

Caracterización y patrones de distribución de los sedimentos superficiales en Bahía Cullera, España

Characterization and distribution patterns of surficial sediments of Cullera Bay, Spain

LA Cupul-Magaña^{1,2*}, C Mösso-Aranda¹, JP Sierra¹, E Martí³, JL Ferman-Almada²,
M Rodilla³, J González del Río³, A Sánchez-Arcilla¹

¹ Universitat Politècnica de Catalunya, Jordi Girona 1-3, Campus Nord-UPC, Mòdul D-1, 08034 Barcelona, España.

² Universidad Autónoma de Baja California, Apartado postal 453, 22800 Ensenada, Baja California, México.

* E-mail: lcupul@uabc.mx

³ Universidad Politécnica de Valencia Grupo de Evaluación de Impacto Ambiental, Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, España.

Resumen

Se investigó la variación en la distribución espacial y temporal de las características del tamaño de grano de los sedimentos superficiales y se identificaron áreas susceptibles a contaminación asociadas al tamaño de grano fino en Bahía Cullera, España. Se analizaron 90 muestras de sedimento superficial que fueron recolectadas durante seis campañas de muestreo a mediados y finales de verano y mediados de otoño de 2002, y a mediados de invierno, primavera y verano de 2003. Se analizó el tamaño de grano aplicando diferentes métodos como el análisis bivariante y funciones discriminantes empleadas en la interpretación de mecanismos y ambientes de depositación. Para identificar las zonas con mayor susceptibilidad de ser contaminadas por sustancias tóxicas asociadas a tamaños de grano fino, se obtuvieron mapas de contornos de la distribución del tamaño medio de grano para las seis campañas de muestreo. Los sedimentos superficiales de Bahía Cullera se diferenciaron de acuerdo al escenario de depositación en depósitos de sedimentos marinos someros y depósitos de sedimentos fluviales asociados a la descarga del Río Júcar. La variación espaciotemporal mostró que la concentración de sedimentos gruesos se presentó en la región más cercana a la desembocadura del río, mientras que los sedimentos más finos se concentraron en la zona central y norte de la bahía durante la época de escasez de lluvia, por lo que durante esta época los sedimentos superficiales de estas zonas podrían ser susceptibles de contaminación por sustancias nocivas asociadas a tamaños de grano fino.

Palabras clave: sedimentos, tamaño de grano, ambientes sedimentarios, Cullera, Río Júcar.

Abstract

Spatial and temporal variations in the distribution of the grain-size characteristics of surficial sediments were studied and the areas susceptible to contamination associated with fine-grained sediments were identified in Cullera Bay, Spain. We analyzed 90 sediment samples collected during six sampling campaigns in July (mid-summer), September (end of summer) and November (mid-autumn) 2002, and February (mid-winter), April (mid-spring) and July 2003. Different methods of grain-size analysis (bivariate analysis and discriminant functions) were applied to interpret the environments and mechanisms of sediment deposition. To identify zones that showed greater susceptibility to contamination by toxic substances associated with fine-grain sizes, contour maps of sediment distribution were prepared for the six sampling campaigns. The surficial sediments at Cullera Bay were classified according to the deposition scenario into shallow marine deposits and fluvial sediment deposits associated with the Júcar River discharge. The spatiotemporal variation showed that coarse sediments concentrated in the area nearest to the river mouth, whereas the finest sediments concentrated in the central and northern areas of the bay during the dry season, making them susceptible to contamination by harmful substances associated with the fine-grained fraction.

Key words: sediments, grain size, sedimentary environments, Cullera, Júcar River.

Introducción

Para llevar a cabo un manejo adecuado de la zona costera es necesario entender los ambientes costeros, así como los procesos involucrados en su dinámica. Conocer las características de los sedimentos es importante para comprender las interacciones entre el ambiente marino y los depósitos sedimentarios. El tamaño de grano de los sedimentos es la característica fundamental de las partículas que conforman los depósitos sedimentarios, ya que éste afecta su transporte y depositación.

Introduction

For the proper management of coastal areas it is necessary to understand not only the coastal environments but also the processes involved in their dynamics. Knowledge of sediment characteristics is important to comprehend the interactions between the marine environment and sedimentary deposits. Grain size is the principal characteristic of the particles that compose the sediment deposits, since it affects their transport and deposition. Analysis of the textural characteristics of

El análisis de las características texturales de los sedimentos es una herramienta muy importante que provee información sobre su origen, condiciones de transporte y depositación (Folk y Ward 1957; Friedman 1962, 1979). Algunos autores han utilizado las características del tamaño de grano de los sedimentos en el análisis de la evolución de las playas (Guillén y Jiménez 1994, Reed y Wells 2000, Pontee *et al.* 2004) o en la relación entre el tamaño de grano y la concentración de metales pesados (Rule 1986, Combest 1991, Axtman *et al.* 1997, Lakhan *et al.* 2003, Baptista-Neto *et al.* 2006). Los sedimentos de zonas costeras que se encuentran rodeadas de áreas urbanizadas e industrializadas pueden contener grandes cantidades de metales pesados, los cuales son tóxicos y pueden afectar los procesos biológicos de un ambiente costero (Baptista-Neto *et al.* 2006). Larson y Jensen (1989) obtuvieron que la distribución del tamaño de grano de los sedimentos puede utilizarse como un indicador sensible para el monitoreo espacial y temporal de las concentraciones de metales pesados en ambientes costeros.

La distribución espacial y temporal del tamaño de grano de los sedimentos refleja la variabilidad de las condiciones ambientales bajo las cuales éste se depositó. De acuerdo a Sahu (1964) cada ambiente de depósito tiene un rango de condiciones de energía en función de la localidad y el tiempo. Sin embargo, dichas condiciones ambientales no sólo pueden reflejar los procesos naturales, sino también procesos inducidos por la actividad humana (construcción de presas, estructuras de protección costera, aporte de aguas residuales, contaminantes, etc.) que afectarían las condiciones ambientales. La consecuencia de estos cambios serían variaciones en la calidad ambiental de una zona costera en particular.

Alsharhan y El-Sammak (2004) investigaron la caracterización y variación de los ambientes sedimentarios en la zona costera de los Emiratos Árabes Unidos, aplicando diferentes métodos de análisis a la distribución de tamaño de grano del sedimento, tales como el análisis de dispersión, análisis estadístico (descriptivo, cluster y análisis de correspondencia), así como las funciones discriminantes propuestas por Sahu (1964) para la interpretación de los ambientes y mecanismos de depósito, y encontraron que cualquier método por sí solo no es efectivo para identificar ambientes similares utilizando los parámetros estadísticos de tamaño de grano, por lo que recomiendan que la discriminación entre ambientes similares deberá de basarse en una combinación de métodos más que en uno solo. Alí *et al.* (1987) aplicó método de Sahu (1964) en un estudio de sedimentos de fondo provenientes de Ghardaqa, Egipto, obteniendo que sus resultados fueron compatibles con las observaciones de campo en un 70.6%.

Actualmente no existen estudios en el uso de los parámetros estadísticos de la distribución de tamaño de grano para diferenciar ambientes sedimentarios en la zona costera de la Bahía Cullera, España. Por lo que este trabajo está enfocado a la investigación de la variación en la distribución espacial y temporal de las características del tamaño de grano de los

sediment is a useful tool to obtain information on its origin, transport conditions and deposition (Folk and Ward 1957; Friedman 1962, 1979). Some authors have used sediment grain-size characteristics to analyze the evolution of beaches (Guillén and Jiménez 1994, Reed and Wells 2000, Pontee *et al.* 2004) or the relationship between grain size and heavy metal concentration (Rule 1986, Combest 1991, Axtman *et al.* 1997, Lakhan *et al.* 2003, Baptista-Neto *et al.* 2006). Sediments from coastal zones surrounded by urban and industrial areas can contain large amounts of toxic heavy metals that can affect the biological processes of coastal environments (Baptista-Neto *et al.* 2006). Larson and Jensen (1989) found that sediment grain-size distribution can be used as a sensitive indicator in the spatial and temporal monitoring of heavy metal concentrations in coastal environments.

The spatial and temporal distribution of sediment grain size reflects the variability of the environmental conditions under which it was deposited. According to Sahu (1964), each depositional environment has a range of energy conditions related to the location and time. These environmental conditions, however, can reflect not only the natural processes, but also those induced by human activity (construction of dams, coastal protection structures, wastewater discharges, pollutants, etc.) that will affect the environmental conditions. The consequence of these changes would be variations in the environmental quality of a particular coastal area.

