

CONTAMINACIÓN METÁLICA EN LOS SEDIMENTOS LITORALES DEL NORTE DEL GOLFO DE CÁDIZ (SO DE ESPAÑA)

F. Ruiz Muñoz¹, M. L. González-Regalado¹, J. M. Muñoz² y J. C. Fernández Caliani¹

¹ Departamento de Geología, Universidad de Huelva, 21819-Palos de la Frontera (Huelva).

² Departamento de Estadística e Investigación Operativa, Universidad de Sevilla, 41071-Sevilla.

Resumen: El estudio geoquímico de los sedimentos superficiales del litoral de Huelva ha permitido establecer el área marina bajo la influencia de las aguas muy contaminadas de los ríos Tinto y Odiel. Esta zona está localizada al SE de Mazagón, con concentraciones moderadas de Cu, Pb, Zn y Hg. Las muestras tomadas en el sector Isla Cristina-Punta Umbría presentan una polución notablemente menor. Un nuevo foco con una importante contaminación en Hg y Cr ha sido detectado en las arenas muy finas situadas frente a Isla Cristina, siendo esta elevada contaminación de origen desconocido.

Palabras clave: Metales pesados, efluentes industriales, minería, sedimentos superficiales, litoral de Huelva, SO España.

Abstract: The geochemical study of shallow sediments of the Huelva littoral allows us to establish the marine area under the influence of very polluted inputs from the Tinto and Odiel rivers. This zone is located southeastern Mazagón and it shows moderate concentrations of Cu, Pb, Zn and Hg. Samples collected from Isla Cristina to Punta Umbría are very less polluted. A new polluted focus has been detected in very fine sands located in front of Isla Cristina. The origin of this highly polluted area is unknown at the present time.

Key words: Heavy metals, industrial wastes, mining, surface sediments, Huelva littoral, SW Spain.

Ruiz Muñoz, F., González-Regalado, M. L., Muñoz, J. M. y Fernández Caliani, J. C. (1997): Contaminación metálica de los sedimentos litorales del norte del Golfo de Cádiz (SO España). *Rev. Soc. Geol. España*, 10 (1-2): 107-115.

El estuario de los ríos Tinto y Odiel se incluye entre las áreas más contaminadas del mundo. La fuente de esta polución incluye:

a) una importante cantidad de material en suspensión aportado por ambos ríos desde la Faja Pirítica Ibérica, una de las zonas mineras más importantes de Europa, con yacimientos de Cu, Zn, Pb, Au and Ag. Es el origen principal de la contaminación en Cu (75 %) y Zn (60 %) del estuario (A.M.A., 1994).

b) desde 1960, los vertidos industriales con altos contenidos en metales pesados procedentes de grandes instalaciones industriales (alcalinas, fertilizantes, metalurgia) en el borde del estuario. La mayoría del As (99%), Pb (80 %) y Cd (65 %) medidos en sedimentos estuarinos y litorales proceden de sus efluentes (A.M.A., 1994).

c) contaminación urbana de la ciudad de Huelva. No suele rebasar el 0,2 % de los aportes totales de metales al estuario. Desde 1985, esta zona está sujeta a un Plan Corrector de Vertidos Industriales, bajo supervisión de la Agencia del Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.

El objetivo de este trabajo es intentar delimitar el

alcance de esta contaminación en el sector marino adyacente, comparando sus índices metálicos con los obtenidos en el resto de la costa onubense.

Hidrodinámica y físico-química de las aguas

Los procesos hidrodinámicos dominantes de la zona litoral de Huelva son el régimen mareal, oleaje, deriva litoral y descarga fluvial. El régimen mareal es mesomareal (rango medio de 2,15 m) y semidiurno (Borrego y Pendón, 1989). El oleaje dominante procede del SO, con un 74 % anual (Borrego *et al.*, 1992). Las corrientes de deriva litoral fluyen de W a E en el sector estudiado, transportando sedimentos desde la costa portuguesa a la plataforma española (Cuenca, 1991). El río Guadiana es el principal elemento de aportes fluviales de este sector, con 500-1000 Hm³ en Diciembre-Febrero. Los ríos Tinto y Odiel sólo superan los 100 Hm³ en el mismo período, en tanto que el caudal del río Piedras es muy reducido, debido a la presencia de una presa en su cabecera (Borrego, 1992; Morales, 1993).

