

Distribución espacial y tendencias temporales de los niveles de metales traza en el litoral de Andalucía utilizando mejillón *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819 como organismo indicador: 1991-2003

J. Benedicto¹, C. Rodríguez², C. Martínez-Gómez¹, J. Guerrero¹ y A. Jornet¹

¹ Centro Oceanográfico de Murcia. Instituto Español de Oceanografía. Varadero, 1. E-30740 San Pedro del Pinatar (Murcia), España. Correo electrónico: benedicto@mu.ieo.es

² Centro Oceanográfico de Santander. Instituto Español de Oceanografía. Promontorio de San Martín, s/n. E-39004 Santander (Cantabria), España

Recibido en enero de 2003. Aceptado en diciembre de 2003.

RESUMEN

Este trabajo presenta la distribución espacial y tendencias temporales de las concentraciones de mercurio, cadmio, plomo, cobre y cinc en mejillones silvestres *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819 (talla 3-4 cm) de la costa de Andalucía, durante el periodo 1991-2003. Las tendencias temporales se obtuvieron aplicando el test de una cola de Mann-Kendall a las medianas de las concentraciones obtenidas en cada localidad y año. Los resultados más destacables son el alto porcentaje de tendencias temporales no significativas (84,61 %) y el predominio de las disminuciones significativas (15,38 %) frente a los aumentos (0 %). Las concentraciones de Hg, Cu y Pb tienden a disminuir, siendo el mercurio el que mejor refleja esta tendencia. Los niveles de metales se encuentran dentro de los rangos obtenidos en otros estudios desarrollados en zonas del Mediterráneo y del litoral atlántico de la península Ibérica y Francia.

Palabras clave: Tendencias temporales, contaminación marina, metales pesados, *Mytilus galloprovincialis*, bioindicadores, Mann-Kendall, calidad de las aguas costeras.

ABSTRACT

Spatial distribution and temporal trends of the levels of trace metals on the Andalusian coast using the mussel *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819 as bioindicator

This paper presents results on spatial distribution and temporal trends for heavy metals (Hg, Cd, Pb, Cu and Zn) in 3-4 cm specimens of the wild mussel *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819 from the Andalusian coast, collected from 1991-2003. Temporal trends were determined applying the Mann-Kendall test (one-sided) to the median concentration values obtained for each year and locality. The most striking results were the high percentage of non-significant trends (84.61 %), and the predominance of significant downward trends (15.38 %), as opposed to upward trends (0 %). The concentrations of Hg, Cu and Pb tended to diminish from 1991, being mercury the metal that best reflects this tendency. The metal levels are within the range obtained in other studies carried out elsewhere in the Mediterranean and Atlantic coasts of the Iberian Peninsula and France.

Keywords: Temporal trends, marine pollution, heavy metals, *Mytilus galloprovincialis*, bioindicators, Mann-Kendall, coastal water quality.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha generalizado el uso de organismos para evaluar los niveles de contaminación en el medio marino. Desde que Goldberg propusiera el uso del mejillón como bioindicador (Goldberg *et al.*, 1978; Goldberg, 1986), el concepto Mussel Watch, o Vigilancia con mejillón, ha sido aplicado a escala nacional e internacional. En Estados Unidos lo aplica la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), a través de su Programa de situación nacional y tendencias (O'Connors, 1992, 1994, 1996; O'Connors y Beliaeff, 1995; Cantillo, 1998). En Francia, el Instituto de Investigación para la Explotación del Mar (Ifremer), a través de la Red Nacional de Observación de la Calidad del Medio Marino (RNO) (Claisse, 1989; Claisse, Joanny y Quintin, 1992; RNO, 1991, 2000) y la Red de Integradores Biológicos (Rinbio) (Andral, Stanisière y Mercier, 2001). A escala internacional se aplicó, en 1991-1992, en América central y América del sur, por la Comisión Oceanográfica Internacional (Tripp *et al.*, 1992), y en las costas del océano Pacífico de diferentes países asiáticos (Monirith *et al.*, 2003).