In a study on the characterization and variation of sedimentary environments of the United Arab Emirates coastal area, Alsharhan and El-Sammak (2004) used different methods to determine the sediment grain-size distribution, including dispersion analysis, statistical analysis (descriptive, cluster and correspondence analysis), and the discriminant functions proposed by Sahu (1964) for the interpretation of depositional environments and mechanisms. They found that no method by itself was sufficiently effective to identify similar environments and thus recommended that the discrimination of similar environments should be based on a combination of methods rather than just on one. Ali *et al.* (1987) applied Sahu's (1964) method in a study on bottom sediments from Ghardaqa, Egypt, and found a compatibility between their results and field observations of 70.6%.

Studies using statistical parameters of grain-size distribution to differentiate sedimentary environments in the coastal area of Cullera Bay (Spain) are lacking. This work therefore aims to determine the variation in the spatial and temporal distribution of the grain-size characteristics of surficial sediments and to identify the areas susceptible to contamination associated with the fine-grained fraction in Cullera Bay.

Material and methods

Study area

Cullera Bay (39°09'–39°12' N, 0°12'–0°15' W) is located on the Mediterranean coast of Spain (fig. 1). To the north it is

sedimentos superficiales, así como de la identificación de áreas susceptibles a contaminación asociadas a tamaño de grano fino, en la Bahía Cullera, España.

Materiales y métodos

Área de estudio

Bahía Cullera está localizada en la costa mediterránea española, entre las coordenadas 39°09'–39°12' N y 0°12'–0°15' O (fig. 1), delimitada al norte por el Cabo Cullera, mientras que se encuentra abierta al mar hacia su parte sur. El núcleo urbano se extiende en semicírculo en torno a la ladera del Monte de Oro, limitando su desarrollo con la margen norte del Río Júcar y el Mar Mediterráneo. La bahía de Cullera es un ecosistema nerítico donde la calidad de las aguas está fuertemente influenciada por las descargas del Río Júcar y de un emisor submarino próximo a la desembocadura del río. El caudal máximo del Río Júcar se observa típicamente durante los meses de invierno, mientras que en el verano éste es mínimo (fig. 2). El caudal de río se ve afectado por la construcción de presas en su cuenca, las cuales modifican el régimen del flujo natural. Además, las aguas del bajo Júcar se caracterizan por sus altas concentraciones de nutrientes (con una abundante cantidad de pesticidas y fertilizantes), debido a la intensa actividad agrícola, así como la gran explotación de los recursos hídricos del río a lo largo de su cuenca y a su uso como vertedero de descargas de aguas residuales (domésticas e industriales) parcialmente depuradas (Mestres 2002).

Recolección y análisis de las muestras

Como parte del proyecto europeo ECOSUD (Estuaries and Coastal Areas. Basis and Tools for a More Sustainable Development), de julio de 2002 a julio de 2003 se realizaron seis campañas de muestreo: julio de 2002 (mediados de

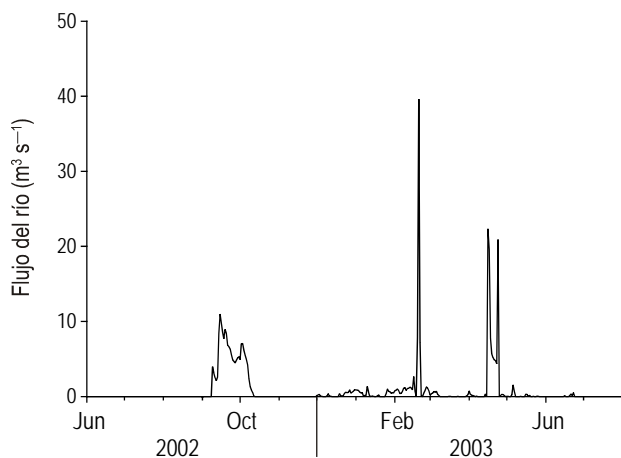


Figura 2. Flujos del Río Júcar de julio de 2002 a julio de 2003.
Figure 2. Júcar River flows from July 2002 to July 2003.

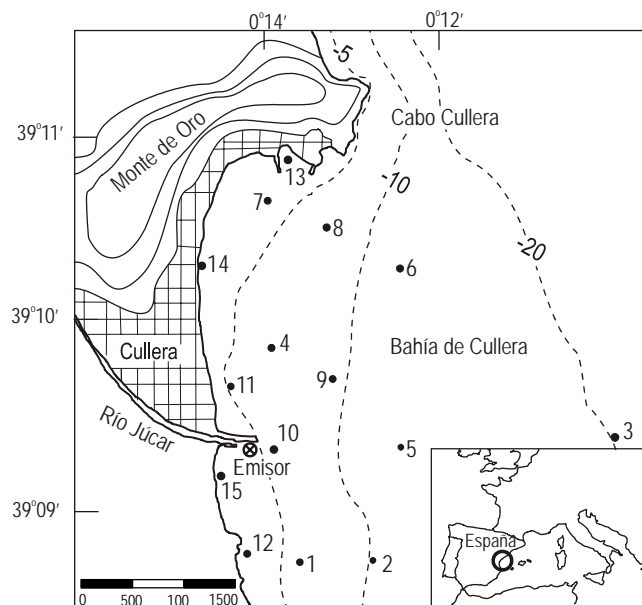


Figura 1. Localización del área de estudio y estaciones de muestreo.
Figure 1. Location of the study area and sampling stations.

delimited by Cape Cullera and to the south there is open sea. The urban nucleus extends in a semicircle around the slope of Monte de Oro, limiting with the north bank of the Júcar River and the Mediterranean Sea. Cullera Bay is a neritic ecosystem and its water quality is strongly influenced by discharges from the Júcar River and from an underwater sewage pipe in the vicinity of the river mouth. The maximum and minimum flows of the Júcar River typically occur in winter and summer, respectively (fig. 2). The river flow is affected by the construction of dams in the basin that modify the natural flow regimen. Moreover, the waters of the lower part of the river are characterized by high nutrient concentrations (with large amounts of pesticides and fertilizers), owing to intense agricultural activity, substantial exploitation of the hydric resources along the basin and its use as a dumping ground for partially treated domestic and industrial wastewaters (Mestres 2002).

Sample collection and analysis

Within the framework of the European ECOSUD project (Estuaries and Coastal Areas: Basis and Tools for a More Sustainable Development), six sampling campaigns were conducted between July 2002 and July 2003: in July 2002 (mid-summer), September 2002 (end of summer), November 2002 (mid-autumn), February 2003 (mid-winter), April 2003 (mid-spring) and July 2003. To cover all the area of Cullera Bay, 15 sampling stations were established between the mouth of the Júcar River, on the southern side, and Cape Cullera, on the northern side (fig. 1). Surface sediment samples (5 cm) were collected at each station using Scuba gear and a hand corer. In the laboratory the samples were washed, dried and sieved at 1 phi intervals (–1 phi, 0 phi, 1 phi, 2 phi, 3 phi, 4 phi, Pan).

verano), septiembre de 2002 (finales de verano), noviembre de 2002 (mediados de otoño), febrero de 2003 (mediados de invierno) abril de 2003 (mediados de primavera) y julio de 2003. Para abarcar toda el área de Bahía Cullera se estableció una red de 15 estaciones de muestreo, comprendida entre la desembocadura del Río Júcar y el Cabo Cullera en la parte norte (fig. 1). En cada estación fueron recolectadas muestras de sedimento superficial (5 cm) por medio de buceo autónomo utilizando un nucleador de mano. En el laboratorio las muestras colectadas fueron lavadas, secadas y tamizadas en seco a intervalos de 1 phi (-1 phi, 0 phi, 1 phi, 2 phi, 3 phi, 4 phi, Pan).

El análisis de los datos del tamaño de grano de las 90 muestras recolectadas se realizó usando el programa GRADISTAT (Blott y Kenneth 2001), el cual calcula, basándose en Folk y Ward (1957) y en el método de los momentos, los estadísticos de tamaño de grano (media, clasificación, asimetría y curtosis). El total de las muestras fueron graficadas en diagramas X-Y para observar su distribución y comportamiento a lo largo del estudio (figs. 3, 4).

