

# El medio bentónico de la Ría de Ares (NO Península Ibérica)

## I. Caracterización fisicoquímica

A. SÁNCHEZ MATA & J. MORA

*Departamento de Biología Animal. Facultad de Biología.  
Universidad de Santiago de Compostela. 15706 Santiago de Compostela. España*

*(Recibido, abril de 1998. Aceptado, julio de 1998)*

### Resumen

SÁNCHEZ MATA, A. & MORA, J. (1998). El medio bentónico de la Ría de Ares (NO Península Ibérica): I. Caracterización fisicoquímica. *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)*, 9: 179-193

La Ría de Ares, zona estuárica localizada en el noreste de la Ría de Ares y Betanzos, y situada entre las coordenadas 43°24'12"-43°24'54"N y 8°9'0"-8°9'42" O, se eligió como área de estudio del ambiente bentónico marino dentro del programa *Proyecto Eume: Caracterización y seguimiento del medio físico, impactos, recursos hídricos y biológicos de la cuenca del Eume* de la Universidad de Santiago, con el fin de describir los fondos de dicha zona. Para ello se estudiaron un total de 30 estaciones de muestreo submareales, para las cuales se analizaron, en primera instancia, las variables ambientales del medio sedimentario. El estudio de la composición faunística y trófica, así como el análisis de las comunidades bentónicas se aborda en los dos trabajos siguientes, separadamente. Para cada estación se analizaron un total de 16 parámetros físico-químicos: 8 clases de tamaño de grano del sedimento y el carbono, nitrógeno, azufre y carbonatos totales, relación C/N, pH, Eh y batimetría. Se realizó asimismo, un análisis de componentes principales para establecer qué variables ambientales eran determinantes en la composición del sustrato. Los análisis efectuados revelaron que la Ría de Ares se encuentra sedimentológicamente dividida en dos zonas; una de ellas, que coincide con dos áreas de sedimentación, el estuario de desembocadura del Río Eume, donde existe un estrechamiento de la cuenca y la zona de apertura a la Ría de Ares-Betanzos, se caracteriza por fondos de arenas medias y finas; la otra zona, situada en la parte media presenta sedimentos con predominancia de limos gruesos y finos. Los contenidos en carbonatos son mayores en el área de sedimentación de apertura de la ría al sector medio, mientras que los máximos de azufre, carbono y nitrógeno total se localizan a ambas márgenes norte y sur de la ría.

**Palabras clave:** Sedimentología, variables ambientales, análisis de componentes principales, Ría de Ares, NO Península Ibérica.

### Abstract

SÁNCHEZ MATA, A. & MORA, J. (1998). The benthic environment of Ría de Ares (NO Península Ibérica): I. Physicochemical structure. *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)*, 9: 179-193

Ría de Ares is an estuarine area located at the northeastern zone of Ría de Ares-Betanzos double estuarine system and delineated by the coordinates 43°24'12"-43°24'54"N and 8°9'0"-8°9'42" W. A total of 30 subtidal stations were sampled in this ría so as to assess the effects of the discharge of effluent and other natural and anthropogenic perturbations into the benthic environment. As a first approach, the environmental variables of the seabed are analysed in this paper; further papers will deal with various aspects concerning the faunistic and trophic composition as well as the benthic communities present in this area.

Sediment samples were analysed for particle size composition, total carbon, nitrogen, carbon / nitrogen ratio, carbonate and sulfur content. Stations were also sampled for, pH, redox potential and bathymetric

measurement. Principal component analysis methods were used to describe the seabed heterogeneity and the pattern of sediment distribution within the ría.

Two sediment types were predominantly found: fine sands at the sedimentation areas (River Eume mouth and Ría de Ares mouth) and coarse and fine silts at the central sector of the study area. Carbonate maximum occurred at the central zone and mouth while total carbon, nitrogen and sulfur highest contents were found at the northern and southern margins of the ría.

**Key words:** Sedimentology, environmental variables, principal component analysis, Ría de Ares, NW Iberian Peninsula.

## INTRODUCCIÓN

El ambiente estuárico, y particularmente su sistema bentónico, se caracteriza por una serie de factores físico-químicos que son cruciales a la hora de explicar las respuestas individuales de los organismos y gran parte de los cambios estructurales que ocurren en el seno de las comunidades bentónicas (REISH 1959; SIMON & DAUER, 1977; PEARSON & ROSENBERG, 1978; BELLAN, 1980; GRAY & PEARSON, 1982). Entre los factores físico-químicos de mayor relevancia en estuarios se encuentran la salinidad y los contenidos en materia orgánica del material sedimentario (GLÉMAREC & HILY, 1981; LE MOAL, 1981; HILY, 1984; LE BRIS, 1988; GLÉMAREC, 1979a & b).

El sistema estuárico de la Ría de Ares y Betanzos constituye un área objeto de estudio de un número de autores; cabe citar como trabajos previos en esta ría el estudio geomorfológico y sedimentario de ASENSIO (1984) y ASENSIO & GRAJAL (1981, 1982) en la ría de Ares y Betanzos y sus zonas estuáricas. GRAJAL & MACÍAS (1984) analizan la geología sedimentaria de la ría en zonas puntuales, en la playa de Cabañas y en la ría y marisma de Betanzos, respectivamente; GRAJAL (1990), aborda el estudio sedimentario del litoral de playas, ensenadas y marismas internas de toda la ría de Ares y Betanzos, hasta la boca de la misma. BARREIRO (1991), realiza el estudio químico de los metales pesados en sedimentos y organismos de la Ría de Ares y zonas adyacentes, CARRAL (1992) analiza los nutrientes y metales pesados en sedimentos y organismos

marinos de las zonas internas estuáricas de la ría de Ares y Betanzos.

La ría de Ares se eligió como área de estudio del ambiente bentónico marino dentro del programa *Proyecto Eume: Caracterización y seguimiento del medio físico, impactos, recursos hídricos y biológicos de la cuenca del Eume* de la Universidad de Santiago. El objetivo del presente estudio es la caracterización del medio físico de la ría por medio del estudio sedimentario de sus fondos.

## Área de estudio

La Ría de Ares, situada en el NE del sistema de la Ría de Ares y Betanzos, Galicia, NW de la Península Ibérica (Fig. 1), es la zona estuárica de confluencia de las aguas continentales del río Eume y las marinas procedentes del océano Atlántico. Se encuentra localizada entre las latitudes 43°24'12"-43°24'54"N y las longitudes 8°9'0"-8°9'42" W.

Los fondos de este estuario consisten en plataformas fangosas depositadas sobre el lecho arenoso original. En la zona intermareal aparecen manchas de la fanerógama marina *Zostera noltii* que se extienden hacia el interior. El lecho principal del río deriva en una serie de canales de desagüe que cruzan y rodean a las plataformas de sedimentos fangosos, generando diferentes morfologías y causando cambios en la distribución de los tipos sedimentarios.

