

# Resuspensión de sedimento en la plataforma interna del delta del Ebro

## *Sediment resuspension on the inner shelf of the Ebro delta*

J. Guillén(\*), J.A. Jiménez(\*\*), A. Palanques(\*), V. Gracia(\*\*) and A. Sánchez-Arcilla(\*\*)

(\* Institut de Ciències del Mar, C.S.I.C., Passeig Joan de Borbó s/n, 08039 Barcelona, España.

(\*\*) Laboratori d'Enginyeria Marítima, ETSECCPB, Universitat Politècnica de Catalunya, C/ Jordi Girona, 1-3, Campus Nord, ed. D1, 08034 Barcelona, España.

### ABSTRACT

*This study deals with the resuspension processes in the inner shelf of the Ebro delta using field measurements of hydrodynamics and suspended sediment distribution in the water column. Two instrumented tripods were simultaneously deployed at 8.5 and 12.5 m of water depth across a profile perpendicular to the shoreline. The record analysed corresponds to a period of increasing wave activity, from fair-weather conditions (no sediment movement) to storm conditions. Critical wave conditions for sediment entrainment in both field sites were determined. The comparison of measurements indicates that the temporal variability of the measured parameters displays a similar behaviour between both field sites, although the intensity of processes is higher in the shallower site.*

*Resuspension processes in tideless shelves affected by short-period waves are restricted to wave-storm conditions and, in addition, only the shallow area of the shelf can be affected.*

**Key words:** near-bottom processes, hydrodynamic measurements, suspended sediment profile, critical resuspension conditions

*Geogaceta*, 27 (1999), 215-218

ISSN: 0213683X

### Introducción

La resuspensión es el mecanismo mediante el cual el sedimento del fondo es incorporado a la columna de agua debido a la acción de los flujos que actúan cerca del fondo. Este proceso determina en buena medida la concentración de material en suspensión en la columna de agua y la cantidad de sedimento transportado por las corrientes. La acción del oleaje es el factor más determinante en la resuspensión de sedimento en la plataforma interna. El proceso se basa en que la tensión generada por las olas en el fondo debe vencer la resistencia opuesta por los granos del sedimento (usualmente representada por su velocidad de sedimentación). Sin embargo, muchos factores pueden alterar el efecto del oleaje sobre el sedimento como la presencia de formas de lecho, los

procesos de "armouring" del sedimento, la presencia de sedimento cohesivo ó el control biológico (Wiberg *et al.*, 1994; Wright *et al.*, 1997).

La plataforma continental mediterránea presenta dos particularidades que hacen que su estudio sea especialmente interesante: por una parte, la ausencia de mareas de consideración repercute en que las corrientes sean de menor intensidad y su capacidad de movilizar sedimento y de transporte esté limitada; por otra, la configuración de la cuenca mediterránea impide que se generen oleajes de larga longitud de onda y períodos prolongados y, por este motivo, la influencia del oleaje sobre el fondo queda restringida a zonas más someras que en otras plataformas.

Las medidas de los procesos de resuspensión en la capa límite de fondo en la plataforma mediterránea son escasas. Cacchione *et al.* (1990) realizaron medidas

en el cinturón de fangos que bordea al delta del Ebro a una profundidad de 60 m. Sin embargo, apenas pudieron registrar procesos de resuspensión debido a la elevada profundidad y al clima de oleaje de baja energía registrado durante el período de medida. En el marco del proyecto europeo Fluxes Across Narrow Shelves se investigó de manera específica el estudio de los procesos de resuspensión a menor profundidad, en la plataforma interna.

En este trabajo se aborda el estudio de los procesos de resuspensión a partir de medidas realizadas "in situ". El experimento cubre un período en el cual las condiciones hidrodinámicas cambiaron desde flujos de muy baja energía hasta flujos de mayor energía durante períodos de tormenta. Uno de los aspectos de mayor interés es investigar la gradación de los distintos procesos a través de la plataforma conti-

nental mediante la realización de medidas simultáneas en diferentes puntos.