En verano, la salinidad se mantiene relativamente

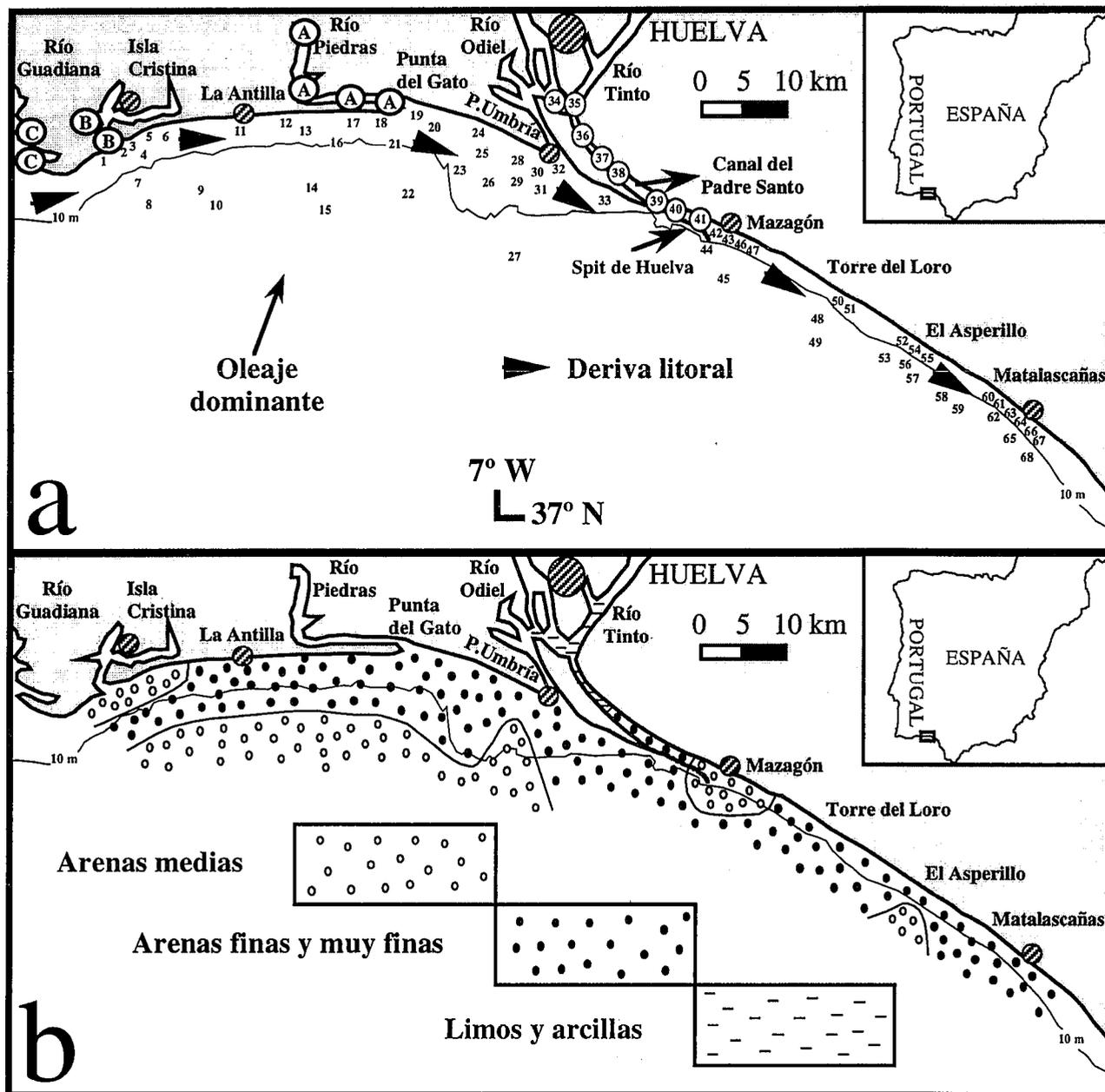


Figura 1.- a) Mapa de situación de las muestras estudiadas (números 1 a 68). A, B y C representan las zonas en las que los datos proceden de Borrego *et al.* (1990), Morales, (1993) y Ruiz Muñoz *et al.* (1996), respectivamente. b) Distribución granulométrica de los sedimentos superficiales del litoral de Huelva.

constante (36 ‰) en todo el sector estudiado. En invierno, el estuario puede presentar una estratificación parcial en la confluencia de los ríos Tinto y Odiel, coincidiendo con los mayores caudales anuales. Aparece una capa superficial de agua dulce (5-15 ‰) y ácida (pH = 2-5) sobre una capa más salina (29-32 ‰) y ligeramente ácida (pH = 5-7) (I.E.O., 1992).

Los niveles de concentración en metales pesados (en ppm) de las aguas marinas someras son bajos (Cu < 44; Zn < 300; Cr < 1; Pb < 80; As < 15; Hg < 0,1). Las aguas de los ríos Guadiana, Carreras y Piedras presentan bajos niveles metálicos, y sólo se detecta una elevada polución en el Canal del Padre Santo (Cu = 100-300; Zn = 610-3100; As = 20-50) (A. M. A., 1988).

Metodología

El sector estudiado abarca el litoral de la provincia de Huelva comprendido entre las localidades de Isla Cristina y Matalascañas, con una profundidad variable entre 3 y 18 m. Dentro de esta zona, se ha incluido el estuario marino de los ríos Tinto y Odiel. Los datos de los ríos Piedras, Carreras y Guadiana han sido tomados de Borrego *et al.* (1990), Morales (1993) y Ruiz Muñoz *et al.* (1996), respectivamente. En estos tres estudios, se analiza el contenido total en metales pesados de los sedimentos de los estuarios onubenses.