Geológicamente, la cuenca de la ensenada al igual que la de toda la ría, pertenece a la época Hercínica, donde el dominio que predomina en la parte interna es el Olló de Sapo con

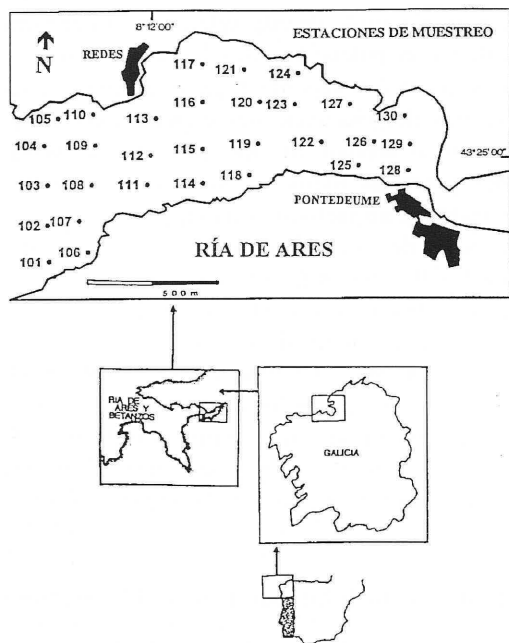


Fig. 1. Situación del área de estudio.

distintas formaciones y materiales: esquistos y neises porfiroides con feldspato, cuarzo, moscovita y mica; pizarras del Ordovícico y Silúrico, ricas en piritas en muchos casos y en otros, con una alta proporción de aluminio, hierro y cuarcitas y finalmente materiales sedimentarios como los de las cuencas del Roupar y As Pontes, asentadas en esta zona. El dominio del Complejo de Ordenes corresponde a la zona externa de la ensenada y en él se encuentran cuarzo, plagioclasa, biotita y moscovita.

En cuanto a su hidrología, la ensenada se encuentra condicionada por la acción de las corrientes mareales, por un lado y de las aguas fluviales, por otro. El caudal mensual del río Eume y sus tributarios varía entre  $30.3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  en invierno y  $7.5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  en verano, con un caudal medio anual de  $22.7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Este aporte de aguas continentales le confiere a la ría un carácter polihalino, propio de áreas estuáricas internas sometidas a cambios frecuentes en la salinidad y a continuos aportes de material terrígeno y materia orgánica de diferentes procedencias.

El régimen de vientos obtenido para la estación de Monteventoso durante el periodo 1980-89, muestran que los vientos dominantes durante la primavera y el verano fueron del primer cuadrante (NE-E) con velocidades medias de 25,3 a 26,3 Km/h. Son estos vientos procedentes del N y del E los que, cargados de humedad y a su paso hacia el interior del continente dejan caer las abundantes precipitaciones que caracterizan a esta comarca gallega. Durante los periodos de otoño e invierno, los vientos dominantes fueron del tercer cuadrante (S-SW), alcanzándose las máximas velocidades en invierno (42,6 Km/h) con vientos de componente W.

Los impactos ambientales a que se encuentra sometida el área de estudio se centran en dos aspectos: la minería y los vertidos urbanos. La mina para extracción de lignito de As Pontes ejerce un doble impacto sobre el río Eume y sobre la Ría de Ares: los materiales del borde y sustrato de las mina son esquistos, filitas y cuarcitas; Los depósitos sedimentarios están formados por capas de lignitos, arcillas carbonosas, arenas y margas arcillosas, cubiertas por sedimentos cuaternarios de textura más gruesa. Parte de estos materiales son arrastrados por el río, modificando la estructura sedimentaria de la ensenada. Por otro lado, la escombrera o balsa de decantación del complejo de As Pontes, con una superficie de 210 ha, contiene arcillas carbonosas, lignito de bajo potencial calorífico, cenizas y materiales de las rocas encajantes, con cantidades variables de sulfuros metálicos. Estos sulfuros, al oxidarse en medio aerobio, presentan valores muy bajos de pH, alta fuerza iónica, alta concentración de hierro y azufre, gran solubilización de metales pesados y proliferación de bacterias acidófilas. Las aguas de la mina, caracterizadas por su acidez y alto contenido en hierro, silicatos y otros elementos, son recogidas por el río Carracedo, tributario del Eume.

En cuanto a los vertidos urbanos, el área recibe los efluentes urbanos de las poblaciones de As Pontes, Muras y Pontedeume, como los más importantes.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Recogida de muestras

Se muestrearon un total de 30 estaciones submareales, cuya localización y profundidad se representan en la Tabla I y en la Fig. 1. Los puntos de muestreo se dispusieron según una cuadrícula regular de aproximadamente 400 m de lado, cubriéndose una superficie comprendida entre la latitud 12°50' W, las márgenes N y S de la Ría de Ares y el puente de la línea del ferrocarril A Coruña-Ferrol, con batimetrías que oscilan entre los 2,7 m y los 9 m. Los muestreos se realizaron durante el mes de diciembre de 1988, desde embarcación, utilizando una draga de inserción vertical tipo *box-corer*. El posicionamiento era obtenido por alineamientos y medidas angulares mediante sextante; las coordenadas para cada estación, así como la batimetría registrada con ecosonda y corregida en función de la hora y marea figuran en la Tabla I. Estas coordenadas indican el punto en que la draga era descendida, o punto inicial del dragado. Igualmente se señalan los tipos de fondo encontrados para cada estación, según apreciación visual a bordo.

La draga *box-corer* utilizada en este estudio, es la adaptación de BOUMA & MARSHALL (1964) de la draga de Reineck, con una caja de acero inoxidable removible, de dimensiones 10x17x35 cm. Una de las ventajas de este muestreador es que la caja que contiene la muestra se puede sacar de la draga, intacta y con el agua intersticial en su interior, lo cual permite el análisis de los parámetros físico-químicos de la columna de sedimento.

En cada estación se tomaron dos unidades de muestra de 0.02 m<sup>2</sup> para el estudio de las características del sedimento. Paralelamente, se realizaron a bordo medidas de Eh y pH del sedimento mediante la introducción de electrodos en la caja de la draga que contenía la muestra, a 4 cm de profundidad, inmediatamente después de que la muestra fuera tomada para evitar la pérdida del agua intersticial.

Para las mediciones de Eh se utilizó un electrodo de platino que necesita como referen-

cia un electrodo de Ag/AgCl, por lo que para calcular el potencial rédox hubo que transformar las mediciones obtenidas añadiéndoles los valores del electrodo de referencia contra el electrodo normal de hidrógeno. La medición del potencial rédox en sedimentos marinos constituye un método estándar para la caracterización de las condiciones físico-químicas del medio (BASFORD & ELEFThERIOU, 1988; BRANNON *et al.*, 1984; PROUSE & HARGRAVE, 1987), ya que afecta a la velocidad de difusión del oxígeno (GRAÑA & MACÍAS, 1984) y sus valores se ven disminuidos al incrementarse el contenido medio de carbono en el sedimento (PEARSON & STANLEY, 1979) ya que se intensifican las condiciones de reducción del mismo.