### Métodos

La campaña de mar consistió en el fondeo de dos trípodes autónomos con sensores para la medida de los procesos que tienen lugar en la capa límite de fondo a 8 y 12 m de profundidad en el delta del Ebro (la separación entre los dos trípodes era de aproximadamente 2.5 Km) (Fig. 1). Cada uno de los trípodes estaba equipado con tres correntímetros electromagnéticos y tres Optical Backscattering Sensors situados a 0.1, 0.5 y 1 m sobre el fondo y, además, un sensor de presión de alta sensibilidad para medir las oscilaciones del nivel marino (ver Jiménez *et al.*, 1999 para detalles). El esquema de muestreo consistió en medidas cada 0.5 segundos durante veinte minutos ("burst") que se

repetían cada tres horas. Los resultados que se presentan corresponden a un período que cubre aproximadamente dos días de la campaña realizada en abril-mayo de 1997.

Con los datos obtenidos se calcularon los valores medios correspondientes a cada

“burst” y el vector de velocidades se descompuso en el componente perpendicular a la costa (u) y longitudinal (v). Los OBS fueron calibrados utilizando sedimento recogido en la zona de estudio para transformar las medidas ópticas en medidas de concentración de ma-

terial en suspensión (g/l). El período y altura de ola se obtuvieron a partir de las variaciones de presión. A partir del registro de velocidad se calcularon la dirección del oleaje y la velocidad orbital.

**Resultados y discusión**

*Condiciones meteorológicas, oleaje y corrientes*

Las condiciones meteorológicas se caracterizaron por un brusco cambio en la dirección e intensidad del viento al principio del experimento. Vientos flojos procedentes del SW rolaron hacia el primer cuadrante y aumentaron su intensidad hasta 17 m/s. Estos vientos de componente Este generaron un oleaje que se propagaba en la dirección del viento. La velocidad orbital en el fondo aumentó desde menos de 0,08 m/s al principio de las medidas hasta valores máximos de 0,47 m/s, con períodos del oleaje que oscilan entre 5,6 y 8,3 segundos.

La corriente media varió entre 0,05 y 0,32 m/s con una dirección “offshore” al principio de las medidas y que posteriormente fue hacia el SE. El componente longitudinal a la costa fue siempre dominante con respecto al transversal.

*Sedimento en suspensión*

La concentración de sedimento en suspensión estuvo por debajo del límite de resolución de los sensores OBS en ambos trípodes durante el primer “burst” (Fig. 2). Tres horas más tarde, aumentó la concentración en ambos trípodes. La máxima concentración de sedimento en suspensión fue de 7 g/l en el punto situado a 8 m de profundidad. Simultáneamente, la concentración a 12 m de profundidad era de 5,6 g/l.

El perfil vertical del sedimento en suspensión cambia junto a las condiciones hidrodinámicas a lo largo del estudio. En general, el perfil tiende a ser más vertical en ambos puntos estudiados durante la

tormenta, probablemente debido a una variación en el coeficiente de difusión.

*Inicio de la resuspensión*

Las condiciones hidrodinámicas críticas para el inicio de la resuspensión pueden ser calculadas aplicando el diagrama de Shields modificado por Madsen y Grant (1976). Esta aproximación lleva a considerar que la altura de ola necesaria (Hrms) a 12.5 m de profundidad (considerando el período medio del oleaje en la zona, T= 4 sec.) para la resuspensión de sedimento sería de 2.5 m. Bajo estas mismas condiciones, a 8 m de profundidad se precisaría una altura de ola de 1 m. Considerando que la altura de ola media en el delta del Ebro es de 0.6 m, se deduce que la resuspensión de sedimento en la plataforma interna sólo tiene lugar durante los temporales y que la situación “normal” es la de “no resuspensión”.

Otra posibilidad para la resuspensión de sedimento sería el efecto de las corrientes sobre el fondo. En este caso, el esfuerzo de corte crítico estimado con anterioridad se correspondería con corrientes a 1 m sobre el fondo de 0,36 y 0,33 m/s a 8 y 12 m de profundidad respectivamente. Sin embargo, la intensidad de las corrientes en plataformas micromareales raramente alcanza ese valor y las corrientes pueden transportar el sedimento resuspendido por el oleaje, pero no resuspender por sí mismas.

