

Geoquímica de los sedimentos recientes de la plataforma continental y bahía de Cádiz (SW de España)

J.M. GUTIERREZ-MAS,¹ A. LOPEZ-GALINDO,² S. DOMINGUEZ BELLA,¹
P. VILLANUEVA GUIMERANS,³ y F. LOPEZ-AGUAYO,¹

¹Dpto. Estructura y Propiedades de los Materiales. Fac. Ciencias del Mar, Univ. Cádiz. Apdo. 40, 11510 Puerto Real, Cádiz.

²Dpto. Mineralogía y Petrología y IAGM. CSIC-Univ. Granada. Avda. Fuentenueva s/n, 18071 Granada.

³Dpto. Biología. Fac. Ciencias del Mar, Univ. Cádiz. 11510 Puerto Real, Cádiz.

Resumen: Los sedimentos superficiales de los fondos de la plataforma continental septentrional del Golfo de Cádiz, entre la desembocadura del río Guadalquivir y el Cabo de Trafalgar, se caracterizan por su bajo contenido en componentes orgánicos, excepto los carbonatos que se presentan en proporciones superiores al 20%. Otros componentes como materia orgánica, fósforo, nitrógeno y pigmentos se encuentran en cantidades muy pequeñas y asociados siempre a sedimentos de granulometría fina. Por otra parte, se ha establecido la distribución de Cu, Cd, Zn, Ni, Co, Fe, Mn y Pb, así como la relación de dichos elementos traza con los componentes mineralógicos, bioclásticos y granulométricos. Se han localizado, igualmente, puntos o focos de vertidos de materiales contaminantes procedentes de la actividad industrial en áreas continentales adyacentes, así como la naturaleza de éstos. El análisis factorial de estos datos ha permitido establecer las relaciones entre los componentes orgánicos e inorgánicos del sedimento. Así, la fracción arena aparece asociada a la mayoría de los minerales terrígenos y bioclastos, en tanto que la materia orgánica y el resto de los componentes biogénicos se asocian a las fracciones limo y arcilla, predominantes al norte de la zona, en relación con los aportes del río Guadalquivir y otros cursos fluviales.

Palabras clave: Sedimentos marinos, geoquímica, metales pesados, Cuaternario, plataforma continental, Golfo de Cádiz.

Abstract: The superficial sediments of the northern continental shelf of the Cádiz Gulf are characterized by their low content in organic compounds, except for the carbonates that amount up to 20%. Organic matter, phosphorus, nitrogen and pigments are associated with the clay and silt fraction of the sediments. On the other hand, the study of the heavy metals allows us to establish their distribution and the relationship with mineralogy, bioclasts and grain-sizes distribution. The combined geochemical and statistic study (multivariate factor analysis) evidences the presence of spillage points of industrial source in neighbouring continental areas. The factorial analysis allows us to establish the relationship between organic and inorganic constituents of sediments. So, the sand fraction seems to be associated with terrigenous minerals and bioclasts, and organic matter and other biogenic components are incorporated to silt and clay fractions, in connection with inputs from the Guadalquivir and other rivers.

Keywords: Marine sediments, geochemistry, heavy metals, Quaternary, continental shelf, Gulf of Cádiz.

Gutiérrez-Mas, J. M., López-Galindo, A., Dominguez Bella, S., Villanueva Guimerans, P. y López-Aguayo, F. (1993): Geoquímica de los sedimentos recientes de la plataforma continental y bahía de Cádiz (SW de España). *Rev. Soc. Geol. de España*, 7 (1-2): 169-178.

En los sedimentos detríticos, el contenido en componentes orgánicos e inorgánicos está relacionado básicamente con el tamaño de grano, carácter de los aportes y factores físico-químicos y biológicos del medio, estando estos últimos más en relación con la masa de agua (cf. Chester, 1990). El análisis de ciertos componentes químicos presentes en los sedimentos es, por tanto, una herramienta útil en la determinación de los procesos que los han afectado.

En este trabajo se aborda el estudio de los componentes orgánicos e inorgánicos más significativos en

los sedimentos recientes de la plataforma continental frente a Cádiz, así como su distribución areal y relación con algunos componentes terrígenos y bioclásticos, habiéndose determinado, entre otras variables, el contenido total de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, pigmentos, carbonatos, minerales pesados y elementos metálicos pesados.

La zona estudiada está comprendida entre la desembocadura del río Guadalquivir y el Cabo de Trafalgar (Figura 1), y se corresponde con el sector más extenso de la plataforma continental en el margen septentrional

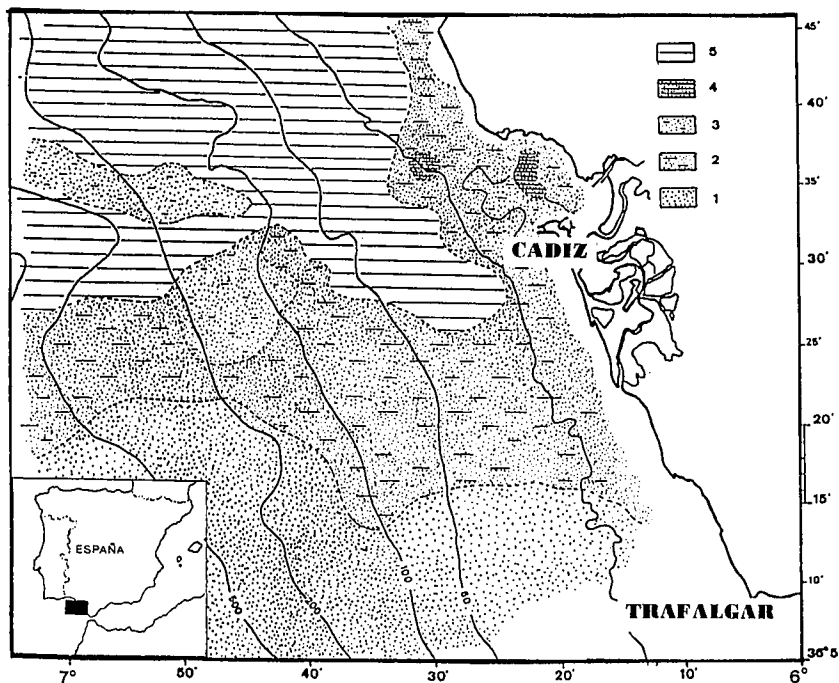


Figura 1.- Situación geográfica y distribución de facies granulométricas en la zona estudiada. 1: Arena; 2: Arena arcillosa; 3: Arena limosa; 4: Limo arenoso; 5: Arcilla limosa.

del Golfo de Cádiz, con una anchura media cercana a los 47 Km. La dinámica litoral está controlada por los temporales dominantes de poniente, que generan corrientes de deriva hacia el SE, como ponen de manifiesto las numerosas flechas y playas existentes en la zona. La plataforma está afectada por la Corriente de Agua Superficial Noratlántica (NASW), que la barre con dirección SE, siendo responsable del transporte de los sedimentos finos aportados por los cursos fluviales que tienen su desembocadura al norte de la zona de estudio, sobre todo del Guadalquivir. No ha sido detectada la acción del Flujo Mediterráneo de Salida (MFW), que discurre por aguas más profundas (Shull y Bray, 1989; Gutiérrez Mas, 1992; Villanueva y Gutiérrez Mas, 1993).

