

Cuaternario y Geomorfología, 13 (3-4), pág. 7-16

ISSN: 0214-1744

CUANTIFICACIÓN DE LA EROSIÓN EN LOS CANALES MAREALES DE LAS MARISMAS DEL ODIEL (HUELVA, SO ESPAÑA)

J. M. CASTILLO, C. J. LUQUE & M. E. FIGUEROA

Departamento de Biología Vegetal y Ecología. Facultad de Biología.
Universidad de Sevilla. Apdo. 1.095. 41080 Sevilla.
e-mail: manucas@cica.es y cluque@cica.es

Resumen. Este estudio se llevó a cabo en las Marismas del Odiel (Huelva, SO España). En él se cuantifican la acreción y erosión de sedimentos en taludes desarrollados en canales intermareales y en las planicies intermareales subyacentes. Se registró una erosión generalizada de los taludes, la cual se vería potenciada por actuaciones antrópicas como el tráfico naval y la alteración de la hidrodinámica del estuario por la construcción de diques. Las pérdidas de marismas en la Reserva Integral de Isla de Enmedio se estimaron en 3000 m²/ año, lo que supone una movilización de 1850 m³ de sedimentos. Esta fuerte erosión podría tener una gran influencia en la conservación de este espacio natural protegido, además de acelerar la colmatación de los canales del estuario. La vegetación, entre la que destacaron las praderas de *Zostera noltii*, disminuyó la erosión, potenciando la acreción. La dinámica vertical de sedimentos en las planicies intermareales mostró un patrón estacional con una relación clara entre la erosión y la distribución de las lluvias. Se discuten medidas de control de la erosión y rehabilitación de las zonas afectadas.

Palabras claves: erosión, acreción, restauración, *Zostera noltii*, Huelva.

Summary. This study was carried out in Odiel Saltmarshes (Huelva, SWSpain). Erosion and accretion in slopes and intertidal mud flats were measured. Our results point out a general retrogression of slopes. Its intensity would depend on anthropic actions as boats traffic and alteration of estuary circulation by dykes construction. In the Integral Reserve of Enmedio Island, horizontal losses by erosion in slopes reached 3000 m²/year, which would imply the mobilization of 1850 m³ of sediments. This strong erosion could cause important changes in this protected area and to silt-up of the navigable channels of the estuary. Vegetation, as prairie of eelgrass *Zostera noltii*, decreased erosion and increased accretion rates. Sediment vertical dynamic in intertidal mud flats showed a seasonal pattern with a direct relation between erosion and rainfall distribution. Erosion control and rehabilitation in eroded areas are discussed.

Key - words: erosion, accretion, restoration, *Zostera noltii*, Huelva.

1. Introducción

Las marismas mareales son ecosistemas de una gran importancia tanto ecológica como económica. Tienen, a través de sus altas tasas de producción primaria, un importante papel en la cadena trófica de los

8 Castillo, Luque & Figueroa

sistemas estuarinos y mares adyacentes, controlan la calidad ambiental, y juegan un papel importante en el control de las avenidas fluviales, participando crucialmente en la dinámica sedimentaria de los estuarios (DeLaune y Gambrell, 1996; Tiner, 1984; Woodhouse y Knutson, 1982).

En los últimos años han sido numerosos los estudios que han determinado grandes pérdidas de marismas mareales alrededor del mundo (DeLaune *et al.*, 1983; Gagliano *et al.*, 1981; Gosselink y Bauman, 1980; Kearney y Stevenson, 1991; Phillips, 1986; Chung, 1982; Ranwell, 1967).

Para la toma de medidas de control de la erosión en estos ecosistemas se hace esencial la identificación de las causas y mecanismos que provocan estas pérdidas. La subsidencia continental, una acreción vertical insuficiente, debida a causas naturales o antrópicas, o la subida del nivel del mar han sido identificadas como algunas de las causas de pérdidas de marismas (DeLaune *et al.*, 1983; Stevenson *et al.*, 1985).

El mecanismo principal causante de estas pérdidas ha sido la erosión (Kearney and Stevenson, 1991; Nyman *et al.*, 1994; Phillips, 1986), aunque algunas se han atribuido a degeneración de la vegetación (Pezeshki *et al.*, 1991; Turner, 1990). Dentro de estos procesos erosivos, se han descrito importantes pérdidas de marismas mareales producidas mediante socavamiento de taludes («undermining») (Nyman *et al.*, 1994; Stevenson *et al.*, 1985). Este proceso tiene como resultado la formación de taludes con una alta pendiente en la interfase marisma con vegetación - canales de drenaje (Broome *et al.*, 1992).