El instante en el que se inició la resuspensión del sedimento del fondo queda perfectamente definido en los dos puntos investigados de la plataforma interna, cuando se compara el esfuerzo de corte en el fondo asociado al oleaje ( $\tau_w$ ) y el esfuerzo crítico para el inicio del movimiento ( $\tau_{cr}$ ) calculado a partir del diagrama de Shields modificado por Madsen y Grant (1976) (Fig. 3). El esfuerzo de corte era superior al esfuerzo crítico después del primer burst y, consecuentemente,

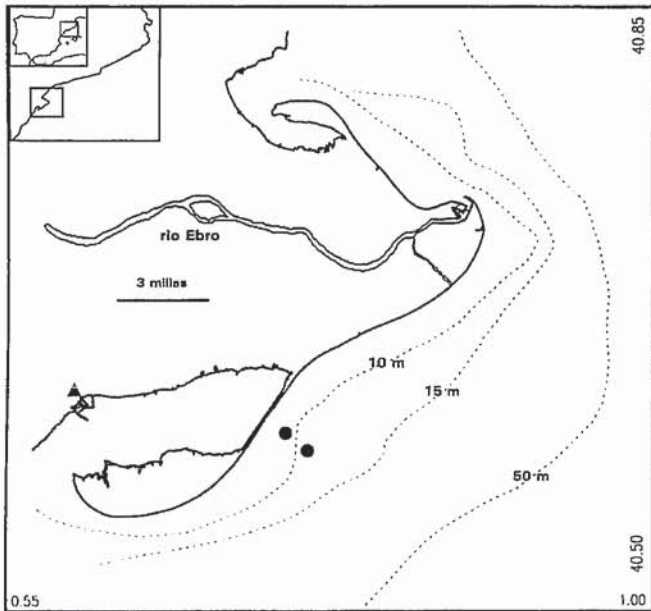


Figura 1.- Área de estudio. Los dos puntos indican la situación de los trípodes de medida.

Figure 1.- Study area. The location of measurement tripods is indicated by two points.

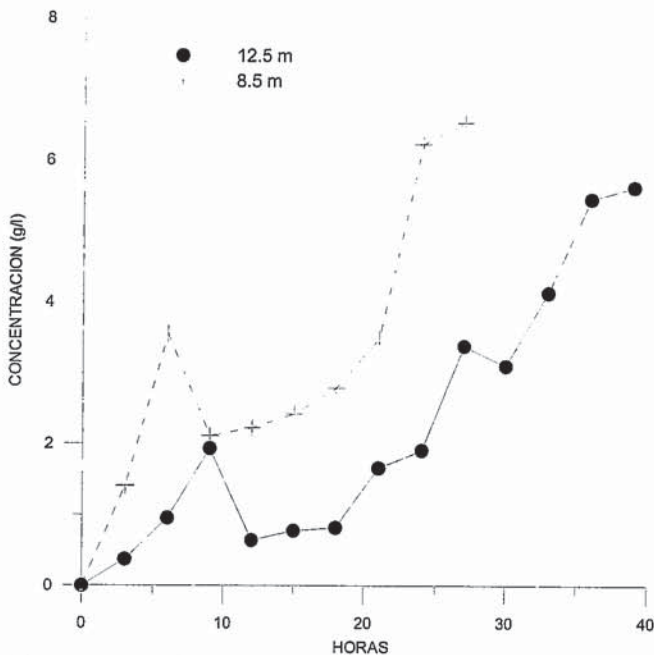


Figura 2.- Variación de la concentración de material en suspensión a 10 cm sobre el fondo durante la campaña

Figure 2.- Variation of the suspended sediment concentration 10 cm above the bottom during the study period

mente, la resuspensión se inició simultáneamente a través de toda la plataforma interna investigada.

Las medidas de mar realizadas en la plataforma interna del delta del Ebro revelan que, aunque la variación en los parámetros hidrodinámicos y fenómenos de resuspensión guarda paralelismo entre los dos puntos de medida, existe un fuerte gradiente a través de la plataforma en la intensidad de los distintos procesos que tienen lugar. Por ejemplo, el esfuerzo de corte asociado al oleaje es prácticamente el doble a 8 m que a 12 m de profundidad, la velocidad de corte un 35% superior y la concentración de sedimento en suspensión suele ser más de dos veces superior en el punto situado a menor profundidad.