Un total de 68 muestras (Fig. 1 a) fueron obtenidas entre Agosto de 1991 y Enero de 1993, mediante una

TABLA I. CONTENIDOS EN ELEMENTOS METÁLICOS Y FACTORES DE CONCENTRACIÓN DE LOS CONJUNTOS DEFINIDOS

CLASIFICACIÓN Muestras	Cr			Cu			Pb			As			Zn			Hg		
	MÁXIMO	MÍNIMO	MEDIA	MÁXIMO	MÍNIMO	MEDIA	MÁXIMO	MÍNIMO	MEDIA	MÁXIMO	MÍNIMO	MEDIA	MÁXIMO	MÍNIMO	MEDIA	MÁXIMO	MÍNIMO	MEDIA
GRUPO 1 34-35-36-38	150	66	106,5	1830	936	1514	926	400	755,2	850	420	677,5	2300	1400	1927,5	11,6	5,4	8,0
GRUPO 2																		
SUBGRUPO 2.1																		
Asociación 2.1.1 7-14-25-29	81	54	69	48	22,1	34	69	20	37,2	64	16	31	195	142	163,2	1,2	0,2	0,5
Asociación 2.1.2 8-9-12-13-17-18-19-20-24-50-54-57	62	43	54,6	72,2	18,2	38,4	60	15	40,2	46	15	27,7	335	135	200	0,7	0,1	0,3
Asociación 2.1.3 21-45-46-47-48-49-51-52-53-55-60-62-64	50	33	40,3	400	43	102,5	105	42	69,8	154	30	56,5	375	77	278,6	0,9	0,2	0,4
SUBGRUPO 2.2 42			10			85,5			517			82			177			0,1
SUBGRUPO 2.3 37-43-44	53	35	46,3	512	305	412,7	295	135	230,3	300	110	223	828	592	677	2,5	1,2	1,7
SUBGRUPO 2.4 1-2-3-4-5-6-10-11-15-16-22-23-26-27-28-30-31-32-33-39-40-41-56-57-58	33	3	17,1	54,6	3,1	21,7	126	1	23,6	57	6	22,7	252	31,2	103,7	0,3	0,0	0,1
GRUPO	Cr		Cu		Pb		As		Zn		Hg		GRADO DE CONTAMINACIÓN					
	FACTOR DE CONCENTRACIÓN	MEDIA	FACTOR DE CONCENTRACIÓN	MEDIA	FACTOR DE CONCENTRACIÓN	MEDIA	FACTOR DE CONCENTRACIÓN	MEDIA	FACTOR DE CONCENTRACIÓN	MEDIA	FACTOR DE CONCENTRACIÓN	MEDIA						
GRUPO 1	> 4		> 43		> 17		> 17		> 13		> 54		MUY ELEVADO					
SUBGRUPO 2.3	2 - 3	3	14 - 24	19	6 - 12	10	5 - 13	10	6 - 8	7	12 - 25	17	ELEVADO					
Asociación 2.1.3	2 - 3	2	2 - 18	5	2 - 4	3	1 - 7	2,5	1 - 4	3	2 - 9	4	MODERADO					
SUBGRUPO 2.4	1		4		22		4		2		1		MODERADO					
Asociación 2.1.1	3 - 5	4	1 - 2	2	1 - 3	2	1 - 3	1,5	1 - 2	1,5	2 - 12	5	BAJO					
Asociación 2.1.2	2 - 4	3	1 - 3	2	1 - 3	2	1 - 2	1,2	1 - 3	2	1 - 7	3	BAJO					
SUBGRUPO 2.4		1		1		1		1		1		1	BACKGROUND					

draga de Van Veen modificada. Una fracción de 200 gr fue separada para su estudio granulométrico y levigada por tamices de diámetro de malla comprendido entre 2 y 0,063 mm. Otra parte (10 a 25 gr) se destinó al estudio del contenido en metales pesados. La técnica de preparación de las muestras es la descrita en las normas ASTM (volumen 11.02), que básicamente consiste en:

a) Se dejan decantar para eliminar el exceso de agua.

b) Se separan dos fracciones y se secan, hasta pesada constante, a 87° C y 60° C, al objeto de evitar pérdidas de los metales volátiles. La primera se utiliza para analizar Cr, Cu, Pb, Zn y Hg y la segunda para medir los contenidos en As.

c) Las muestras se envían al laboratorio dentro de los dos días siguientes a su toma.

Se han determinado los contenidos totales debido a la ausencia o porcentaje inferior al 1 % de limos y arcillas en más del 50 % de las muestras. Cromo, cobre, zinc y plomo fueron determinados mediante fluorescencia de Rayos X, en tanto que la espectrofotometría de absorción atómica se utilizó para arsénico y mercurio

(técnica del vapor frío), en los laboratorios X-Ray Assay de Toronto (Canadá), previa molienda en mortero de ágata en todos los casos. La digestión fue realizada con $\text{NO}_3\text{H-SO}_4\text{H}_2$ en caliente (fracción secada a 60° C) y $\text{NO}_3\text{H-ClO}_4\text{H}$ en caliente (fracción secada a 87° C).