A los resultados obtenidos del análisis granulométrico (tabla 1) se aplicó la función discriminante propuesta por Sahu (1964) con el objetivo de caracterizar el escenario de depósito de las diferentes estaciones en todas las campañas de muestreo. Esta función es obtenida por medio de un estudio cuantitativo de métodos de discriminación de diferentes mecanismos y ambientes de depósito, suponiendo que la distribución de tamaño de grano de sedimentos clásticos refleja el factor de fluidez (viscosidad) del medio de depósito y la energía del ambiente (sitio) de depósito. Para ello, se muestrearon diferentes ambientes como corrientes de turbidez, ambientes deltaicos, planicies de inundación, canales de ríos, litoral marino somero (hasta 90 m de profundidad), depósitos de duna y planicies eólicas. De acuerdo con Sahu (1964), para el caso general de p normalmente distribuida, las variables X_1, X_2, \dots, X_p , los coeficientes $\lambda^1, \lambda^2, \dots, \lambda^p$ y una función discriminante Y relacionada linealmente a las variables, pueden definirse como:

$$Y_1 = \lambda^1 X_1 + \lambda^2 X_2 + \dots + \lambda^p X_p$$

donde las λ s son escogidas para que la proporción de la diferencia entre medias de la muestra a la desviación del estándar, dentro de los dos ambientes de depósito, sea maximizada. Los resultados del análisis de Sahu (1964) producen funciones discriminantes que pueden ser utilizadas para propósitos de clasificación de los ambientes de depósito. Por ejemplo, para distinguir entre procesos eólicos y ambiente litoral (playa) (I), entre playa y ambiente marino agitado (II), entre ambiente marino somero y procesos fluviales (III), y entre ambiente fluvial (deltaico) y depósitos de corrientes de turbidez (IV), cada una de ellas con sus correspondientes λ s para cada Y .

De acuerdo a las características ambientales (playa, marino somero y fluvial) del área de estudio se utilizaron las funciones discriminantes II y III.

Analysis of the grain-size data of the 90 samples collected was performed using the GRADISTAT package (Blott and Kenneth 2001), which calculates, based on Folk and Ward (1957) and on the method of moments, the grain-size statistics (mean, sorting, skewness and kurtosis). The data of all the samples were plotted in X-Y diagrams to observe their distribution and behaviour throughout the study (figs. 3, 4).

The discriminant function proposed by Sahu (1964) was applied to the results of the granulometric analysis (table 1) in order to characterize the depositional scenario of the different sampling stations in all the surveys. This function is obtained through a quantitative study of discrimination methods of different depositional mechanisms and environments, assuming that the grain-size distribution of clastic sediments reflects the fluidity (viscosity) factor of the depositional environment and the energy of the depositional environment (site). For this, diverse environments were sampled, including turbidity currents, deltaic environments, flood plains, river channels, shallow marine littoral (up to 90 m depth), dune deposits and eolic plains. According to Sahu (1964), for the general case of p normally distributed, the variates X_1, X_2, \dots, X_p , the coefficients $\lambda^1, \lambda^2, \dots, \lambda^p$ and a discriminant function Y linearly related to the variates can be defined as follows:

$$Y_1 = \lambda^1 X_1 + \lambda^2 X_2 + \dots + \lambda^p X_p$$

where the λ s are chosen so that the ratio of the difference between sample means to the standard deviation, within the two environments, is maximized. The results of this analysis produce discriminant functions that can be used to classify depositional environments. For example, to distinguish between eolic processes and littoral environment (beach) (I), between beach and agitated marine environment (II), between shallow marine environment and fluvial processes (III), and between fluvial (deltaic) environment and turbidity current deposits, each one with its corresponding λ s for each Y .

Based on the environmental conditions (beach, shallow marine and fluvial) of the study area, discriminant functions II and III were used.

To differentiate between beach and shallow agitated marine environments (Y_2), equation II was used:

$$Y_2 = 15.6534 M_z + 65.709 S\phi^2 + 18.1071 Sk_1 + 18.5043 KG$$

where M_z is the mean grain size, $S\phi^2$ is the standard deviation (sorting), Sk_1 is the skewness and KG is the kurtosis. A value of $Y_2 < 65.365$ indicates a beach deposit, while $Y_2 > 65.365$ corresponds to a shallow agitated marine deposit.

To distinguish between a shallow marine environment and a fluvial one (Y_3), equation III was used:

$$Y_3 = 0.2852 M_z - 8.7604 S\phi^2 - 4.8932 Sk_1 + 0.0483 KG$$

If $Y_3 < -7.419$ the sample is identified as a fluvial (deltaic) deposit, but if $Y_3 > -7.419$ the sample is classified as a shallow marine deposit.

Para la discriminación entre playa y marino somero agitado (Y_2) se utilizó la ecuación II:

$$Y_2 = 15.6534 M_z + 65.709 S\phi^2 + 18.1071 Sk_1 + 18.5043 KG$$

donde M_z es el tamaño medio de grano, $S\phi^2$ es la desviación estándar (clasificación), Sk_1 es la asimetría y KG es la curtosis. Si $Y_2 < 65.365$ se sugiere un depósito de playa, si $Y_2 > 65.365$ éste corresponde a un depósito de mar somero agitado.

Para discriminar entre un ambiente marino somero y uno fluvial (Y_3), se utilizó la ecuación III:

$$Y_3 = 0.2852 M_z - 8.7604 S\phi^2 - 4.8932 Sk_1 + 0.0483 KG$$

To identify the areas susceptible to contamination associated with fine-grained sediments, mean grain size distribution maps were made for each one of the sampling campaigns.

Results

The distribution of sediment mean grain size (M_z), for all the sampling stations and campaigns (table 1, fig. 3a), showed greater variability at stations 3 and 5, where mean grain size ranged from very coarse to very fine sands. At station 3, the sand was very fine in July, September and November 2002 and in July 2003, but coarse in February 2003 and very coarse in April 2003. At station 5, very coarse sands predominated in

Tabla 1. Estadísticos descriptivos del tamaño de grano de todos los muestreos en la Bahía Cullera. M_z = tamaño medio de grano, $S\phi$ = clasificación, Sk = asimetría y K = curtosis.

Table 1. Statistical descriptors of grain size for all the sampling stations and campaigns in Cullera Bay. M_z = mean grain size, $S\phi$ = sorting, Sk = skewness and K = kurtosis.

	Estación														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Julio/2002															
M_z	2.99	3.16	3.76	2.75	-0.85	3.09	2.81	2.95	3.20	3.09	2.73	2.61	2.77	2.57	2.63
$S\phi$	0.95	0.94	0.73	1.10	0.73	0.84	0.79	0.59	0.81	0.71	0.61	0.57	0.57	0.70	0.48
Sk	-1.32	-2.21	-1.96	-2.23	2.44	-2.22	-2.56	-1.59	-2.62	-1.21	-2.73	-0.82	-2.69	-1.33	-1.50
K	5.10	9.55	8.75	8.83	11.34	10.85	14.54	14.62	14.16	9.01	19.07	5.64	21.61	8.27	10.27
Septiembre/2002															
M_z	3.08	3.28	3.38	2.89	-0.69	3.15	2.85	2.99	3.18	3.03	3.10	2.98	2.57	2.79	2.69
$S\phi$	0.85	0.72	1.11	0.72	1.05	1.01	0.55	0.63	0.80	0.70	0.62	0.52	0.86	0.50	0.46
Sk	-0.60	-1.71	-1.61	-1.93	2.53	-2.40	-1.93	-1.69	-2.35	-1.34	-1.28	-0.19	-2.32	-1.20	-1.32
K	3.83	6.75	4.88	11.41	9.90	9.58	19.25	13.06	11.89	9.79	9.88	7.26	10.81	12.19	10.43
Noviembre/2002															
M_z	3.17	3.40	3.61	2.93	-0.24	3.28	2.93	3.02	3.21	2.79	2.96	2.92	2.54	2.86	2.31
$S\phi$	0.64	0.61	0.94	0.67	1.47	0.81	0.56	0.54	0.77	0.51	0.57	0.68	0.67	0.60	0.74
Sk	-0.66	-1.99	-2.19	-1.64	1.59	-2.53	-1.02	-0.34	-2.53	-0.48	-1.65	-2.42	-1.94	-1.13	-1.21
K	4.29	8.54	8.80	11.05	4.64	11.92	11.23	6.10	13.77	10.03	16.46	16.96	10.86	9.67	5.51
Febrero/2003															
M_z	3.06	3.29	0.64	3.07	1.02	3.18	3.00	2.93	3.09	2.83	3.11	3.07	2.80	2.70	2.31
$S\phi$	0.67	0.80	1.32	0.55	1.43	0.84	0.57	0.51	0.83	0.50	0.60	0.59	0.46	0.50	0.90
Sk	-0.99	-2.40	0.86	-0.20	0.39	-2.57	-1.01	-0.68	-2.41	-1.66	-1.15	-0.79	-0.68	-2.12	-1.86
K	5.85	10.66	3.72	3.66	2.42	12.59	11.30	11.06	12.46	20.68	10.56	9.10	11.75	18.10	7.44
Abril/2003															
M_z	2.90	3.21	-0.17	3.06	-0.12	3.28	2.78	3.09	3.23	2.80	3.02	2.90	2.80	2.60	2.56
$S\phi$	1.02	0.70	1.25	0.69	1.13	0.80	0.60	0.78	0.90	0.51	0.51	0.64	0.39	0.61	0.66
Sk	-1.72	-1.90	1.47	-1.78	0.82	-2.97	-1.68	-2.51	-2.97	-0.07	0.05	-2.24	-0.04	-1.82	-2.04
K	6.84	9.72	5.20	11.85	3.25	15.28	11.65	14.42	14.15	6.77	5.09	18.00	10.68	11.25	11.35
Julio/2003															
M_z	3.09	3.20	3.66	0.99	3.05	3.26	2.95	3.12	3.16	2.77	2.86	2.91	2.77	2.55	2.68
$S\phi$	0.79	0.85	0.69	2.09	0.96	0.83	0.59	0.76	0.83	0.50	0.55	0.50	0.43	0.84	0.50
Sk	-1.88	-2.34	-2.76	0.03	-1.88	-2.85	-0.95	-2.70	-2.56	-0.85	-1.87	-1.41	-0.35	-2.15	-1.73
K	9.84	10.55	15.19	1.22	7.43	14.42	9.39	16.42	13.04	11.83	17.89	9.74	8.96	10.18	6.95