En este sector, los sedimentos superficiales presentan un claro carácter siliciclástico, reflejado por el alto contenido en cuarzo presente en las facies arenosas. En los sedimentos fango-arcillosos, sin embargo, el mineral mayoritario es la ilita (véase Tabla I; Gutiérrez

Mas, *op. cit.*). El contenido en carbonatos es relativamente alto, con valores medios que oscilan entre el 20% y el 25%, siendo su origen claramente bioclástico (Segado *et al.* 1984; Gutiérrez Mas y Villanueva, 1987). Bajo un punto de vista granulométrico, la zona se puede dividir en tres sectores (Segado *et al.*, 1984): 1) una franja litoral, constituida por arenas cuarcífero-bioclásticas y localmente grava; 2) el sector sur de la plataforma, con predominio de arenas cuarcíferas; y 3) un sector norte ocupado por fangos arcillosos relacionados con los aportes del río Guadalquivir, que progredan con dirección SE sobre las arenas (Figura 1). Esta disposición es, en buena parte, consecuencia de los procesos acontecidos durante el Holoceno en relación con el último gran ascenso eustático, que permitió el depósito de materiales finos procedentes de los aportes fluviales en la plataforma media e interna (*cf.* Aloisi, 1986; Saito, 1991). La supervivencia en superficie de las arenas está relacionada con la baja tasa de sedimentación existente en esta zona, debido a la falta de aportes fluviales, ya que el río Guadalete, único curso fluvial de importancia, tiene su desembocadura en la Bahía de Cádiz y ha debido depositar allí la mayor parte de sus aportes, al abrigo de temporales y corrientes.

Tabla I.- Mineralogía total y de arcillas de la zona estudiada.

Mineralogía total	Contenido medio	Contenido máximo	Contenido mínimo
Cuarzo	41	79	5
Calcita	26	50	12
Dolomita	4	14	0
Aragonito	<1	10	0
Filosilicatos	24	70	0
Feldespatos	4	18	0
Mineralogía de arcillas	Contenido medio	Contenido máximo	Contenido mínimo
ilita	44	59	6
Esmectitas	12	24	3
I-S tipo 1	13	35	3
I-S tipo 2	7	35	0
Clorita	<1	5	0
Caolinita	17	30	2
I-C	3	13	0
Vermiculita	<1	<5	0

Métodos

Los análisis se realizaron sobre 104 muestras superficiales de testigos de pistón extraídas en los sedimentos de la plataforma. El análisis mineralógico se ha realizado por difracción de rayos X, siguiendo los métodos de polvo policristalino para la fracción total y minerales pesados y agregados orientados con tratamientos para las fracciones arcilla y limo (*cf.* López Galindo, 1986). Para la determinación de los carbonatos se ha empleado, además, el método gasométrico mediante la utilización del Calcímetro de Bernard.

La determinación de materia orgánica (MO) se ha realizado por el método del carbono orgánico (Gaudette *et al.*, 1974; El-Rayis, 1985), que permite detectar entre el 75 y el 95% de carbono orgánico total contenido en el sedimento. El contenido en materia orgánica se obtiene multiplicando el valor del carbono orgánico calculado por el coeficiente 1.8 de Trask (1939). Para el nitrógeno orgánico se ha empleado el método de Kjeldahl citado por Guitian y Carballas (1976), efectuándose esta determinación con objeto de calcular el coeficiente C/N. La determinación del fósforo se ha basado en la medida de la densidad óptica de una disolución generada por la reducción de un complejo fosfomolibdico según el método descrito en Guitian y Carballas (1976) y la densidad óptica se midió por espectrofotometría a 825 nm.

La extracción y determinación de pigmentos se realizó según el método clásico de Orr y Grady (1957), con modificaciones de Margalef (1958), Lorenzen (1974) y Varela (1981), en base al pico de absorción que presentan las feofitinas a 668 nm.

El análisis de metales pesados se realizó mediante disgregación y digestión de 2 gr de muestra. Los contenidos en Cu, Cd, Zn, Ni, Co, Fe, Mn y Pb se determinaron por Espectroscopía de Absorción Atómica (AAS, Phillips PU 9200 X) y Espectrometría de Emisión de Plasma (ICP, Leemans PS1000)

El tratamiento estadístico de los datos se ha realizado mediante el empleo de la Estadística Descriptiva para la exploración de variables y Análisis Factorial Multivariante. Los cálculos se han realizado con el Programa BMDP-4M, con un ordenador Vax-800.

Resultados

Componentes orgánicos

Carbonatos (Figura 2).- Estos sedimentos presentan

Tabla II.- Principales coeficientes de correlación entre los distintos componentes.

	Carbonatos	M. Orgánica	Nitrógeno	Pigmentos	Fósforo
Carbonatos		-0,42	-0,3	0,3	
M. Orgánica	-0,42		0,52	0,52	0,2
Nitrógeno	-0,3				
Pigmentos					0,3
Grava	0,3				
Arena		-0,44	-0,52	-0,63	
Limo		0,25	0,35	0,5	
Arcilla		0,4	0,6	0,63	
Cuarzo		-0,4	-0,5		
Filosilicatos		0,33	0,57	0,56	
Calcita	0,34				
Moluscos		-0,4	-0,4		
Frag. roca	0,4				

contenidos medios del 25% y máximos que alcanzan hasta el 56%. Los valores más bajos (15%-20%) se encuentran en la parte exterior de la Bahía de Cádiz y en puntos aislados de ésta. Los carbonatos de la muestra total no presenta correlación significativa con ningún componente principal (Tabla II). Sin embargo, los carbonatos de la fracción arena presentan correlación con todos los componentes de la fracción bioclástica: equinodermos (0,53), moluscos (0,6) y foraminíferos bentónicos (0,43); y con la mayoría de los componentes terrígenos de esta fracción: cuarzo (0,82), mica (0,61), glauconita (0,57) y minerales pesados (0,48).