Los datos geoquímicos obtenidos se han comparado con los presentados por Pérez *et al.* (1991) en el estudio de la fracción limo-arcillosa (< 63 μm) del estuario de Huelva. Los resultados obtenidos en el análisis de muestra total de los sedimentos litorales son similares a los detectados en la analítica de la fracción limo-arcillosa de 16 muestras del sector estudiado, a menos de 10 m de profundidad (A.M.A., 1988).

El análisis estadístico de los resultados se efectuó mediante el método *Quick cluster* (método de las k-medias de Anderberg, 1973), una aplicación del programa estadístico SPSS. En este método, es necesario predeterminar el número de grupos que se desean. El proceso se repitió en tres pasos sucesivos, con un cuarto paso a modo de resumen:

Primer paso. Se intentan diferenciar las muestras

con mayor índice de contaminación. Para ello, se predeterminaron dos grupos, formados por 4 y 64 muestras, respectivamente. Todas las variables (metales pesados) eran significativas (probabilidad = $p < 0,01$).

Segundo paso. Un nuevo análisis *cluster* fue aplicado a las muestras incluidas en el grupo 2. El agrupamiento geográfico fue el criterio seguido en la preselección del número de grupos. Los cuatro subgrupos predeterminados se diferenciaban significativamente por los contenidos en Cr, As, Hg y Zn, en tanto que Cu ($p = 0,506$) y Pb ($p = 0,159$) quedaban excluidos.

Tercer paso. El subgrupo 2.1 fue subdividido en tres asociaciones, en base a los valores de Cr, Cu, Pb, As y Zn, descartándose el Hg ($p = 0,326$) en el análisis de la varianza.

Cuarto paso. El subgrupo 2.4 definido incluye las muestras menos contaminadas del sector. Su media se considera como representativa del *background* metálico para el litoral de Huelva y se compara con el resto de los grupos determinados (Fig. 4, d). Se define el factor de concentración (Fc) como el cociente entre el contenido metálico de los diferentes grupos determinados y la media del subgrupo 2.4., para cada uno de los metales determinados (Tabla I).

Resultados

Análisis granulométrico

El sector estudiado puede dividirse en tres áreas bien diferenciadas:

a) Isla Cristina - Punta Umbría. A profundidades inferiores a 10 m, predominan las arenas finas. La única excepción se presenta en la desembocadura del río Carreras, donde la influencia del río Guadiana se traduce en importantes porcentajes de arenas medias (40-86 %) y gruesas (hasta el 40 %) (Fig. 1, b). Los sedimentos más profundos (> 10 m) están constituidos principalmente por arenas medias y gruesas con numerosas conchas de Bivalvos.

b) Estuario marino de los ríos Odiel y Tinto. Los sedimentos presentan una gran clasificación decreciente desde la confluencia de ambos ríos (limos arenosos) hacia el final del *spit* de Huelva (arenas medias bioclásticas).

c) Mazagón - Matalascañas. Es un área relativamente homogénea, con arenas finas y muy finas dominantes. Importantes contenidos en arenas medias pueden aparecer esporádicamente a más de 10 m, frente a El Asperillo. Los contenidos en limos y arcillas permanecen relativamente constantes (0-3 %).

Distribución de metales pesados

Cromo

Las concentraciones varían entre 3 y 150 ppm, con valores inferiores a 40 ppm en la mayoría de las muestras (Fig. 2 a). El estuario marino interno presenta niveles de contaminación elevados (muestra total = 100-150 ppm; $< 63 \mu\text{m} = 150-290$ ppm). Las

muestras recogidas en el sector de Mazagón (5-6 m), SW de Punta Umbría (6-9 m) y en las proximidades de Isla Cristina (11-16 m) presentan valores intermedios (60-80 ppm).

Cobre

Se observan valores elevados (muestra total = 900-1830 ppm; $< 63 \mu\text{m} = 4700-5400$ ppm) en la parte interna del estuario marino de los ríos Tinto y Odiel (Fig. 2 b). Concentraciones moderadas (100-450 ppm) se han detectado entre Mazagón y Torre del Loro, a profundidades comprendidas entre 11 y 14 m. En el resto del sector estudiado, puede observarse medias inferiores en el sector Isla Cristina-Punta Umbría (20-30 ppm) respecto a la zona oriental (40-70 ppm).

Plomo

Alcanza proporciones importantes (muestra total = 260-930 ppm; $< 63 \mu\text{m} = 3700-4200$ ppm) en los limos arenosos localizados en la intersección entre los ríos Tinto y Odiel (Fig. 2 c). Los contenidos son elevados (200-500 ppm) en las muestras estuarinas próximas al final del *spit* de Huelva, disminuyendo a 100-120 ppm en una franja comprendida entre Mazagón y El Asperillo, entre 10 y 15 m de profundidad. Valores similares (125 ppm) se encuentran a 16 m, frente a La Antilla.

