

DISTRIBUCIÓN DE METALES PESADOS EN SEDIMENTOS DE LAS MARISMAS DEL ODIEL (HUELVA, SO. ESPAÑA)

C. J. LUQUE (1), E. M. CASTELLANOS (2), J. M. CASTILLO (1),
M. GONZÁLEZ (3), M.C. GONZÁLEZ VILCHES (3) &
M. E. FIGUEROA (1)

(1) Departamento de Biología Vegetal y Ecología. Facultad de Biología.
Universidad de Sevilla. Apdo.1095 - 41080 Sevilla. e-mail: cluque@cica.es

(2) Departamento de Ciencias Agroforestales. Facultad de Ciencias Experimentales.
Universidad de Huelva. Palos de la Frontera. 21071 Huelva.

(3) Departamento de Química Inorgánica. Facultad de Química. Universidad de Sevilla.

Resumen. Se ha analizado la distribución y contenido total de metales pesados (Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Pb) en sedimentos de las Marismas del Odiel (SO España). Las concentraciones de estos elementos, obtenidas por espectrofotometría de absorción atómica, fueron muy elevadas para la mayoría de los elementos analizados. Su distribución no es homogénea, ni presenta un patrón geográfico marcadamente definido, pudiéndose encontrar altos niveles repartidos por toda la marisma. Existe cierto gradiente topográfico, con mayores concentraciones en puntos de menor cota. Los puntos de muestreo más aislados de la incidencia mareal y los más expuestos a mar abierto registraron los niveles más bajos.

Palabras claves: Metales pesados, contaminación, sedimentos, Marismas del Odiel

Summary. Atomic absorption spectroscopy has permitted the determination of the content of heavy metals and their distribution in sediments of the Odiel Saltmarshes (SWSpain). A very high metal concentration has been found in most of the samples investigated but their distribution is non-homogeneous and this prevents establishing a geographical pattern. Nevertheless, a certain topographic gradient can be observed: lower levels present the highest concentrations whereas areas unaccessible by tide fluctuations or those exposed to the sea present the lowest index of contamination.

Key-words: Heavy metals, contamination, sediments, Odiel Saltmarshes

1. Introducción

Las marismas son ecosistemas muy vulnerables a la contaminación por metales pesados, dada su localización en la desembocadura de ríos, generalmente utilizados como sumideros de residuos (Beeftink,

1977). Además, la naturaleza plana del paisaje estuarino, la disponibilidad del agua en sus proximidades y la cercanía del mar como vía de comunicación han hecho que estas zonas sean una de las más reclamadas para el desarrollo industrial (Long y Mason, 1983). Todo ello ha provocado que los estuarios estén sometidos a un gran impacto, generado por la intensa contaminación tanto orgánica como inorgánica.

Algunos metales pesados, como el Fe, Cu, Zn, etc., son necesarios para determinados procesos biológicos a nivel de trazas (elementos esenciales). El problema surge cuando estos elementos y otros no esenciales (Hg, Pb, etc.) se encuentran en concentraciones excesivamente elevadas para los organismos. A veces, estos elementos pueden constituirse como sustancias con efectos tóxicos incluso a bajas concentraciones, ya que por ejemplo, un metal no esencial como el cadmio puede sustituir a uno esencial como el zinc por su similitud química en una ruta metabólica y conseguir bloquearla (Rainbow, 1985).

Es sabido que los metales ligados a los sedimentos a concentraciones suficientes ejercen efectos adversos sobre la biota residente (Brannon *et al.*, 1980; Birge *et al.*, 1987; Burgess y Scott, 1992). Algunos metales pesados pueden ser absorbidos en altas concentraciones por la vegetación. El mercurio, cobre, níquel, plomo, cobalto, cadmio, entre otros, son los metales que se muestran como los más tóxicos en concentraciones excesivas para las plantas superiores (Alloway, 1995), así como para otros organismos. Esta toxicidad también puede afectar a otros niveles superiores de la cadena alimenticia, tanto por ingesta directa como por la potencial transmisión a través de la red trófica estuarina (Adam, 1990).