Materia orgánica (Figura 3).- A pesar de la existencia de amplias zonas de sedimentos de naturaleza fango-arcillosa, los contenidos de MO son en general bajos, oscilando entre el 0,02%, en sedimentos arenoso-cuarcíferos de zonas infralitorales, hasta un máximo de 1.87% en sectores fangosos de la plataforma media y

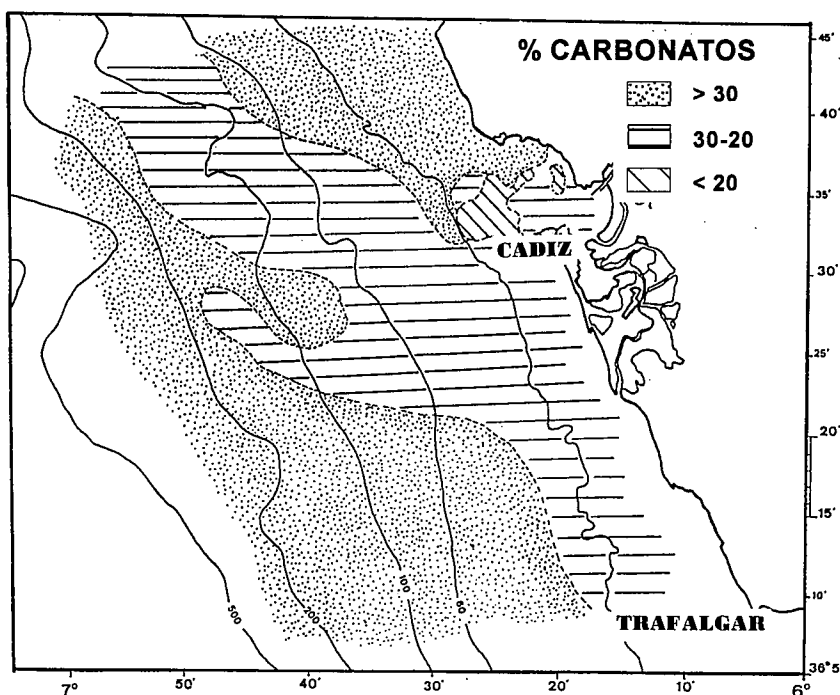


Figura 2.- Mapa de distribución del contenido en carbonatos.

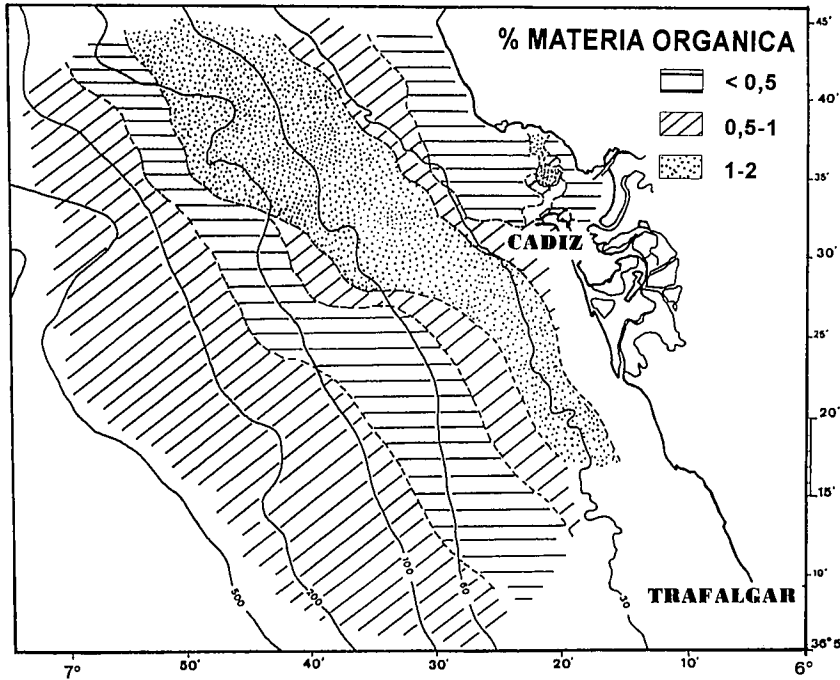


Figura 3.- Mapa de distribución del contenido en materia orgánica.

externa. Estos valores decrecen, en general, con la profundidad en el testigo de sondeo y ponen de manifiesto el carácter fundamentalmente inorgánico de estos sedimentos. Los valores más altos se sitúan en dos sectores claramente diferenciados, uno en la parte externa de la Bahía de Cádiz y otro se extiende por la plataforma media, entre las isobatas de 30 m y 100 m, siguiendo la distribución de los sedimentos más finos. El contenido de MO no presenta correlación con la profundidad de la columna de agua ni con la mayoría de los componentes analizados, excepto con los pigmentos. Con la práctica totalidad de los componentes bioclásticos presenta correlación negativa, particularmente con moluscos.

Nitrógeno Orgánico (Figura 4).- Se han encontrado, en general, valores bastante bajos, en torno a 0,1 - 0,01 %, presentando una distribución areal relacionada con la granulometría, correspondiendo los valores más bajos a zonas arenosas y los mayores a las facies fangosas de la plataforma media. En las zonas de máximo contenido en materia orgánica, los valores del coeficiente C/N son diferentes. Así, en la plataforma externa se obtienen cifras entre 9 y 15, en tanto que en determinados sectores de la Bahía de Cádiz es bastante más bajo (4 a 6).

Fósforo (Figura 5).- Los valores medios obtenidos son de

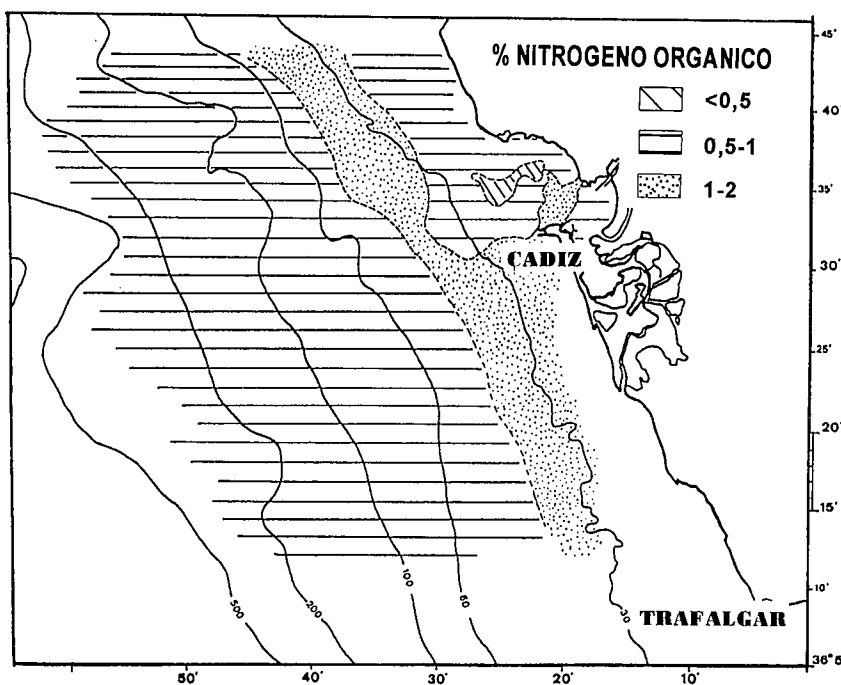


Figura 4.- Mapa de distribución del contenido en nitrógeno orgánico.