En los últimos años se ha observado una fuerte erosión, mediante caídas de grandes bloques de sustrato en taludes desarrollados en canales mareales, en el Paraje Natural de las Marismas del Odiel (Huelva). Esta erosión está poniendo en peligro áreas de gran valor ecológico de este Paraje Natural, como la Reserva Integral de la Isla de Enmedio. Los objetivos de este estudio son: caracterizar y cuantificar las pérdidas de marismas por erosión horizontal de taludes, así como la dinámica de sedimentos en las planicies mareales subyacentes a lo largo del perímetro de la Reserva Integral de la Isla de Enmedio.

2. Área de Estudio

Las Marismas del Odiel (37°15' - 37°37'N, 6°57' - 6°58'W, SO España) son las marismas mareales más interesantes y mejor conservadas del sur de la Península Ibérica (Figura 1). Su estratégica situación, en la encrucijada euro-africana y atlántico-mediterránea le confiere caracteres de excepcional valor ecológico. Están protegidas bajo la figura de Paraje Natural, además de ser «Reserva de la Biosfera». Asimismo, forman parte de un entorno con una importante zona industrial, minera (Luque *et al.*, 1998) y recreativa.

Están situadas en una zona de clima mediterráneo modificado por influencia atlántica, con una sequía estival muy acusada y lluvias concentradas en los meses de otoño e invierno principalmente, con una precipitación anual media de 505.6 mm. En el año de estudio (Julio 1996- Julio 1997), el 67% de las precipitaciones se concentraron en los meses de Diciembre y Enero (Tabla 1). Estas marismas poseen un régimen mareal semi-diurno, con un rango mareal (media equinoccial) de 2.97 m (0.40 – 3.37 m sobre el cero hidrográfico español).

El estuario conjunto de los ríos Tinto y Odiel es una formación holocénica situada en una incisión fluvial de 25 kilómetros situada sobre sedimentos areno-limosos del Neógeno. Los sedimentos más antiguos de este estuario han sido datados en 6.715 ± 115 años BP. Los primeros cinco metros de dos perfiles sedimentológicos en zonas de marisma alta, con restos vegetales y arcillas, corresponden al cambio de una planicie intermareal (marisma baja) a una marisma supramareal (marisma alta), que ocurrió aproximadamente 960 ± 100 años BP. Para los últimos 2000 años BP se ha estimado una tasa de acreción cercana a los 5 mm por año lo que indicaría, según Lario (1996), un rápido relleno del estuario durante los dos últimos milenios.

Este estudio se ha realizado en la Reserva Integral de la Isla de Enmedio, espacio natural de extraordinario valor biológico. Su superficie cubre unas 463 Ha y se localiza en el complejo central de islas de las Marismas del Odiel.

3. Materiales y métodos

Para llevar a cabo los objetivos de este estudio fue necesario el uso de un método que detectara el balance erosión/sedimentación tanto horizontal como vertical. Asimismo, nos tenía que permitir un rápido segui-

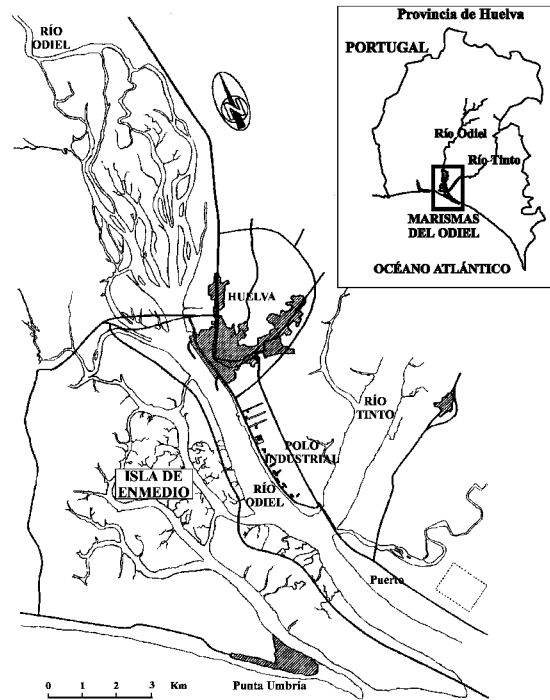


Figura 1. Localización geográfica de las Marismas del Odiel y la Reserva Integral de la Isla de Enmedio
Location of Odiel Saltmarshes and Integral Reserve of Enmedio Island