Arsénico

El área más contaminada se sitúa en la zona interna del estuario (muestra total = 300-850 ppm; $< 63 \mu\text{m} = 3100-4400$ ppm). En el resto, sólo se superan las 50 ppm entre Mazagón y Torre del Loro, así como en algunas muestras profundas (16 m) situadas frente al río Piedras y La Antilla (Fig. 3 a).

Zinc

Importantes concentraciones de este metal (muestra total = 1400-2300 ppm; $< 63 \mu\text{m} = 3800-6500$ ppm) se observan en la confluencia de los ríos Tinto y Odiel (Fig. 3 b). Niveles medios (200-400 ppm) aparecen en tres sectores: a) Mazagón-Matalascañas, sobre todo a menos de 10 m; b) Punta del Gato - Punta Umbría; y c) Isla Cristina, a 16 m. El resto de las muestras situadas al W de Punta Umbría no suelen superar las 160 ppm.

Mercurio

Los contenidos más altos se presentan en las zonas internas del estuario (muestra total = 2,5-11,6 ppm; $< 63 \mu\text{m} = 15-36$ ppm). Esta polución continúa presente, en menor grado, en las arenas finas y muy finas localizadas desde Mazagón hasta El Asperillo, entre 10 y 15 m (1,2 a 0,5 ppm), disminuyendo hacia el SE (Fig. 3 c). Un grado similar de contaminación se detecta en los sedimentos situados frente a Isla Cristina, a 16 m. En el resto de las muestras, los valores medios se sitúan entre 0,1 y 0,3 ppm.