En la península Ibérica, el concepto Vigilancia con mejillón está siendo aplicado por el Instituto Español de Oceanografía desde 1990. La costa mediterránea ha sido estudiada por el Centro Oceanográfico de Murcia (Rodríguez *et al.*, 1995, 1996; Benedicto *et al.*, 2001; MMA, 2001), y la costa noratlántica, por el Centro Oceanográfico de Vigo (Besada, Fumega y Vaamonde, 2002; MMA, 2001). En la costa vasca lo aplica la Universidad del País Vasco (Soto *et al.*, 2001) y en la costa portuguesa la Universidad del Algarve (Machado *et al.*, 1999).

El objetivo principal de la Red de Mejillón operativa en el Centro Oceanográfico de Murcia, cuyos datos se presentan en este trabajo, es proporcionar a la Administración un sistema adecuado para evaluar el estado actual y las tendencias de la calidad química de las aguas costeras del Mediterráneo peninsular.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para minimizar la variabilidad de las concentraciones, debida a factores bióticos (edad, estado de maduración sexual y otros) y abióticos (temperatura, salinidad y disponibilidad de alimento), por

ejemplo, los muestreos se realizan anualmente, en la época de prepuesta (mayo-junio), manteniendo las mismas condiciones de muestreo.

Las poblaciones naturales de mejillón muestreadas aparecen en la figura 1. En cada punto se toman 4 muestras compuestas por 50 mejillones (3-4 cm). Una vez eliminadas las adherencias y lavados con agua de la zona, se almacenan adecuadamente y se envían refrigerados al Centro Oceanográfico de Murcia.

Para cada población se determina el índice de condición [(peso de carne/peso de las valvas) × 100] utilizando 10 mejillones de talla 4,0 cm. El índice de condición de la población considerada es la media de los valores obtenidos.

Los ejemplares de las tres muestras destinadas a análisis químico son abiertos y drenados en una cabina de flujo laminar, separándose las partes blandas para su liofilización, molturación y homogeneización, hasta conseguir una harina de mejillón. La mineralización de las muestras se realiza en un horno microondas (MDS 2000 650W, CEM), atacando con ácido nítrico y utilizando reactores a presión. Los análisis cuantitativos se realizan con un espectrofotómetro de absorción atómica de llama (Analyst-100, Perkin Elmer) para cinc y cobre; con cámara de grafito (4110-ZL, Perkin Elmer) para cadmio y plomo, y un sistema de análisis por inyección de flujo (FIMS, Perkin Elmer) para mercurio. La metodología aplicada rutinariamente es la expuesta por Rodríguez *et al.* (1995). Los resultados analíticos han sido contrastados mediante la utilización de materiales de referencia certificados (BCR-CRM 278) y la participación en ejercicios de intercalibración dentro del programa Quasimeme. La tabla I muestra los valores de z obtenidos en los ejer-

Tabla I. Valores de "z" obtenidos por el Centro Oceanográfico de Murcia en los ejercicios de intercalibración de metales en mejillón realizados en el marco del programa Quasimeme.

Código	Año	Hg	Cd	Pb	Cu	Zn
QTM013BT	1994	-0,90	-0,50	0,00	0,30	0,10
QTM034BT	1997	-0,53	0,49	4,15	0,86	0,58
QTM037BT	1998	-0,17	-0,14	0,43	-0,41	-0,23
QTM042BT	1999	-0,14	-0,14	0,09	-0,11	0,26
QTM048BT	2000	-0,46	1,32	-0,20	-0,62	-0,48
QTM050BT	2001	-0,53	0,54	0,70	0,30	0,22
QTM053BT	2002	0,19	0,52	0,21	-0,14	0,06
QTM059BT	2003	-0,12	0,95	1,02	-1,50	0,08
QTM061BT	2004	-0,34	0,62	2,51	-0,62	-0,44

Figura 1. Localización de las estaciones de muestreo de mejillón en el litoral de Andalucía.



cicios de intercalibración cuando la matriz utilizada fue mejillón.