Si $Y_3 < -7.419$ la muestra se identifica como de depósito fluvial (deltaico) y si $Y_3 > -7.419$, ésta corresponde a un depósito marino somero.

Para identificar las áreas susceptibles a contaminación asociadas a tamaños de grano fino se realizaron mapas de la distribución del tamaño medio de grano para cada una de las campañas de muestreo.

Resultados

La distribución de la media (Mz) del tamaño de grano de los sedimentos, en todas las estaciones y durante las diferentes campañas de muestreo (tabla 1, fig. 3a) mostró que la variabilidad fue mayor en las estaciones 3 y 5, donde el tamaño medio de grano del sedimento fluctuó entre arenas muy gruesas y arenas muy finas. En el caso de la estación 3 durante julio, septiembre y noviembre de 2002 y julio de 2003 la arena es muy fina, mientras que durante febrero de 2003 la arena es gruesa y en abril es muy gruesa. En la estación 5 se observó una predominancia de arenas muy gruesas durante julio, septiembre y noviembre de 2002, cambiando a arena media durante febrero de 2003, muy gruesa en abril y muy fina durante julio del mismo año. Se observó también que en la

November 2002, changing to medium sand in February 2003, very coarse sand in April 2003 and very fine in July 2003. In the case of station 4, mean grain size varied from fine sands in July, September and November 2002 to very fine sands in February and April 2003 and medium sands in July 2003. At the rest of the sampling stations, sediment grain size fluctuated between the limits of fine and very fine sands.

The sediment sorting (fig. 3b) showed values corresponding to sands moderately well sorted at stations 10, 11 and 12; well sorted to moderately sorted at stations 13, 14 and 15; moderately well sorted to moderately sorted at stations 2, 6, 7, 8 and 9; moderately sorted to poorly sorted at stations 1, 3 and 5; and moderately sorted to very poorly sorted at station 4. Regarding the skewness (fig. 3c), most of the samples had values with a negative trend (towards coarse sands). Only station 3 in February and April 2003, and station 5 in July, September and November 2002 and February and April 2003 showed skewness values with a positive trend (towards fine sands). Finally, the kurtosis values (fig. 3d) indicated that most of the samples presented a narrow range between leptokurtic and very leptokurtic. Only stations 3, 4 and 5 showed a wider range, from mesokurtic to very leptokurtic, from very platykurtic to very leptokurtic, and from platykurtic to very leptokurtic, respectively.

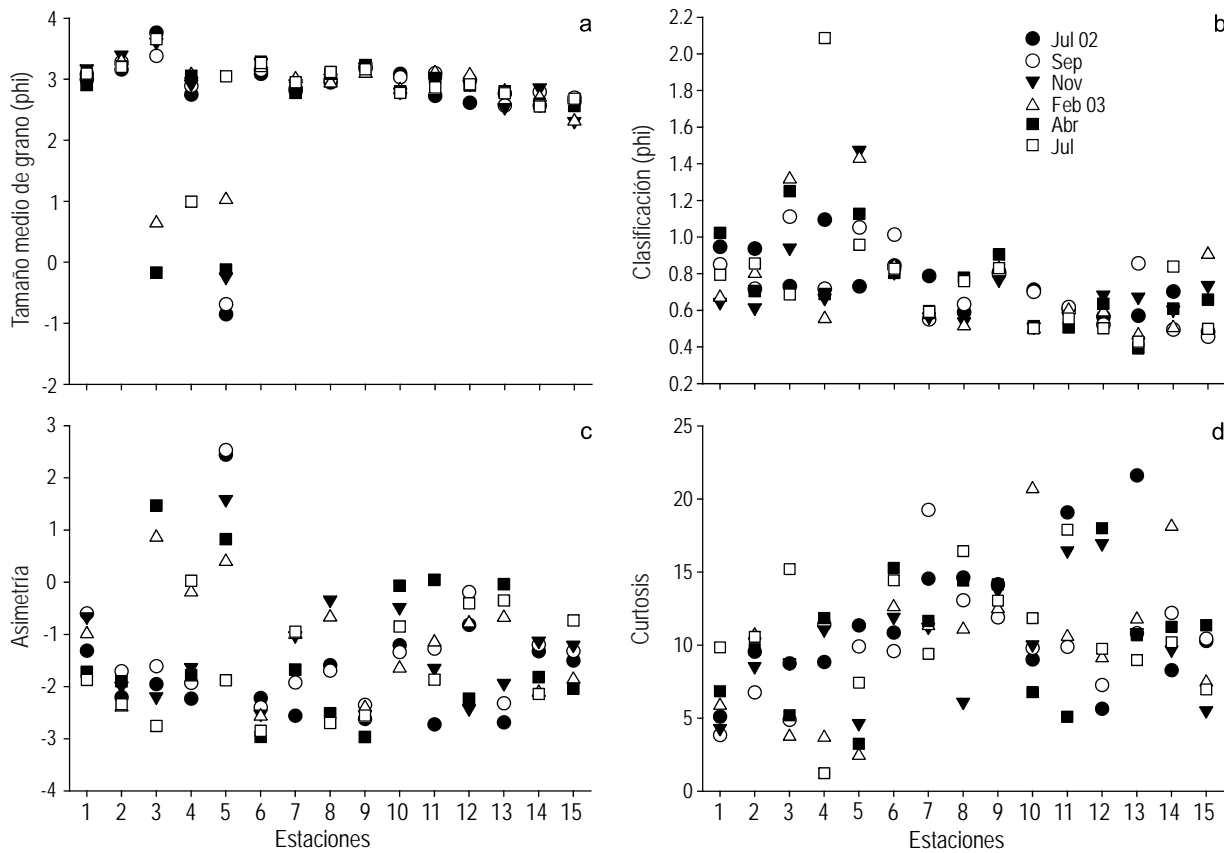


Figura 3. Promedios de los parámetros texturales de los sedimentos de la Bahía Cullera: (a) tamaño medio de grano, (b) clasificación, (c) asimetría y (d) curtosis.

Figure 3. Averages of the textural parameters of sediments from Cullera Bay: (a) mean grain size, (b) sorting, (c) skewness and (d) kurtosis.

estación 4 la variación del tamaño de grano fue de arenas finas en julio, septiembre y noviembre de 2002, a arenas muy finas en febrero y abril de 2003 y arenas medias en julio de 2003. En el resto de las estaciones el tamaño de grano de los sedimentos fluctuó entre los límites de arenas finas y muy finas.