Tabla 1. Precipitación (l/m^2), núm. de días de lluvia y altura media del Río Odiel (m) desde Julio de 1996 a Julio de 1997
Rainfall (l/m^2), number of rainy days and mean height of Odiel river (m) from July 1996 to July 1997

| Año | Mes | Precipitación | Días con lluvia | Altura Río Odiel |
|------|------------|---------------|-----------------|-------------------|
| 1996 | Julio | 4,6 | 1 | $0,309 \pm 0,002$ |
| | Agosto | 0,0 | 0 | $0,300 \pm 0,000$ |
| | Septiembre | 44,0 | 5 | $0,328 \pm 0,005$ |
| | Octubre | 41,8 | 3 | $0,338 \pm 0,004$ |
| | Noviembre | 88,2 | 5 | $0,360 \pm 0,009$ |
| | Diciembre | 374,7 | 19 | $1,193 \pm 0,150$ |
| 1997 | Enero | 158,5 | 11 | $1,089 \pm 0,083$ |
| | Febrero | 0,0 | 0 | $0,458 \pm 0,008$ |
| | Marzo | 0,0 | 0 | $0,387 \pm 0,002$ |
| | Abril | 76,8 | 11 | $0,385 \pm 0,007$ |
| | Mayo | 6,8 | 8 | $0,344 \pm 0,003$ |
| | Junio | 3,2 | 4 | $0,352 \pm 0,013$ |

miento, considerablemente extenso, de la dinámica sedimentaria del estuario. Con este objetivo se instaló una red de 84 testigos (barras de hierro de 1.7 m) a lo largo de todo el perímetro de la Reserva Integral de la Isla de Enmedio distribuidos en 21 puntos de muestreos (Figura 2), con un número de testigos variables en cada uno de ellos. Algunos de estos testigos se instalaron sobre el talud, lo que nos permitía medir la erosión horizontal en éste, y otros, del mismo tipo, se dispusieron perpendicularmente a la línea de marea sobre la planicie intermareal, para registrar la dinámica vertical de sedimentos (Figura 2). En los puntos de muestreo se midió la altura del talud con pendiente de 90 . Los muestreos fueron bimensuales y se realizaron desde Julio de 1996 a Julio de 1997.

Para el análisis de los datos, los testigos se agruparon según su proximidad geográfica, siguiendo el trazado de cuatro ejes con diferentes orientaciones. Estos ejes delimitaban la zona de estudio en cuatro áreas, correspondientes a los cuatro canales principales que rodean a la Isla de Enmedio (Figura 3).

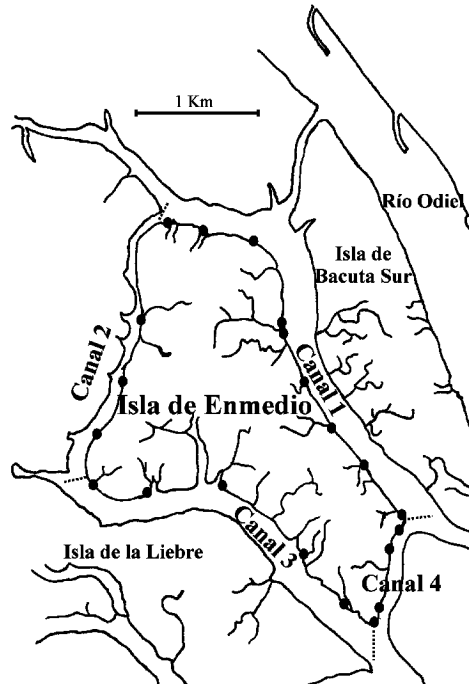


Figura 2. Mapa de la Isla de Enmedio. Puntos de muestreo (•)
Map of Enmedio Island. Sampled points (•)

