antiguo estuario del río Guadalquivir, encontrándose aisladas del mar por un complejo sistema de barreras litorales de gran importancia (Doñana y Algaida) desarrolladas a lo largo del Holoceno (Fig. 1) (Menanteau, 1979; Zazo *et al.*, 1994; Rodríguez Ramírez, 1998). Su geomorfología esta condicionada por la evolución de la red fluvial, conformada por una serie de malecones fluviales (paciles) que delimitan áreas deprimidas (lucios y caños). Estos malecones fluviales actúan de barreras naturales, erigiéndose como reguladores de la lámina de agua aportada por la red fluvial e impidiendo la entrada de flujos mareales (Rodríguez Ramírez, 1998).

En las últimas fases de su evolución su dinámica ha estado condicionada por los aportes pluviales. Desde el punto de vista climático lo más característico es la elevada estacionalidad, con un perio-

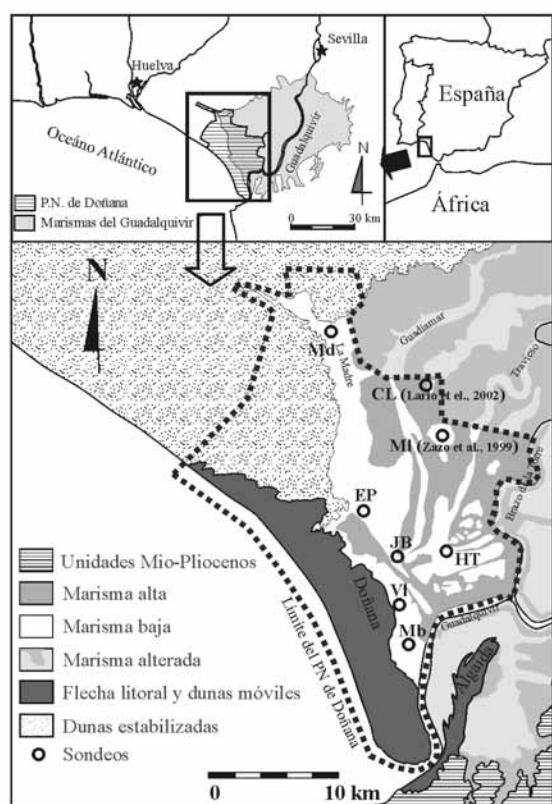


Figura 1. Situación del área de estudio y esquema geomorfológico del Parque Nacional de Doñana, con localización de sondeos estudiados.

Figure 1: Situation of the study area and geomorphologic scheme of the Doñana National Park, with location of cores.

do de lluvias, desde octubre a abril, y un periodo de sequía, desde mayo a septiembre. Las precipitaciones medias anuales son del orden de 537 mm, aunque existen periodos que no superan los 300 mm (años 1980 y 1994), mientras otros se sitúan por encima de los 900 mm (años 1987 y 1995) (Siljestrom et al., 2002). Desde el punto de vista fluvial, los ríos Guadalquivir y Guadamar son los principales cauces fluviales que han condicionado su dinámica hídrica. El Guadalquivir presenta un caudal medio anual de 164 m<sup>3</sup>/s (Vannoy, 1970), mientras que el del Guadamar es de 6.6 m<sup>3</sup>/s (Gallart et al., 1999). Estos caudales se encuentran condicionados por la fuerte estacionalidad climática, con valores mínimos en los meses de verano y máximos en invierno, así como por la irregularidad interanual. En periodos invernales lluviosos se pue-

den superar los 1.000 m<sup>3</sup>/s, produciéndose grandes riadas. Por otra parte la influencia mareal actual dentro de la cubeta marismeña es inexistente aunque durante el Holoceno fue muy significativa.

### 3.-Metodología

Para estimar las tasas de colmatación se realizó en primer lugar la cartografía geomorfológica del área a partir de la foto aérea de 1956. Esto permitió establecer las unidades geomorfológicas (malecones, canales fluviales, etc.) y las características dinámicas de las marismas cuando aún estaban escasamente transformadas. Posteriormente, se realizó la cartografía de una situación más reciente a partir de la foto aérea del año 2000, reconociéndose las modificaciones antrópicas y sus consecuencias geomorfológicas y dinámicas en el medio.

A continuación, se seleccionaron una serie de puntos en los que se llevaron a cabo una serie de sondeos, determinándose sobre el mismo punto tasas de acumulación sedimentaria antiguas (últimos 6000 años), recientes (1952-2002) y actuales (2000-2004). Estos puntos se seleccionaron en ambientes similares, para que las tasas de sedimentación fueran comparables, para ello se escogieron las áreas más deprimidas y por tanto de mayor sedimentación (lucios) (Fig. 1). De igual modo se corrigió la compactación de los testigos realizados para obtener tasas de acumulación absolutas.

Para establecer valores de colmatación durante el Holoceno reciente (últimos 6000 años) se realizaron dos sondeos largos (VI (1,30 m) y HT (1,55 m)) (Fig. 2). Esto fue complementado por datos suministrados por sondeos de otros autores (CL (Lario et al., 2002) y MI (Zazo et al., 1999)). Los sondeos VI y HT se realizaron con una sonda de media caña de 5 cm de diámetro, introducida en el sedimento a percusión y extraída manualmente. Posteriormente se muestrearon los niveles conchíferos, constituidos básicamente por *Cerastoderma edule*, midiendo sus profundidades con respecto a la superficie actual. Los restos de conchas fueron datados mediante la técnica del C14 en los laboratorios Beta Analytic (Miami, FL, USA). Los datos fueron calibrados usando el programa CALIB versión 4.3 (Stuiver and Reimer, 1993). El resultado final corresponde a edades calibradas usando el

intervalo 2s con un efecto reservorio corregido de -440+85, tal como sugieren para este área Dabrio et al. (1999) (Tabla 1).