Los valores de la clasificación del sedimento (fig. 3b) mostraron arenas con valores correspondientes a arenas moderadamente bien clasificadas en las estaciones 10, 11 y 12; de bien clasificadas a moderadamente clasificadas en las estaciones 13, 14 y 15; de moderadamente bien clasificadas a moderadamente clasificadas en las estaciones 2, 6, 7, 8 y 9; de moderadamente clasificadas a pobremente clasificadas en las estaciones 1, 3 y 5; y de moderadamente clasificadas a muy pobremente clasificadas en la estación 4. En cuanto a los valores de asimetría (fig. 3c), la mayoría de las muestras tienen valores asimétricos con tendencia negativa (hacia los gruesos); sólo la estación 3 en febrero y abril de 2003, y la estación 5 en julio, septiembre y noviembre de 2002, y en febrero y abril de 2003, muestran valores asimétricos con tendencia positiva (hacia los finos). Mientras tanto los valores de curtosis (fig. 3d) mostraron que la mayoría de las muestras presentaron un estrecho rango entre leptocúrtica y muy leptocúrtica, y solamente las estaciones 3, 4 y 5 mostraron un rango más amplio, de mesocúrtica a muy leptocúrtica, de muy platocúrtica a muy leptocúrtica, y de platocúrtica a muy leptocúrtica respectivamente.

Bivariant dispersion plots of the grain-size parameters

In the relation between sediment mean grain size (Mz) and sorting ($S\phi$) (fig. 4a), most of the samples fell into the well sorted to moderately sorted range, with mean grain sizes between fine and very fine sand in all the sampling campaigns. Another group of samples, corresponding to station 5 (July, September and November 2002 and February and April 2003), station 3 (February and April 2003) and station 4 (July 2003), fell into the moderately to very poorly sorted range, with mean grain sizes between coarse and very coarse sands.

The relation between skewness (Sk) and sorting ($S\phi$) (fig. 4b) indicated three groups of sediment samples. The first group consisted of samples showing a fine-skewed tendency and moderate to poor sorting at station 5 in July, September and November 2002 and April 2003, and at station 4 in February 2003. The second group was represented by skewed, poorly sorted sediments at stations 5 and 3 in February and July 2003, respectively. The third group comprised most of the samples, which showed more coarsely skewed and moderately to well sorted sediments.

The relation between skewness (Sk) and kurtosis (k) (fig. 4c) revealed that the sediments from stations 3 and 5 formed a group showing a tendency towards positive skewness, with kurtosis ranging from platykurtic to very leptokurtic. In most of the other samples, the sediments were skewed

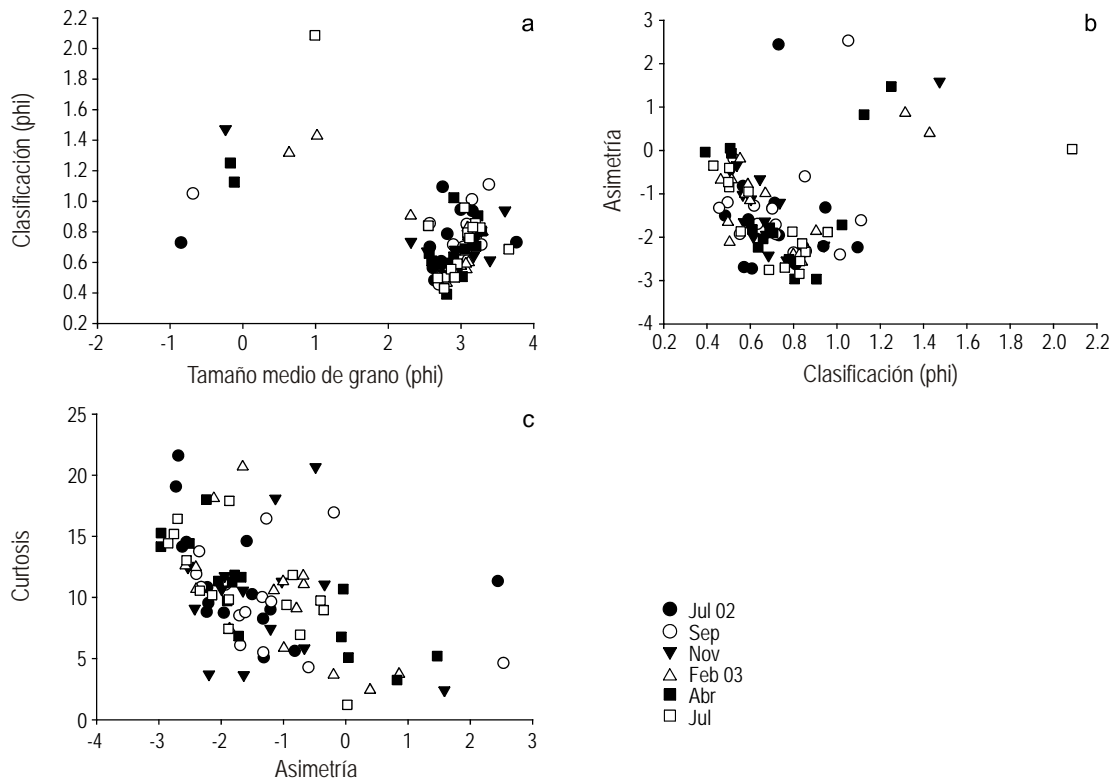


Figura 4. Gráficas bivariantes entre (a) media y clasificación, (b) clasificación y asimetría, y (c) asimetría y curtosis.

Figure 4. Bivariant plots between (a) mean grain size and sorting, (b) sorting and skewness, and (c) skewness and kurtosis.

Gráficas bivariantes de dispersión de los parámetros de tamaño de grano

En la relación entre el tamaño medio de grano (Mz) y la clasificación (Sø) de los sedimentos (fig. 4a) se observó que la mayoría de las muestras se encontraron en el rango de bien clasificadas a moderadamente clasificadas, con tamaños de grano entre arena fina a muy fina durante toda las campañas de muestreo. Además, se puede observar otro grupo de muestras entre moderadamente y muy pobremente clasificadas, con tamaños medios de grano entre arenas gruesas y muy gruesas, las cuales corresponden a las estaciones 5 (julio, septiembre, noviembre de 2002 y febrero y abril de 2003), 3 (febrero y abril de 2003) y 4 (julio de 2003).

La relación entre asimetría (Sk) y clasificación (Sø) (fig. 4b), presentó tres agrupamientos de las muestras de sedimento. Un primer grupo, cuyas características es que son asimétricos hacia la fracción fina (+), con clasificación de moderada a pobre en la estación 5 durante julio, septiembre y noviembre de 2002 y abril de 2003, y en la estación 4 en febrero de 2003; un segundo grupo de muestras de sedimentos simétricos pobremente clasificados, representados en las estaciones 5 y 3, en febrero y julio de 2003, respectivamente; y un tercer grupo con

towards the coarse fraction and kurtosis ranged from leptokurtic to very leptokurtic.

Scenarios of sediment depositional environments

The Y_2 values calculated in the discriminant function analysis (table 2) indicate that 98% of the samples corresponded to a shallow marine sedimentary environment; only station 5 in July and September 2002 corresponded to a beach environment. The Y_3 values revealed that most of the samples corresponded to a shallow marine sedimentary environment, though the samples from station 3 (in February and April 2003), station 4 (in July 2003) and station 5 (in July and November 2002, and February and April 2003) represented scenarios of a fluvial sedimentary environment. This is more clearly observed in the Y_2 vs Y_3 plot (fig. 5), which reveals four fields of sedimentary environments (Sahu 1964): shallow marine/beach, shallow marine/agitated, fluvial/beach and fluvial/agitated.

Sediment distribution maps

To identify which of the areas in Cullera Bay presented greater susceptibility to contamination by toxic substances

Tabla 2. Valores de los ambientes estimados utilizando las funciones discriminantes. $Y_2 < 65.365$ sugiere un depósito de playa, $Y_2 > 65.365$ corresponde a un depósito de mar somero agitado. $Y_3 < -7.419$ identifica un depósito fluvial (deltaico) y $Y_3 > -7.419$ corresponde a un depósito marino somero.

Table 2. Values of the environments estimated using discriminant functions: $Y_2 < 65.365$ indicates a beach deposit, $Y_2 > 65.365$ indicates a shallow agitated marine deposit, $Y_3 < -7.419$ indicates a fluvial (deltaic) deposit, and $Y_3 > -7.419$ indicates a shallow marine deposit.