Para determinar las tendencias temporales de las concentraciones de metales se aplicó el test no paramétrico de Mann-Kendall (Hollander y Wolf, 1999), calculándose el coeficiente de correlación t-b de Kendall utilizando la mediana de los valores obtenidos anualmente de las tres muestras de cada estación. El uso de este método está recomendado por el grupo de trabajo del Consejo Internacional para la Exploración del Mar sobre Aspectos estadísticos del seguimiento del medio (ICES, 1996).

RESULTADOS

Las medianas anuales de las concentraciones de metales (mg/kg, peso húmedo) para cada estación, se presentan en la tabla II. Durante el periodo considerado, los niveles de Hg estuvieron dentro del rango 0,009-0,343, con un mínimo en La Herradura (1996) y un máximo en Almuñécar (1992). Para el Cd, las concentraciones estuvieron dentro del rango 0,042-0,238, con un mínimo en Algeciras 2 (2000) y un máximo en Calahonda (1998). Para el Pb, el ran-

go fue de 0,127-2,096, con un mínimo en La Herradura (1995) y un máximo en Almería (1997). En el caso del Cu, el rango fue de 0,63-2,370, con un mínimo en La Herradura (1996) y un máximo en Málaga 2 (1992). Por último, el rango para el Zn fue de 18,3-70,8, con un mínimo en Motril (1994) y un máximo en Algeciras 1 (1996). En la tabla III se presentan los valores medios, máximos y mínimos de las concentraciones de metales obtenidas en estudios similares desarrollados en las costas de España, Francia y Portugal, durante la década de los ochenta y noventa. En el estudio realizado por Besada, Fumega y Vaamonde (2002) las concentraciones están expresadas como medianas. Para unificar unidades, las concentraciones originales, expresadas en peso seco, se transformaron en peso húmedo dividiéndolas entre cinco. La tabla III incluye, entre paréntesis, las concentraciones basales de referencia o background (BCRs), establecidas por la Convención de Oslo y París, para áreas del Atlántico norte con ausencia de actividades humanas (Ospar, 2000).

Para evaluar la distribución espacial de las concentraciones de metales se utilizan diagramas de cajas (figura 2), sin considerar los valores atípicos y extremos. Los diagramas permiten distinguir los si-

Tabla II. Medianas (mg/kg de peso fresco) de las concentraciones de metales en mejillones (talla 3-4 cm), de la costa de Andalucía, durante el periodo 1991–2003.