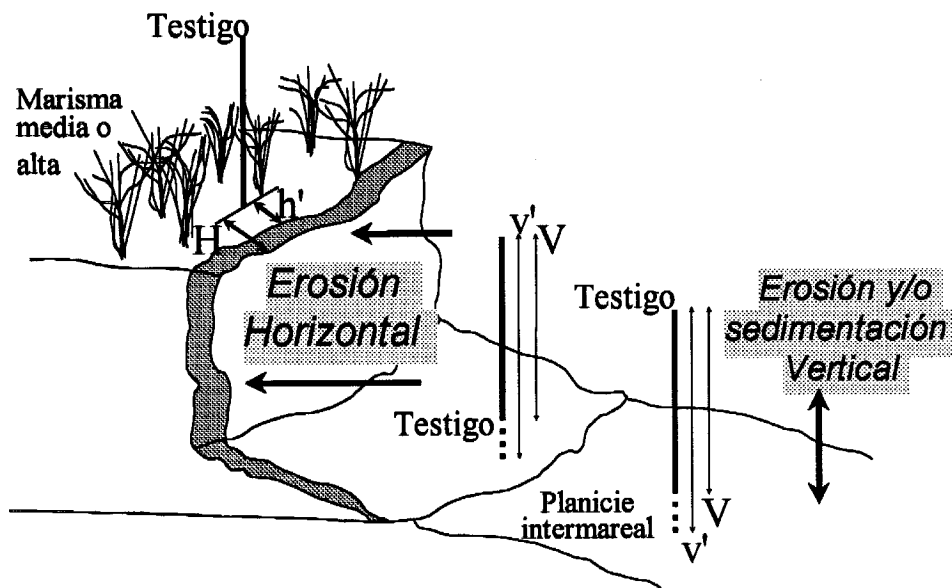


Figura 3. Esquema de la interfase marisma con vegetación - canal de drenaje. Testigos sobre el talud y en la planicie intermareal. Tasas de erosión/acreción vertical (V-v) y erosión horizontal de los taludes (H-h)
Scheme of vegetated marsh - drainage channel interface. Markers on bank and intertidal flat.
Vertical erosion/accretion rates (V-v) and banks horizontal erosion (H-h)

Para analizar si las diferencias de las tasas erosión anual entre los diferentes canales eran significativas, y mayores a las que se observaron dentro de cada canal, se utilizó el análisis de varianza de una sola vía (test ANOVA), con la varianza entre testigos de un mismo canal como el término de error. Las diferencias mínimas significativas entre medias se calcularon solo cuando el test de Fisher fue significativo con un nivel de significación de 95% (Steel and Torrie, 1960). Los datos fueron testados para homogeneidad de varianzas con el Test de Levene, con un nivel de significación del 95%.

La erosión a lo largo del año, dentro de cada canal, se analizó mediante un test t-student para muestras pareadas. Con este test comparamos las diferencias en la tasa de erosión/sedimentación entre muestreos consecutivos dentro de cada canal, con un nivel de significación del 95 % (Programa de ordenador para análisis estadísticos: «Estatística versión 5.1 StatSoft Inc.»). Las desviaciones respecto a la media se expresaron como error estándar medio.

4. Resultados

A lo largo de todo el perímetro de la Isla de Enmedio se observaron taludes verticales, usualmente socavados en su zona inferior, fenómenos de remoción en masa y desprendimientos de bloques de sustrato, en la interfase marismas con vegetación-canales de drenaje. La erosión horizontal de los taludes comenzó, típicamente, con el desgaste de la zona inferior del talud, justo por debajo del sustrato ocupado por las raíces vivas de la vegetación que crecía sobre los taludes. Este socavamiento fue seguido por desprendimientos de bloques de sustrato de la zona superior del talud, que arrastraron a la vegetación que crecía sobre ellos.

La erosión horizontal de los taludes y la erosión vertical en las planicies mareales subyacentes del canal 4 fueron mayores que en el resto de los canales (ANOVA: $F = 17.11$, $p < 0.01$; ANOVA: $F = 7.70$, $p < 0.01$, respectivamente) (Tabla 2).

A lo largo de todo el perímetro de la Isla de Enmedio, fueron muy pocos los testigos que mostraron un balance neto de erosión/acreción vertical positivo tras el año de estudio. Concretamente, éstos fueron los situados sobre restos de moluscos (*Crassostrea angulata*, *Cardium edule*, etc.) y vegetación fanerógama sumergida (*Zostera noltii*) (Figura 4). Por contra, la mayoría de los puntos de muestreo registraron un balance neto de erosión, con valores comprendidos entre -1 y -5 cm/año. Tan solo en el canal 4 la mayoría de los testigos registraron valores netos de erosión mayores a -5 cm, siendo muy abundantes las pérdidas mayores a -10 cm.

La erosión horizontal media de los taludes en todo el perímetro de la isla (10584 m) fue de -29 cm/año, lo que supuso, sobre una altura de talud media de 60 cm, la pérdida aproximada de 3000 m² de marismas emergidas con vegetación, y la movilización de alrededor de 1850 m³ de sedimentos.