**El perfil vertical del material en suspensión**

Los perfiles verticales de concentración de material en suspensión medidos con los trípodes han sido comparados con dos diferentes modelos de perfil. El modelo más sencillo considera un perfil vertical que queda representado por una ley exponencial en la forma (Nielsen, 1992)

$$C(z) = C_0 \exp(-z/L), (1)$$

donde C(z) es la concentración medida a una altura z, C<sub>0</sub> es la concentración de referencia y L es un parámetro de mezcla relacionado con el coeficiente de difusión (ε<sub>s</sub>). El coeficiente de correlación obtenido utilizando esta expresión ha sido muy elevado (r<sup>2</sup> > 0.98 en todos los casos).

La otra expresión utilizada corresponde a un perfil potencial tal como el desarrollado por Glen y Grant (1987)

$$C(z) = C_{(dw)} (z/dw)^{-(ws/ku^*c)}, (2)$$

donde C<sub>(dw)</sub> es la concentración de referencia a una altura dw (espesor de la capa límite dominada por el oleaje), ws la velocidad de sedimentación de

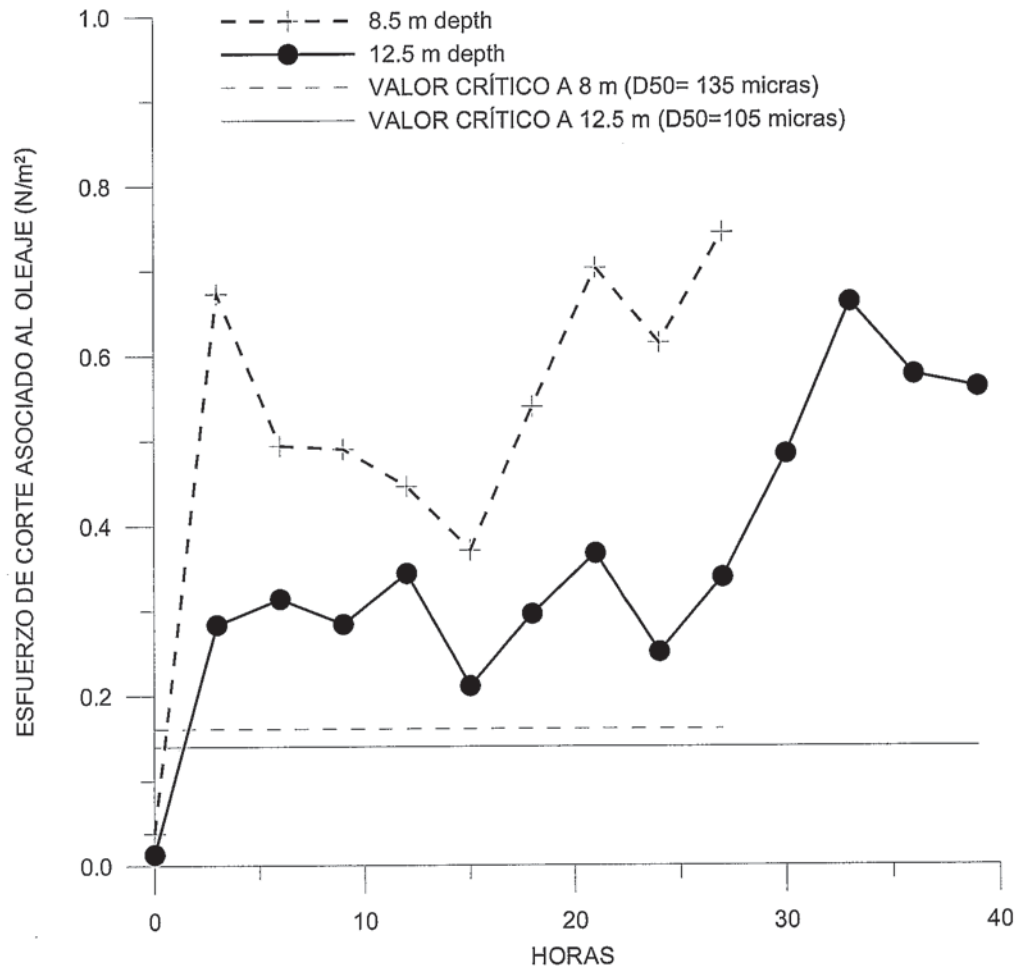


Figura 3.- Variación del esfuerzo de corte debido al oleaje durante el período de estudio con respecto al esfuerzo de corte crítico necesario para resuspender un grano con el tamaño medio del sedimento en cada una de las zonas.