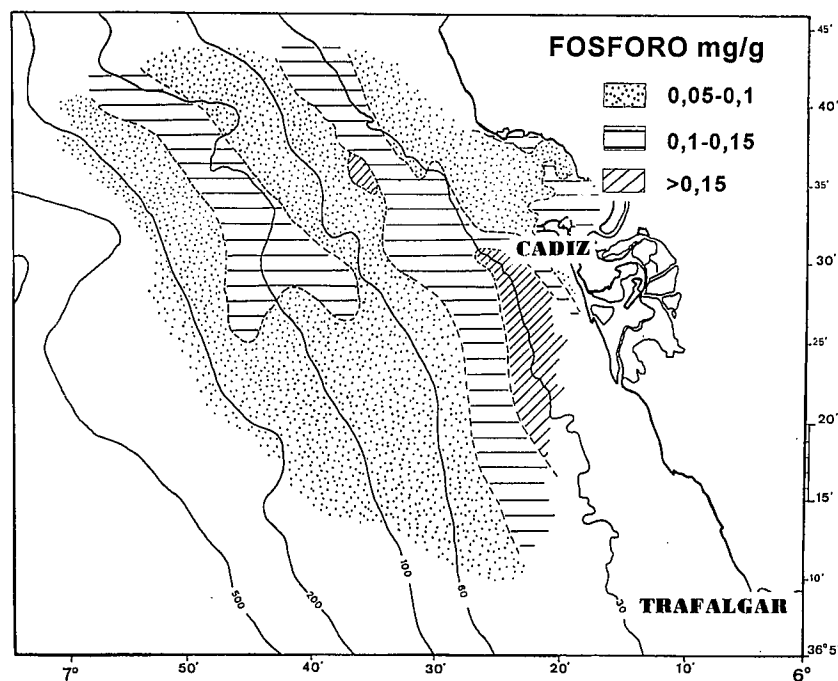


Figura 5.- Mapa de distribución del contenido en fósforo.

0,073 mg/g, con máximos cercanos a 0,16 mg/g en la plataforma interna, entre 30 y 50 m de profundidad. Los valores mínimos (0,02 mg/g) se dan en el centro de la Bahía externa. En el resto de la zona los contenidos se distribuyen homogéneamente, oscilando entre 0,05 y 0,10 mg/g.

Pigmentos (Figura 6).- Los contenidos son en general muy bajos, oscilando entre 0,06 y 1,74 ppm, con una distribución claramente relacionada con las fracciones finas y materia orgánica (0,52).

Metales pesados

La distribución de contenidos de metales pesados en la plataforma continental muestra la tendencia general de los elementos a concentrarse en facies fangosas

(limo más arcilla), presentándose algunas focalizaciones con valores relativamente altos (Figuras 7 y 8). Destaca un sector situado frente a la Bahía de Cádiz, entre 40 y 100 m de profundidad, en el que, de forma casi constante, se dan las mayores concentraciones, excepto el Pb, Zn y Cu que, aún con concentraciones elevadas, presentan sus máximos contenidos en zonas adyacentes. La mayor parte de los elementos pesados estudiados muestran una discreta correlación negativa con la profundidad, arena y grava, y positiva con los tamaños finos, especialmente con el limo, excepto el Mn, que correlaciona mejor con la fracción arcilla.

Por otra parte, determinados metales pesados (Fe, Cd, Ni y Co) correlacionan con minerales de la fracción pesada, como silimanita, andalucita, estauroлита, cloritoide, cianita y turmalina, minerales que a su vez

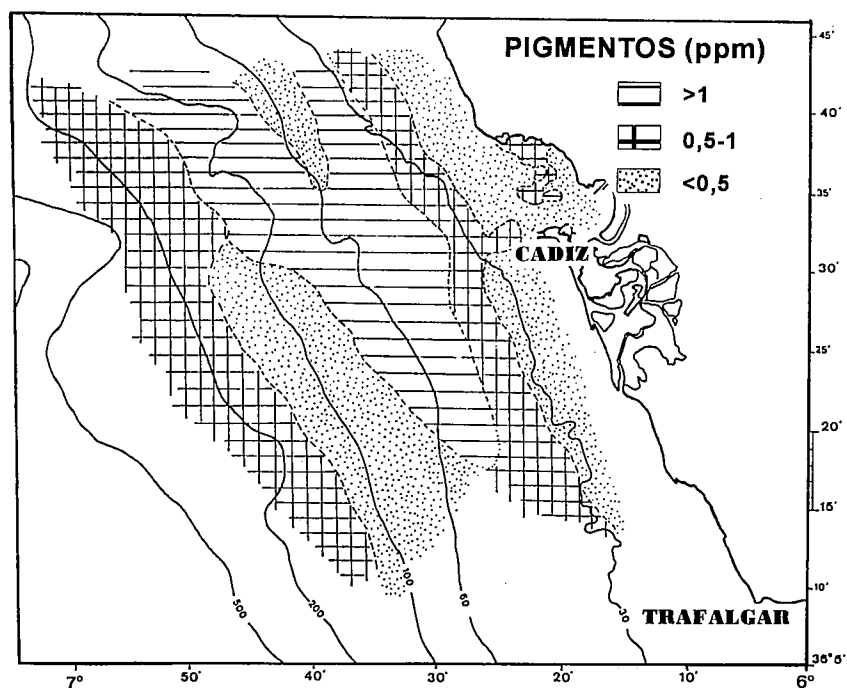


Figura 6.- Mapa de distribución del contenido en pigmentos.