Los procesos de erosión/sedimentación vertical en las planicies intermareales de los canales 1, 2 y 3 mostraron un claro patrón estacional a lo largo del perímetro de la Isla. Así, en los meses de otoño e invierno en los que las lluvias fueron más abundantes y torrenciales, y el caudal del Río Odiel fue mayor, predominó la erosión. Por el contrario, en los meses de verano y en el período de sequía de Febrero y Marzo

Tabla 2. Orientación, número de testigos, erosión (-) o acreción (+) vertical media (cm/año), erosión (-) horizontal media (cm/año), perímetro de taludes (m) y altura del talud (cm) en los canales que delimitan a la Isla de Enmedio
Orientation, number of markers, mean anual vertical erosion (-) or acrection (+) (cm/year) and mean horizontal erosion (-) (cm/year), perimeter of banks (m) and banks heigh (cm) of Enmedio Island channels

| Canales | Orientación principal | Nº de testigos | Erosión/ Acreción vertical media | Erosión horizontal media | Perímetro taludes | Altura talud |
|---------|-----------------------|----------------|----------------------------------|--------------------------|-------------------|--------------|
| Canal 1 | SE | 23 | +0.2 ± 0.4 | -25.3 ± 5.5 | 8374 | 51.3 ± 3.5 |
| Canal 2 | NE | 11 | -2.7 ± 1.3 | -23.9 ± 5.6 | 5643 | 58.3 ± 4.3 |
| Canal 3 | NW | 17 | -2.4 ± 0.6 | -25.2 ± 4.4 | 6351 | 64.3 ± 2.8 |
| Canal 4 | SW | 23 | -5.9 ± 1.8 | -71.6 ± 7.7 | 1981 | 93.0 ± 2.9 |

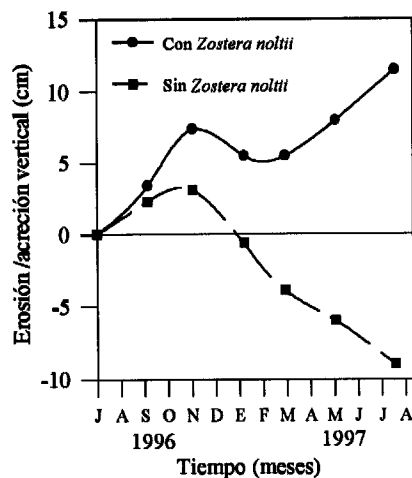


Figura 4. Erosión/acreción vertical (cm) en dos testigos situados en una pradera de *Zostera noltii* y en suelo desnudo, durante el año de estudio
 Vertical erosion/accretion (cm) in two markers located in a *Zostera noltii* prairie and in open mud during the study

predominó la sedimentación. Las planicies intermareales del canal 4 presentaron una erosión fuerte y continua durante todo el año (Figura 5).

5. Discusión y conclusiones

El mecanismo de erosión horizontal observado en los taludes es similar al descrito por otros autores en estuarios de Estados Unidos (Nyman *et al.*, 1994; Stevenson *et al.*, 1985).

Las altas tasas de erosión vertical detectadas en tres de los cuatro canales que delimitan la Isla de Enmedio (hasta -5.9 ± 1.8 cm/año en el canal 4) están en el rango a las registradas en algunas marismas asiáticas (Chung, 1982). Por otro lado, la acreción registrada en el canal 1 (alrededor de los 0.2 cm/año) es similar a las medidas por otros autores en marismas usando diferentes métodos de medidas, como isótopos radiactivos (Callaway *et al.*, 1996; Callaway, 1997), análisis polínico (Kearney *et al.*, 1994) u horizontes de marcaje (Cahoon, 1992).

Las fuertes tasas de erosión, tanto vertical como horizontal detectadas en el canal 4 en comparación con los demás canales de la Isla de Enmedio pueden deberse al tráfico de barcos, ya que es el único canal de los estudiados navegable por embarcaciones de medio y gran calado, las cuales generan olas de alto poder erosivo. Además, Ojeda *et al.* (1995) describen como este canal posee una hidrodinámica especial en el estuario, al comunicar la ría de Huelva con la de Punta Umbría, a raíz de las construcción de los espigones de Juan Carlos I y de Punta Umbría. Esto también podría contribuir al aumento en las tasas de erosión de este canal. Aunque la erosión gradual de los taludes es un proceso natural producido por el flujo y reflujo de las mareas y las corrientes fluviales (Chapman, 1974; Rubio, 1985; Steers, 1977), el tráfico naval y la circulación de fuertes corrientes por este canal la aumentaría de manera importante. Así, Herke and Rogers (1993) categorizaron las pérdidas de hábitat en estuarios como naturales e inducidas por el hombre, y concluyeron que, normalmente, los efectos antrópicos potencian y aceleran las pérdidas naturales.