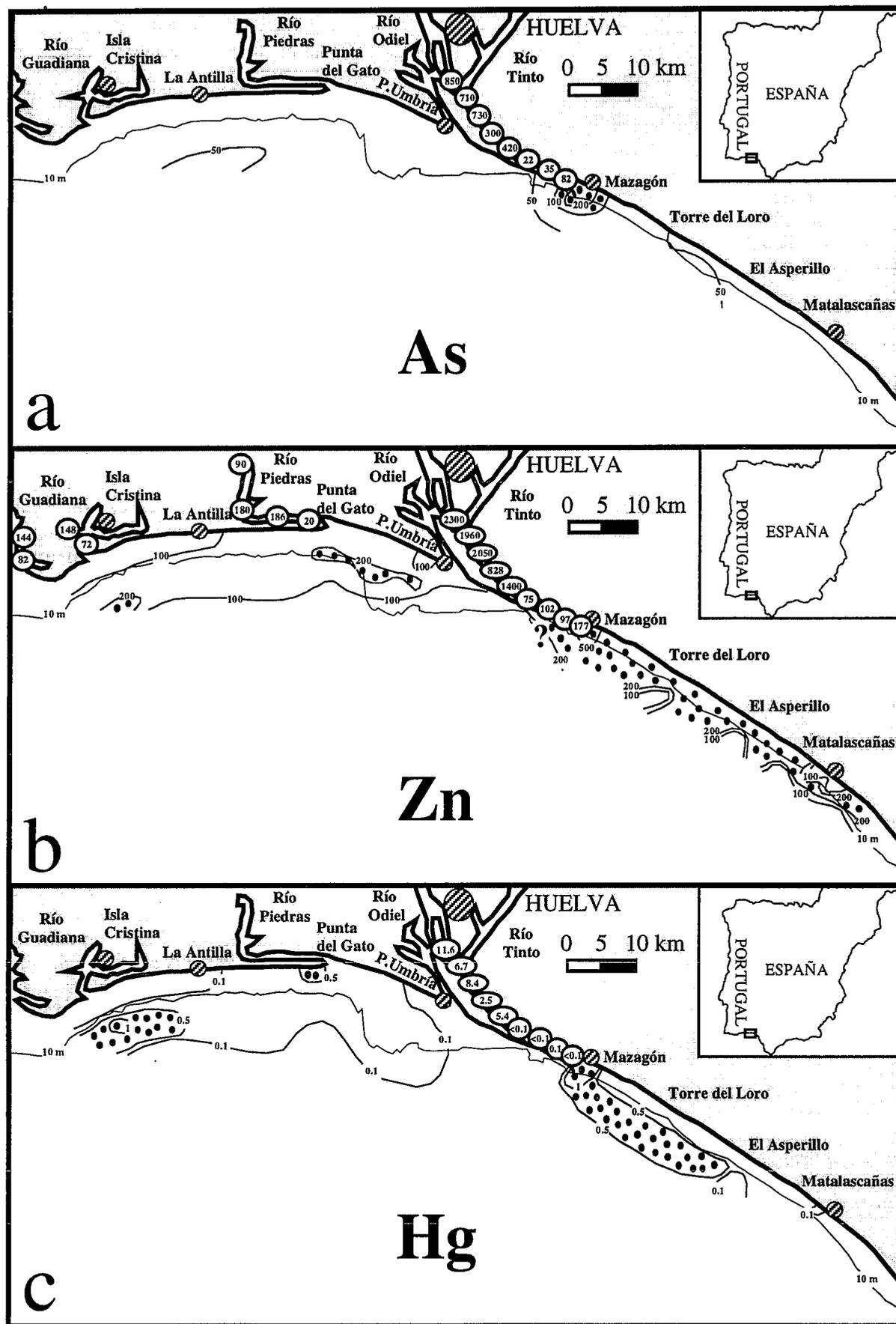


Figura 3.- Mapa de isoconcentraciones de As (a), Zn (b) y Hg (c). Círculos: concentraciones en muestras estuarinas. Punteado grueso: zona litoral más contaminada.

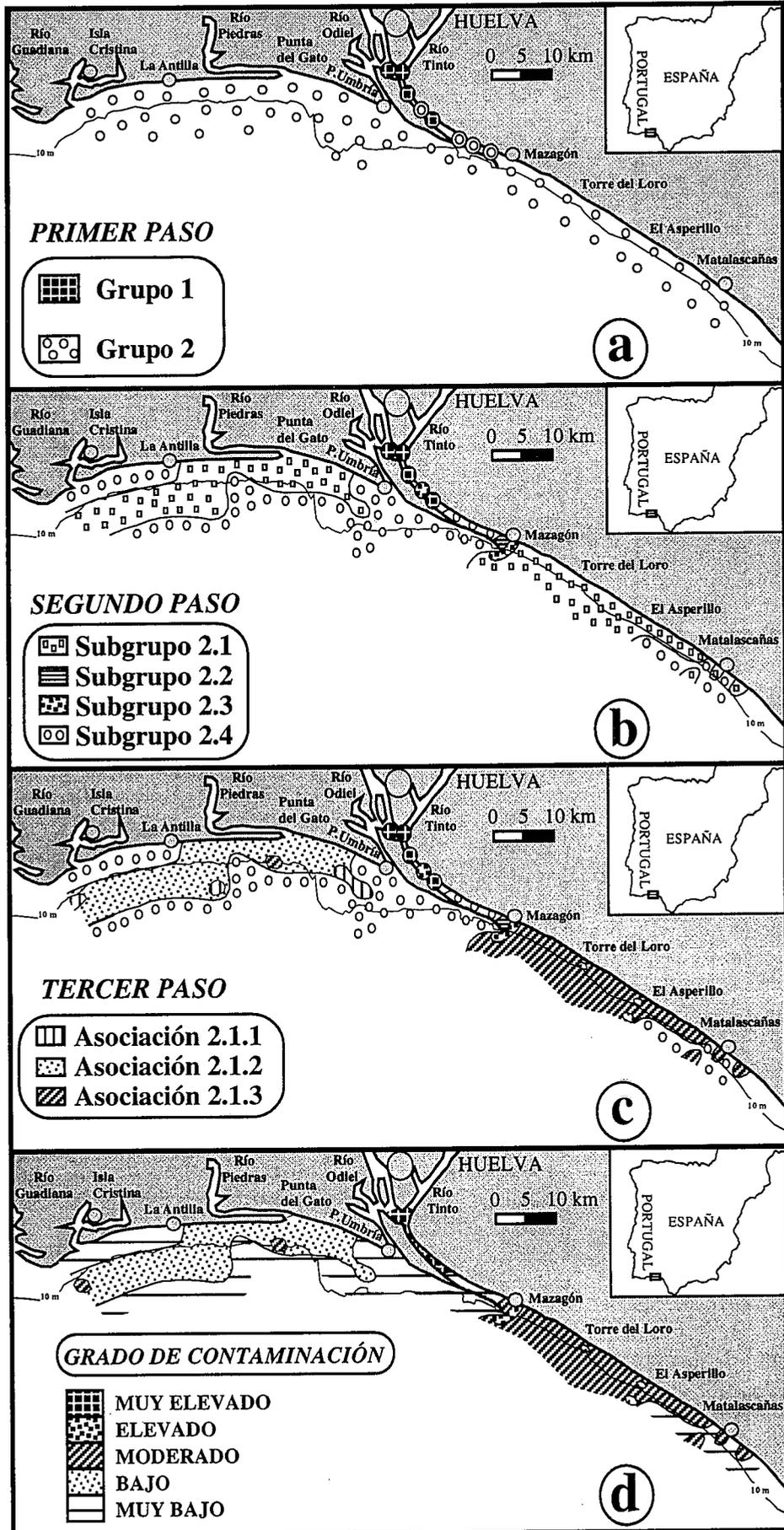


Figura 4.- Mapa-resumen del análisis estadístico efectuado.