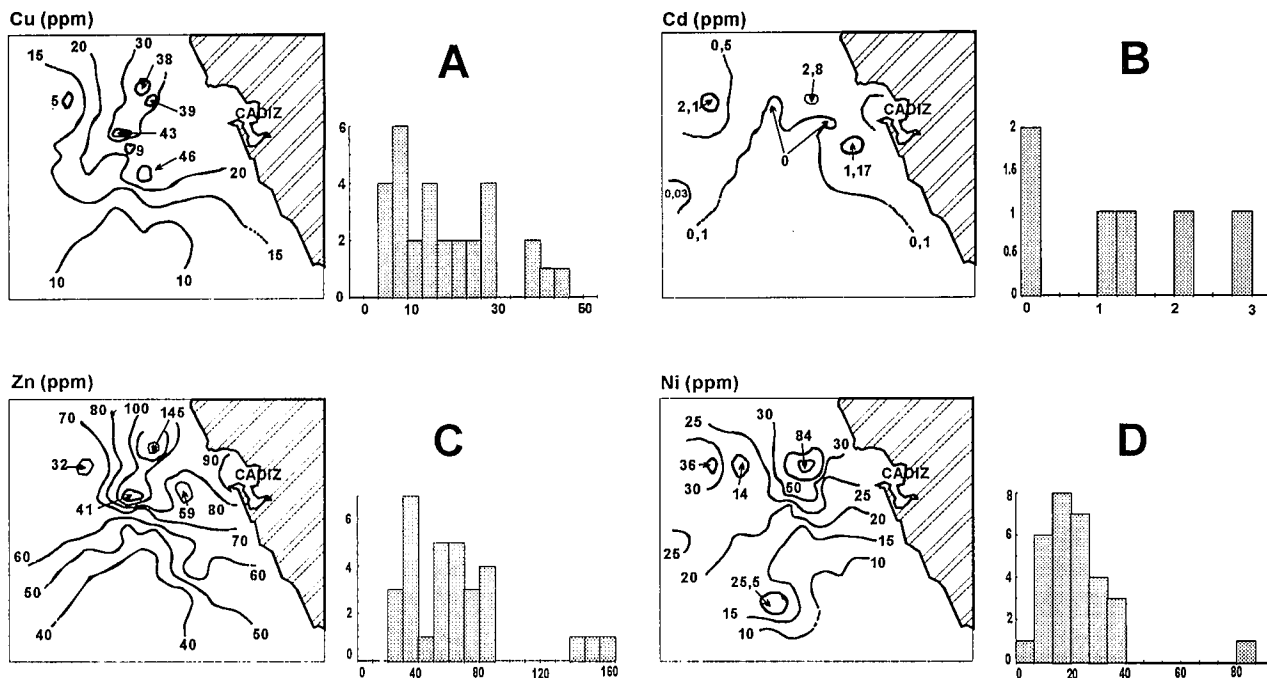


Figura 7.- Distribución de contenidos en metales pesados. A: Cu; B: Cd; C: Zn; D: Ni.

correlacionan negativamente con el cuarzo (Gutiérrez-Mas *et al.*, 1992). Estos datos son reflejo, por una parte, de un origen común de estos grupos de minerales y metales pesados desde aportes del río Guadalquivir y, por otra, de la posible influencia del contenido en minerales pesados en la determinación de los metales pesados, por rotura de las redes cristalinas de los silicatos.

Cobre (Figura 7A). Presenta contenidos medios de 18 ppm, con concentraciones altas (43-46 ppm) al W y SW de la Bahía de Cádiz. Contenidos menores aparecen en zonas distales de la plataforma e inicio del talud (<10 ppm). Boyer (1985) propone como niveles altos de contaminación 50 ppm, bastante por encima de los valores medios encontrados en la zona, aunque próximos a los máximos de la plataforma. Presenta una correlación significativa con el resto de metales pesados, excepto con el Cd y también con la materia orgánica (0,4), indicativo de una posible participación orgánica en la conservación de este metal. Con los carbonatos la correlación es negativa (-0,4), posible indicador de un cierto transporte desde áreas de acumulación de organismos muertos.

Cadmio (Figura 7B). Los contenidos medios son inferiores a 1 ppm. Al sur de Cádiz las concentraciones son bajas e inexistentes a la altura de Conil, mientras que los más altos (2,8 ppm) se encuentran frente a la Bahía de Cádiz y puntos aislados de la plataforma. Presenta correlación con la calcita (0,4) y con el conjunto de bioclastos, siendo negativa con aragonito (-0,4), datos que indican la presencia de éste metal en caparazones de moluscos y otros organismos marinos, debido posiblemente a la similitud de radios iónicos entre Cd y Ca. Respecto a otros metales pesados correlaciona con Ni, (0,7), Co (0,82) y Fe (0,4) y negativamente con Mn (-0,4), mientras que no lo hace con el Zn a pesar de te-

ner un comportamiento geoquímico similar, lo que puede ser un indicador de la existencia de contaminación de origen antrópico. Con algunos minerales de la fracción pesada correlaciona de forma discreta, como con andalucita (0,35), cloritoide (0,38), sillimanita (0,45) y turmalina (0,35), relacionados estos últimos con los aportes del río Guadalquivir. Este hecho coincide con la mayor presencia de Cd en los sectores ubicados al N de la zona de estudio, que son los más cercanos a la desembocadura de este río.

Zinc (Figura 7C). Se presenta en la plataforma con una distribución homogénea y contenidos medios de 67 ppm, con máximos (150 ppm) en la plataforma interna, al NW de la Bahía de Cádiz, asociados a facies fangosas. A partir de este punto, las concentraciones disminuyen hacia el S y mar adentro, alcanzándose los valores mínimos (30 ppm) en áreas distales de la plataforma externa. Presenta correlación inversa con arena (-0,78) y positiva con limo (0,44), resto de metales pesados excepto Cd, y materia orgánica (0,47).

Níquel (Figura 7D). Presenta concentraciones medias de 26 ppm y máximos de 84 ppm frente a la Bahía de Cádiz, disminuyendo hacia el S. Presenta correlación alta con limo (0,89) y correlaciona bien con casi todos los metales pesados excepto Mn. La buena correlación con el Fe y su, en general, distribución homogénea, puede indicar la coprecipitación de Ni con compuestos de Fe, sobre todo sulfuros.

Cobalto (Figura 8A). Los contenidos medios son de 17 ppm, mientras que los más elevados se dan en el mismo sector que los elementos descritos anteriormente, es decir frente a la Bahía de Cádiz. Los valores más bajos se dan al sur de la zona de estudio, en áreas de plataforma interna o zonas infralitorales. Correlaciona

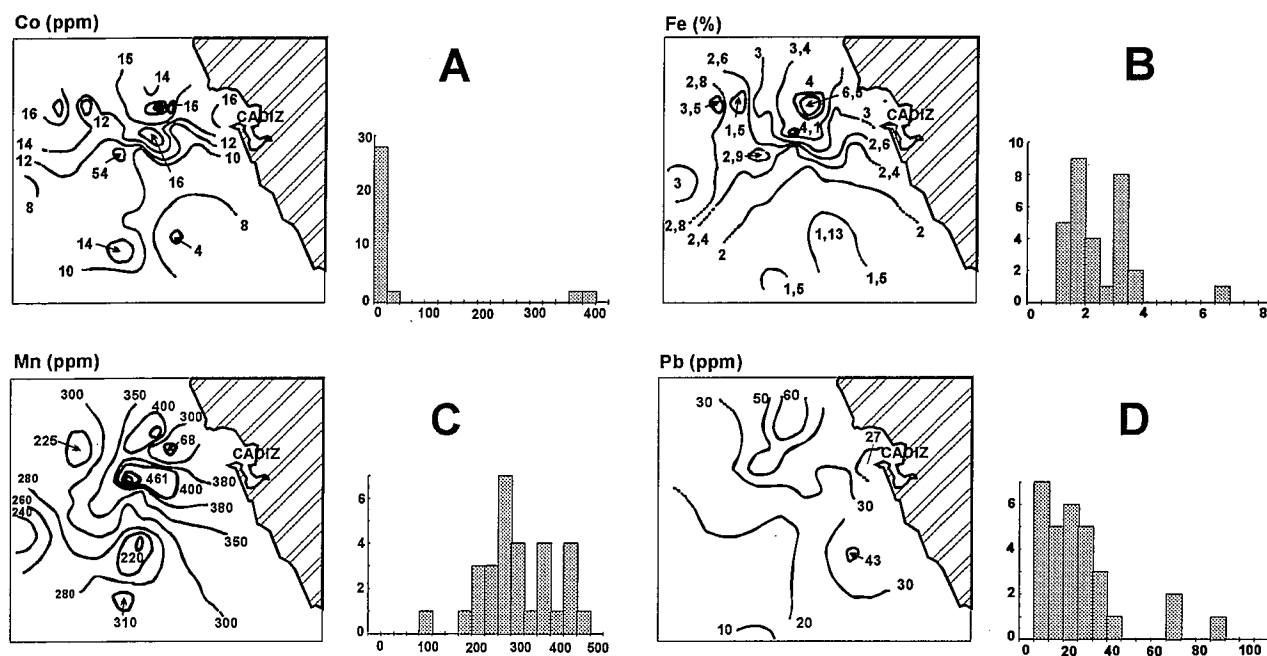


Figura 8.- Distribución de contenidos en metales pesados. A: Co; B:Fe; C: Mn; D: Pb.

bien con el limo (0,83) y resto de metales pesados excepto el Mn, en tanto que lo hace negativamente con el cuarzo (-0,57) y con el aragonito (-0,4).