Localidades	Metal	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Almería	Hg		0,036	0,037	0,042		0,031	0,016	0,032					
Calahonda	Hg		0,023	0,062	0,045	0,014	0,024	0,017	0,038	0,018		0,013	0,016	0,013
Motril	Hg	0,026		0,088	0,043	0,025	0,030			0,039				
Almuñécar	Hg	0,018	0,343	0,028	0,013	0,014	0,011	0,023	0,037	0,017		0,013	0,025	0,016
La Herradura	Hg		0,029	0,027	0,037	0,017	0,009	0,021	0,037	0,022		0,014	0,019	0,019
Torrox	Hg		0,016	0,025	0,014	0,018	0,030	0,018	0,028	0,024				0,012
Málaga 1	Hg	0,018		0,029	0,024	0,022	0,024	0,020	0,023	0,027				
Málaga 2	Hg		0,025	0,031	0,028	0,011	0,024	0,027						
Fuengirola	Hg	0,020	0,033	0,048	0,031	0,015	0,020	0,023	0,030	0,034		0,017	0,019	0,018
Marbella	Hg			0,032	0,016	0,015	0,013	0,023	0,026	0,026				0,012
San Diego	Hg	0,034	0,029	0,075	0,028	0,017	0,017	0,019	0,028	0,028	0,019	0,013	0,019	0,014
Algeciras 1	Hg	0,032	0,021	0,065	0,040	0,018	0,022	0,025	0,025	0,028	0,021	0,012	0,016	0,014
Algeciras 2	Hg				0,072	0,070	0,045	0,044	0,076	0,039	0,033	0,021	0,026	0,025
Almería	Cd		0,143	0,132	0,150		0,103	0,162	0,069					
Calahonda	Cd		0,155	0,192	0,214	0,156	0,156	0,202	0,238	0,183		0,148	0,138	0,151
Motril	Cd	0,118		0,162	0,131	0,115	0,113			0,105				
Almuñécar	Cd	0,129	0,095	0,146	0,112	0,107	0,103	0,108	0,087	0,093		0,135	0,082	0,080
La Herradura	Cd		0,134	0,214	0,125	0,143	0,122	0,170	0,178	0,183		0,165	0,097	0,206
Torrox	Cd		0,062	0,139	0,063	0,131	0,077	0,055	0,088	0,120				0,104
Málaga 1	Cd	0,085		0,080	0,061	0,090	0,054	0,086	0,085	0,083				
Málaga 2	Cd		0,113	0,173	0,119	0,134	0,065	0,104						
Fuengirola	Cd	0,132	0,072	0,108	0,088	0,096	0,085	0,100	0,091	0,128		0,111	0,011	0,136
Marbella	Cd			0,109	0,097	0,107	0,064	0,086	0,109	0,165				0,097
San Diego	Cd	0,089	0,103	0,103	0,122	0,129	0,104	0,123	0,147	0,162	0,077	0,122	0,123	0,121
Algeciras 1	Cd	0,097	0,069	0,126	0,131	0,130	0,131	0,126	0,122	0,140	0,159	0,121	0,113	0,107
Algeciras 2	Cd				0,129	0,089	0,075	0,082	0,088	0,097	0,042	0,082	0,054	0,064
Almería	Pb		1,161	1,440	1,438	1,307	2,096	1,132						
Calahonda	Pb		0,439	0,580	0,365	0,160	0,392	0,366	0,380	0,323		0,362	0,388	0,284
Motril	Pb	1,121		1,019	0,436	0,572	0,612			0,690				
Almuñécar	Pb	1,203	0,641	0,637	0,409	0,325	1,204	0,619	0,654	0,393		0,612	0,369	0,447
La Herradura	Pb		0,406	0,324	0,306	0,127	0,359	0,316	0,346	0,340		0,358	0,391	0,292
Torrox	Pb		0,464	0,319	0,292	0,215	0,612	0,413	0,467	0,369				0,479
Málaga 1	Pb	1,082		0,550	0,544	0,384	0,810	0,903	0,768	0,870				
Málaga 2	Pb		0,531	0,484	0,674	0,146	0,405	0,642						
Fuengirola	Pb	0,236	0,470	0,492	0,305	0,343	0,710	0,431	0,374	0,349		0,413	0,522	0,449
Marbella	Pb			0,386	0,355	0,310	0,390	0,319	0,349	0,343				0,327
San Diego	Pb	0,273	0,259	0,410	0,289	0,284	0,273	0,241	0,345	0,289	0,202	0,244	0,378	0,308
Algeciras 1	Pb	0,416	0,362	0,450	0,408	0,383	0,354	0,400	0,533	0,401	0,572	0,388	0,484	0,455
Algeciras 2	Pb				0,380	0,442	0,278	0,404	0,320	0,398	0,394	0,416	0,503	0,436
Almería	Cu		1,60	1,66	1,18		0,71	1,23	1,12					
Calahonda	Cu		1,01	1,08	1,14	1,04	0,68	0,92	0,84	1,02		1,11	0,94	0,96
Motril	Cu	1,96		1,34	0,91	1,23	0,76			1,43				
Almuñécar	Cu	1,26	1,40	0,91	1,02	1,22	0,91	1,46	1,28	1,16		1,09	0,86	1,04
La Herradura	Cu		1,34	1,04	1,01	0,91	0,63	0,89	0,80	0,88		0,87	0,98	1,00
Torrox	Cu		1,65	1,06	0,96	0,95	1,27	1,28	1,08	1,07				1,01
Málaga 1	Cu			1,11	1,03	1,51	0,97	1,24	1,27	1,38				
Málaga 2	Cu		2,37	1,34	1,32	0,80	0,80	1,39						
Fuengirola	Cu	1,22	1,15	1,15	0,95	1,18	1,17	1,00	1,06	0,97		1,03	0,90	1,02
Marbella	Cu			1,41	0,76	0,91	0,91	1,11	0,99	1,14				1,24
San Diego	Cu	0,88	0,85	1,37	0,80	0,79	0,67	0,88	1,09	0,94	1,08	0,92	0,95	0,99
Algeciras 1	Cu	1,07	1,18	1,54	1,13	0,76	0,88	1,02	0,97	0,96	1,07	1,05	1,00	1,09
Algeciras 2	Cu				1,28	0,90	1,05	1,24	1,30	1,13	1,32	1,21	1,31	1,30
Almería	Zn		37,7	35,8	47,7	44,9	69,2	28,6						
Calahonda	Zn		40,8	34,2	34,1	30,8	42,6	48,5	38,9	36,9		40,4	37,3	47,4
Motril	Zn	49,0		28,6	18,3	24,6	20,5			30,3				
Almuñécar	Zn	52,7	31,4	38,3	33,8	31,7	40,6	35,2	27,3	28,5		39,9	31,2	36,5
La Herradura	Zn		33,8	36,0	32,5	33,6	36,4	45,4	41,8	31,7		36,5	33,1	49,8