Análisis estadístico: comparación con otras áreas

Primer paso (Fig. 4 a): El Grupo 1 aglutina las muestras más contaminadas del sector estudiado, localizadas en el estuario de los ríos Tinto y Odiel. Los factores de concentración (Fc) son muy elevados, sobre todo para Cu y Hg (muestra total: $Fc > 40$; $< 63 \mu\text{m}$: $Fc > 150$). Los valores de Cr son tres veces superiores a la media de los sedimentos en otras zonas muy polucionadas por vertidos industriales y urbanos, como los de la ría de Bilbao (Pascual, 1990). Los contenidos de Hg son semejantes a los obtenidos por Clark *et al.* (1970) y Cline y Upchurch (1973) en sedimentos acuáticos de Norteamérica contaminados por vertidos de industrias cloroalcalinas, en tanto que los índices de Pb son dos veces superiores a los determinados junto al emisario de la planta depuradora Barcelona-Besós, uno de los sectores más contaminados del litoral catalán (Palanques y Díaz, 1990). Estas cifras medias lo incluyen entre los estuarios más contaminados del mundo (Forstner, 1983), con índices de contaminación hasta 30 veces superiores al resto de los estuarios onubenses (Borrego *et al.*, 1990; Morales, 1993; Ruiz Muñoz *et al.*, 1996).

Segundo paso (Fig. 4 b): El Grupo 2 se divide en cuatro subgrupos:

Subgrupo 2.1. Comprende 30 muestras localizadas en todo el área de estudio, sobre todo en las áreas Isla Cristina-Punta Umbría y Mazagón-Matalascañas.

Subgrupo 2.2. Esta compuesto por la muestra 42, en la zona terminal interna del spit de Huelva. Su carácter diferenciador es el elevado contenido en Pb ($Fc = 22$), en tanto que el resto de elementos se encuentra en bajas o moderadas proporciones ($Fc < 5$).

Subgrupo 2.3. Las muestras correspondientes a este subgrupo están localizadas en el Canal de Padre Santo y en las proximidades de Mazagón. Los índices de contaminación son importantes en todos los metales ($Fc = 5 - 25$), excepto para el Cr (Tabla I). Estas zonas presentan concentraciones similares (100-200 ppm) a las observadas en zonas litorales australianas contaminadas por vertidos industriales y urbanos (Marshall, 1983).

Subgrupo 2.4. Engloba las muestras más someras del área Isla Cristina-La Antilla, así como el área más profunda situada al W del estuario. También está bien representado cerca de Matalascañas. Su presencia en el estuario de los ríos Tinto y Odiel es consecuencia de los depósitos residualés de conchas presentes cerca de la desembocadura, con más del 45 % de bioclastos, entre el 25 y 45 % de arenas medias y una fracción limo-arcillosa inferior al 1 %, reflejo de la selección realizada por las corrientes mareales bidireccionales.

Tercer paso (Fig. 4 c): Pueden diferenciarse 3 asociaciones en el subgrupo 2.1:

Asociación 2.1.1. Las cuatro muestras se encuentran en el sector Isla Cristina-Punta Umbría, a profundidades comprendidas entre los 8 y 14 m. Los contenidos metálicos en Cu, Pb, As y Hg son bajos o muy ba-

jos ($Fc = 1-2$). Cromo y mercurio se encuentran en concentraciones moderadas ($Fc = 4-5$), con una importante anomalía positiva (Hg = 1,2 ppm; Cr = 81 ppm) en la muestra 7, situada frente a Isla Cristina. Estos contenidos en Hg son 6 veces superiores a los observados en las zonas más contaminadas por este metal en el litoral sueco (Kuijpers *et al.*, 1993).

Asociación 2.1.2. Está bien representada en el área Isla Cristina - Punta Umbría y en muestras aisladas situadas entre Torre del Loro y El Asperillo. Los niveles metálicos son bajos ($Fc = 1-3$), con anomalías positivas de Hg ($> 0,6$ ppm) frente a La Antilla.

Asociación 2.1.3. Incluye a la mayoría de las muestras obtenidas entre Mazagón y Matalascañas. Se diferencia de la asociación anterior en los mayores contenidos en Cu, Pb, As y Zn ($Fc = 2-5$), cuyos valores absolutos disminuyen en dirección SE. En general, sus contenidos medios en Zn son entre 3 y 5 veces superiores a los observados en el litoral de la provincia de Cádiz (Gutiérrez-Mas *et al.*, 1994), sector situado inmediatamente al SE de la zona donde se define esta asociación.

Conclusiones

El estudio del contenido metálico de los sedimentos de litoral de Huelva define a los ríos Tinto y Odiel como los principales agentes transportadores de la contaminación a la plataforma adyacente. Las muestras analizadas en el sector Mazagón-El Asperillo, conectado hidrodinámicamente con el estuario definido por ambos ríos por la deriva litoral, presentan importantes anomalías positivas en Cu, Pb, Zn y Hg. Los contenidos metálicos disminuyen en relación directa a la distancia al estuario de Huelva, con bajos factores de concentración frente a Matalascañas.