Hierro (Figura 8B). Las concentraciones máximas se encuentran en zonas de plataforma media e interna frente a la Bahía de Cádiz, con valores de 65.000 ppm. La disminución de su concentración tiene lugar hacia zonas alejadas de la costa y hacia el S del área de estudio, siendo más acentuado en esta última dirección, alcanzándose los valores más bajos a la altura de Cabo Roche (11000 ppm), mientras que en la plataforma externa los valores oscilan alrededor de 30000 ppm. Presenta buena correlación con el resto de metales pesados excepto Mn. Respecto a otros componentes químicos, correlaciona inversamente con los carbonatos (-0,42).

Manganeso (Figura 8C). Presenta contenidos medios de 276 ppm, con máximos en torno a 500 ppm al NW de la Bahía de Cádiz y mínimos (225 ppm) en la plataforma externa. Es el único elemento que no presenta correlación con el limo, aunque sí con la arcilla (0,72). Con el resto de metales pesados correlaciona positivamente con Cu y Zn y negativamente con el Cd. Su buena correlación con la arcilla, mientras que el resto de metales pesados lo hace con el limo, y el carácter difuso de la distribución de los otros metales, hace pensar en una cierta independencia en la acumulación y distribución de este elemento.

Plomo (Figura 8D). Presenta valores medios de 30 ppm y distribución homogénea. Los contenidos más altos se encuentran al NW de la Bahía de Cádiz (89 ppm), y los mínimos en la plataforma externa (< 30 ppm).

Análisis factorial

Después de la realización de múltiples análisis, en

los que se utilizaron prácticamente todos los componentes y parámetros medidos en los sedimentos, se confirmó la relación de los metales pesados con la granulometría. La introducción de un alto número de variables complica el modelo, ya que los pesos (*factor loadings*) de las distintas variables alteran sensiblemente los factores y no aportan datos aclaratorios. Finalmente se redujo el número de variables a aquellas que de una forma razonable permitieron una aclaración del modelo (Tabla III). El Factor 1 asocia a los metales pesados que correlacionan bien con el limo e igualmente a los bioclastos, en cuya composición o condiciones de habitat deben de intervenir alguno de éstos elementos. El Factor 2 asocia Mn y arcilla y, a mayor distancia, Zn. Éste, al igual que el Fe, se presenta en todos los factores mostrando su tendencia a la dispersión. El Factor 3 asocia a los metales que se encuentran relacionados con la materia orgánica como Cu, Zn y Pb y, a mayor distancia, Fe. Un cuarto factor, de baja significancia, asocia carbonatos y Cd negativamente con profundidad.

La representación gráfica de los valores que toman los factores en las muestras o individuos (*factor scores*, Figura 9) permite reconocer las áreas donde éstos tienen mayor significancia. El factor 1 se presenta focalizado en dos sectores de la plataforma, uno frente a la Bahía de Cádiz, con una puntuación elevada (4), y otro en el cañón submarino alineado con la desembocadura del Guadalquivir. El Factor 2, por su parte, se presenta distribuido prácticamente por toda la zona, con puntuaciones variables, pero no muy elevadas, alcanzando los valores máximos en las zonas arcillosas de la plataforma media. Estos datos muestran, por una parte, el carácter un tanto cosmopolita del Fe, Zn y Pb, que se presentan incluidos en los tres factores asociados a facies limosas y arcillosas y a otros componentes (materia orgánica, bioclastos, etc) y, por otra, la asociación del Mn exclusivamente a facies arcillosas. Además, parece existir una relación del Ni, Co, Cd, Pb y Fe con aportes procedentes del Guadalquivir. La fal-

Tabla III.- Peso de las variables (*factor loadings*) obtenidas mediante análisis factorial (metales pesados y otros componentes). No se han considerados los valores inferiores a 0,25.

	F1	F2	F3	F4
Limo	0,96			
Ni	0,95			
Co	0,94			
Fe	0,83	0,30	0,30	
Cd	0,80	-0,30		-0,30
Pb	0,67		0,60	
Bioclastos	0,50		0,40	
Arena	-0,50	-0,80		
Mn	-0,40	0,70		
Grava	-0,40	-0,60		0,36
Materia orgánica			0,90	
Cu			0,75	
Zn	0,40	0,50	0,60	
Arcilla		0,94		
Carbonatos		-0,30		0,78
Profundidad				-0,80
% Varianza expl.	42	19	11	6

ta de correlación directa con la mayoría de los minerales terrígenos de las distintas fracciones permite suponer que, con excepción de las zonas de vertidos, los procesos de acumulación y/o fijación de metales pesados en el sedimento son fundamentalmente de origen marino.

Discusión y conclusiones

La composición mineralógica de los sedimentos es-

tudiados revela el carácter heredado de la mayor parte de sus componentes, excepto los carbonatos. Éstos son uno de los constituyentes principales de los sedimentos marinos, incluso en plataformas de carácter siliciclástico como la de Cádiz, siendo el CO_3Ca el componente mayoritario debido a que forma parte de los elementos esqueléticos de organismos (Gutiérrez Mas, 1992). Su proporción está relacionada con la tasa de crecimiento de los organismos e influenciada por las condiciones oceanográficas del medio y por los aportes de origen terrígeno que llegan a la cuenca.

En la plataforma de Cádiz, la distribución general del contenido en carbonatos no parece tener relación con la granulometría, como se deduce del mapa de la Figura 2 y de los valores de los coeficientes de correlación que presentan con las distintas fracciones de tamaño, aunque muestra una discreta correlación con la grava, ya que los bioclastos son componentes importantes de ésta. En la fracción arena, los valores obtenidos muestran una procedencia casi exclusiva a partir de los fragmentos de caparazones de organismos. Pappokari (1990), al SE de la India, encuentra tanto en la plataforma como en el litoral una correlación de 0,77, si bien en ese caso el 97% de los carbonatos tienen un carácter aragonítico. Por el contrario, en la zona citada por este autor, el contenido en carbonatos se incrementa con la profundidad y la distancia a la costa, mientras que en la zona estudiada, la distribución parece estar más influenciada por los factores granulométricos y los aportes de terrígenos.