Tabla II (continuación).

Localidades	Metal	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Torrox	Zn		24,3	37,7	38,2	37,5	38,2	24,8	28,3	32,5				43,1
Málaga 1	Zn	42,8		33,1	38,8	54,5	43,4	56,9	50,4	40,6				
Málaga 2	Zn		34,9	25,3	55,3	30,1	30,1	43,3						
Fuengirola	Zn	59,5	55,1	48,7	45,1	37,5	63,2	60,6	44,5	50,0		52,9	54,1	62,9
Marbella	Zn			31,9	40,7	29,1	33,8	29,6	38,5	43,0				31,8
San Diego	Zn	60,6	53,0	60,7	62,6	52,9	51,8	52,3	52,5	50,9	40,0	42,5	61,5	49,7
Algeciras 1	Zn	55,9	38,8	49,8	53,5	50,3	70,8	52,8	61,2	57,2	69,4	50,5	56,1	50,8
Algeciras 2	Zn				54,8	52,3	44,4	42,5	58,2	55,3	40,0	50,9	46,4	43,8

Tabla III. Concentraciones medias, máximas y mínimas de metales pesados en *Mytilus galloprovincialis* de diferentes áreas del Mediterráneo y del Atlántico (expresadas en mg/kg de peso húmedo); (*): valores ajustados para un índice de condición de 0,124; (**): concentraciones expresadas como medianas.

	Hg	Cd	Pb	Cu	Zn	Referencia
Francia, 79-90 Mediterráneo	0,04 (0,26-0,01)	0,18 (7,24-0,02)	0,68 (16,64-0,02)	1,48 (10,44-0,50)	32,0 (123-8,60)	RNO, 1991
Francia, 91-96 Mediterráneo	0,02 (0,12-0,01)	0,18 (3,46-0,01)	0,52 (6,92-0,02)	1,18 (5,94-0,46)	30,7 (74,2-9,4)	RNO, 2000
Francia, 1998 Mediterráneo*	0,04 (0,10-0,02)	0,24 (0,74-0,18)	0,36 (0,56-0,14)	1,48 (3,66-1,04)	24,7 (35,8-17,1)	Andral, Stanisière y Mercier, 2001
Francia, 2000 Mediterráneo*	0,02 (0,07-0,01)	0,18 (1,17-0,02)	0,20 (1,08-0,10)	0,82 (1,84-0,58)	29,7 (40,6-23,2)	Andral, Stanisière y Mercier, 2001
España, 78-87 Mediterráneo	0,04 (0,13-0,01)	0,23 (2,53-0,01)	9,10 (129-0,10)			IEO, sin publicar
España, 91-03 Andalucía	0,03 (0,36-0,01)	0,12 (0,25-0,04)	0,49 (2,24-0,10)	1,09 (2,37-0,52)	43,2 (84,7-17,2)	IEO, este estudio
Francia, 79-90 Atlántico	0,03 (0,17-0,01)	0,23 (2,34-0,04)	0,47 (2,66-0,03)	1,46 (6,78-0,18)	18,8 (109,2-4,8)	RNO, 1991
España, 91-99 Atlántico**	0,05 (0,18-0,02)	0,14 (0,57-0,07)	0,73 (1,64-0,10)	1,23 (1,93-0,89)	52,1 (92,4-28,8)	Besada, Fumega y Vaamonde, 2002
Portugal, 1994 Algarve		0,41 (0,62-0,26)		1,15 (1,40-0,96)	50,9 (79,6-37,8)	Machado <i>et al.</i> , 1999
BRCs Ospar, 2000	(0,01-0,005)	(0,11-0,07)	(0,19-0,01)	(0,76-1,10)	(30-11,6)	Ospar, 2000