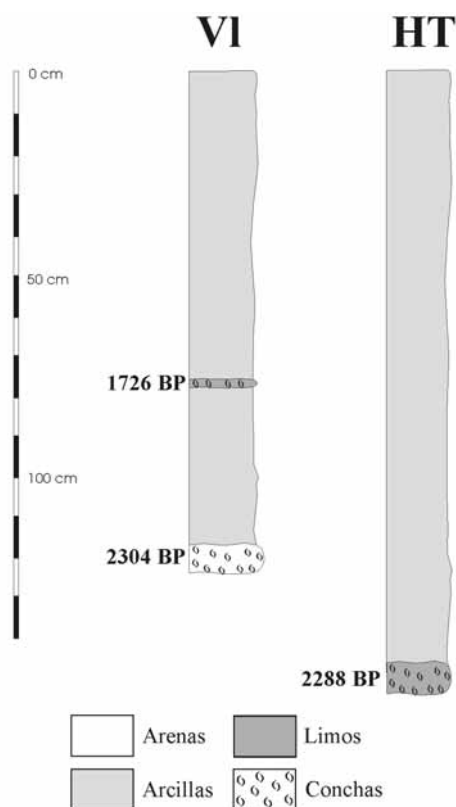


Figura 2. Secuencia litológica y cronología de los testigos VI y HT.  
 Figure 2. Lithological and chronological sequence of the cores VI and HT.

El cálculo de la tasa de sedimentación media en las últimas décadas (1952-2002) se ha realizado a través de los perfiles de distribución en profundidad de la concentración de actividad de determinados radionucleidos artificiales:  $^{137}\text{Cs}$  y  $^{239,240}\text{Pu}$ . Para ello se realizaron seis sondeos cortos de 50 cm de longitud, sobre los depósitos arcillosos marismeros, mediante una barrena de permeabilidad de acero de 15 cm de diámetro, en la que se introducía un tubo de PVC. Las muestras de arcilla resultantes fueron tratadas en los laboratorios del CIEMAT (Madrid, España). Dado la poca cohesión de los sedimentos recogidos estos fueron congelados y posteriormente extraídos del tubo de PVC. El muestreo de cada uno de los testigos se efectuó en secciones consecutivas de 3 cm. Estas muestras fueron secadas en una estufa a 65°C y molturadas en un molino de bolas hasta su total homogeneización. El sedimento resultante fue introducido en recipientes de plástico para su posterior análisis. El  $^{137}\text{C}$  fue medido directamente por espectrometría gamma en un detector de Ge tipo-n hiperpuro y el  $^{239,240}\text{Pu}$  por espectrometría alfa de alta resolución después de su separación radioquímica con resinas de intercambio iónico y electrodeposición en discos de acero (Talvitie, 1972) (Tabla 2).

La tasa de sedimentación media (Tabla 2) se ha calculado dividiendo la profundidad donde empiezan a aparecer los radionucleidos artificiales por los años existentes entre la fecha de muestreo (2002) y el año 1952. Este último año se considera el inicial de incorporación de radionucleidos artifi-

Tabla 1. Cuadro de dataciones de  $^{14}\text{C}$ . Laboratorio: B: Beta Analytic Inc, Miami, Florida (USA); R: Centro di Studio per il Quaternario e l'Evoluzione Ambientale del CNR-Dipartimento Scienze della Terra-Università La Sapienza (Roma, Italia); GX: Geochron Laboratories, Massachusetts, USA. (1) Rodríguez-Ramírez et al., (1996), (2) Ruiz et al., (2004), (3) Zazo et al., (1999), (4) Lario et al., (2002).

Table 1. Data base of  $^{14}\text{C}$  results. Laboratory: B: Beta Analytic Inc, Miami, Florida (USA); R: Centro di Studio per il Quaternario e l'Evoluzione Ambientale del CNR-Dipartimento Scienze della Terra-Università La Sapienza (Roma, Italia); GX: Geochron Laboratories, Massachusetts, USA. (1) Rodríguez-Ramírez et al., (1996), (2) Ruiz et al., (2004), (3) Zazo et al., (1999), (4) Lario et al., (2002).

| Sondeo | Lab.     | Profund. | (14Caños BP) | Error | Edad media cal. | Ref. |
|--------|----------|----------|--------------|-------|-----------------|------|
| VI     | B-154088 | -78      | 1710         | 50    | 1726            |      |
| VI     | R-2283   | -120     | 2171         | 36    | 2304            | 1    |
| HT     | B-145203 | -1.55    | 2140         | 70    | 2288            | 2    |
| MI     | GX-23839 | -7.3     | 3915         | 50    | 3830            | 3    |
| MI     | GX-23840 | -10.85   | 5370         | 50    | 5680            | 3    |
| CL     | GX-23358 | -3.7     | 4320         | 60    | 4395            | 4    |
| CL     | GX-23359 | -7.9     | 5040         | 70    | 5310            | 4    |

Tabla . Profundidad de incorporación al sedimento de los radionucleidos artificiales (PISRA) (año 1952) y tasas de acumulación para los periodos 1952-2002 y 2000-2004.