Frecuentemente, se han utilizado muestras de sedimentos en áreas costeras para el seguimiento de la contaminación por metales pesados. El mayor problema que presenta el uso de muestras de sedimentos es que éstas no proporcionan una estima directa de los metales pesados disponibles para la biota (Bryan y Hummerstone, 1977; Lyngby y Brix, 1987; Luque, 1996), pues pueden estar en una forma química no disponibles para los organismos, y por tanto no son capaces de absorberlos. La capacidad de captación de los metales pesados por las plantas depende principalmente de las características intrínsecas de la planta y de la proporción de metal que se halle en forma disponible. Pero en las marismas, nos encontramos ante situaciones de continuas fluctuaciones ambientales, que pueden variar ampliamente la disponibilidad de los metales pesados. Para la mayoría de los metales pesados, el pH, el potencial redox, el contenido y características de la materia orgánica, la fuerza iónica y la textura del sustrato son los factores dominantes que determinan la movilidad y la biodisponibilidad en las marismas (Beefink *et al.*, 1982; Rozema *et al.*, 1990). Una disminución de pH y potencial redox favorece la disponibilidad de hierro y manganeso soluble e intercambiable (Gotoh y Patrick, 1974; Hesse, 1971), mientras que un incremento del pH bajo condiciones de anoxia, causaría la precipitación de los metales como sulfuros insolubles, que se inmovilizarían e irían acumulando gradualmente en el sedimento (Lacerda y Abrao, 1984; Otte, 1991).

El objetivo de este trabajo ha sido conocer el contenido total y la distribución de metales pesados en los sedimentos superficiales del Paraje Natural "Marismas del Odiel". Aunque no siempre el contenido en metales pesados en los sedimentos refleja la cantidad disponible en la biota, es muy interesante conocer el potencial contaminante que existe en los sedimentos de esta marisma. De esta forma se puede conocer el máximo grado de toxicidad por metales pesados a la que podrían estar sometidos los seres vivos, suponiendo condiciones ambientales en las que la biodisponibilidad sea máxima.

2. Área de estudio

Las Marismas del Odiel se localizan al sur del estuario que forman los ríos Odiel y Tinto, en la provincia de Huelva (SO España). Su privilegiada localización, en la encrucijada euro-africana, y atlántico-mediterránea, le confiere una composición biológica muy rica y variada, con especies de gran interés a nivel mundial. Existe una tupida red de drenaje, de tipo dendrítico, formada por canales y caños (canales de menor entidad). Esta marisma sufre un problema de marcada importancia ambiental, debido a la entrada de grandes cargas inorgánicas, en gran parte procedentes de fuentes antropogénicas, con un doble origen. El primero, de carácter histórico, es que los ríos Odiel y Tinto nacen y drenan parte de la cuenca minera metalífera de la Faja Pirítica de Sierra Morena, situada al norte de la provincia. Así, el contenido de cationes metálicos desde el nacimiento de ambos ríos es extremadamente elevado. Parte de esta contaminación está ocasionada por los aportes ácidos procedentes de la oxidación natural de los minerales sulfu-

rosos de las explotaciones y escombreras. Estas cargas son transportadas, sin apenas dilución, por los ríos Tinto y Odiel hasta la Ría de Huelva. El río Odiel a su paso por Gibraleón (localidad situada unos pocos km al norte del Paraje) presenta valores medios de acidez de $\text{pH}=3$, con unos aportes de 14000 toneladas anuales de ácidos equivalentes, 2000 de cobre y 4500 de hierro. En el caso del río Tinto, los valores medios evaluados en la localidad de Niebla, próxima a la desembocadura de este río, se sitúan en torno a $\text{pH}=2.5$; lo que supone una contaminación de 16000 toneladas anuales de ácidos equivalentes, 1300 de cobre y 8500 de hierro. Estas cantidades colocan al Tinto entre los ríos más contaminados del mundo (Agencia de Medio Ambiente, 1994a). En segundo lugar, a esto se une la instalación al este de la marisma de un Polo Industrial de Desarrollo a partir de los años sesenta, con numerosas industrias de tipo químico, cuyos residuos potencialmente tóxicos han sido vertidos directamente y sin ningún tipo de control a la ría de Huelva, con anterioridad al Plan de Corrector de Vertidos. Por todo esto, las marismas y el estuario en general, han sufrido un severo deterioro, agravando los problemas ya existentes. En la Tabla 1 se exponen las cargas contaminantes industriales vertidas a la Ría de Huelva durante el período 1992-1993 (Agencia de Medio Ambiente, 1994 b).