Con nuestro estudio se ha podido comprobar que el material erosionado en los taludes no se depositó directamente en las planicies intermareales subyacentes, ya que los testigos en estas zonas mostraron, como ha sido descrito, una erosión neta generalizada. Así, los sedimentos erosionados de los taludes, junto con los aportados por los ríos, podrían contribuir a la colmatación de los diferentes canales de la marisma y de las rías de Huelva y Punta Umbría. Entonces, estos sedimentos deben ser dragados para facilitar el acceso de embarcaciones de gran calado al Puerto de Huelva. Posteriormente los materiales dragados generan una doble

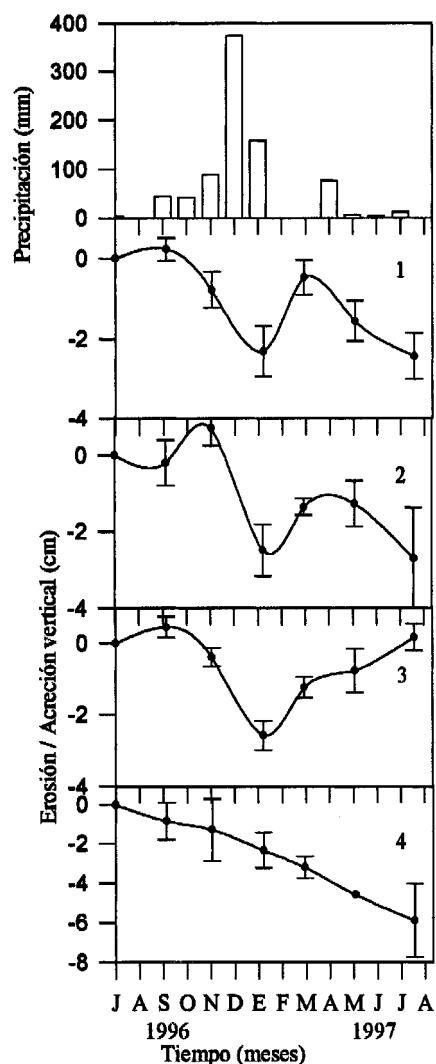


Figura 5. Precipitación (l/m^2) y erosión/acreción vertical (cm) en los canales de la Isla de Enmedio durante el año de estudio
Rainfall (l/m^2) and vertical erosion/accretion (cm) in Enmedio Island channels during the study

problemática: la resuspensión y removilización de sedimentos con altas concentraciones de metales pesados (Luque, 1996) y la construcción de grandes depósitos estancos para almacenar estos lodos contaminados.

Además, la fuerte erosión puesta en evidencia en este estudio puede generar una gran pérdida de superficie de un espacio considerado Reserva Integral, poniendo en peligro importantes lugares de anidamiento de numerosas colonias de aves protegidas como la espátula (*Platalea leucorodia*). Del mismo modo, esta erosión contribuye a la pérdida de marisma media y alta de carácter maduro que tardaron cientos de años en formarse, y sobre la que se asienta una vegetación halófila singular.

La protección frente a la erosión y la potenciación de la sedimentación favorecidas por la vegetación (Castellanos *et al.*, 1998), puestas de manifiesto en este estudio en las praderas de la fanerógama marina *Zostera noltii* en las llanuras intermareales, ha sido descrito en otros sistemas estuarinos (Moeller *et al.*, 1996; Van Dijk *et al.*, 1996).

El patrón estacional de erosión observado en los taludes y en las llanuras subyacentes estaría determinado por la marcada estacionalidad del clima mediterráneo, en el que se encuentra este estuario. En el año

14 Castillo, Luque & Figueroa

de estudio la precipitación fue de 799 mm, produciéndose alrededor del 70% en 30 días de Diciembre y Enero. Estas fuertes lluvias se tradujeron en un aumento considerable del caudal del Río Odiel, lo que se tradujo en un aumento de la erosión. Como en nuestro estudio, Barros (1996) describió en un estuario de la costa atlántica de Portugal que las mareas fueron las principales fuerzas dominantes en la hidrodinámica estuarina, si bien las tendencias estacionales fueron moduladas por las descargas fluviales. Algunos autores han descrito procesos de sedimentación y erosión en marismas y zonas costeras relacionados con fenómenos climáticos (Cahoon *et al.*, 1996; Sajeev *et al.*, 1996; Zedler, 1983). Así, en años secos predominarían la sedimentación mientras que en años húmedos lo harían la erosión. Estos resultados están de acuerdo con las teorías geomorfológicas de los procesos fluviales a gran escala, de manera que en los periodos cuaternarios fríos y húmedos dominaría la erosión a lo largo de los cauces fluviales, mientras que en los periodos cálidos y secos dominaría la sedimentación (Hernández, 1928). En la actualidad, en un escenario de cambio climático, con un aumento en la irregularidad y torrencialidad de las precipitaciones, la erosión en sistemas estuarinos bajo clima mediterráneo podría verse incrementada de manera significativa.