Table 2. Incorporation depth to the silt of the artificial radionucleidos (PISRA) (year 1952) and accumulation rates for the 1952-2002 and 2000-2004 periods.

| Sondeo | P.I.S.R.A. 1952 | mm/a (1952-02) | Sed. Total (2000-04) | mm/a (2000-04) |
|--------|-----------------|----------------|----------------------|----------------|
| Md     | 16+1,5 cm       | 3,2            | 4,4 mm               | 1,1            |
| MI     | 26+1,5 cm       | 5,2            | 7,2 mm               | 1,8            |
| EP     | 16+1,5 cm       | 3,2            | 3,6 mm               | 0,9            |
| JB     | 17+1,5 cm       | 3,4            | 1,2 mm               | 0,3            |
| Mb     | 30+1,5 cm       | 6              | 8,0 mm               | 2              |
| HT     | 18+1,5 cm       | 3,6            | 4,4 mm               | 1,1            |
| VI     | 15+1,5 cm       | 3,1            | 2,8 mm               | 0,7            |

ciales al Medio Ambiente ya que en él se realizaron los primeros ensayos de bombas termonucleares. Su consecuencia directa fué una distribución estratósfera de productos de fisión y de plutonio y su posterior incorporación paulatina al planeta.

Los procesos de colmatación más recientes, últimos 4 años (2000-2004), fueron estudiados colocando 7 placas de cerámica de 20 cm x 20 cm en los puntos en los que se realizaron los sondeos, midiéndose el espesor acumulado sobre su superficie con una lupa graduada.

#### 4.-Resultados y Discusión

##### 4.1.-Procesos de colmatación

##### 4.1.1. Colmatación Holocena (pre-antrópica)

Desde el último máximo glacial el mar ha experimentado un ascenso paulatino, conocido como transgresión Flandriense. En las últimas fases de este ascenso marino, entre los 10000-6500 años BP, las tasas de relleno sedimentario en los diferentes estuarios del Golfo de Cádiz fueron del orden de 5 mm/año (Lario et al., 2002). Una vez alcanzado el máximo transgresivo en torno a los 6500 años BP (Zazo et al., 1994) el nivel del mar se estabilizó. A partir de entonces se configuran las extensas barreras litorales que van confinando el estuario a modo de un lagoon costero (Zazo et al., 1994; Rodríguez Ramírez et al., 1996; Ruiz et al., 2004). El relleno paulatino de dicho estuario se produce siguiendo el modelo de deltas digitados (Rodríguez Ramírez, 1996). Esto va dando lugar a

una retirada progresiva de la influencia mareal hasta configurar una marisma de características pluvio/fluviales como la actual, donde la marea sólo se circunscribe a los cauces del Guadalquivir y Brazo de la Torre.

Los valores de sedimentación durante el Holoceno reciente se calculan a partir de diferentes sondeos realizados (Figs. 1, 2 y 3A). El sondeo CL (Lario et al., 2002) refleja unas tasas medias de acumulación de 4,5 mm/año, entre los 5310 - 4395 años BP, y de 0,84 mm/año, entre los 4395 años BP-actualidad. Para el sondeo MI (Zazo et al., 1999) las tasas son más homogéneas con valores de 1,9 mm/año, desde los 5680 años BP hasta la actualidad. Para etapas más recientes se obtienen valores en el sondeo HT de 0.65 mm/año, entre los 2288 años BP- actualidad. En el sondeo VI los valores son de 0.72 mm/año, entre los 2304-1726 años BP, y de 0,45 mm/año entre los 1726 años BP-actualidad. En general se aprecia que para etapas tempranas (entre los 5500-3500 años BP) los datos obtenidos son ciertamente dispares y esto es perfectamente explicable, pues la sedimentación en estuarios de estas características, de gran influencia marina, no es homogénea ni sincrónica en toda su extensión, tal como es constatado por Lario et al. (2002) en otros estuarios del Golfo de Cádiz. Sin embargo para los últimos 2000 años los valores son más homogéneos, situándose por debajo de 1 mm/año (Fig. 3A). Esta homogeneización es coincidente con un cambio drástico en las condiciones dinámicas de la zona. En estos últimos 2000 años se produce un mayor crecimiento de las barreras arenosas (Doñana y Algaida) (Fig. 1) y por tanto un mayor aislamiento del estuario con respecto a la

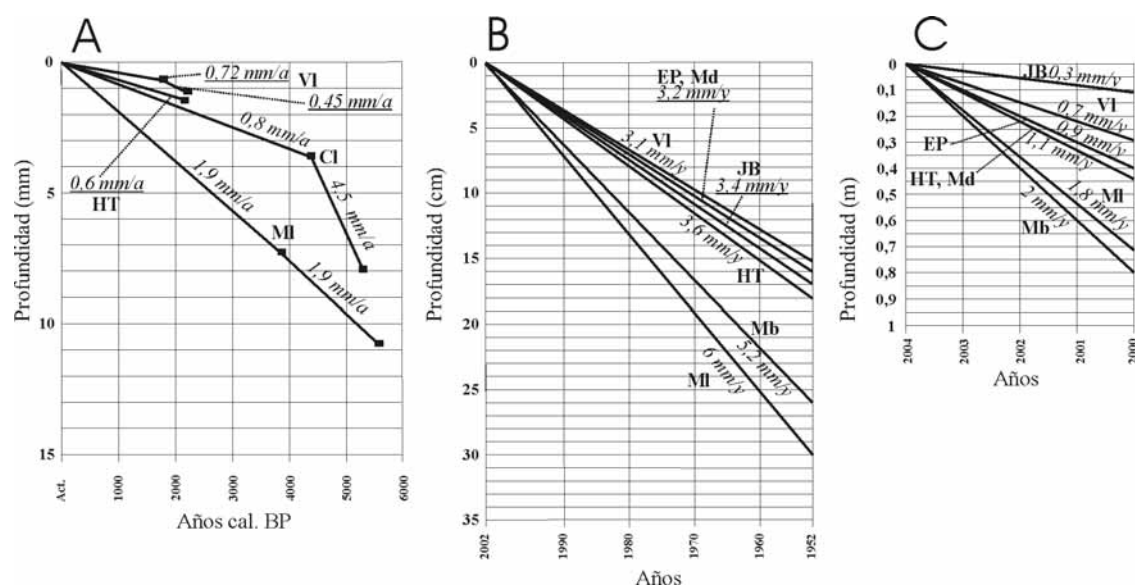


Figura 3. Tasas de sedimentación deducidas para los últimos 6000 años (A), periodo 1952-2002 (B) y periodo 2000-2004 (C).  
 Figure 3. Deducded sedimentation rates for the last 6000 years (A) and periods 1952-2002 (B), 2000-2004 (C).