	Estación														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Julio/02															
Y_3	-4.73	-0.29	-2.46	-6.61	-6.94	-3.32	-3.49	-3.82	0.68	-3.83	-0.63	-0.62	-0.68	-1.26	-0.09
Y_2	112.90	89.52	119.32	136.87	42.59	94.95	119.34	85.54	73.35	87.00	101.64	99.69	99.47	100.58	94.22
Septiembre/02															
Y_3	-5.35	0.37	-5.11	-3.63	-9.04	-1.33	-3.46	-3.80	0.15	-3.93	-3.59	-3.84	-1.41	-0.70	-0.30
Y_2	110.46	84.75	179.50	94.36	63.67	104.45	100.34	85.57	83.38	86.87	85.31	85.69	122.17	98.81	97.80
Noviembre/02															
Y_3	-3.24	1.46	-3.66	-3.62	-19.39	0.49	-3.81	-3.80	0.74	-0.75	-3.81	-3.83	-0.61	-3.47	-0.10
Y_2	91.39	72.50	154.28	93.40	153.45	84.10	85.47	85.46	72.98	100.82	85.41	85.54	98.18	116.97	69.88
Febrero/03															
Y_3	-3.52	0.45	-12.92	-3.70	-20.85	0.23	-3.83	-3.73	-3.25	-1.37	-3.63	-3.78	-0.71	-0.44	-0.31
Y_2	94.00	85.79	124.28	85.44	190.64	83.41	85.68	101.97	91.96	86.57	85.45	85.87	97.98	99.18	74.73
Abril/03															
Y_3	-5.89	0.71	-12.93	-3.65	-10.59	1.16	-0.76	-3.44	0.63	-0.81	-3.81	-3.75	-1.28	-0.45	-0.46
Y_2	120.86	73.04	104.51	85.66	85.76	72.43	101.86	85.15	80.78	101.12	85.43	102.21	85.51	99.19	99.19
Julio/03															
Y_3	-3.38	0.08	-0.24	-29.12	-1.46	1.05	-3.85	-3.39	0.57	-0.69	-3.58	-3.69	-0.58	-1.54	-0.56
Y_2	95.13	86.74	115.61	252.39	101.29	72.70	85.75	84.95	73.43	100.62	100.85	101.82	98.32	119.02	99.52

sedimentos asimétricos hacia la fracción gruesa de moderadamente a bien clasificados, en el que se encuentra la mayoría de las muestras.

En cuanto a la relación entre asimetría (Sk) y curtosis (k) (fig. 4c), se observó que los sedimentos de las estaciones 3 y 5 presentaron un agrupamiento con tendencias hacia una asimetría positiva con curtosis de platicúrtica a muy leptocúrtica, mientras que en la mayoría de las muestras los sedimentos tienen una asimetría hacia la fracción gruesa (–) de leptocúrticas a muy leptocúrticas.

Escenarios de los ambientes de depositación de los sedimentos

Los resultados del análisis de la función discriminante (tabla 2) mostraron que los valores calculados de Y_2 indican que 98% de las muestras corresponden a un ambiente sedimentario marino somero; solamente la estación 5 en julio y septiembre de 2002 correspondió a un ambiente de playa. Los valores de Y_3 indican que la mayoría de las muestras corresponden a un ambiente sedimentario marino somero, aunque las muestras de las estaciones 3 (en febrero y abril de 2003), 4 (en julio de 2003) y 5 (en julio y noviembre de 2002, y febrero y abril de 2003) representaron escenarios de un ambiente sedimentario fluvial. Lo anterior se puede observar más claramente en la gráfica de Y_2 contra Y_3 (fig. 5), en la que se pueden identificar cuatro campos de ambientes sedimentarios (Sahu 1964): marino somero/playa, marino somero/agitado, fluvial/playa y fluvial agitado.

Mapas de distribución de sedimentos

Con el objetivo de identificar cuáles fueron las zonas de la bahía que presentaron mayor susceptibilidad de ser contaminadas por sustancias tóxicas asociadas a tamaños de grano fino, metales pesados por ejemplo, se obtuvieron mapas de contornos de la distribución del tamaño medio de grano en cada una de las campañas (fig. 6). En ellos se identificó que la concentración de las arenas gruesas y arenas medias se localizó en la zona cercana a la desembocadura del Río Júcar, los tamaños más finos (mayores de 3 phi) se distribuyeron en la parte central de la bahía durante los meses sin lluvia y en consecuencia cuando el caudal del río es mínimo. En febrero y abril de 2003, que fue cuando se registraron las lluvias más intensas y cuando el aporte del río es mayor, se observó un cambio en la distribución del tamaño de grano de los sedimentos en el sector de la desembocadura del río, cambiando de arenas finas a arenas más gruesas en dirección mar adentro, pero manteniendo los tamaños más finos (mayores de 3 phi) en la zona central de la bahía (fig. 6).

Discusión

En un intento de discriminar los diferentes ambientes de depositación de los sedimentos a través de gráficas bivariantes

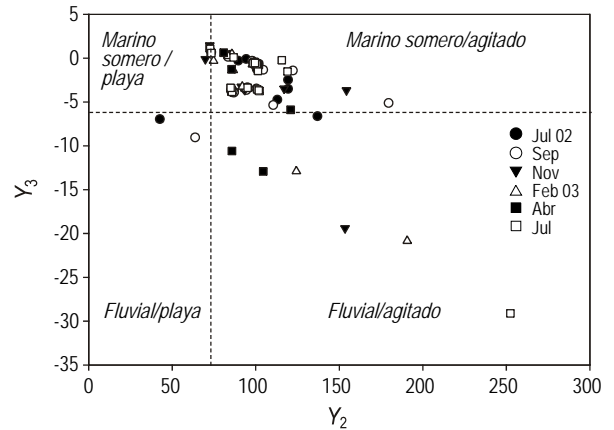


Figura 5. Relación entre funciones discriminantes Y_2 y Y_3 mostrando los ambientes en Bahía Cullera.

Figure 5. Relation between the discriminant functions Y_2 and Y_3 showing the Cullera Bay environments.

associated with the fine-grained fraction (e.g., heavy metals), contour maps were obtained of the mean grain-size distribution in each of the sampling campaigns (fig. 6). The maps showed that coarse and medium sands concentrated in the area near the Júcar River mouth, and that the finest sands (>3 phi) were distributed in the central part of the bay during the dry months, when river flow was minimum. In February and April 2003, which is when the most intense rainfall was recorded and river flow was maximum, a shift in sediment grain-size distribution was observed in the area off the river mouth, changing from fine sands to coarser sands in seaward direction, though the finest grain sizes (>3 phi) remained in the central part of the bay (fig. 6).

Discussion

In the discrimination of depositional environments using bivariate dispersion plots, it has been assumed that the statistical parameters (mean grain size, sorting, skewness and kurtosis) reflect the differences between the hydrodynamic mechanisms of transport and sedimentation (Sutherland and Lee 1994). Griffiths (1967) explained that both sediment mean grain size and sorting are hydraulically controlled and that the best classification for all the sedimentary environments is associated with fine grain-size ranges. Sediment grain-size distribution is generally related to the environment's energy level. This universal relationship has been confirmed in several subsequent studies (Tucker 1990), revealing a general trend that when the sorting values increase, mean grain size increases, so fine-grained sediments are moderately to well sorted.

The results obtained for the Cullera Bay sediments suggest a dominance of the fine grain sizes, with negative skewness and moderately sorted at most stations and in all the sampling campaigns. An exception, however, was observed at stations 3 and 5, where size distribution was dominated by the coarse fraction, with fine-skewed and platykurtic to leptokurtic

de dispersión, se ha supuesto que los parámetros estadísticos (tamaño medio de grano, clasificación, asimetría y curtosis) reflejan las diferencias entre los mecanismos hidrodinámicos de transporte y sedimentación (Sutherland y Lee 1994). Griffiths (1967) explica que tanto el tamaño medio de grano y la clasificación de los sedimentos están hidráulicamente controlados y que en todos los ambientes sedimentarios la mejor clasificación se asocia a rangos de tamaños finos. Generalmente la distribución del tamaño de grano de los sedimentos se relaciona al nivel de energía del ambiente. Esta relación universal ha sido confirmada por muchos estudios subsecuentes (Tucker 1990), existiendo la tendencia general a que, cuando los valores de la clasificación se incrementan, el tamaño medio de grano se incrementa, por lo que los sedimentos de grano fino son de moderadamente a bien clasificados.

Los resultados obtenidos sugieren que los sedimentos de la Bahía Cullera presentaron una dominancia de los tamaños

curves. This coincides with that reported by Tucker (1990) for beach environments, where the sand is well sorted and has a negative skewness, whereas river sands are less well sorted and usually have a positive skewness.

In the case of Cullera Bay, most of the samples corresponded to a shallow marine sedimentary environment, while stations 3 and 5 represented a fluvial sedimentary environment. The influence of the Júcar River runoff during the rainy season could explain the presence of a coarse sediment fraction with positive skewness during the February and April 2003 surveys (maximum river discharge), apart from the fact that these stations are located in the vicinity of the river mouth.