En vista de los problemas enunciados se hace urgente la toma de medidas de control de la erosión y de regeneración de las zonas degradadas, al menos de las más afectadas, para frenar los procesos de erosión que están provocando deterioros importantes en este ecosistema costero. Entre las medidas de control cabe destacar el control de la velocidad de navegación de los barcos a través de los canales del estuario, así como el estudio previo y exhaustivo de los posibles efectos ambientales provocados por las grandes obras de ingeniería. Las medidas de regeneración de las zonas degradadas por la erosión que se podrían tomar son la siembra en las planicies intermareales desnudas de especies de marismas que favorecen la acreción de sedimentos e impiden la erosión, como *Spartina maritima* (Castellanos *et al.* 1998), *Spartina densiflora* o *Zostera noltii*, así como la construcción de rompeolas de madera, de bajo coste ambiental y económico, en la base de los taludes de erosión, que impidan el impacto directo del oleaje.

Agradecimientos

Este estudio se ha realizado gracias a un convenio de investigación que para este fin financian la Autoridad Portuaria de Huelva y la Dirección General de Protección Ambiental de la Junta de Andalucía. Asimismo, agradecemos a la DGICYT la concesión del proyecto PB-1455 (1994) que contribuye también a la ejecución de esta investigación, y a la Dirección del Paraje Natural «Marismas del Odiel» por su colaboración. Gracias a la Confederación Hidrográfica del Guadiana por facilitar los datos climatológicos e hidrológicos.

Referencias bibliográficas

- Barros, A.P.** (1996): An evaluation of model parameterizations of sediment pathways: a case study for the Tejo estuary. *Continental Shelf Research*, 16 (13): 1725-1749.
- Broome, S.W., Rogers S.M. Jr. & Seneca, E.D.** (1992): *Shoreline erosion control using marsh vegetation and low-cost structures*. Carla B. Burgess Ed. pp. 1-16.
- Cahoon, D.R.** (1994): Recent accretion in two managed marsh impoundments in coastal Louisiana. *Ecological Applications* 4 (1): 166-176.
- Cahoon, D.R., Lynch, J.C. & Powell, A.N.** (1996): Marsh vertical accretion in a Southern California Estuary, U.S.A. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 43: 19-32.
- Callaway, J.C., DeLaune, R.D. & Patrick Jr., W.H.** (1996): Chernobyl ¹³⁷Cs used to determine sediment secretion rates at selected northern European coastal wetlands. *Limnol. Oceanogr.* 41 (3): 444-450.
- Callaway, J.C., DeLaune, R.D. & Patrick Jr., W.H.** (1997): Sediment accretion rates from four coastal wetlands along the Gulf of Mexico. *Journal of Coastal Research*, 13 (1): 181-191.
- Castellanos, E.M., Figueroa, M.E. & Davy, A.J.** (1994): Nucleation and facilitation in saltmarsh succession: interactions between *Spartina maritima* and *Arthrocnemum perenne*. *Journal of Ecology*, 82: 239-248.