dinámica marina, con la formación de un lagoon costero (Lacus Ligustinus) (Rodríguez Ramírez et al., 1996). Este lagoon genera unas condiciones más homogéneas de sedimentación, colmatándose progresivamente hasta dar lugar a las marismas actuales.

#### 4.1.2.-Colmatación reciente (antrópica)

Es a partir de mediados del siglo XIX cuando las marismas experimentan su mayor transformación, acentuándose durante el siglo XX (González Arteaga, 1993). Esta transformación se debe principalmente a la intensificación de la agricultura, especialmente el arroz, y los encauzamientos fluviales, mediante la construcción de canales y diques, que transforman su dinámica y empeoran la calidad de sus aguas. Estos cambios son especialmente significativos en la segunda mitad del siglo XX, ya que los dos principales cauces vertientes a las marismas del Parque Nacional de Doñana (Guadalquivir y Guadamar) son rectificadas y encauzadas con diques hasta las inmediaciones del Parque Nacional (Fig. 4B). El Guadamar es encauzado mediante un par de muros dispuestos paralelamente y separados una distancia de unos 1000 m,

lo que se conoce como Entremuros, mientras que el Guadalquivir es encauzado y rectificado por diques hasta la confluencia con el Brazo de la Torre. Estas transformaciones traen como resultado que los caudales fluviales quedan confinados hasta los alrededores del área protegida, produciéndose durante las riadas un efecto de cuello de botella, con desbordamientos muy violentos. A raíz del desastre de la mina de Aznalcollar (1998) este proceso dejó de producirse ya que se aisló el Parque Nacional, mediante un dique, de los aportes del Guadamar y del Guadalquivir (Fig. 4D).

Para calcular las tasas de acumulación en este intervalo temporal se ha aplicado la técnica de los radionucleídos artificiales <sup>137</sup>Cs y <sup>239,240</sup>Pu. Esto permite establecer las tasas de colmatación de las marismas del P.N. de Doñana en los últimos 50 años (Tabla 2). Del total de sondeos realizados se obtienen valores del orden de 3.2 mm/año en Md, 5.2 mm/año en MI, 6 mm/año en Mb, 3.4 mm/año en JB, 3.2 mm/año en EP y 3.6 mm/año en HT. Esto permite estimar unas tasas de entre 3 y 6 mm/año para los últimos 50 años. Del mismo modo en el periodo 2000-2004 se han medido tasas de colmatación en estos mismos puntos de forma directa. Las medidas efectuadas reflejan valores del orden de 1,1 mm/año en Md, 1,8 mm/año en MI, 2