Tabla 1. Compuestos y cantidades vertidas a la Ría de Huelva por el Polo Industrial de Desarrollo de Huelva durante el período 1992-1993 (Agencia de Medio Ambiente, 1994 b).

Compounds and quantities dumped into the Huelva Estuary by Huelva Industrial Centers, during the years 1992-1993. (Agencia de Medio Ambiente, 1994 b).

<i>Compuesto (unidad)</i>	<i>1992</i>	<i>1993</i>	<i>Compuesto (unidad)</i>	<i>1992</i>	<i>1993</i>
Sólidos en suspensión (Tm)	176145	50328	Aceites y grasas (Tm)	35.11	92.75
Fenoles (Kg)	33637	31874	Cadmio (Kg)	1138	2526
Fluoruros (Tm)	5863	4953	Cobre (Kg)	21784	21942
Amonio (Tm)	1062	858	Cromo (VI) (Kg)	151.5	109
Fósforo total (Tm)	29575	20706	Mercurio (Kg)	—	769.9
Sulfatos (Tm)	—	37266	Manganeso (Kg)	22743	97652
Arsénico (Tm)	132.8	155	Níquel (Kg)	98.3	1329
Hierro (Tm)	398	1360	Titanio (Kg)	3134	17455
Ácidos (Tm)	3117	1704	Plomo (Kg)	3719	9616
Cianuros (Kg)	62.93	94.15	Zinc (Kg)	80617	96930

3. Materiales y métodos

Se diseñó una extensa red de puntos de muestreos (PM-). (Figura 1). Debían estar representadas tanto zonas expuestas a la fachada próxima a los supuestos causantes de la contaminación, como áreas alejadas. Se tomaron 40 muestras, de los primeros 20 cm superficiales. Las muestras estaban situadas en zonas mareales de la marisma. Se analizó el contenido de cobalto (Co), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), níquel (Ni) y plomo (Pb). En cuatro puntos (PM-2, PM-13, PM-14 y PM-19), situados en orillas de caños, se tomaron dos muestras. Una en posición topográfica más elevada (A) que la otra (B), con diferencias de cota de hasta 2 m de altura, sometidas a distintos grados de inundación, y por tanto de exposición a la carga inorgánica transportada por el agua.

Método experimental de análisis químico

Los restos visibles de vegetación fueron eliminados. Las muestras de sedimentos se secaron a $110\text{ }^{\circ}\text{C}$. El material seco se trituró en mortero de ágata hasta polvo muy fino, y se pesó 0.25 gr para análisis. Para mineralizar las muestras se utilizó el método del ataque triácido: 5 ml de HClO_4 1:4, 5 ml de HNO_3 1:4 y 10 ml de HF concentrado, dejando en digestión fría durante 15 minutos. A continuación se llevó a sequedad en una placa calefactora a temperatura constante sin hervir, hasta desaparición de humos blancos. Al residuo frío y seco se le hizo un nuevo ataque con 5 ml de HClO_4 1:4 hasta sequedad. El residuo se extrajo con 1 ml de HCl concentrado y agua desionizada. La disolución se filtró y se pasó a un matraz aforado.



Figura 1. Situación de los puntos de muestreo, repartidos por todas las Marismas del Odiel.
Location of sample points in the Odiel Marshes

En las disoluciones, se han determinado todos los elementos, empleándose para ello un aparato Perkin Elmer 2380 de espectrofotometría de absorción atómica. Se realizaron 3 análisis por muestra y elemento. Se han utilizado los patrones oficiales de Perkin Elmer para este tipo de análisis. La llama usada en este procedimiento fue de aire-acetileno. Las concentraciones de los patrones utilizadas en cada caso son las oficiales, efectuándose las medidas en las disoluciones de las muestras convenientemente preparadas y diluidas en su caso para la correcta determinación. Las concentraciones de los patrones y los límites de detección se exponen en la Tabla 2.