### Tratamiento de las muestras en el laboratorio

Para el análisis granulométrico de los sedimentos se siguió el método descrito por BUCHANAN (1984) en el que se procede en dos fases: granulometría de arenas efectuada en una columna de tamices y granulometría de la fracción fina por el método de la pipeta Robinson.

Asímismo, se adoptó la escala granulométrica en unidades  $\phi$  ( $\phi = -\log_2$  mm), propuesta por Wentworth para la separación de clases texturales (BUCHANAN, 1984).

Igualmente, se procedió al cálculo de la mediana ( $Md = Q_{50}$ ) y los cuartiles ( $Q_{25}$  y  $Q_{75}$ ) sobre las curvas acumulativas resultantes. Para estimar la selección del sedimento se empleó el coeficiente de selección de Trask (1950, en IBÁÑEZ, 1973);  $S_o = \sqrt{(Q_{25}/Q_{75})}$ . La nomenclatura utilizada para definir la selección del sedimento fue la propuesta por TRASK (1932).

La determinación del carbono total en sedimentos se efectuó siguiendo el método químico de Springer y Klee descrito en GUITIÁN & CARBALLAS (1976). El análisis del nitrógeno total del sedimento fue efectuado por el método de Kjeldahl y los análisis de carbonatos según determinación gasométrica en el calcímetro de Bernard, ambos métodos descritos asimismo en GUITIÁN & CARBALLAS (1976).

TABLA I. Coordenadas y profundidad de las estaciones de muestreo

Estación	Latitud	Longitud	Prof. (m)	Tipo fondo
P101	43°27'15"	8°12'53"	7.4	Arena limosa
P102	43°24'48"	8°12'42"	7.1	Arena limosa
P103	43°24'55"	8°12'48"	7	Arena
P104	43°25'08"	8°12'43"	8	Limo arenoso
P105	43°25'11"	8°12'29"	9	Limo arenoso
P106	43°24'30"	8°12'28"	8.5	Limo arenoso
P107	43°24'40"	8°12'26"	8	Arena limosa
P108	43°24'57"	8°12'17"	5	Arena
P109	43°25'08"	8°12'19"	5.5	Arena limosa
P110	43°25'14"	8°12'26"	5.5	Limo arenoso
P111	43°25'50"	8°12'03"	5.2	Arena limosa
P112	43°25'02"	8°12'01"	5	Arena
P113	43°25'12"	8°11'58"	4	Limo
P114	43°24'47"	8°11'47"	5	Limo arenoso
P115	43°24'58"	8°11'51"	4	Arena
P116	43°25'11"	8°11'48"	5	Limo
P117	43°25'25"	8°11'48"	4	Limo
P118	43°24'56"	8°11'28"	5.5	Limo arenoso
P119	43°25'05"	8°11'30"	5	Limo arenoso
P120	43°25'16"	8°11'30"	4	Limo arenoso
P121	43°25'28"	8°11'36"	3.5	Limo arenoso
P122	43°24'57"	8°11'09"	3.6	Limo arenoso
P123	43°25'10"	8°11'11"	4	Limo arenoso
P124	43°25'23"	8°11'15"	4	Limo arenoso
P125	43°24'57"	8°10'52"	3	Limo arenoso
P126	43°25'05"	8°10'52"	2.7	Arena limosa
P127	43°25'17"	8°10'54"	4	Limo arenoso
P128	43°25'00"	8°10'48"	4.1	Arena
P129	43°25'05"	8°10'49"	3.6	Arena limosa
P130	43°25'12"	8°10'48"	4.4	Arena limosa

## Análisis de los datos

Se aplicó el análisis de componentes principales a la matriz de variables medio-ambientales, previa transformación de  $y_{ij} = (\log_{10} x_{ij} + 1)$ , donde  $x_{ij}$  es el valor bruto de la variable  $i$  en la muestra  $j$  y donde  $y_{ij}$  es el correspondiente valor transformado, para normalizar los datos y estabilizar la varianza, con excepción de la variable pH. Para ello se utilizó el paquete integrado de programas estadísticos CANOCO (*canonical community ordination*) de TER BRAAK (1988).

## RESULTADOS

### Clases texturales

En la Tabla II aparecen detallados los resultados de los análisis granulométricos realizados en las 30 estaciones de muestreo, donde se indican los porcentajes acumulados por cada clase textural en las muestras. Asimismo se han representado gráficamente en un diagrama triangular (Fig. 2) los tipos de fondo predominantes en la Ría de Ares, en cuanto a su composición sedimentaria. En el diagrama, los ejes

representan las tres fracciones granulométricas de mayor peso en la ensenada: arena, limo y arcilla.

De acuerdo con la Tabla II y la Fig. 2, los fondos de la Ría de Ares están compuestos por un 43,33% de estaciones cuya clase textural según la mediana granulométrica se sitúa en las arenas finas, un 53,33% de estaciones pertenecientes a los limos gruesos y un 3,33% clasificadas en los limos finos.

En la Tabla III se observa que la clasificación granulométrica para el conjunto de las estaciones es entre moderada y mala, con 9 estaciones donde la selección es moderada, 15 estaciones con selección pobre y 6 con selección mala. El índice de Trask presenta valores altos para la mayor parte de las estaciones estudiadas.

El porcentaje total de arenas en los sedimentos oscila entre el 13,61% de la estación P113 y el 86,3% de P128. Existe un acúmulo de arenas finas en la boca de la ría y en la zona de desembocadura del río Eume.

La contribución pelítica a los fondos de la ría oscila entre un 13,7% en la estación P128 y el 86,39% de P113. Valores elevados de pelitas (limos gruesos, limos finos y arcillas) se localizan fundamentalmente en la margen norte del sector medio de la ría.