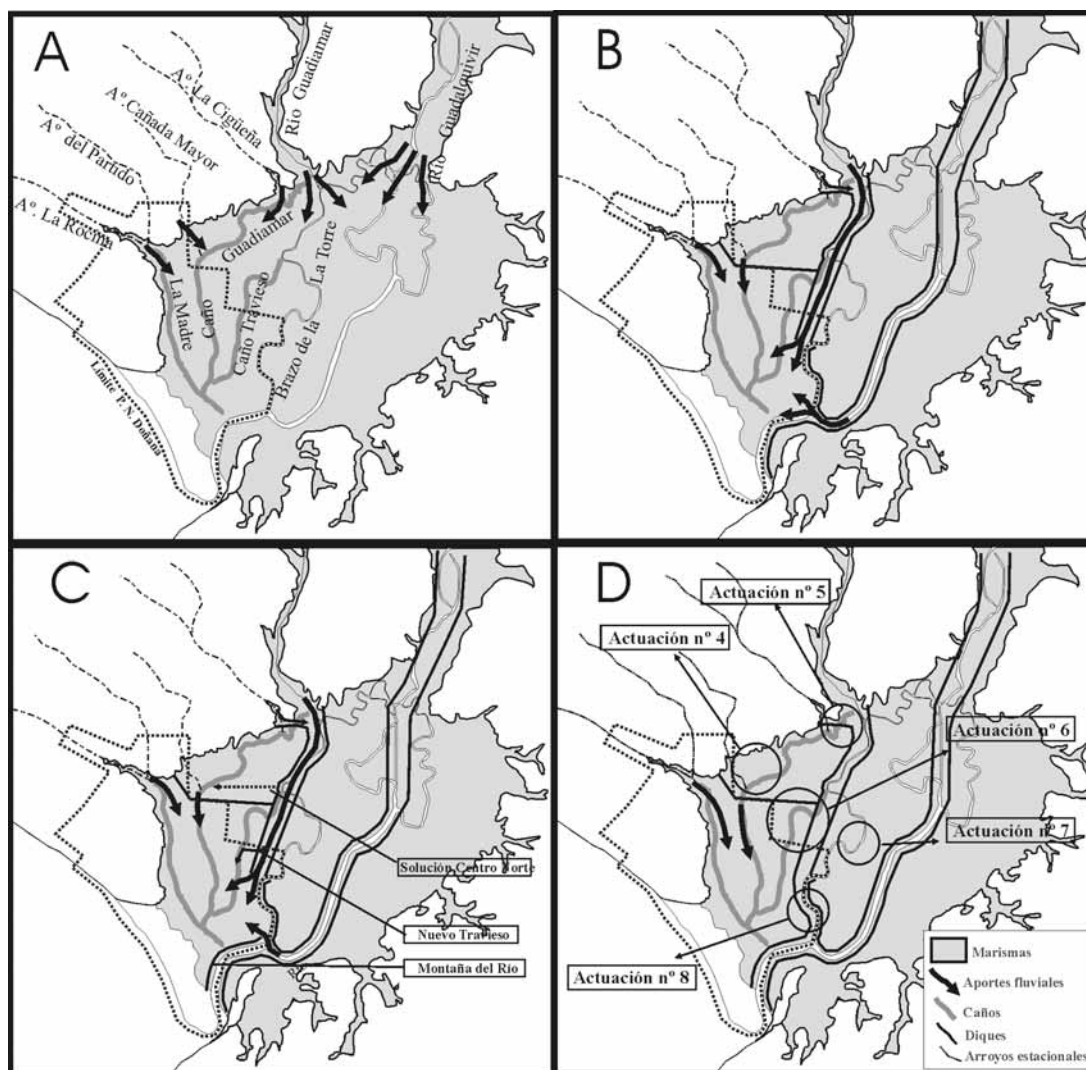


Figura 4. A.- Disposición natural de los aportes fluviales a las marismas de la margen derecha del Guadalquivir. B.- Situación de los aportes fluviales a las marismas del P.N. de Doñana tras los encauzamientos del Guadiana y Guadalquivir (década de los 50´a 1983). C.- Disposición de aportes fluviales tras las obras del Plan de Regeneración Hídrica de Doñana (1983 a 1998). D.- Situación actual y actuaciones del Plan Doñana 2005.

Figure 4. Natural disposition of the fluvial contributions to the salt marshes of the right margin of the Guadalquivir river. B. - Situation of the fluvial contributions to the salt marshes of the Doñana P.N. after the alteration of the Guadiana and Guadalquivir rivers (decade of 1950 to 1983). C. - Disposition of fluvial contributions after works of the Hydric Regeneration of Doñana project (1983 to 1998). D. - Present situation and Doñana 2005 project performances.

mm/año en Mb, 0,3 mm/año en JB, 0,9 mm/año en EP y 1,1 mm/año en HT.

De forma puntual se han medido tasas de sedimentación en aquellas áreas donde los procesos han sido especialmente significativos. El encauzamiento mediante diques hasta las mismas puertas del Parque Nacional ha dado lugar a importantes

tasas de acumulación en años de riadas. Este fue el caso de 1996 donde los desbordamientos fluviales dieron lugar a la entrada de importantes aportes hídricos del Guadiana y Guadalquivir. Esto provocó una intensa sedimentación en las áreas más próximas a las entradas de los flujos hídricos, donde las acumulaciones máximas ron-

daban los 15 mm para el Guadiamar y los 10 mm para el Guadalquivir.

#### 4.1.3.-Causas de la colmatación

El estudio de las diferentes tasas de colmatación pone de manifiesto un aumento considerable en épocas recientes, respecto a las establecidas para los últimos miles de años, pasando de menos de 1 mm/año a 3-6 mm/año en las últimas cinco décadas (Fig. 3). Estas altas tasas son coincidentes de forma clara con la entrada de caudales por parte de los intensamente transformados Guadiamar y Guadalquivir, especialmente en las riadas, donde el fenómeno se incrementa notablemente. En los últimos cuatro años, coincidiendo con el aislamiento de las marismas de estos aportes, los valores se reducen sensiblemente, oscilando entre 0,3-2 mm/año. Los sondeos M1 y Mb reflejan las tasas más altas debido a que se sitúan en lucios, zonas más deprimidas y de mayor acumulación (Figs. 1 y 5A).



Figura 5. Comparación entre las tasas de sedimentación de los periodos 1952-2002 y 2000-2004.

Figure 5. Comparison between the sedimentation rates of periods 1952-2002 and 2000-2004.

Las tasas medidas en los últimos cuatro años, pese a ser relativamente bajas en relación con la de las últimas cuatro décadas, tienen una especial relevancia. Las marismas actuales carecen de una dinámica fluvial activa, actuando como una cubeta semiendorreica, a modo de un fondo de saco o sumidero de los aportes. En el pasado los diferentes cauces fluviales que las discurrían (Travieso, La

Madre, Guadiamar) tenían una intensa dinámica, sin embargo esto ya no es así ya que estos fueron abandonados o capturados aguas arriba por el propio Brazo de la Torre y Guadalquivir, quedando como meras depresiones de escasa circulación, conocidas localmente como “caños” (Rodríguez Ramírez et al., 1997). Este cambio en las condiciones dinámicas se refleja en una inestabilidad geomorfológica, produciéndose una erosión de las zonas altas (“paciles” y “vetas”), por escorrentía y removilización biológica (trasiego de mamíferos y aves), y acumulación en las depresiones (“caños” y “lucios”), proceso normal de colmatación en un medio de estas características que dará con el tiempo a la pérdida del gradiente topográfico.

#### 4.2. Consecuencias de la colmatación

El efecto más palpable de la intensa colmatación producida en las últimas décadas es la pérdida de la capacidad de retención hídrica. Las actuales marismas del Parque Nacional de Doñana tienen una superficie de unas 27.000 ha, de las cuales entre las 16.000 y 17.000 ha son de marismas baja, situada por debajo de la cota de desagüe al Guadalquivir. Según Castroviejo (1993) la cota de agua en la marisma, en un año normal, es de unos 40 cm, lo cual significa una capacidad de retención de 64-68 hm<sup>3</sup>. Si tenemos en cuenta los valores de colmatación de los últimos 50 años esto supone un ascenso topográfico medio de las zonas de marisma baja o más deprimida de unos 15 cm, lo cual supone hoy día una disminución de la capacidad de retención hídrica de unos 26 hm<sup>3</sup>.