Tabla 2. Patrones de chequeo, rango linear y límites de detección
Sensivity check, linear range and detection limits

<i>Elementos</i>	<i>Patrones de Chequeo</i> ($\mu\text{g g}^{-1}$)	<i>Rango Linear</i> ($\mu\text{g g}^{-1}$)	<i>Límites de Detección</i> ($\mu\text{g g}^{-1}$)
Co	7	3.5	0.12
Cu	4	5	0.077
Fe	5	5	0.1
Mn	2	2	0.052
Ni	7	2	0.14
Pb	9	20	0.19

4. Resultados y conclusiones

Los valores medios, máximos y mínimos de las 40 muestras analizadas en este trabajo se recogen en la Tabla 3. Las concentraciones de metales pesados encontradas en los sedimentos fueron muy elevadas, en relación con otros estudios de contenidos de metales pesados en sedimentos de marismas y estuarios (Tabla 4). Las concentraciones medias de los elementos analizados son superiores, excepto en el caso del níquel, a los anteriormente citados.

La distribución geográfica de los puntos de muestreo queda reflejada en la Figura 2. En general se cumple que las concentraciones de metales pesados determinados en las cotas topográficas más bajas de los caños superan los niveles detectados en los sedimentos de los bordes superiores. Tan solo en el caso del hierro, en tres de los cuatro puntos de muestreo seleccionados con cotas topográficas marcadamente diferentes se registraron valores mayores en el borde superior (PM-2A, PM-14Ay PM-19A) que en el inferior, mientras que en el caso del plomo fueron dos muestras (PM-2Ay PM-14A). En el resto de los casos, solo en un par de muestras de cada elemento se encontró una carga metálica mayor en el borde superior que en el inferior.

En zonas cercanas a la desembocadura común de los ríos Odiel y Tinto, y próximas al Polo Industrial se han registrado las muestras con las máximas concentraciones de cobre (PM-22 y PM-27), si bien existen puntos cercanos a este área (PM-21, PM-28 y PM-36) que no superan la concentración media de cobre de las 40 muestras analizadas (1196 $\mu\text{g/g}$). Con respecto al contenido de plomo, se observa que las muestras con las concentraciones más elevadas (PM-32, PM-11, PM-22, PM-27 y PM-9) están muy dispersas por todas las marismas. Se encuentran altos niveles en una zona de las marismas, pero las siguientes muestras con un alto contenido se sitúan en el extremo opuesto del Paraje.

El punto de muestreo donde se ha encontrado la media de las mayores concentraciones para todos los elementos ha sido PM-27, seguida por el PM-22. Las dos muestras están situadas en las cercanías del polo industrial y frente a la confluencia de los ríos Tinto y Odiel. Ambas se tomaron en zonas donde cabría esperar estas altas concentraciones, debido a la proximidad de fuentes de metales pesados. Sin embargo, las siguientes muestras con concentraciones medias más altas para todos los elementos (PM-2A, PM-2B, PM-9) se localizan en la marisma norte, alejadas por tanto de los anteriores puntos de muestreos. Además existen puntos más cercanos a algunas fuentes emisoras (PM-28) con menores concentraciones de metales

Tabla 3. Concentraciones máximas, mínimas, medias y error estándar de los 6 elementos analizados en las 40 muestras.
Maximum, minimum and mean concentrations and standar error for the 6 analyzed elements in 40 samples.

	<i>Metales pesados ($\mu\text{g/g}$)</i>					
	<i>Co</i>	<i>Cu</i>	<i>Fe</i>	<i>Mn</i>	<i>Ni</i>	<i>Pb</i>
Media	53	1196	121536	1250	20	946
Error Estándar	8	125	5887	226	10	97
Máximo	198	3605	199000	6094	341	2136
Mínimo	0	30	16240	340	0	94

Tabla 4. Concentraciones de metales pesados en sedimentos de otras marismas y estuarios.
Heavy metals concentrations in saltmarshes and estuary sediments.