**Eh y pH**

El potencial de oxidación-reducción del sedimento, medido a 4 cm de profundidad, presenta valores negativos en toda la ría (Tabla IV), excepto en dos estaciones de la zona externa (P102 y P107) y tres del área interna (P128, P129 y P130). En general el potencial de oxidación-reducción encontrado en el sedi-

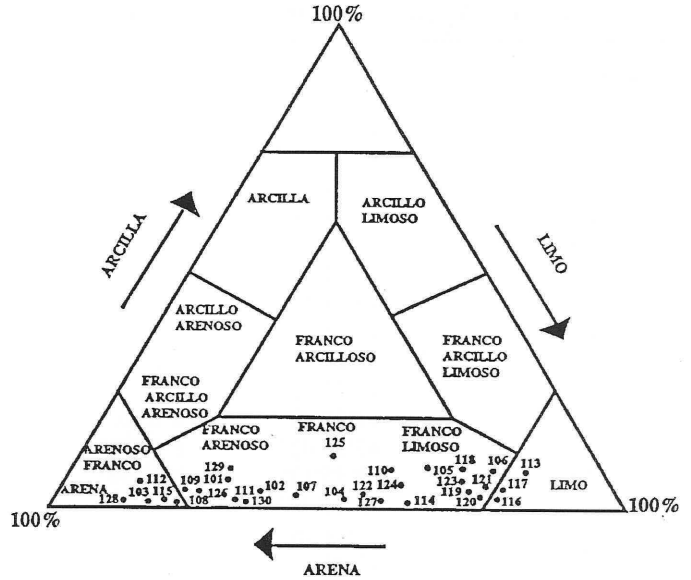


Fig. 2. Diagrama triangular de los porcentajes de arenas, limos y arcillas y caracterización granulométrica según FAO (1966) de las estaciones de muestreo.

mento pone en evidencia un medio subsaturado de oxígeno.

Los valores del pH en el sedimento (Tabla IV) oscilan entre 7 y 8,24, observándose el valor más alto para la estación P111 y el más reducido (7.07), en la estación interna P130.

**Carbonatos**

El contenido de carbonatos en el sedimento experimenta un incremento desde la parte interna hacia la boca de la ría. Los valores oscilan entre el máximo de P117 (25,7%), en la ensenada de Redes, con importantes aportes calcáreos de la playa de Redes y los mínimos del tercio interno de la zona de estudio que varían entre 1,42% en P115 y 5,34% en P130. Se observa acumulación de material bioclástico en toda la franja norte-sur situada al borde del escalón batimétrico de la zona externa de la ría, indicada por los elevados valores de carbonatos.

TABLA II. Contenidos de las fracciones granulométricas en cada estación de muestreo y clase textural a la que pertenecen según su mediana granulométrica.

Estación	%GR	%AG	%AF	%LG	%LF	%ARC	%ARE	%PEL	CT
P101	0.13	2.21	65.34	27.26	3.24	1.82	67.68	32.32	AF
P102	0	2.42	60.27	29.8	5.36	2.14	62.69	37.31	AF
P103	1.32	0.72	79.13	12.5	4.59	1.72	81.17	18.83	AF
P104	0	0.29	45.59	36.38	15.2	2.55	45.88	54.13	LG
P105	21.22	2.05	21.49	18.8	29.2	7.25	44.76	55.25	LG
P106	0	0.09	18.65	46.43	26.99	7.84	18.74	81.26	LG
P107	0.79	3.12	50.37	40.74	3.2	1.79	54.28	45.73	AF
P108	0	0.23	76.14	14.73	7.76	1.05	76.37	23.63	AF
P109	0.56	0.28	74.23	18.03	5.04	1.86	75.07	24.93	AF
P110	3.36	0.19	33.37	25.89	29.41	7.79	36.92	63.09	LG
P111	0	1.42	64.01	29.07	4.43	1.05	65.43	34.57	AF
P112	0.96	0.12	79.89	13.29	3.05	2.68	80.97	19.03	AF
P113	0	1.09	12.52	27.79	49.74	8.86	13.61	86.39	LF
P114	0.17	0.35	34.95	53.48	9.79	1.31	35.47	64.57	LG
P115	0	0.19	78.6	15.47	2.49	2.24	78.79	21.21	AF
P116	1.67	0.47	19.75	49.37	25.33	3.41	21.89	78.11	LG
P117	15.89	8.12	7.69	26.23	36.27	5.8	31.7	68.3	LG
P118	6.95	5.43	14.32	31.33	35.67	6.3	26.7	73.3	LG
P119	2.25	4.12	18.39	33.76	36.12	5.36	24.76	75.24	LG
P120	1.14	0.48	23.2	35.82	34.41	4.95	24.82	75.18	LG
P121	12.81	0.56	18.25	28.62	35.77	4	31.62	68.39	LG
P122	0	0.19	42.42	47.61	7.21	2.57	42.61	57.39	LG
P123	0	0.28	25.78	24.2	43.57	6.17	26.06	73.94	LG
P124	1.14	0.38	35.15	23.21	35.37	4.85	36.67	63.37	LG
P125	0.22	12.9	32.3	18.5	25.4	10.67	45.42	54.58	LG
P126	0.04	0.39	72.33	21.14	3.73	2.37	72.76	27.24	AF
P127	0.06	0.74	40.84	47.03	11.19	0.17	41.64	58.39	LG
P128	1.16	9.41	75.73	7.36	4.73	1.6	86.3	13.7	AF
P129	0	4.31	61.82	19.52	9.27	5.08	66.13	33.87	AF
P130	0.68	0.8	63.63	27.66	7.22	0	65.11	34.89	AF

(GR, grava; AG, arena gruesa; AF, arena fina; LG, limo grueso; LF, limo fino; ARC, arcilla; ARE, arena; PEL, pelitas; CT, clase textural)

### Carbono

El contenido en carbono total de los sedimentos del área de estudio se presenta homogéneamente distribuido en la ría (Tabla IV). Los valores de este elemento, cuyo componente principal es fundamentalmente carbono orgánico (SÁNCHEZ MATA *et al.*, 1993) varían entre el mínimo de P115 (0,83%) y el máximo de P117 (4,1%). Los valores medios se sitúan

entre el 1-2,5%. Los mayores acúmulos de carbono total se localizan en la margen norte y zonas litorales de la boca de la ría.

### Nitrógeno

La repartición de este elemento mantiene un paralelismo con la del carbono total: homoge-

TABLA III. Mediana granulométrica, cuartiles 25 y 75 ( $Q_{25}$ ,  $Q_{75}$ ), coeficiente de selección de Trask ( $S_0$ ) y selección de los sedimentos de la Ría de Ares

Estación	$Q_{25}$ (mm)	$Q_{50}$ (mm)	$Q_{75}$ (mm)	$S_0$ (mm)	Selección
P101	0.35	0.19	0.09	1.99	Pobre
P102	0.43	0.18	0.07	2.41	Pobre
P103	0.44	0.21	0.13	1.88	Pobre
P104	0.25	0.13	0.04	2.37	Pobre
P105	0.57	0.09	0.02	5.52	Mala
P106	0.11	0.05	0.02	2.38	Pobre
P107	0.33	0.15	0.07	2.16	Pobre
P108	0.45	0.21	0.14	1.77	Moderada
P109	0.41	0.21	0.13	1.77	Moderada
P110	0.21	0.07	0.02	3.31	Moderada
P111	0.34	0.18	0.08	2.11	Pobre
P112	0.38	0.22	0.19	1.42	Moderada
P113	0.07	0.03	0.01	2.35	Pobre
P114	0.18	0.09	0.05	1.87	Pobre
P115	0.33	0.22	0.15	1.47	Moderada
P116	0.12	0.06	0.03	2.10	Pobre
P117	0.47	0.05	0.02	5.43	Mala
P118	0.15	0.05	0.02	2.88	Mala
P119	0.12	0.05	0.04	1.87	Pobre
P120	0.13	0.05	0.04	1.81	Moderada
P121	0.22	0.05	0.02	3.35	Mala
P122	0.22	0.11	0.05	2.00	Pobre
P123	0.13	0.04	0.01	3.03	Mala
P124	0.19	0.06	0.02	3.48	Mala
P125	0.33	0.09	0.02	4.21	Mala
P126	0.35	0.20	0.13	1.66	Moderada
P127	0.23	0.10	0.05	2.09	Pobre
P128	0.52	0.25	0.18	1.71	Moderada
P129	0.32	0.18	0.06	2.26	Pobre
P130	0.31	0.18	0.07	2.03	Pobre

neidad en cuanto a su repartición espacial y máximos valores en la margen norte y desembocadura. El valor más alto aparece en P106 y P117 (0,5%) y el más reducido (0,1%) en P101, P103, P107 y P115.