Figure 3.- Variation of the wave shear stress during the study period with respect to the critical value for resuspension of grains with the mean grain size of the bottom sediment in the site.

las partículas, la constante de von karman (=0.41) y u\*c la velocidad de corte estimada a partir del perfil logarítmico de velocidades. Para la aplicación de este modelo se ajustó la expresión a los datos medidos considerando la concentración de referencia y la velocidad de sedimentación como variables. En este caso, el coeficiente de correlación fue superior a 0,99 en todos los perfiles. Además, el método permite la estima del tamaño de las partículas en suspensión de un modo indirecto. Los resultados han puesto de manifiesto que el tamaño de las partículas en suspensión aumentó desde tamaño limo ( 50 μ) al principio del experimento hasta valores similares al tamaño medio del sedimento del fondo (105-135 mm) a partir

del cuarto "burst" (Fig.4). Aunque el oleaje tenía capacidad para resuspender la práctica totalidad de las partículas del fondo (ver Fig. 3), la velocidad de corte al principio de la serie temporal era muy pequeña, insuficiente para mantener las partículas más gruesas en suspensión, de forma que el único sedimento que se mantenía de manera permanente en suspensión era el de tamaño limo.

**Conclusiones**

La dinámica del sedimento presenta una respuesta rápida y prácticamente simultánea en toda la plataforma interna del delta del Ebro a los cambios en las condiciones hidrodinámicas. El aumento progresivo de la altura y período del oleaje como

consecuencia de la actuación de vientos procedentes del Este produce un cambio desde condiciones de "no-movimiento" del sedimento a procesos de resuspensión que afectan a todas las partículas que constituyen el sedimento del fondo. El paso de una a otra situación ocurre en menos de tres horas y se ha medido simultáneamente a 8 y 12 m de profundidad. La variabilidad de los diferentes parámetros medidos (hidrodinámicos y sedimentarios) es similar en los dos puntos de medida, aunque la intensidad de los procesos es muy superior en la zona más somera.

Los perfiles verticales de sedimento en suspensión ajustan adecuadamente (r<sup>2</sup> > 0.98) con un modelo de perfil exponencial ó potencial. La aplicación del perfil potencial ha permitido