The spatial and temporal variation of the surficial sediments of Cullera Bay showed a concentration of the coarse fraction in the area near the river mouth. The fine fraction occurred in the intermediate zone, between the river mouth and

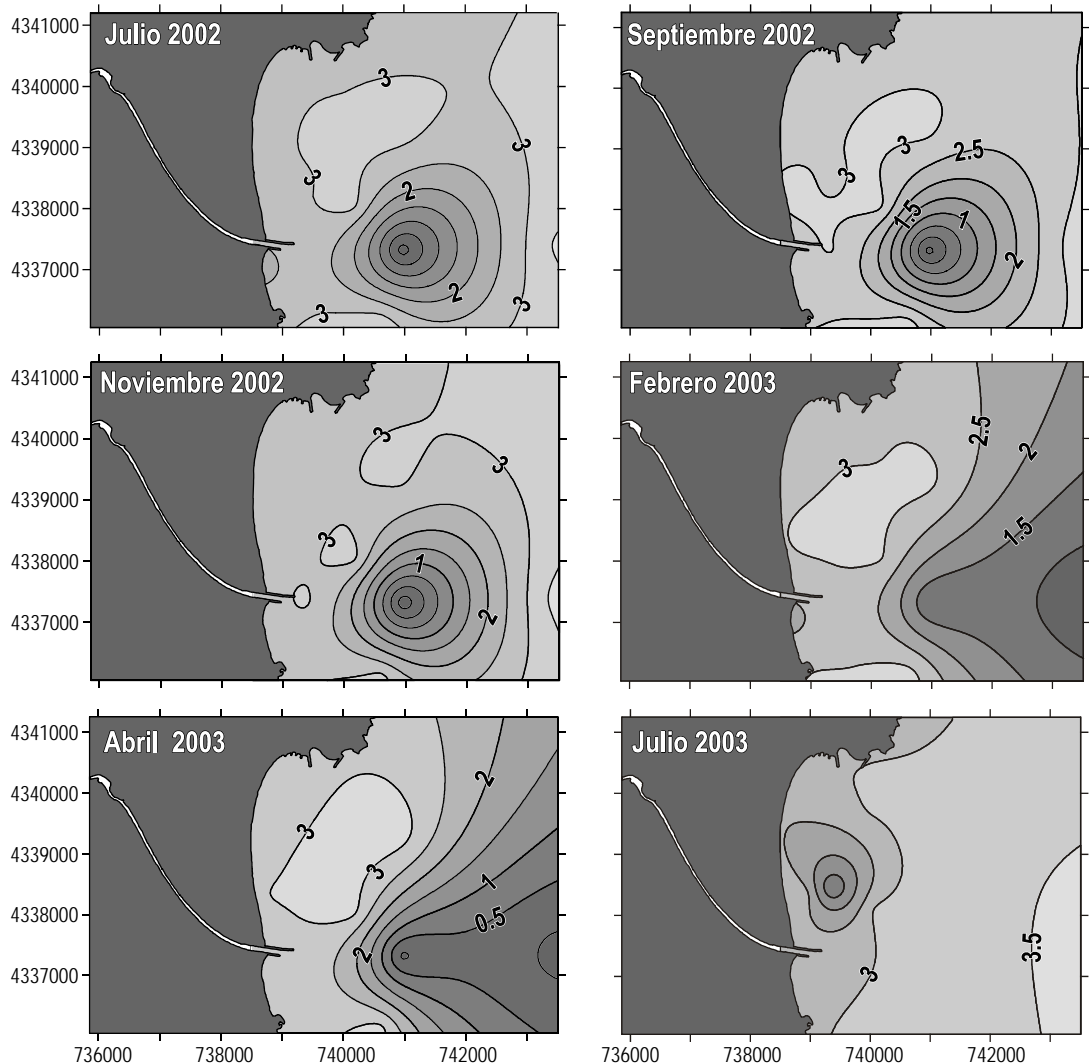


Figura 6. Mapas de la de distribución de tamaño medio de grano (Mz) de sedimentos superficiales, en las diferentes campañas de muestreo en la Bahía Cullera.

Figure 6. Surface sediment mean grain size (Mz) distribution maps for the different sampling campaigns in Cullera Bay.

de grano finos, con asimetría negativa, y moderadamente clasificados en la mayoría de las estaciones y durante todas las campañas de muestreo. Sin embargo, la excepción se observa en las estaciones 3 y 5, donde la distribución de tamaños está dominada por la fracción gruesa, con asimetrías hacia la fracción fina (positivas) y curvas platicúrticas a leptocúrticas. Lo anterior coincide con lo encontrado por Tucker (1990) para ambientes de playas donde la arena tiene una buena clasificación con asimetrías negativas, mientras que las arenas de los ríos están menos clasificadas y usualmente tienen una asimetría positiva. En el caso de la Bahía Cullera, la mayoría de las muestras correspondieron a un ambiente sedimentario marino somero, mientras que las estaciones 3 y 5 representaron un ambiente sedimentario fluvial.

La influencia de las descargas del Río Júcar durante la época de lluvias puede explicar la presencia de una fracción gruesa de sedimentos con asimetrías positivas durante los muestreos de febrero y abril de 2003 (máxima descarga del río), además de que estas estaciones se encuentran alineadas a la desembocadura del río.

La variación espaciotemporal de los sedimentos superficiales de la bahía mostró una concentración de la fracción más gruesa en la zona cercana a la desembocadura del río, mientras que la fracción más fina se concentró en la zona intermedia (entre la boca del río y el Cabo Cullera) durante los meses sin lluvia, cuando el aporte del río es mínimo y, por lo tanto, la distribución de los sedimentos está sujeta a los patrones del oleaje y a las corrientes costeras de la zona. En el área de la Bahía Cullera el oleaje incidente viene básicamente de tres direcciones, NE, E y SE, con una altura de ola significativa de 0.5 m y un periodo medio de 6 s. El promedio anual de máximas de altura de ola significativa fue de 2.55 m, con período máximo medio de 8 segundos para 2002 y de 2.65 m y 8 segundos para 2003 (Puertos del Estado 2006). El patrón de corrientes está controlado principalmente por los vientos locales (Mestres 2002), predominantemente del NW, NE y ESE, los cuales pueden originar corrientes costeras con direcciones N, NE y NW con velocidades de hasta 15 y 11.23 cm s⁻¹ a 7 y 10 m de profundidad (Mösso *et al.* 2005).

Asociados a estos patrones de circulación costera, los sedimentos aportados por el Río Júcar se distribuyeron hacia la parte central y norte de la bahía, donde se observó la concentración de sedimentos de tamaño más fino (mayores a 3 phi). Bajo estas circunstancias la contaminación vertida por el Río Júcar y por el emisor submarino pueden llegar a representar un riesgo de contaminación para los sedimentos superficiales de la zona costera, por sustancias contaminantes asociadas a tamaños de grano fino (metales pesados, materia orgánica, coliformes, etc.). Además de la actividad agrícola, urbana e industrial de la región, la actividad turística es muy intensa durante los meses de verano, cuando la población aumenta de un poco más de 21,500 personas a 150,000 (Pineda *et al.* 2003), lo que ocasiona que se exceda la capacidad de tratamiento de aguas residuales y que éstas sean vertidas a la

Cape Cullera, during the months with no rainfall, when the river flow is minimum and, therefore, the sediment distribution depends on the local coastal currents and wave patterns. In the area of Cullera Bay, the swell basically comes from the NE, E and SE, with a significant wave height of 0.5 m and a mean period of 6 s. The annual average of maximum significant wave height for 2002 was 2.55 m, with a mean peak period of 8 s, while for 2003 it was 2.65 m, with a mean peak period of 8 s (Puertos del Estado 2006). The circulation pattern is primarily influenced by local winds (Mestres 2002), predominantly from the NW, NE and ESE, which can generate coastal currents that flow to the N, NE and NW with speeds of up to 15 and 11.23 cm s⁻¹ at 7 and 10 m depth (Mösso *et al.* 2005).

Owing to these coastal circulation patterns, the sediments contributed by the Júcar River were distributed towards the central and northern parts of the bay, where the fine-grained fraction (>3 phi) concentrated. Under these circumstances, the discharges from the Júcar River and underwater sewage pipe could pose a risk of sediment contamination by toxic substances associated with the fine-grained fraction (heavy metals, organic matter, coliforms, etc.). In addition to the region's agricultural, urban and industrial activities, tourism is also very significant during the summer months, when the population increases from a little over 21,500 to 150,000 (Pineda *et al.* 2003). This greater demand for water could be exceeding the capability of the wastewater treatment plants, and the discharge of improperly treated effluent, either through the underwater sewage pipe or the Júcar River, could be detrimental to the quality of the coastal waters. Cupul-Magaña *et al.* (2006) showed that discharges from the river and underwater pipe affect the coastal zone, resulting in increased concentrations of coliforms in the waters of Cullera Bay, especially in summer. An increase in the accumulation of bacteria in fine sediments is a risk factor, since these accumulations can be removed and resuspended by strong wave action and, consequently, diminish the quality of the bathing waters and become a health hazard. This behaviour has also been observed on the north-western coast of Baja California, Mexico (Orozco-Borbón and Segovia-Zavala 1986).