- Castellanos, E.M., Nieva, F.J., Luque, C.J. & Figueroa, M.E.** (1998): Modelo anual de la dinámica sedimentaria en una marisma mareal mediterránea. *Cuaternario y Geomorfología*, 12 (3-4): 69-76.
- Chapman, V.J.** (1974): *Salt marshes and salt deserts of the world*. 2nd ed. Verlag Von J. Gramer. Leuthershausen. Alemania. 392 pp.
- Chung, C.** (1982): Low marshes, China. En: *Creation and Restoration of Coastal Plant Communities* (R.R. Lewis, ed.). CRC Press, Boca Raton, Florida, 131-145.
- DeLaune, R.D., Baumann, R.H. & Gosselink, J.G.** (1983): Relationships among vertical accretion, coastal submergence, and erosion in a Louisiana Gulf Coast marsh. *Journal of Sedimentary Petrology*, 53: 147-157.
- DeLaune, R.D. & Grambrell, R.P.** (1996): Role of sedimentation in isolating metal contaminants in wetland environments. *Journal of Environment Science Health*, 31 (9): 2349- 2362.
- Gagliano, S.M., Meyer-Arendt, K.J. & Wicker, K.M.** (1981): Land loss in the Mississippi River Deltaic Plain, *Transactions of the Gulf Coast Association of Geological Societies*, 31: 295-300.
- Gosselink, J.G. & Baumann, R.H.** (1980): Wetland inventories: wetland loss along the United States coast. *Z. Geomorphol.*, 34: 173.
- Herke, W.H. & Rogers B.D.** (1993): Maintenance of the estuarine environment. En: *Inland Fisheries Management in North America*. American Fisheries Society, 263-283.
- Hernández, E.** (1928): Los cinco ríos principales de España y sus terrazas. *Trabajos del Museo Nacional de Ciencias Naturales, Sección Geología*, 36: 5-149.
- Kearney, M.S. & Stevenson, J.C.** (1991): Island land loss and marsh vertical accretion rate evidence for historical sea-level changes in Chesapeake Bay. *Journal of Coastal Research*, 7(2): 403-415.
- Kearney, M.S., Stevenson, J.C. & Ward, L.G.** (1994): Spatial and temporal changes in marsh vertical accretion rates at Monie Bay: Implications for sea-level rise. *Journal of Coastal Research* 10 (4): 1010-1020.
- Lario, J.** (1996). Último y Presente Interglacial en el área de conexión Atlántico-Mediterráneo: Variaciones del nivel del mar, paleoclima y paleoambientes. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. pp. 269.
- Luque, C.J.** (1996): *Tipificación, cartografía y contenido en metales pesados de comunidades vegetales de las Marismas del Odiel. Dinámica poblacional de diferentes especies del género *Spergularia**. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla. pp. 84-88.
- Luque, C.J., Castellanos, E.M., Castillo, J.M., González, M., González-Vilches, M.C. & Figueroa, M.E.** (1998): Distribución de metales pesados en sedimentos de las Marismas del Odiel (Huelva, SO. España). *Cuaternario y Geomorfología*, 12 (3-4): 77-85.
- Moeller, I., Spencer, T. & French J.R.** (1996): Wind attenuation over saltmarsh surfaces: preliminary results from Norfolk, England. *Journal of Coastal Research*, 12 (4): 1009-1016.
- Nyman, J.A., Carlross, M., DeLaune, R.D. & Patrick, H.Jr.** (1994): Erosion rather than plant dieback as the mechanism of marsh loss in an estuarine marsh. *Earth Surface Processes and Landforms*, 19: 69-84.
- Ojeda, J., Sánchez, E., Fernández-Palacios, A. & Moreira, J.M.** (1995): Study of the dynamics of estuarine and coastal waters using remote sensing: the Tinto-Odiel estuary, SW Spain. *Journal of Coastal Conservation*, 1: 109-118.
- Pezeshki, S.R., DeLaune, R.D. & Patrick, W.H.Jr.** (1991): *Evaluation of environmental plant stress factors governing wetland loss in the Mississippi River Deltaic Plain. Resource Development of the Lower Mississippi River*. American Water Resources Association, September, pp. 81-90.
- Phillips, J.D.** (1986): Coastal submergence and marsh fringe erosion. *Journal of Coastal Research*, 2(4): 427-436.
- Ranwell, D.S.** (1967): World resources of *Spartina townsendii* (sensu lato) and economic use of *Spartina* marshland. *Journal of Applied Ecology*, 4: 239-256.
- Rubio, J.C.** (1985). Ecología de las Marismas del Odiel. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla. pp.
- Sajeev, R., Sankaranarayanan, V.N., Chandramohan, P. & Nampoodiripad, K.S.N.** (1996): Seasonal changes of the sediment size distribution and stability along the beaches of Kerala, south west coast of India. *Indian Journal of Marine Sciences*, 25: 216-220.

- Steel, R.G.D. & Torrie, J.H.** (1960): *Principles and procedures of statistics*. McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 481 pp.
- Steers, J.A.** (1977): Physiography. En: *Ecosystems of the world. 1. Wet coastal ecosystems* (V.J. Chapman, ed.). Elsevier. Amsterdam, 31-60.
- Stevenson, J.C., Kearny, M.S., & Pendelton, E.C.** (1985): Sedimentation and erosion in a Chesapeake Bay brackish marsh system. *Marine Geology*, 67: 213-235.
- Tiner, R.W. Jr.** (1984): *Wetlands of the United States: current status and recent trends*. U.S. Fish and Wildlife Service, Washington, D.C.
- Turner, R.E.** (1990): Landscape development and coastal wetland losses in the northern Gulf of Mexico. *American Zoologist*, 30: 89-105.
- Van Dijk, P.M., Kwaad, F.J.P.M. & Klapwijk, M.** (1996): Retention of water and sediment by grass strips. *Hydrological processes*, 10: 1069-1080.
- Woodhouse, W.W.Jr. & Knutson, P.L.** (1982): Atlantic Coastal Marshes. En: *Creation and Restoration of Coastal Plant Communities* (R.R. Lewis III, ed.), 45-70.
- Zedler, J.B.** (1983): Freshwater impacts in normally hypersaline marshes. *Estuaries*, 6: 346-355.

Recibido el 12 de marzo de 1999

Aceptado el 13 de septiembre de 1999