La pérdida de volumen hídrico ha afectado a las peculiaridades ecológicas del medio. Las comunidades vegetales de la marisma baja (lucios y caños) tales como el bayunco (*Scirpus lacustris*), castañuela (*Scirpus maritimus*), otros helófitos y macrófitos han sufrido un retraimiento a favor de las comunidades menos hidrófilas, tales como el candilejo (*Juncus subulatus*), almajo (*Arthrocnemum macrostachyum*), etc. De igual modo, especies de aves de aguas profundas tales como la malvasía (*Oxyura leucocephala*), porrón pardo (*Aythya nyroca*), etc., han dejado de ser frecuentes desde los años cincuenta (Castroviejo, 1993).



Esta colmatación también ha afectado de forma muy directa a la duración de los encharcamientos. Hace unas décadas era usual la permanencia de determinadas áreas de marisma baja encharcadas hasta finales de julio e incluso agosto. En épocas más recientes debido a la pérdida de capacidad de retención hídrica, el fenómeno de la sequía se ha adelantado hasta la primera quincena de junio, cuando aún existen un buen número de aves en periodo de cría y nidificación.

Por otro lado, la intensa colmatación ha provocado una disminución de la variabilidad topográfica del medio. Esta topografía a escala centimétrica tiene gran trascendencia hidrológica y ecológica, pues condiciona los encharcamientos, las variaciones de salinidad y la distribución de fauna y flora. En la actualidad el perfil microtopográfico marismero se ha hecho más homogéneo y esto ha repercutido en una pérdida de diversidad de ecosistemas.

#### 4.3. Planes de regeneración

La progresiva degradación que han ido experimentando las marismas de Doñana ha llevado a la Administración a elaborar una serie de medidas encaminadas al restablecimiento de las condiciones naturales. En los años ochenta se elaboró el Plan de

Regeneración Hídrica de Doñana, que incluía una serie de actuaciones (Fig.4C):

A.-En 1983 la primera de estas actuaciones fue la sobre elevación artificial del malecón natural (pacil) del Guadalquivir, conocido localmente como *Montaña del Río* (Fig. 6).

B.-Otra actuación fue la conocida como solución Centro-Norte, terminada en 1985. Esta consiste básicamente es un trasvase mediante una estación de bombeo, desde Entremuros hasta el *caño* del Guadiamar.

C.-En el año 1987 se construye un canal artificial, conocido como “Nuevo Travieso”, que comunicaba Entremuros con el caño Travieso. La idea original era que los caudales del primero pasaran al segundo y de aquí hacia el interior de la marisma. La elaboración de este canal supuso la destrucción de unas 130 ha. de marisma de almajo (el equivalente al 1,5% del total de marisma de almajo del Parque Nacional). Pocos años después el canal fue sellado, quedando como un triste vestigio para la posteridad.

Estas diferentes actuaciones siempre dieron prioridad a la recuperación cuantitativa y no cualitativa de los parámetros hídricos. Las consecuencias fueron la ruptura del delicado equilibrio dinámico entre áreas emergidas y sumergidas, por excesiva inundación. Del mismo modo las diversas



Figura 6. Dique de prolongación de la “Montaña del Río” tras el desastre de la mina de Aznalcóllar.  
Figure 6. Dock of prolongation of the “Mountain of the River” after the disaster of the mine of Aznalcóllar.

obras estructurales dieron lugar a la pérdida y alteración de amplias zonas naturales del Parque Nacional. En épocas de sequía estas actuaciones resultaron ineficaces pues la incorporación de caudales no era factible.

En el año 1998, como consecuencia de la rotura de la balsa de la mina de Aznalcóllar, se prolonga el dique derecho de Entremuros y se une al dique de la "Montaña del Río" (Figs. 4D y 6). De esta forma los aportes del Guadalquivir y Guadamar no pueden entrar en la marisma y las únicas contribuciones fluviales se circunscriben a una serie de arroyos estacionales que drenan la margen norte del Parque Nacional (Rocina, Partido, Cañada Mayor) (Fig. 3ª), circulando hacia el interior de éste a través de La Madre de la Marisma y el Caño Guadamar.

El escenario que tenemos hoy día es por tanto de una profunda alteración de la dinámica original, resultado de las grandes transformaciones acontecidas en las últimas décadas. Estas transformaciones son la pérdida parcial de la comunicación hídrica entre cauces vertientes y cubeta marismeña, colmatación, y reducción de la capacidad de retención hídrica. Es por ello que ante la gravedad de la situación y lo fallido del plan de regeneración hídrica de los años ochenta la Administración ve necesaria la elaboración de un nuevo plan de restauración, conocido esta vez como Proyecto Doñana 2005.

Este plan plantea diferentes actuaciones, algunas de las cuales repercuten de forma más directa en la marisma: restauración de la Marisma Gallega (Actuación Nº 4), recuperación de la funcionalidad del Caño Guadamar y arroyo de la Cigüeña (Actuación nº 5), restauración del Caño Travieso (Actuación nº 6), recuperación de la funcionalidad del Brazo de la Torre (Actuación nº 7) y el control y permeabilización de la marisma frente al Guadalquivir, Brazo de la Torre y Entremuros (Actuación nº 8) (Fig. 4D).