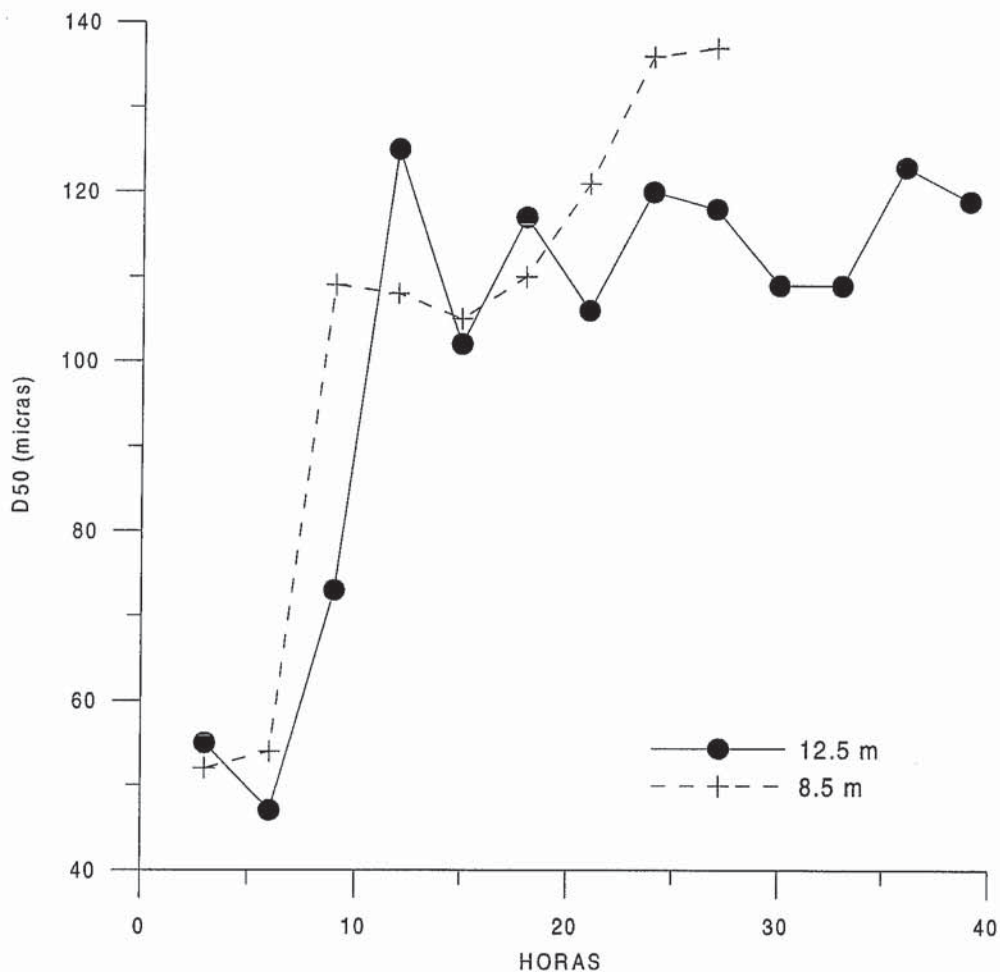


Figura 4.- Tamaño del sedimento en suspensión calculado a partir del modelo potencial de Glen y Grant (1987) (ecuación 2).

Figure 4.- Grain size of the suspended sediment estimated from the potential profile of Glen and Grant (1987) (equation 2).

identificar cambios en el tamaño de grano del sedimento en suspensión a lo largo de la campaña de medidas y que son debidos a los cambios en la estructura vertical de la corriente y su velocidad de corte asociada. La aplicación de estos modelos a los datos

medidos (los primeros en la plataforma continental interna del Mediterráneo) permitirá el cálculo de parámetros significativos en el transporte de sedimento como los coeficientes de difusión y resuspensión y la extensión de estos datos, muy puntua-

les en el tiempo, a estudios de más larga escala temporal.

Los fenómenos de resuspensión en plataformas micromareales están restringidos a los períodos de temporal. Además, en áreas como el Mediterráneo afectadas por un oleaje

de corto período, la resuspensión de sedimento tiene lugar en zonas más someras que en otras plataformas continentales.

**Agradecimientos**

Este trabajo se ha realizado en el marco de los proyectos FANS y TRSEDVE financiados por la CE (MAS3-CT95-0037) y la CICYT (MAR98-0691-C02-01) respectivamente. Es una contribución al Proyecto IGCP 396 "Plataformas Continentales durante el Cuaternario"

**Referencias**

Cacchione, D.A.; Drake, D.E.; Losada, M. y Medina, R. (1990): *Mar. Geol.*, 95: 179-192.  
 Glenn, S.M. y Grant, W.D. (1987): *Jour. Geoph. Res.*, 92: 8244-8264.  
 Jimenez, J.; Guillén, J.; Gracia, V.; Palanques, A.; García, M.; Sánchez-Arcilla, A.; Puig, P.; Puigdefábregas, J. y Rodríguez, G. (1999): *Mar. Geol.*, 157: 219-239.  
 Madsen, O. S. y Grant, W.D. (1976): *Proc. Fift. Inter. Coastal Eng. Conf., Am. Soc. Civil Eng., Vol. 2: 1093-1112.*  
 Nielsen, P. (1992): *Ad. Ser. Oc. Eng., World Scientific, Vol. 4: 324 pp.*  
 Wiberg, P.L., Drake, D.E. y Cacchione, D.A. (1994): *Cont. Shelf Res.*, 14, 10/11: 1191-1219.  
 Wright, L.D., Schaffner, L.C. y Maa, J.P.-Y. (1997): *Mar. Geol.*, 141: 27-50.