In conclusion, the surficial sediments of Cullera Bay can be classified according to their deposition scenario into shallow marine sedimentary environments and fluvial sedimentary environments associated with the Júcar River discharge. Coarse sediments concentrated in the vicinity of the river mouth, while the finer sediments concentrated in the central and northern parts of the bay. This fine sediment distribution was primarily observed in the dry season, which is when the surface sediments of these areas could be susceptible to contamination by toxic substances associated with the fine-grained fraction transported by the river water and sewage outfall.

The textural parameters of sediment grain size can therefore be used to discriminate sedimentary environments.

bahía tanto por el río como por el emisor submarino sin un tratamiento adecuado poniendo en riesgo la calidad de las aguas costeras. Cupul-Magaña *et al.* (2006) demostraron que las descargas del Río Júcar y del emisor submarino tienen un impacto en la zona costera por el incremento de la concentración de coliformes en las aguas de la Bahía Cullera, sobre todo en los meses de verano. El incremento en la acumulación de bacterias en los sedimentos finos significa un factor de riesgo, ya que estas acumulaciones podrían ser removidas y resuspendidas por la acción de un oleaje fuerte y, en consecuencia, disminuir la calidad de las aguas poniendo en riesgo la salud de sus usuarios. Este comportamiento se ha observado también en la costa noroccidental de Baja California (Orozco-Borbón y Segovia-Zavala 1986).

En conclusión, los sedimentos superficiales de la Bahía Cullera pueden ser diferenciados de acuerdo al escenario de depositación en depósitos de sedimentos marinos someros y depósitos de sedimentos fluviales asociados a la descarga del Río Júcar. La concentración de sedimentos gruesos se presentó en la región más cercana a la desembocadura del río, mientras que los sedimentos más finos se concentraron en la zona central y norte de la bahía. Esta distribución de sedimentos finos se observó predominantemente durante la época de escasez de lluvia, por lo que es entonces cuando los sedimentos superficiales de estas zonas podrían ser susceptibles de contaminación por sustancias nocivas asociadas a tamaños de grano fino descargadas por las aguas a través del Río Júcar y el emisor submarino.

De esta manera se mostró que los parámetros texturales del tamaño de grano de los sedimentos pueden usarse para diferenciar un ambiente sedimentario en particular, así como también las características de los sedimentos nos pueden servir como una herramienta para comprender o predecir una condición ambiental.

Agradecimientos

Se agradece a la Unión Europea el apoyo a través del proyecto ECOSUD (ICA4-CT-2001-10020) del programa INCO-DC; al proyecto ARTEMISA del Ministerio de Ciencia y Tecnología de España (003-07585-C02-01/MAR); al convenio de colaboración docente (2004) entre la Universidad Politécnica de Catalunya (España), la Universidad Autónoma de Baja California (México) y la Universidad de Sonora (México); al Programa Mexicano de becas PROMEP.

Referencias

Alí YA, Beltagy AL, Lofty M. 1987. Grain size analysis, areal distribution of sediments and environment of deposition of tidal and bottom sediments from Ghardaqa region, Red Sea area. *Bull. Inst. Oceanogr. Fish., ARE* 13: 147–167.

Alsharhan AS, El-Sammak AA. 2004. Grain size analysis and characterization of sedimentary environments of the United Arab Emirates coastal area. *J. Coast. Res.* 20: 464–477.

Moreover, sediment characteristics can serve as a tool to comprehend or predict an environmental condition.

Acknowledgements

This work was supported by the European Union (ECOSUD project ICA4-CT-2001-10020 of the INCO-DC program), by the Spanish Ministry of Science and Technology (ARTEMISA project 003-07585-C02-01/MAR), by the collaboration agreement (2004) between the Polytechnic University of Catalonia (Spain) and the universities of Baja California and Sonora (Mexico), and by PROMEP (Mexican program of grants).

English translation by Christine Harris.

Axtman EV, Caion D, Luoma SN. 1997. Effect of tributary inflows on the distribution of trace metals in fine-grained bed sediments of the Clark Fork River, Montana. *Environ. Sci. Technol.* 31: 750–758.

Baptista-Neto JA, Gingele FX, Leipe T, Brehme I. 2006. Spatial distribution of heavy metals in surficial sediments from Guanabara Bay: Rio de Janeiro, Brazil. *Environ. Geol.* No. 6: online first.

Blott SJ, Kenneth P. 2001. GRADISTAT: A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surf. Process. Landforms* 26: 1237–1248.

Combest KB. 1991. Trace metals in sediments. *Water Resour. Bull.* 27: 19–28.

Cupul-Magaña LA, Mösso AC, Sánchez-Arcilla A, Sierra JP, Fermán JL, Romero I, Falco S. 2006. Distribución bacteriológica en el agua de mar en la Bahía de Cullera, España. *Cienc. Mar.* 32: 311–318.

Folk RL, Ward WC. 1957. Brazos River Bar: A study in the significance of grain size parameters. *J. Sedimen. Petrol.* 27: 3–26.

Friedman GM. 1962. On sorting, sorting coefficients and lognormality of the grain size distribution of sandstone. *J. Geol.* 70: 737–756.

Friedman GM. 1979. Differences in size distribution of populations of particles among sands of various origins. *Sedimentology* 26: 3–32.

Griffiths IC. 1967. *Scientific Methods in the Analysis of Sediments*. McGraw-Hill, New York.

Guillén J, Jiménez JA. 1994. Processes behind longshore variations of the sediment grain-size in the Ebro Delta COSAT. *J. Coast. Res.* 8: 201–209.

Lakhan VC, Cabana K, LaValle PD. 2003. Relationship between grain size and heavy metals in sediments from beaches along the coast of Guyana. *J. Coast. Res.* 19: 600–608.

Larson B, Jensen A. 1989. Evaluation of the sensitivity of sediment monitoring stations in pollution monitoring. *Mar. Pollut. Bull.* 20: 560–566.

Mestres M. 2002. 3D Simulation of pollutant dispersion in coastal waters. Ph.D. thesis, Universitat Politècnica de Catalunya, 376 pp.

Mösso C, Cateura J, Sierra JP, Cupul LA, González Marco D, Puigdefábregas J. 2005. Ecosud Field Campaigns. Winds and Currents Report. Research Report RR-LIM/AHC-04-02.

Orozco-Borbón MV, Segovia-Zavala JA. 1986. Calidad bacteriológica del mejillón *Mytilus californianus* en la zona noroccidental de Baja California México. *Cienc. Mar.* 12: 7–17.

- Pineda J, Mösso C, Mestres M, Sierra JP, Sánchez-Arcilla A, González del Río J, Rodilla M. (2003). Análisis de la Bahía de Cullera. Implicaciones para una mejor gestión de los recursos costeros. VII Jornadas Españolas de Ingeniería de Costas y Puertos, pp. 210–211.
- Pontee NI, Pye K, Blott SJ. 2004. Morphodynamic behaviour and sedimentary variation of mixed sand and gravel beaches, Suffolk, UK. *J. Coast. Res.* 20: 256–276.
- Puertos del Estado. 2006. Ministerio de Fomento Español: <http://www.puertos.es/>.
- Reed AJ, Wells JT. 2000. Sediment distribution patterns offshore of a renourished beach: Atlantic Beach and Fort Macon, North Carolina. *J. Coast. Res.* 16: 88–98.
- Rule J. 1986. Assessment of trace element geochemistry of Hampton Roads Harbor and Lower Chesapeake Bay area sediments. *Environ. Geol.* 8: 209–219.
- Sahu BK. 1964. Depositional mechanisms from the size analysis of clastic sediments. *J. Sedimen. Petrol.* 40: 73–83.
- Sutherland RA, Lee CT. 1994. Discrimination between coastal subenvironments using textural characteristics. *Sedimentology* 41: 113–1145.
- Tucker M. 1990. *Techniques in Sedimentology*. Blackwell Scientific Publications, pp. 63–86.

*Recibido en abril de 2006;
aceptado en septiembre de 2006.*