Autor/es-(año)	Metales pesados ($\mu\text{g/g}$)					
	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb
Gallagher y Kibby (1980)		86.9				13.1
DeLaune <i>et al.</i> (1981)	(1)	13	13090	87		23
	(2)	18	17740	111		27
Beefink <i>et al.</i> (1982)		3.8-50.1			4.6-34	1.3-112
Nijssen <i>et al.</i> (1985)		135			50	231
Lyngby y Brix (1987)	(3)	153				161
	(4)	369				370
DeLaune <i>et al.</i> (1988)		11	7716	70		
Pardue <i>et al.</i> (1988)	(5)	7.4	1.1		13.6	46.9
	(6)	21.9	2.1		29	151
Otte <i>et al.</i> (1993)	(7)	60				
	(8)	65				
Williams <i>et al.</i> (1994)	(9)	27.1	22596	287	47.7	63.3
	(10)	12.7	17674	253	33.6	33.8
	(11)	26.6	48178	364	35	29
	(12)	45	47000	850	68	20
Bonnevie <i>et al.</i> (1994)	12	237	16661	318	39	421
Este estudio (1992-93)	52	1179	121280	1270	21	946

- (1) Marisma interior
(2) Marisma exterior
(3) Nivel de fondo. Expresado en $\mu\text{g/g}$ de pérdida por ignición.
(4) Valor umbral. Expresado en $\mu\text{g/g}$ de pérdida por ignición.
(5) Sobre marisma con alta tasa de sedimentación.
(6) Sobre marisma con baja tasa de sedimentación.
(7) Marisma de *Spartina anglica*.
(8) Bajo *Aster tripolium*
(9) Marisma alta de Two Three Island. (nmol g^{-1} peso seco)
(10) Marisma baja de Two Three Island. (nmol g^{-1} peso seco)
(11) Marisma alta de Salcott.
(12) Marisma baja de Salcott.

pesados que los tres anteriores. Por el contrario, hay otros puntos de muestreos (PM-15 y PM-16) con elevadas concentraciones de metales pesados, alejados de las zonas anteriormente citadas. No existen, por tanto, áreas concretas donde se localicen las máximas concentraciones de metales pesados, obteniéndose altos niveles tanto al norte como al sur de las Marismas del Odiel.

Estos resultados revelan la existencia de un fuerte proceso de transporte, debido a la intensa hidrodinámica mareal propia de este ecosistema, donde concurre una amplia oscilación mareal, con un régimen mareal medio equinoccial entre 0.40 m y 3.37 m sobre el cero hidrográfico (Castellanos *et al.* 1994), y con valores máximos absolutos de pleamares que alcanzan casi los 4 m durante las mareas vivas equinocciales, así como la presencia de intensas corrientes que hace que los materiales se redistribuyan por todo el estuario.

Por contra, los puntos donde se encontraron las menores concentraciones medias de todos los elementos analizados fueron: PM-30, PM-35, PM-24, PM-4, PM-29, PM-18 y PM-28. Estas muestras están situadas generalmente en puntos de muestreo localizados en zonas fisiográficamente más independizadas de la acción mareal (PM-4 y PM-29), y en áreas más expuestas a mar abierto donde la renovación del agua del estuario es mayor (PM-30 y PM-35).

La distribución geográfica de las muestras no refleja un patrón marcadamente definido de la carga de metales pesados en los sedimentos del Paraje Natural. No se ha encontrado un claro gradiente en el que todas las muestras con las concentraciones más elevadas se localicen en una zona concreta, y a medida que nos alejamos de ésta, las concentraciones fueran disminuyendo. Sí es posible encontrar algunas muestras agrupadas con altas concentraciones de metales, pero en sus proximidades se localizan otras muestras que tienen un bajo contenido. La contaminación que refleja los sedimentos es difusa.