### Relación carbono nitrógeno

La relación C/N del sedimento mantiene una estabilidad relativa a lo largo del área de estudio. Se observa una relación inferior a 12

en 18 de las 30 estaciones estudiadas (Tabla IV). Las otras 12 estaciones presentan una relación no superior a 16,9.

### Azufre

Los valores de azufre en los sedimentos de la Ría de Ares presentan sus mínimos en la zona central del canal y sur, con tasas menores del 0,2% que en algunos casos alcanzan el 0,4%; Existe una acumulación de azufre en los fondos

TABLA IV. Tasas de carbonatos (CA), carbono total (CT), nitrógeno total, (NT), relación carbono nitrógeno (C/N), azufre (S), pH, potencial rédox (Eh) de los sedimentos y profundidad en metros (BA) de las estaciones de muestreo de la Ría de Ares

Estación	%CA	%CT	%NT	C/N	%S	pH	Eh	BA
P101	15.68	1.28	0.1	12.8	0.13	7.61	-11	7.4
P102	11.56	2.16	0.2	10.8	0.13	7.7	45	7.1
P103	5.34	1.22	0.1	12.2	0.14	7.59	-27	7
P104	5.9	1.81	0.18	10.06	0.36	7.54	-121	8
P105	14.16	2.9	0.19	15.26	0.58	7.31	-126	9
P106	6.34	3.03	0.5	6.06	0.35	7.53	-41	8.5
P107	12.86	1.69	0.1	16.9	0.1	7.76	26	8
P108	4.46	1.24	0.13	9.54	0.11	7.58	-24	5
P109	4.04	1.29	0.18	7.17	0.18	7.7	-90	5.5
P110	6.76	2.15	0.2	10.75	0.62	7.53	-156	5.5
P111	10.68	2.05	0.19	10.79	0.1	8.24	-188	5.2
P112	3.27	0.94	0.11	8.55	0.12	7.41	-194	5
P113	4.38	2.35	0.19	12.37	0.83	7.62	-226	4
P114	8.72	1.88	0.15	12.53	0.14	7.38	-76	5
P115	1.42	0.83	0.1	8.3	0.1	7.69	-140	4
P116	3.94	2.46	0.24	10.25	0.67	7.73	-163	5
P117	25.7	4.1	0.5	8.2	0.66	7.5	-66	4
P118	6.65	1.77	0.17	10.41	0.11	7.53	-92	5.5
P119	11.54	1.7	0.14	12.14	0.1	7.62	-139	5
P120	3.06	2.58	0.22	11.73	0.72	7.68	-140	4
P121	9.38	2.2	0.2	11	0.57	7.82	-125	3.5
P122	4.78	1.07	0.11	9.73	0.12	7.47	-80	3.6
P123	2.42	2.7	0.29	9.31	0.83	7.58	-179	4
P124	3.06	2.3	0.2	11.5	0.71	7.55	-124	4
P125	4.91	1.55	0.12	12.92	0.35	7.63	-164	3
P126	4.17	0.98	0.13	13.35	0.1	7.15	-59	2.7
P127	3.19	2	0.14	14.29	0	7.8	-55	4
P128	3.82	1.1	0.13	12.68	0.1	8.05	31	4.1
P129	4.91	1.58	0.15	10.53	0.17	7.57	212	3.6
P130	5.34	1.58	0.12	13.17	0.24	7.06	34	4.4

sedimentarios de la margen norte de la ría, especialmente en la ensenada de Redes, donde se triplican y cuatruplican estos valores (desde 0,4 a 1 %). En la Fig. 3 y en la Tabla IV se detalla su distribución.

#### Relación entre variables ambientales

Las variables medioambientales estudiadas fueron ordenadas mediante el análisis de componentes principales de la matriz de 15 varia-

bles fisicoquímicas y 30 estaciones. Las variables incluidas en el análisis fueron: gravas (GRA), arenas gruesas (AGR), arenas finas (AFI), limos gruesos (LGR), limos finos (LFI), arcillas (ARC), arena (ARE), pelitas (PEL), pH sedimento, carbonatos (CAR), carbono total (CT), nitrógeno total (NT), relación carbono nitrógeno (CN), azufre total (ST) y batimetría (BA).

Las correlaciones establecidas entre las variables analizadas y los cuatro ejes de

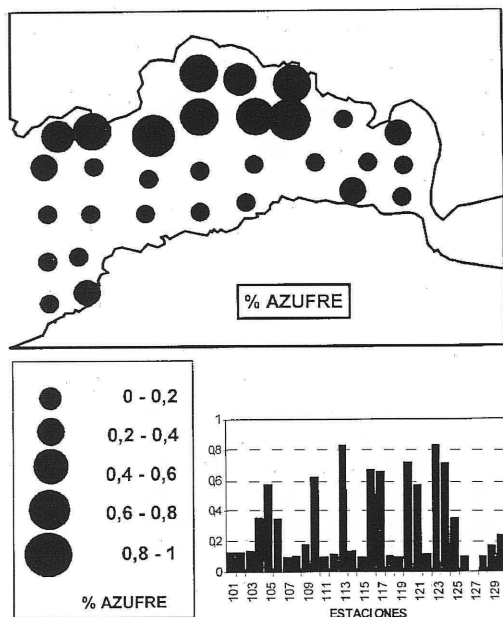


Fig. 3. Distribución del contenido en azufre de los sedimentos de la Ría de Ares.

ordenación estudiados se detallan en la Tabla V, así como la varianza acumulada por cada eje. Se observa que, para la mayor parte de las

variables estudiadas, las máximas correlaciones se establecen entre los tres primeros ejes de ordenación.