Los valores de los contenidos en carbono orgánico no presentan correlación con la profundidad, ya que su distribución está controlada por otros factores tales como las condiciones físico-químicas, sedimentológicas e hidrodinámicas (Stackelberg, 1972). Las variaciones verticales de contenidos observadas en los testigos analizados decrecen en profundidad, poniendo de manifiesto la evolución de la MO con el tiempo. Los bajos valores que hemos encontrado son debidos, probablemente, a su rápida destrucción por el oxígeno di-

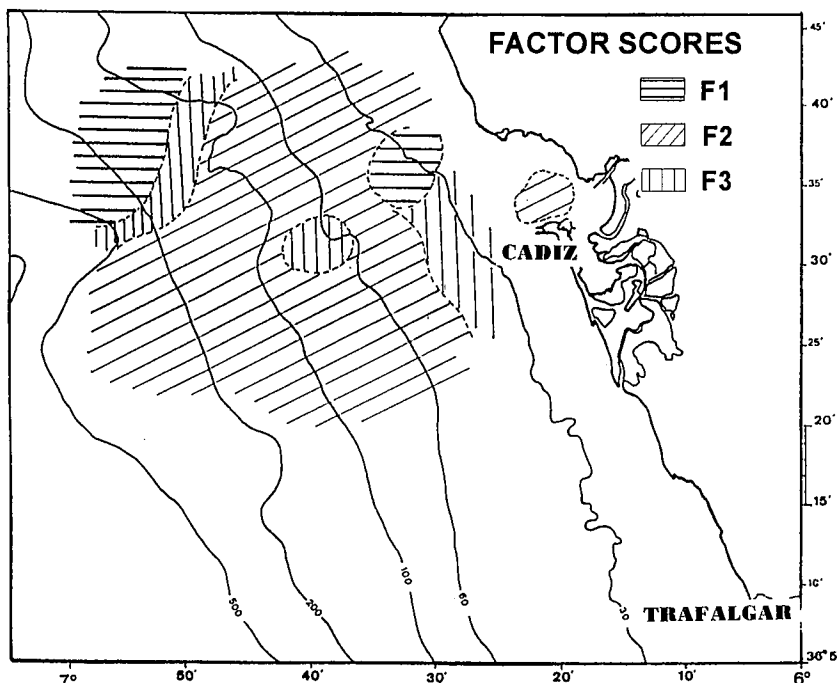


Figura 9.- Mapa de distribución del contenido en nitrógeno orgánico.

suelto en el agua suprayacente (*cf* Stackelberg, *op.cit.*).

El contenido en nitrógeno orgánico permite determinar el factor C/N que, de acuerdo con Trask (1939), varía entre 5.5 y 20 y es indicador de la fuente de materia orgánica y de su estado de degradación (Faganelli *et al.*, 1991). Debido a que algunas sustancias nitrogenadas se descomponen más fácilmente que las carbonadas, este coeficiente aumenta su valor cuando la materia orgánica presenta mayor grado de descomposición. El grado de descomposición que presenta la MO en las zonas de máximo contenido del área estudiada, proporcionado por el coeficiente C/N, no es alto (entre 7 y 9), lo que indica la rápida preservación de la materia orgánica. Valores similares han sido encontrados por Stefanini (1969) en el delta del río Isonzo y Faganelli *et al.* (1991) en los fondos de la plataforma continental al NE del Mar Adriático.

Los bajos contenidos en MO observados en algunos sectores (Figura 3) son debidos, por una parte, al distinto origen de los materiales sedimentarios de estos sectores y a una mayor degradación y evolución de la materia orgánica en la plataforma externa y, por otra, a la mayor antigüedad de los materiales sedimentarios ubicados en esta última zona.

El contenido en fósforo en los sedimentos proporciona una idea aproximada de la capacidad de fertilización (regeneración de nutrientes) de las aguas que están en contacto con los sedimentos (Ritterberg *et al.*, 1955). La distribución de contenidos en la zona de estudio es similar a la de MO, lo que sugiere que ambos tienen un origen común (*cf*. Paropkari, 1990). El contenido está claramente controlado por la granulometría, sobre todo en la plataforma interna, en clara conexión con sedimentos de carácter fangoso, aunque no se descarta que parte del fósforo haya sido fijado en los sedimentos por precipitación química, ya que la mayor parte del fósforo que se encuentra en los sedimentos marinos es de origen inorgánico y sólo una pequeña parte es de origen orgánico (Correns, 1939). No obstante, es posible que los contenidos de materia orgánica y fósforo presenten en algunos puntos de la zona de estudio influencias antrópicas de origen urbano. Por otra parte, los valores mínimos presentes en el centro de la Bahía externa pueden estar relacionados con una mayor actividad biológica en esta zona.

El origen de los pigmentos en sedimentos marinos fundamentalmente es el plancton (Lorenzen, 1974). En las muestras analizadas, los espectros de absorción obtenidos son similares a los obtenidos por Margalef (1958) y Lorenzen (1974) en sedimentos marinos. En la conservación de estos pigmentos juega un papel importante la MO presente en el sedimento (el coeficiente de correlación entre ambos componentes es de 0,65), ya que a menor cantidad de ésta, menor será la demanda de oxígeno, lo que facilita la descomposición de los pigmentos (Margalef, 1982). En consecuencia, los bajos contenidos de MO encontrados en la zona justifican también los de pigmentos.

El establecimiento de esta relación es complejo dado que la dinámica marina altera el depósito de plancton en la vertical correspondiente. En zonas profundas de la plataforma, el modelo hidrodinámico general permite suponer que los pigmentos presentes en los sedi-

mentos proceden de zonas distantes, ya que las corrientes hacen difícil establecer una correspondencia simple entre el plancton presente en las aguas suprayacentes y el depositado. Lo más viable es suponer que el material depositado en este área proceda del sector más occidental del Golfo de Cádiz y en cierta proporción de áreas atlánticas externas.

En zonas menos profundas de la plataforma y Bahía de Cádiz, la correlación entre sedimento y plancton presente en la masa de agua es verosímilmente posible, siempre que el flujo y reflujos de las mareas y acción de los temporales se compensen de algún modo, dando lugar a una distribución cuyos contenidos máximos se encuentran en el centro geográfico de ésta (Figura 6). Por otra parte, la variación de los contenidos en la vertical de los sedimentos indica un decremento de concentración con la profundidad en el testigo, igual que ocurre con otros componentes biogénicos.

La distribución de contenidos de los elementos metálicos pesados en la plataforma continental muestra focalizaciones con concentraciones anómalamente elevadas, especialmente frente a la Bahía de Cádiz y la desembocadura del río Guadalquivir, coincidentes con la presencia de cañones submarinos que tienen su cabecera en la plataforma continental.