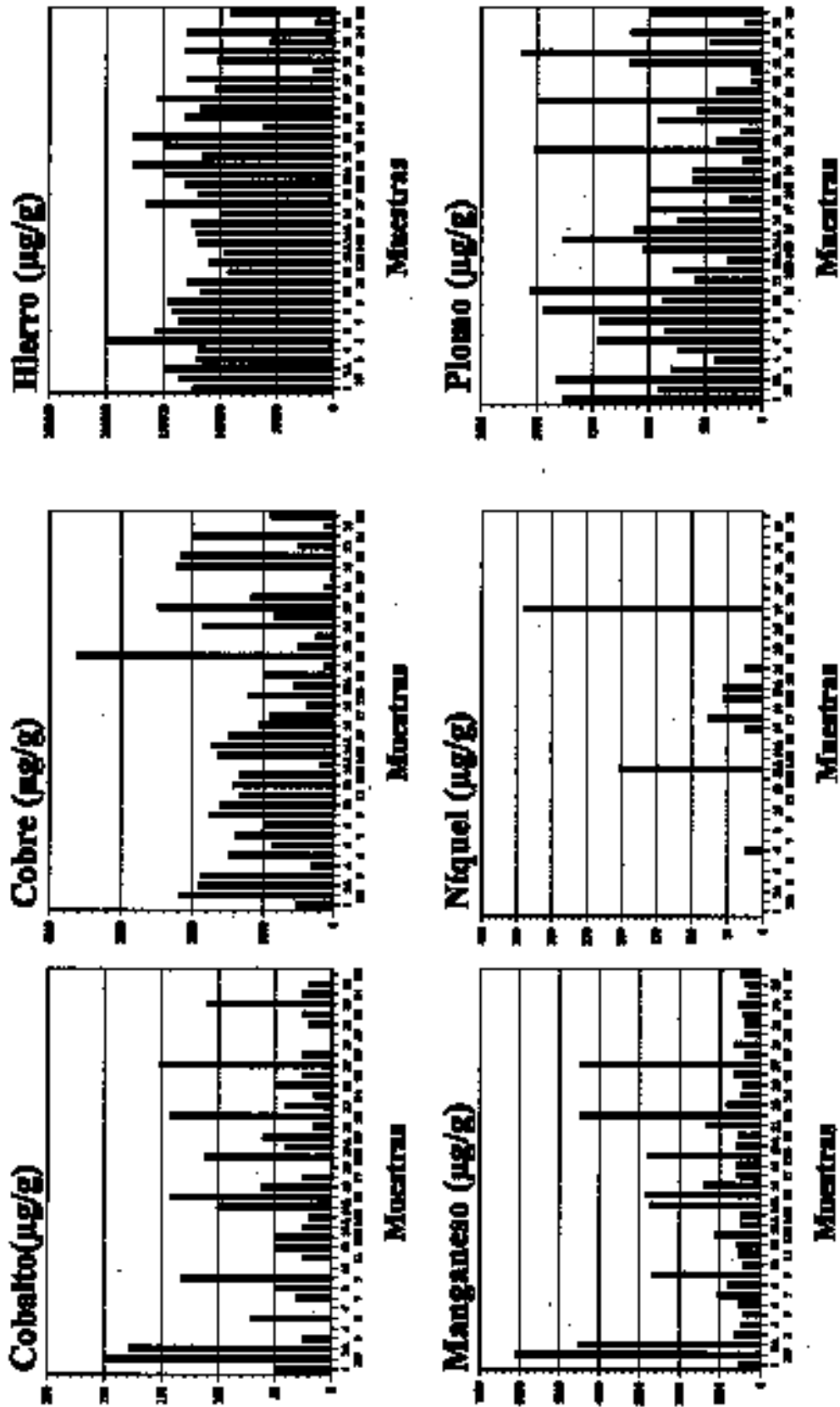


Figura 2. Concentración ($\mu\text{g/g}$) de metales pesados en los diferentes puntos de muestreo de las Marismas del Odiel.
Heavy metals concentrations in each sample point at the Odiel Marshes

Por tanto, el análisis de metales pesados de los sedimentos no sirve como indicador o herramienta para la localización de emisores de metales pesados en este tipo de ecosistema mareal, pues se pueden encontrar grandes variaciones en las concentraciones a pesar de hallarse en áreas próximas a los focos emisores.