La representación de las coordenadas de las muestras y las variables fisicoquímicas en los dos primeros ejes de ordenación (ejes I y II), (Fig. 4A) indica una estrecha correlación negativa de los limos finos, las arcillas, las pelitas, el carbono, el nitrógeno y el azufre con el eje I, asociados a las estaciones adyacentes (P105, P110, P113, P117, P118, P119, P121, P123, P124 y P125). La correlación positiva con este primer eje la presentan por un lado las arenas totales, asociadas a las estaciones P103, P108, P109, P115, P128 y P129 y por otro, las arenas finas relacionadas con las muestras P101, P102, P107, P111, P126 y P130. El eje II se relaciona positivamente con los limos gruesos y las muestras P104, P106, P114, P116, P122 y P127.

En la ordenación de los ejes I y III (Fig. 4B), se observa la correlación positiva de las gravas, los carbonatos, la relación C/N y la batimetría con el eje III, asociados fundamentalmente, sobre todo los dos primeros, con las estaciones P117 y P105.

TABLA V. Varianza acumulada y factores de carga de los componentes I, II, III y IV en la ordenación de componentes principales de las muestras y las variables medioambientales

Variables	Eje I	Eje II	Eje III	Eje IV
% Varianza	87.00%	8.4%	3.00%	0.60%
GRA	-.3340	-.4738	.7069	-.2993
AGR	.0013	-.4085	.3734	.8187
AFI	.9846	.0845	-.1430	-.0367
LGR	-.5509	.8295	.0808	-.0194
LFI	-.8786	-.4467	-.1490	-.0512
ARC	-.6528	-.4985	-.0798	.3042
ARE	.9939	-.0826	.0701	.0073
PEL	-.9939	.0827	-.0701	-.0074
pH	.1085	.0023	-.0409	.1849
CAR	-.1616	-.0916	.8596	-.0814
CT	-.7209	-.1677	.3081	-.1935
NT	-.5445	-.1104	.1806	-.1405
CN	.0856	.0536	.2461	.1808
ST	-.6652	-.4123	-.1843	-.2314
BA	.0330	.1856	.3440	-.2922

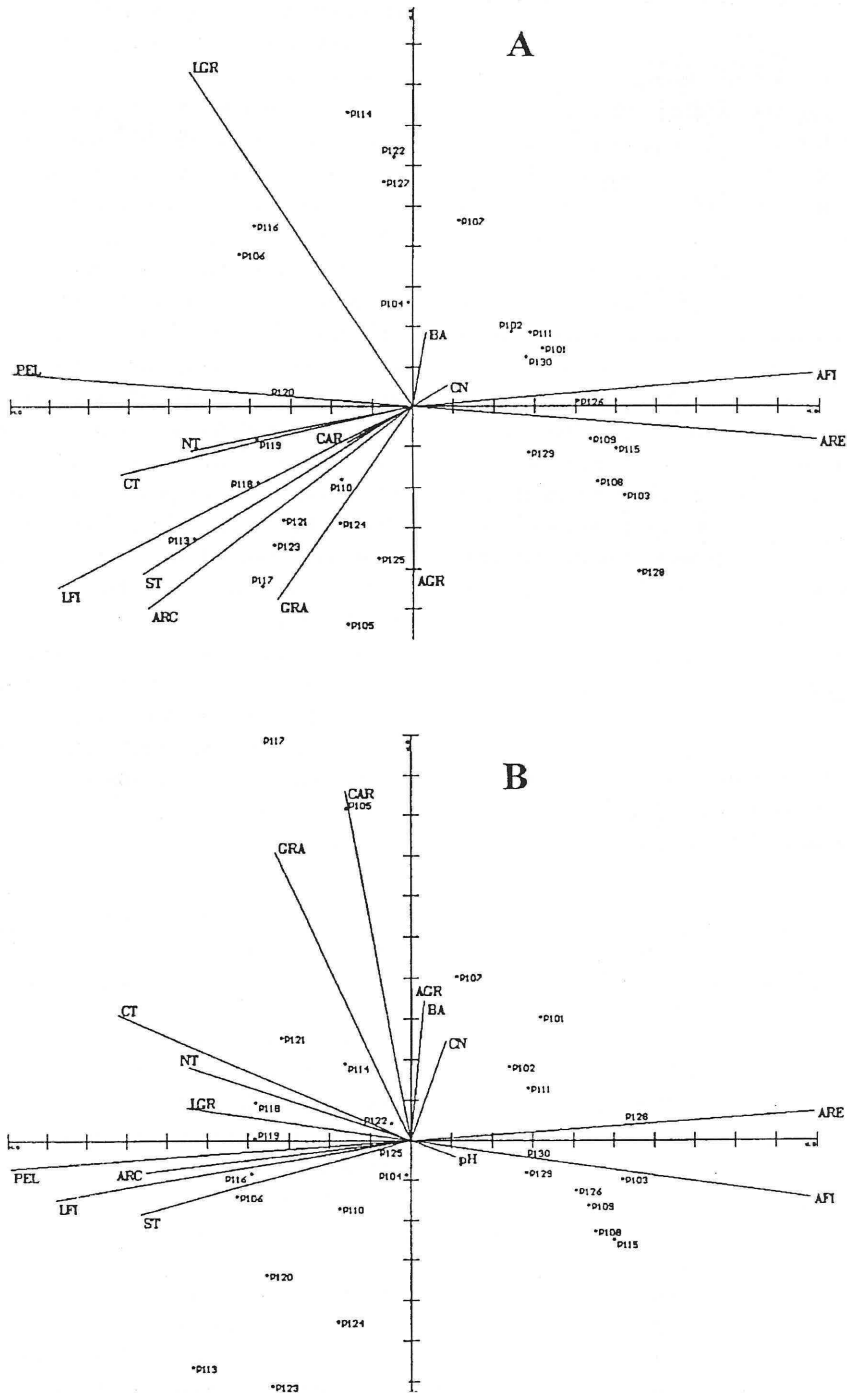


Fig. 4. A. Análisis de componentes principales de las variables medioambientales y las muestras en los planos definidos por los componentes I y II. B. Análisis de componentes principales de las variables medioambientales y las muestras en los planos definidos por los componentes I y III.

## DISCUSIÓN

Los resultados de los análisis sedimentológicos revelan que la Ría de Ares se caracteriza por fondos de arena fina con un componente variable de limos finos y gruesos; en función de la proporción existente de los dos tipos de limos, en la ría se distinguen dos zonas en un gradiente de distribución espacial norte-sur:

La zona norte litoral de sedimentos pelíticos, con la mediana granulométrica coincidente en los limos gruesos, una importante proporción de limos finos (entre el 25%, P116 y el 50%, P113), altas tasas de azufre en el sustrato, con valores que alcanzan el 0,83% (P113 y P123) y valores de carbono total por encima del 2%. Este área, localizada en su mayor parte en la Ensenada de Redes, es una zona de sedimentación y depósito de los materiales particulados que arrastra el río. El acúmulo de estos depósitos en el litoral norte de la ría es debido al sistema de corrientes, según el cual la salida de aguas en el sistema de circulación general tiene lugar por la margen norte de la misma (SÁNCHEZ MATA, 1996). Las altas tasas de carbono y azufre totales depositados en este fondo provienen en su mayoría del lavado de mineral de la mina del complejo de As Pontes y de residuos de lignito de su balsa de decantación, que son arrastrados por el río Eume. Toda la franja norte costera del área de estudio presenta sedimentos reducidos, los cuales se ven favorecidos por un aumento del porcentaje de elementos granulométricos finos y de la materia orgánica, desplazando la capa de discontinuidad del potencial redox hacia la superficie (PEARSON & STANLEY, 1979).