#### 4.4. Consideraciones sobre el actual plan de regeneración y perspectivas futuras

Las actuaciones planteadas en el Proyecto Doñana 2005 proponen, en definitiva, una recuperación de los aportes del Guadamar y Guadalquivir, sin embargo se han de tener en cuenta que

en los últimos 50 años los cambios producidos en su dinámica fluvial, así como la mala calidad de sus caudales, ha sido la responsable del incremento de los procesos de colmatación y por tanto de su degradación, es por ello que no sería de momento aconsejable la realización de las actuaciones 6, 7 y 8 (Fig. 4D).

A partir de 1998, una vez la marisma ha quedado aislada por diques del Guadalquivir y Guadamar, los aportes hídricos de los arroyos estacionales del norte (Rocina, Partido, etc.) han sido suficientes para que los niveles de inundación hayan sido aceptables, con aguas de una alta calidad. A esto hay que unir que en estos años los valores de las precipitaciones tampoco han sido excesivamente elevados (496,7 mm en 1999, 709,2 mm en 2000, 560,6 mm en 2001 (estación Palacio de Doñana), 635 mm en 2002, 825 mm en 2003 (estación de Almonte)), algo por encima de la media definida para este sector. A esto hay que sumar los aportes del arroyo de la Cigüeña, encauzado actualmente hacia Entremuros, pero que la actuación nº 5 del Plan Doñana 2005 pretende recuperar hacia el Caño Guadamar. Esta podría ser una solución mientras la recuperación óptima del Guadamar y el Guadalquivir no sea factible (Actuaciones 6, 7 y 8). Esta labor, a medio y largo plazo, quizás sea tarea de futuras generaciones, que devolvería la dinámica natural del pasado, o al menos parecida, a este espacio natural.

La recuperación de la marisma Gallega (Actuación nº 4) dará una mayor continuidad hídrica norte-sur, con mejor comunicación entre los arroyos estacionales y el caño Guadamar. Este sistema dinámico podría completarse en un futuro con la recuperación de toda la marisma norte situada al oeste del Brazo de la Torre, con un Guadamar discurriendo libre desde su entrada en la marisma.

Por último, un aspecto que no es conveniente olvidar es que al igual que la marisma es tierra de riadas e inundaciones, también lo es de sequías que hacen su aparición de forma periódica e inexorable, formando parte del ciclo natural. En estos periodos, como es el caso del 2004/2005, los diferentes cauces vertientes no dispondrán de caudales significativos y por tanto la posible incorporación de los mismos a la marisma no sería relevante para el medio.

## 5. Conclusiones

La génesis y evolución del medio marismeño a lo largo del Holoceno ha estado condicionada por los intensos aportes sedimentarios de la red fluvial. En los últimos 2.500 años las tasas medias de colmatación de las marismas de Doñana se sitúan en general por debajo de 1 mm/año. Sin embargo, en las últimas cinco décadas los valores medios se incrementan notablemente, situándose entre los 3-6 mm/año. Dicho incremento está relacionado con las modificaciones antrópicas sufridas por las dos principales cuencas vertientes a las marismas de Doñana, el Guadalquivir y el Guadiamar. Este proceso ha sido especialmente significativo en las grandes riadas ya que ambos cauces se encuentran confinados hasta las inmediaciones del Parque Nacional, produciéndose a partir de aquí una descarga violenta de sus flujos hídricos. Una vez imposibilitada la entrada de estos aportes, a raíz del desastre de la mina de Aznalcóllar en 1998, las tasas de acumulación han sufrido un leve descenso con valores medios de 0,3-2 mm/año.

Las diferentes actuaciones encaminadas a la regeneración de las marismas de Doñana no deberían de perder de vista actuaciones pasadas (Plan de Regeneración Hídrica de Doñana) y sus tristes consecuencias. Por otra parte, éstas se deberían priorizar en el tiempo, acometiendo inicialmente las estrictamente necesarias y observando cuáles son las respuestas del medio. De esta forma, podríamos determinar consecutivamente las más necesarias y urgentes. Todo este tipo de actuaciones conllevan modificaciones estructurales muy importantes que, en caso de ser fallidas, repercutirían de forma negativa en el medio.

Por otra parte, las profundas modificaciones que ha sufrido el entorno del Parque Nacional de Doñana, especialmente sus principales cuencas vertientes (Guadiamar y Guadalquivir), no hacen viable la recuperación de las condiciones naturales de forma satisfactoria, al menos a corto plazo. Para llevar con buen éxito la recuperación, es prioritaria una profunda comprensión de los diferentes mecanismos que rigen la dinámica marismeña en todos sus ámbitos. Para ello se hace muy necesario un mejor conocimiento, seguimiento e interrelación de aspectos tales como balance hídrico, hidrodinámica, microtopografía, parámetros climáticos, geo-

morfología, edafología y elementos primarios de la cadena trófica (vegetación, microorganismos). Del mismo modo, dada la gran dependencia que tiene el Parque Nacional de los terrenos colindantes es de imperiosa necesidad un plan de ordenamiento territorial del entorno.

## Agradecimientos

Este trabajo es una contribución al proyecto "Evolución y tendencia evolutiva de la marisma del Parque Nacional de Doñana. Posibilidades de regeneración y conservación", financiado por el Organismo Autónomo de Parques Nacionales (Ministerio de Medio Ambiente). Se agradecen las acertadas correcciones, observaciones y sugerencias de los Dres. Javier Gracia Prieto y Ángela Alonso Millán.