guientes patrones de distribución espacial. En el caso del Zn, se observa una distribución creciente, en el sentido nordeste-suroeste, mientras que para el Pb y Cd sus niveles crecen en el sentido suroeste-nordeste. El comportamiento del Pb y Cd también se observa, aunque en menor grado, en los niveles de Hg, si exceptuamos la estación localizada en Algeciras 2 en donde los niveles obtenidos son más altos que en el resto del litoral. Para el Cu, el patrón de distribución espacial es heterogéneamente uniforme y no se observa a priori un patrón predecible.

El estudio de las tendencias temporales se ha realizado aplicando el test no paramétrico de una cola de Mann-Kendall. El coeficiente de correlación τ -b

de Kendall (Hollander y Wolf, 1999) proporciona una medida de la asociación entre la mediana de los diferentes metales y la variable temporal, dependiendo de su signo la dirección de la tendencia observada. El nivel de significación (p-valor), calculado para esta asociación, muestra si estas tendencias son estadísticamente significativas. En la tabla IV se presentan los resultados de las tendencias temporales obtenidas considerando dos niveles de significación ($p \leq 0,01$ y $p \leq 0,05$). Los resultados más destacables son el alto porcentaje de tendencias temporales no significativas (84,61 %) y el predominio de las disminuciones significativas (15,38 %) frente a los aumentos (0 %). El mercurio es el metal que presenta una tendencia más acusada al disminuir sus concentra-