Como se comentó anteriormente, las muestras de sedimentos no dan una estima directa de los metales pesados disponibles para la biota. Sin embargo, determinadas modificaciones físico-químicas en el entorno de los sedimentos pueden movilizar los metales pesados, pasando a estar biodisponibles. Esta disponibilidad puede ocurrir con variaciones ambientales fluctuantes, típicas de sistemas mareales sometidos a encharcamientos periódicos (Beeftink *et al.*, 1982). De este modo, dadas las altas concentraciones de metales pesados encontradas, la removilización de los sedimentos y su distribución debido a la hidrodinámica mareal, todos los organismos, independientemente de su localización en las Marismas del Odiel pueden verse afectados por la incorporación de metales pesados. Bonnevie *et al.* (1994), citando numerosos estudios realizados en la bahía de Newark (New Jersey), determinan concentraciones de metales pesados sensiblemente inferiores (excepto el níquel) a las detectadas en las Marismas del Odiel, e indican que los metales pesados de los sedimentos pueden provocar riesgos para la biota acuática. También sugieren que el nivel de contaminantes metálicos en los sedimentos superficiales del estuario está asociado con caídas en las poblaciones piscícolas, una diversidad específica más baja y varias enfermedades.

Estas sustancias son fácilmente acumulables en los sistemas de marismas, y su impacto ambiental es, en algunos casos, complejo de prever. Este trabajo pone de manifiesto un potencial y grave problema ambiental, debido al elevado contenido total de metales pesados en los sedimentos, de donde pueden ser capturados por parte de la vegetación (Luque, 1996), y posteriormente ser transmitidos a herbívoros, además de ser incorporados directamente por los numerosos organismos sedimentófagos presentes en este hábitat. El mayor peligro reside no sólo en la contaminación por metales pesados en sí, sino en su incorporación a la productiva red trófica estuarina, en su magnificación y bioacumulación en los organismos, y en la dificultad para su eliminación. Además hay que indicar que algunos recursos pesqueros y marisqueiros, especialmente en el sur del estuario, son explotados actualmente.

Sin embargo, Adam (1990) y Williams *et al.* (1994) comentan que aunque a veces se han registrado altísimos niveles de iones de metales pesados en los sedimentos de marismas, no han sido advertidos síntomas de toxicidad aguda en plantas. Así, a pesar del alto contenido de metales pesados y su vasta distribución en las Marismas del Odiel, no se han observado evidencias que reflejen alteraciones en la comunidad vegetal, ni en otros organismos, aunque no se descarta que pudieran existir algunos ecotipos vegetales originados por procesos selectivos, capaces de soportar estas altas concentraciones.

Agradecimientos

Le agradecemos a la Dirección del Paraje Natural la colaboración para la realización de este trabajo, así como al Servicio de Evaluación de Recursos Naturales de la Agencia de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, y al Plan Andaluz de Investigación (RNN - 224)

Referencias bibliográficas

- Adam, P. (1990): *Saltmarsh ecology*. Cambridge University Press. Cambridge. Gran Bretaña. 461 p.
- Agencia de Medio Ambiente (1994 a): *Medio Ambiente, Revista de Información Ambiental*. Junta de Andalucía. nº 21. Mayo.
- Agencia de Medio Ambiente (1994 b): *Informe, Medio Ambiente en Andalucía*. Junta de Andalucía.
- Alloway, B.J. (1995): *Heavy metals in soils*. B.J. Alloway (ed.). 2ª ed. Blackie Academic & Professional. 370 p.
- Beeftink, W.G. (1977): Salt-marshes. En R.S.K. Barnes (ed.). *The Coastline*. pp. 93-121.
- Beeftink, W.G., Nieuwenhuize, J., Stoeppler, M. & Mohl, C. (1982): Heavy-metal accumulation in salt marshes from the western and eastern Scheldt. *The Science of the Total Environment*, 25, 199-223.