La zona central y sur de la ensenada está caracterizada por sedimentos arenosos, con la mediana coincidente en las arenas finas para la mayor parte de las estaciones, menores contenidos en carbono total (inferiores al 2% en la mayoría de los casos) y en azufre (inferiores al 0,4%) de los sedimentos de este área. Estas condiciones ambientales del sedimento, unidas a un proceso de reducción del sustrato mucho menor, permite una mayor velocidad de difu-

sión del oxígeno para que la oxidación del sustrato se realice en condiciones de aerobiosis, favoreciendo la aparición de mayor número de especies infaunales (PROUSE & HARGRAVE, 1987).

Las dos zonas de sedimentación presentes en la ría, localizadas en el área estuárica donde desemboca el río Eume y en la boca de la ría hacia el sector de confluencia de las rías de Ares y de Betanzos, tienen su origen en dos factores diferentes: en la zona estuárica interna, donde desemboca el río Eume, la sedimentación se debe al estrechamiento que sufre el canal del río antes de su desembocadura en la ría. Por el contrario, en el área de confluencia de la ría de Ares con el sector medio de la Ría de Ares-Betanzos, la acumulación sedimentaria tiene lugar debido a la existencia de un escalón batimétrico de hasta 4 m de diferencia en profundidad, con lo que los fondos pasan de tener 4.5 m de profundidad a 9 m, lo cual hace que los aportes sedimentarios queden depositados en esa zona.

Siendo la repartición de las clases texturales sedimentarias el principal factor determinante en la formación de asociaciones de estaciones, o lo que es igual, de la caracterización de áreas dentro de la zona de estudio, otras variables como el contenido en carbono orgánico y en nitrógeno total tienen una importancia comparable. Ambos parámetros son un índice objetivo del contenido en materia orgánica de los sedimentos.

Así, en zonas de alta productividad por afloramiento como son las rías gallegas y, en nuestro caso, la ría de Ares, si se dan condiciones de deficiencia de oxígeno, éstas son causadas por la alta demanda del mismo debida a la descomposición de grandes cantidades de materia orgánica producida en la zona eufótica que conducen a la formación de una capa de oxígeno mínimo. En las zonas anóxicas no existe correlación entre la tasa de sedimentación y el contenido en carbono orgánico, como si sucede en un medio oxidado (STEIN, 1990). Los cambios originados en la concentración de carbono orgánico de sedimentos con deficiencia de oxígeno son causados por cambios

ocurridos en el aporte de material mineral, por dilución en muchos casos, más que por cambios en el grado de preservación de la materia orgánica marina, debidos a variaciones de la tasa de sedimentación o a la productividad. Además, las variaciones en el aporte de carbono orgánico terrígeno influyen fuertemente en el contenido total en carbono orgánico marino en medios estuáricos: alrededor del 35% de la materia orgánica de origen fluvial pertenece a la fracción lábil o metabolizable y puede ser oxidada directamente en el estuario y en zonas adyacentes costeras, mientras que el otro 65% es altamente refractario y puede ser transportado lejos de la costa antes de ser mineralizado (ITTEKOTT, 1988).

En la ría de Ares, el carbono tiene procedencia marina en todas aquellas zonas cuya relación se sitúa por debajo de 10 (STEIN, 1991), lo cual ocurre en 8 de las 30 estaciones estudiadas, situadas todas ellas en la boca y zona del canal de la ría. Las áreas con una relación entre 10 y 30 (24 estaciones) son las que presentan predominancia de materia orgánica estrictamente terrígena, según el mismo autor, situándose en nuestro caso, en las márgenes litorales y zona estuárica interna.

Los valores de nitrógeno total presentes en los sedimentos de la ría, se encuentran dentro del rango establecido para sedimentos de tipo estuárico orgánicamente enriquecidos, en los que el componente principal es predominantemente orgánico (STEIN, 1991).

El contenido en carbonatos, también se reveló de gran utilidad a la hora de caracterizar el área de estudio; la variedad biológica de los restos biocásticos carbonatados permite controlar la influencia de los aportes marinos y del propio estuario, además de indicar en qué medida los sedimentos tienen su origen en restos conchíferos o provienen de aportes terrígenos (ASENSIO, 1984). La práctica totalidad de los carbonatos detectados en la ría son de origen biogénico y autóctono (fragmentos de conchas de moluscos gasterópodos y bivalvos, así como exoesqueletos de otros diversos organismos), aunque los bajos valores de carbonatos encon-

trados en todo el área de estudio, inferiores al 20% en todos los casos, salvo en la estación P117 donde apareció un importante acúmulo de material conchífero (26% carbonatos) están relacionados inversamente con la predominancia de elementos granulométricos finos que no favorecen la diversidad de muchas especies de bivalvos, y gasterópodos, principales grupos faunales responsables del incremento de carbonatos de origen no terrígeno en el sedimento.

La medida del potencial de oxidación-reducción permite hacer comparaciones sobre la intensidad de las condiciones reductoras en los sedimentos de distintos lugares y sirve como guía de la condición biológica del sedimento y del grado de carga orgánica a que está sujeto. A pesar de los problemas de reproducibilidad y precisión intrínsecos a la metodología de medición, que nos han llevado a no incluirlo en el análisis multivariante, pueden observarse tendencias globales en relación con los grupos establecidos: los valores son en general negativos para toda la zona de estudio, lo que indica un elevado grado de reducción de los sedimentos, que es sensiblemente mayor en el grupo de estaciones con un mayor contenido en pelitas (las localizadas en la zona medio-interna de la ría y a ambas márgenes norte y sur de la zona externa de la misma).

Asimismo, es de destacar la alta tasa de azufre en los sedimentos de la ensenada de Redes, al norte del estuario, al igual que los valores extremadamente reducidos del potencial redox del sedimento en este área. Por su situación protegida, las profundidades someras, y el sentido de las corrientes mareales, se puede definir esta zona como de acumulación del material particulado en suspensión que arrastra el río procedente de la balsa de decantación del complejo hidroeléctrico de As Pontes, como ya indicábamos anteriormente.