Por otra parte, la correlación de muchos de estos elementos con minerales de la fracción pesada (silimanita, andalucita, estauroлита, cianita, cloritoide y turmalina) relacionados con los aportes del río Guadalquivir, permite pensar que una parte de estos elementos procedan de dicha fuente y, también, la posibilidad de una cierta alteración de las medidas de los contenidos de minerales pesados por rotura de las redes cristalinas de los minerales al ser atacados químicamente. A este respecto, la falta de correlación directa con la mayor parte de los componentes terrígenos mayoritarios de las diferentes fracciones granulométricas permite suponer que los procesos de acumulación y/o fijación de los metales pesados en el sedimento se deben fundamentalmente a procesos de origen marino, excepto en las zonas donde se han realizado vertidos.

Los resultados de los análisis factoriales revelan tres asociaciones de metales pesados: 1) Ni, Co, Fe, Cd y Pb, bien correlacionada con el limo; 2) Mn y Zn, que correlaciona mejor con la arcilla; y 3) Pb, Cu y Zn, elementos que mejor correlacionan con la materia orgánica.

La falta de correlación entre el Cd y Zn y su inclusión en factores diferentes apoya la hipótesis de la existencia de vertidos industriales en puntos de la plataforma. La distancia de estos puntos a la costa permite suponer que se realizan desde buques y no directamente desde el continente. Boyer (1985), considera valores de 60 ppm de Pb indicadores de un alto nivel de contaminación.

Queremos mostrar al Prof. Manuel García Vargas, del Dpto. de Química Analítica de la Univ. de Cádiz nuestro agradecimiento por la ayuda prestada en los distintos análisis químicos, y al Prof. Juan Luis González Caballero, del Dpto. de Matemáticas de la Univ. de Cádiz su colaboración en el tratamiento estadístico de los datos.

Bibliografía

- Aloisi, J.C. (1986): Sur un modèle de sédimentation deltaïque. Contribution à la connaissance des marges passives. *Tesis Doctoral*. Univ. Perpignan. 162 pp.
- Boyer, H.A. (1985): Trace metal in the water, sediments and fish of the Upper Mississippi river. Twin Cities metropolitan Area. In: *Contamination in the Mississippi River* (J.G. Weener et al. Eds). *Proc. Annu. Meet. River Rest. Butterworth*, Boston. 195-230.
- Chester, R. (1990): *Marine geochemistry*. Unwin Hyman, London. 698 pp.
- Correns, C.W. (1939): Pelagic sediment of the North Atlantic Ocean. In: *Recent Marine Sediments* (Trask, P.D. Ed). Dover, New York. 373-395.
- El-Rayis, O.A. (1985): Re-assessment of the titration method for determination of organic carbon in recent sediments. *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.*, 29-7: 45-47.
- Faganelli, J., Planine, R., Pezdic, J., Smodis, B., Stegnar, P. y Ogorlec, B. (1991): Marine geology of the Gulf of Trieste (Northern Adriatic): Geochemical aspects. *Marine Geology*, 99: 93-108.
- Gaudette, H.E., Flight, W.R., Torner, L. y Folger, D.W. (1974): An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. *J. Sediment. Petrol.*, 44: 249-253.
- Guitian, F. y Carballas, T. (1976): *Técnicas de análisis de suelos*. Ed. Pico Sacro, Santiago de Compostela. 288 pp.
- Gutiérrez Mas, J.M. (1992): Estudio de los sedimentos recientes de la plataforma continental y Bahía de Cádiz. *Tesis Doctoral*, Univ. Cádiz. 364 pp.
- Gutiérrez Mas, J.M. y Villanueva Guimerans, P. (1987): Estudio granulométrico y geoquímico de los sedimentos recientes no consolidados de la plataforma continental próxima a Cádiz. *III Seminario de Química Marina*, Cádiz: 149-170.
- Gutiérrez Mas, J.M.; Domínguez Bella, S., González Caballero, J.L., López Galindo, A., Galindo Riaño, M., Martínez, P. y García Vargas, M. (1992). Variación batimétrica de minerales y metales pesados y sus relaciones con otros componentes de los sedimentos marinos. *VI Seminario de Química Marina*. Cádiz. Serv. Public. Univ. Cádiz (en prensa).
- López Galindo, A. (1986). Las facies oscuras del Cretácico Medio en la Zona Subbética. Mineralogía y sedimentación. *Tesis Doctoral*, Secret. Public. Univ. Granada. 267 pp.
- Lorenzen, C.J. (1974): Chlorophyll degradation products in sediments of Black Sea. *Contribution n° 2828*. Woods Hole Oceanographic Institutions.
- Margalef, R. (1958): La sedimentación orgánica y la vida en los fondos fangosos de la Ría de Vigo. *Investigaciones Pesqueras*, 11: 67-100.
- Margalef, R. (1982). *Ecología*. Ed. Omega. 851 pp.
- Orr, W.L. y Grady, J.R. (1957): Determination of chlorophyll derivatives in marine sediments. *Deep Sea Research*, 4: 263-271.
- Paropkari, A.L. (1990): Geochemistry of sediments from the Mangalore-Cochin shelf and upper slope of southwest India: Geological and environmental factors controlling dispersal of elements. *Chem. Geology*, 81: 99-119.
- Rittmberg, S.G., Emery, K.O. y Orr, W.L. (1955): Regeneration of nutrients in sediments of marine basins. *Deep Sea Research*, 3: 23-45.
- Saito, Y. (1991): Sequence stratigraphy on the shelf and upper slope in response to the latest Pleistocene-Holocene sea-level changes off Sendai, northeast Japan. *Spec. Publ. Int. Ass. Sediment*, 12: 133-150.
- Segado, M., Gutiérrez, J.M., Hidalgo, F., Martínez, J.M. y Cepero, F. (1984): Estudio de los sedimentos recientes de la plataforma continental gaditana entre Chipiona y Cabo Roche. *Bol. Geol. Miner. T.XCV-IV*, 310-324.
- Stackelberg, U.V. (1972): Facies of sediments of the Indian-Pakistan continental margin (Arabian Sea). *Meteor. Forschungsber. Reihe C*, 9: 1-73.
- Shull, S. y Bray, N.A. (1989): Gibraltar Experiment CTD. *Data Report II. Scr. Inst. Oceanog. Reference Series*, 89-23: 258 pp.
- Stefanini, S. (1969): Distribuzione del carbonio e dell' azoto organici nei sedimenti recenti dell' Adriatico settentrionale tra Venezia e Trieste. *Pubbl. Mus. Frivlano Storia Natural*, 10: 21 pp.
- Trask, P.D. (1939): Organic content of recent marine sediment. In: *Recent Marine Sediments* (P.D. Trask, Ed.). Dover, New York. 428-459.
- Varela, M. (1981): El problema de la determinación de clorofila-a en el fitomicrobentos: discusión sobre la metodología. *Oecología aquatica*, 5: 7-19.
- Villanueva Guimerans P. y Gutiérrez Mas, J.M. (1993). The hydrodynamic of the Gulf of Cádiz and the interchange of water mass through Strait of Gibraltar. *Inter. Hydrog. Bur. Rew. Mónica* (en prensa).

Recibido el 16 de setiembre de 1993; aceptado el manuscrito revisado el 7 de marzo de 1994