Los contenidos en As, Cu y Pb de la zona occidental (Punta Umbría-Isla Cristina) suelen ser casi dos veces inferiores respecto a los sedimentos analizados al E del estuario. En esta zona, aparece una anomalía positiva de Hg y Cr cerca de Isla Cristina, a 16 m de profundidad.

Este trabajo se ha beneficiado de una ayuda de la Asociación de Industrias Químicas y Básicas de Huelva (A.I.Q.B.H.) y se engloba dentro del proyecto «Palecomar», incluido en el II Plan Propio de Investigación de la Universidad de Huelva.

Bibliografía

- A.M.A. (Agencia del Medio Ambiente) (1988): *Determinación del impacto ambiental de los vertidos industriales en el litoral andaluz*. Informe técnico, 99 pp.
- A.M.A. (1994): *Informe Esturion. Informe preliminar. Volumen I*. 234 pp.
- Anderberg, M. R. (1973): *Cluster analysis for applications*. Academic Press, New York, 359 pp.
- Borrego, J. (1992): *Sedimentología del estuario del río Odiel (Huelva, S.O. España)*. Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla. 315 pp. (inédita).

- Borrego, J. y Pendón, J. G. (1989): Caracterización del ciclo mareal en la desembocadura del río Piedras (Huelva). *III Congreso Español de Sedimentología*, Bilbao, Comunicaciones, 1: 97-100.
- Borrego, J., Morales, J. A., Pendón, J. G. y Romero, M. J. (1990): Evolución del contenido en algunos metales pesados en la ría del Piedras (Huelva, España). Consecuencias ambientales. *Geolis*, 4 (1-2): 21-39.
- Borrego, J., Morales, J. A. y Pendón, J. G. (1992): Efectos derivados de las actuaciones antrópicas sobre los ritmos de crecimiento de la flecha de El Rompido (Huelva). *Geogaceta*, 11: 89-92.
- Clark, A., Condon, W. A. y Hoare, J. M. (1970): *Analysis of rocks and stream sediment samples from the Taylor Mountains C-8 quadrangle, Alaska*. U. S. Geological Survey, open file, 110 pp.
- Cline, J. T. y Upchurch, S. B. (1973): Mode of heavy metals migration in the upper strata of lake sediments. *Proc. 16th Conf. Great Lakes Res. Inst. Assoc. Great lakes Res.*, 349-356.
- Cuenca, G. J. (1991): *Proyecto de regeneración de las playas de Isla Cristina*. Memorias M. O. P. T., Madrid, 48 pp.
- Forstner, U. (1983): Metal concentrations in River, Lake and Ocean Water. En: *Metal Pollution in the Aquatic Environment* (Goldberg, E. D., Ed.), 71-109.
- Gutiérrez Mas, J. M., López-Galindo, A., Domínguez Bella, S., Villanueva Guimerán, P. y López-Aguayo, F. (1994): Geoquímica de los sedimentos recientes de la plataforma continental y bahía de Cádiz (SW de España). *Rev. Soc. Geol. España*, 7 (1-2): 169-178.
- I.E.O. (Instituto Español de Oceanografía) (1992): *Variación espacio-temporal de los parámetros físico-químicos y biológicos en la ría de Huelva y área de influencia, en el período 1987-1991*. Informe técnico nº 138, 103 pp.
- Kuijpers, A., Dennergard, B., Albinsson, Y. y Jensen, A. (1993): Sediment transport pathways in the Skagerrak and Kattegat as indicated by sediment Chernobyl radioactivity and heavy metal concentrations. *Marine Geology*, 111: 231-244.
- Marshall, J. F. (1983): Geochemistry of iron-rich sediments on the outer continental shelf off northern South Wales. *Marine Geology*, 51: 163-175.
- Morales, J. A. (1993): *Sedimentología del estuario del río Guadiana (SO España - Portugal)*. Tesis Doctoral, Universidad Sevilla, 300 pp. (inédita)
- Palañques, A. y Díaz, J. I. (1990): Contaminación de metales pesados en los sedimentos superficiales de la plataforma continental de Barcelona (Mediterráneo Noroccidental). *Rev. Soc. Geol. España*, 3 (3-4): 357-372.
- Pascual, A. (1990): *Utilización de los foraminíferos y ostrácodos para un mejor conocimiento del medio ambiente en los estuarios vizcaínos: aplicación a las rías de Guernica y de Bilbao*. Tesis Doctoral, Universidad del País Vasco. 345 pp. (inédita).
- Pérez, M., Usero, J., Gracia, I. y Cabrera, F. (1991): Trace metals in sediments from the «Ría de Huelva». *Toxicological and Environmental Chemistry*, 31-32: 275-283.
- Ruiz Muñoz, F.; González-Regalado, M. L. y Morales, J. A. (1996): Distribución y ecología de los foraminíferos y ostrácodos actuales del estuario mesomareal del río Guadiana (S. O. España). *Geobios*, 29: 513-529.

Manuscrito recibido el 5 de Octubre de 1996

Aceptado el manuscrito revisado el 14 de Mayo de 1997