## AGRADECIMIENTOS

Los análisis fisicoquímicos del sedimento (granulometría, contenido en carbono total,

nitrógeno total, azufre total y carbonatos) fueron realizados por el Departamento de Edafología y Química agrícola de la Facultad de Biología de la Universidad de Santiago.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASENSIO, I. (1984). Los dominios marinos y fluviales en las Rías Gallegas. *Cuadernos da Area de Ciencias Mariñas, Seminario de Estudos Galegos*, 1: 27-32.
- ASENSIO, I. & GRAJAL, M. (1981). Rasgos morfológicos y sedimentológicos de la Ría de Betanzos (A Coruña, Galicia, España). *Cuadernos Lab. Xeoló. Laxe*, 2: 197-208.
- ASENSIO, I. & GRAJAL, M. (1982). Morfología litoral y sedimentación actual de la Ría de Ares. *Cuadernos Lab. Xeoló. Laxe*, 3: 247-284.
- BARREIRO, R. (1991). Estudio de metales pesados en medio y organismos de un ecosistema de ría (Pontedeume, A Coruña). *Tesis Doctoral. Universidad de Santiago*.
- BASFORD, D.J., ELEFThERIOU, A. (1988). The benthic environment of the North Sea (56° to 61 N). *J. mar. Biol. Ass. U.K.*, 68: 125-141.
- BELLAN, D. (1980). Relationship between populations of Amphipods and pollution. *Mar. Pollut. Bull.*, 11: 224-227.
- BOUMA, A.H & MARSHALL, F. (1964). A method for obtaining and analysing undisturbed oceanic sediment samples. *Mar. Geol.* 2: 81-99.
- BRANNON, J.M., GUNNISON, D., SMART, R.M. & CHEN, R.L. (1984). Effects of added organic matter on iron and manganese redox systems in sediments. *Geomicrobiology Journal*, 3(4): 319-341.
- BUCHANAN, J.B. (1984). Sediment analysis. In: Holme, N.A. & McIntyre, A.D. (Eds.), *Methods for the study of Marine Benthos*: 41-65. Blackwell, Oxford.
- CARRAL, E. (1992). Estado de conservación de los complejos hidrolitorales de Galicia: nutrientes y metales pesados en sedimentos y organismos. Tesis Doctoral (iné.), Universidad de Santiago de Compostela.
- GLÉMAREC, M. (1979a). Les fluctuations temporelles des peuplements benthiques liées aux fluctuations climatiques. *Oceanol. Acta*, 2 (3): 365-371.
- GLÉMAREC, M. (1979b). Problèmes d'écologie dynamique et de succession en Baie de Concarneau. *Vie et Milieu*, 28 (1): 1-20.
- GLÉMAREC, M. & HILY, C. (1981). Perturbations apportées à la macrofaune benthique de la Baie de Concarneau par les effluents urbains et portuaires. *Acta Oecologica*, 2 (2): 139-150.
- GRAJAL, M. (1990). *Procesos litorales en las Rías de Betanzos y Ares (La Coruña)*. Acad. Cienc. Gallega- Lab. Xeoló. Laxe, Corpus Geologicum Gallaeciae, Ser. 2 (5). La Coruña.
- GRAJAL, M & MACÍAS, F. (1984). Distribución, textura y mineralogía de sedimentos recientes de la marisma de Betanzos. En: *Actas do Primeiro Seminario de Ciencias do Mar: As Rías Galegas*: 33-44. Edicions do Castro, La Coruña.
- GRAÑA, J. & MACÍAS, F. (1984). Equilibrios de oxidación-reducción en sistemas de estuario. En: *Actas do Primeiro Seminario de Ciencias do Mar: As Rías Galegas*: 45-65. Edicions do Castro, La Coruña.
- GRAY, J.S. & PEARSON, T.H. (1982). Objective selection of sensitive species indicative of pollution induced change in benthic communities. I. Comparative methodology. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 9: 111-119.
- GUITIÁN, F. & CARBALLAS, T. (1976). *Técnicas de análisis de suelos*. Ed. Pico Sacro, Santiago de Compostela.
- HILY, C. (1984). *Variabilité de la macrofaune benthique dans les milieux hyper-trophiques de la Rade de Brest*. Thèse Doctoral Université Bretagne Occidentale.
- IBÁÑEZ, M. (1973). *Contribución al estudio ecológico de los anélidos poliquetos de la Península Ibérica*. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- ITTEKOTT, V. (1988). Global trends in the nature of organic matter in river suspensions. *Nature*, 332: 436-438.
- LE BRIS, H. (1988). *Fonctionnement des écosystèmes benthiques côtiers au contact des estuaires: la Rade de Lorient et la Baie de Vilaine*. Thèse Doctoral, Université de Bretagne Occidentale, Brest.
- LE MOAL, Y. (1981). *Ecologie dynamique des plages touchées par la marée noire de l'Amoco Cadiz*. Thèse 3° cycle, Université de Bretagne Occidentale, Brest.
- PEARSON, T.H. & ROSENBERG, R. (1978). Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 16: 229-311.
- PEARSON, T.H. & STANLEY, S.O. (1979). Comparative measurement of the redox potential of marine sediments as a rapid means of assessing the effect of organic pollution. *Mar. Biol.*, 53: 371-379.

- PROUSE, N.J. & HARGRAVE, B.T. (1987). Organic enrichment of sediments in Bedford Bassin and Halifax Harbour. *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences*, **1571**: 1-36.
- REISH, D.J. (1959). *An ecological study of pollution in Los Angeles, Long Beach Harbors, California*. Allan Hancock Found. Public., Occ. paper nº 22.
- SÁNCHEZ MATA, A. (1996). El macrozoobentos submareal de la Ría de Ares y Betanzos: Estructura biosedimentaria y dinámica poblacional. Impacto de la marea negra del Aegean Sea. Tesis Doctoral (inéd.). Universidad de Santiago de Compostela.
- SÁNCHEZ MATA, A., MORA, J., GARMENDIA, J.M. & LASTRA, M. (1993). Estructura trófica del macrozoobentos submareal de la ría de Ares-Betanzos. I: Composición y distribución. *Publicaciones Especiales del Instituto Español de Oceanografía*, **11**: 33-40.
- SIMON, J.L. & DAUER, D.M. (1977). Restablishment of a benthic community following natural defaunation. In: *Coul 1977*. Pergamon Press. London.
- STEIN, R. (1990). Organic carbon content / sedimentation rate relationship and its paleoenvironmental significance for marine sediments. *Geo-Mar. Lett.*, **10**: 37-44.
- STEIN, R. (1991). *Accumulation of organic carbon in marine sediments*. Lecture Notes in Earth Sciences, Springer-Verlag.
- TER BRAAK, C.J.F. (1988). *Canoco - A Fortran program for canonical community ordination by partial, detrended, canonical correspondence analysis, principal components analysis and redundancy analysis*. Agricultural Mathematics Group, Ministry of Agriculture and Fisheries. Ithaca, New York.
- TRASK, P.D. (1932). *Origin and environment of source sediments of petroleum*. Houston Gulf Publ.