## Bibliografía

- Bernués, M. (1997). El convenio de Ramsar. Aplicación y Desarrollo en España. En: Actas de la Conferencia Internacional "La conservación de las zonas húmedas en una perspectiva norte-sur: la ruta migratoria atlántico-oriental. FAT (Eds.). Sevilla, 295-308.
- Castroviejo, J. (1993). Mapa del Parque Nacional de Doñana: Memoria. C.S.I.C. y A.M.A. de la Junta de Andalucía (Eds.), 132 pp.
- Dabrio, C.J., Zazo, C., Lario, J., Goy, J.L., Sierro, F.J., Borja, F., González, J.A. y Flores, J.A. (1999). Sequence stratigraphy of Holocene incised valley fills and coastal evolution in the Gulf of Cádiz (southern Spain). *Géologie en Mijnbouw*, 77, 23-281.
- Dabrio, C.J., Zazo, C., Goy, J.L., Sierro, F.J., Borja, F., Lario, J., González, J.A., y Flores, J.A., (2000). Depositional history of estuarine infill during the last postglacial transgression (Gulf of Cádiz, Southern Spain). *Marine Geology*, 162, 381-404.
- Farnworth, E.G. y Golley, F.B. (1974). *Fragile Ecosystems: Evaluation of Research and Applications in the Neotropics*. Springer-Verlag. New York Inc., 381 pp.
- Gallart, F., Benito, G., Martín-Vide, J.P., Benito, A., Prió, J.M. y Regúés, D. (1999). Fluvial geomorphology and hydrology in the dispersal and fate of pyrite mud particles released by the Aznalcollar mine tailings spill. *The Science of the Total Environment*, 242, 13-26.
- González Arteaga, J. (1993). Las Marismas del Guadalquivir: etapas de su aprovechamiento económico. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla. 375 pp.
- González Bernáldez, F. (1987) Las zonas encharcables españolas: el marco conceptual. En: Bases científicas para la protec-

- ción de los humedales en España. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (ed.). Madrid, 9-31.
- Lario, J., Zazo, C., Goy, J.L., Dabrio, C.J., Borja, F., Silva, P.G., Sierro, F., González, A., Soler, V. e Yll, E. (2002). Changes in sedimentation trends in SW Iberia Holocene estuaries (Spain). *Quaternary International*, 93-94, 171-176.
- Menanteau, L. (1979). Les Marismas du Guadalquivir. Exemple de transformation d'un paysage alluvial au cours du Quaternaire récent. Thèse 3er Cycle, Univ. Paris-Sorbonne: Paris.
- Mitsch, W.J. y Gosselink, J.G. (2000). *Wetlands*. Van Nostrand y Reinhold, eds. New Cork. USA.
- Montes, C. (1995). Los humedales españoles protegidos. Conservación vs. confusión. Revista *El Campo*, monográfico sobre el agua; BBV, 101-128.
- Rodríguez-Ramírez A. (1996). Geomorfología continental y submarina del Golfo de Cádiz (Guadiana-Guadalquivir). Tesis Doctoral, Universidad de Huelva.
- Rodríguez-Ramírez A. (1998). Geomorfología del Parque Nacional de Doñana y su entorno. Organismo Autónomo Parques Nacionales.
- Rodríguez-Ramírez, A., Rodríguez Vidal, J., Cáceres, L., Clemente, L., Belluomini, G., Manfra, L., Improta, S. y De Andrés, J.R. (1996). Recent coastal evolution of the Doñana National Park (S.Spain). *Quaternary Science Reviews*, 15, 803-809.
- Rodríguez-Ramírez, A., Rodríguez Vidal, L., Clemente, L., Cáceres, L.M. (1997). Evolución reciente de la red hidrográfica de las marismas del Guadalquivir. En: Cuaternario Ibérico (J. Rodríguez Vidal, ed.). *AEQUA*: Huelva, 137-139.
- Ruiz, A., Rodríguez-Ramírez, A., Cáceres, L., Rodríguez Vidal, J., Carretero, M.I., Clemente, L., Muñoz, J.M. y Yáñez, C. (2004). Late Holocene evolution of the southwestern Doñana National Park (Guadalquivir Estuary, SW Spain): a multivariate approach. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 204, 47-64.
- Senra, A. (1984). Evolución y situación actual de las zonas húmedas andaluzas. En: *Las zonas húmedas de Andalucía*. Servicio de publicaciones del MOPU (ed.). Madrid.
- Siljeström, P.; Clemente, L. y Rodríguez Ramírez, A. (2002). Clima. En: *Parque Nacional de Doñana (CANSECO Eds.)*, 43-56.
- Stuiver, M. y Reimer, P. (1993). Radiocarbon calibration program, *Rev. 4.2. Radiocarbon* 35, 215-230.
- Talvitie, N. A. (1972). Electrodeposition of actinides for alpha spectrometric determination. *Analytical Chemistry*, 44, 280.
- Vaney, J.R. (1970). *L'hydrologie du Bas Guadalquivir*. Publicaciones del Departamento Geografía Aplicada, C.S.I.C., Madrid.
- Vélez Soto, F. (1979). Impactos sobre las zonas húmedas naturales. Monografía nº 20 ICONA. Ministerio de Agricultura. Madrid.
- Zazo, C., Goy, J.L., Somoza, L., Dabrio, C.J., Belluomini, G., Improta, S., Lario, J., Bardaji, T. y Silva, P.G. (1994). Holocene sequence of sea-level fluctuations in relation to climatic trends in the Atlantic-Mediterranean linkage coast. *Journal of Coastal Research*, 10, 933-945.
- Zazo, C., Dabrio, C.J., González, J., Sierro, F., Yll, E., Goy, J.L., Luque, L., Pantaleón-Cano, J., Soler, V., Roure, J.M., Lario, J., Hoyos, M. y Borja, F. (1999). The records of the later glacial and interglacial periods in the Guadalquivir marshlands (Marilópez drilling, SW Spain). *Geogaceta*, 26, 119-122.