- Birge, W.J., Black, J.A., Westerman, A.G. & Francis, P.C.** (1987): Toxicity of sediments-associated metals to freshwater organisms: Biomonitoring procedures. En K.L. Dickson, A.W. Maki & W.A. Brungs (eds.), *Fate and effects of sediment-bound chemicals in aquatic systems*. Pergamon Press, New York, NY. pp. 199-219.
- Bonnevie, N.L., Huntley, S.L., Found, B.W. & Wenning, R.J.** (1994): Trace metal contamination in surficial sediments from Newark Bay, New Jersey. *The Science of the Total Environment*, 144: 1-16.
- Brannon, J.M., Plumb, R.H. & Smith, I.** (1980): Long-term release of heavy metals from sediments. En R.A. Baker (ed.) *Contaminants and sediments: Vol 2. Analysis, chemistry, biology*. Ann Arbor Science, Ann Arbor, MI, pp. 221-266.
- Bryan, G.W. & Hummerstone, L.G.** (1977): Indicators of heavy metal contamination in the Looe Estuary (Cornwall) with particular regard to silver and lead. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 57, 75-92.
- Burgess, R.M. & Scott, K.J.** (1992): The significance of in-place contaminated marine sediments on the water column: Process and effects. En G.A. Burton (ed.), *Sediment Toxicity Assessment*. Lewis Publishers, Chelsea, MI, pp. 129-165.
- Castellanos, E.M., Figueroa, M.E. & Davy, A.J.** (1994): Competition and nucleation between *Sarcocornia perennis* and *Spartina maritima* in mediterranean marshes. *Journal of Ecology*, 82(2): 239-248.
- Delaune, R.D. & Pezeshki, S.R.** (1988): Relationship of mineral nutrients to growth of *Spartina alterniflora* in Louisiana salt marshes. *Northeast Gulf Science*, 10(1): 55-60.
- Delaune, R.D., Reddy, C.N. & Patrick Jr., W.H.** (1981): Accumulation of plant nutrients and heavy metals through sedimentation processes and accretion in a Louisiana Salt Marsh. *Estuaries*, 4(4): 328-334.
- Gallagher, J.L. & Kibby, H.V.** (1980): Marsh plants as vectors in trace metal transport in Oregon tidal marshes. *American Journal of Botany*, 67(7): 1069-1074.
- Gotoh, S. & Patrick Jr., W.H.** (1974): Transformation of iron in a waterlogged soil as influenced by redox potential and pH. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, Vol 38: 66-71.
- Hesse, P.R.** (1971): *A Textbook of Soil Chemical Analysis*. Murray. London. 247 p.
- Lacerda, L.D. & Abrao, J.** (1984): Heavy metal accumulation by mangrove and saltmarsh intertidal sediments. *Revista Brasileira Botanica*, 7: 49-52.
- Long, S.P. & Mason, C.F.** (1983): *Saltmarsh Ecology*. Blackie & Son Ltd. London. 160 p.
- Luque, C.J.** (1996): Tipificación, cartografía y contenido en metales pesados de comunidades vegetales de las Marismas del Odiel. Dinámica poblacional del género *Spergularia*. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla.
- Lyngby, J.E. & Brix, H.** (1987): Monitoring of heavy metal contamination in the Limfjord, Denmark, using biological indicators and sediment. *The Science of the Total Environment*, 64: 239-252.
- Nijssen, J.P.J. & Wijnen, E.J.E.** (1985): *Redevelopment of polluted dredged material disposal sites: Consequences of pollutant transfer via flora elements*. Public Works of Rotterdam.
- Otte, M.L.** (1991): Contamination of coastal wetlands with heavy metals: Factors affecting uptake of heavy metals by salt marsh plants. En J. Rozema & J.A.C. Verkleij (eds.). *Ecological Responses to Environmental Stresses*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 126-133.
- Otte, M.L., Haarsma, M.S., Broekman, R.A. & Rozema, J.** (1993): Relation between heavy metal concentrations in salt marsh plants and soil. *Environmental Pollution*, 82: 13-22
- Pardue, J.H., Delaune, R.D., Smith, C.J. & Patrick Jr., W.H.** (1988): Heavy metal concentrations along the Louisiana coastal zone. *Environment International*, 14: 403-406.
- Rainbow, P.S.** (1985): The biology of heavy metals in the sea. *Intern. J. Environmental Studies*, 25: 195-211. Gordon and Breach Science Publishers, Inc and OPA Ltd. U.K.
- Rozema, J., Otte, M.L., Broekman, R., Kamber, G. & Punte, H.** (1990): The response of *Spartina anglica* to heavy metal pollution. *Spartina anglica - a research review*. ITE research publication nº 2. A.J. Gray & P.E.M. Benham. pp. 63-68.
- Williams, T.P., Bubb, J.M. & Lester, J.N.** (1994): The occurrence and distribution of trace metals in halophytes. *Chemosphere*, 28(6): 1189-1199