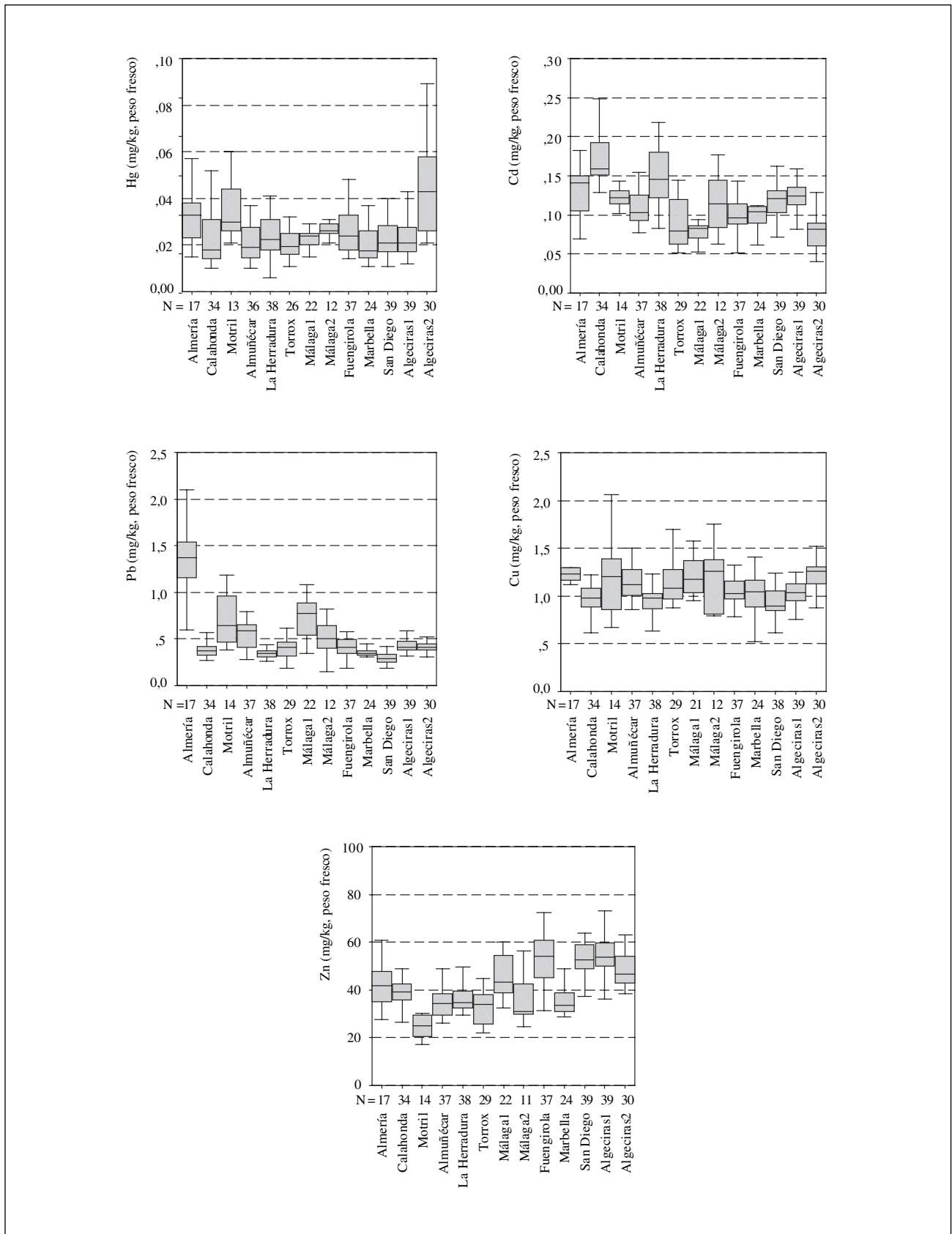


Figura 2. Diagramas de cajas de las concentraciones de metales en mejillón (talla 3-4 cm) del litoral de Andalucía durante el periodo 1991-2003, sin considerar los valores extremos y atípicos.

Tabla IV. Coeficiente de correlación de τ -b Kendall (test de una cola) para los metales y lugares de estudio; (D): tendencia decreciente no significativa; (I): tendencia creciente no significativa; (D**): significativa a un nivel de 0,01; (D*): significativa a un nivel de 0,05; (c): años consecutivos; (n.c.): años no consecutivos.

Metal	Localidad	Periodo	Nº años	τ -b Kendall	Nivel de significación p	Tendencia Test de una cola
Hg	Almería	1992-1998	6 n.c.	-0,3330	0,1738	D
Hg	Calahonda	1992-2003	11 n.c.	-0,5138	0,0144	D *
Hg	Motril	1991-1999	6 n.c.	-0,0667	0,4255	D
Hg	Almuñécar	1991-2003	12 n.c.	-0,1374	0,1200	D
Hg	La Herradura	1992-2003	11 n.c.	-0,2778	0,1200	D
Hg	Torrox	1992-2003	9 n.c.	0,0282	0,4583	I
Hg	Málaga 1	1991-1999	8 n.c.	0,1818	0,2665	I
Hg	Málaga 2	1992-1997	6 c.	-0,1380	0,3510	D
Hg	Fuengirola	1991-2003	12 n.c.	-0,2595	0,1213	D
Hg	Marbella	1993-2003	8 n.c.	-0,1818	0,2665	D
Hg	San Diego	1991-2003	13 c.	-0,5241	0,0078	D **
Hg	Algeciras 1	1991-2003	13 c.	-0,4676	0,0137	D *
Hg	Algeciras 2	1994-2003	10 c.	-0,7333	0,0016	D **
Cd	Almería	1992-1998	6 n.c.	-0,2000	0,2865	D
Cd	Calahonda	1992-2003	11 n.c.	-0,2569	0,1371	D
Cd	Motril	1991-1999	6 n.c.	-0,7333	0,0194	D *
Cd	Almuñécar	1991-2003	12 n.c.	-0,4848	0,0141	D *
Cd	La Herradura	1992-2003	11 n.c.	0,1273	0,2929	I
Cd	Torrox	1992-2003	9 n.c.	0,1111	0,3383	I
Cd	Málaga 1	1991-1999	8 n.c.	-0,0364	0,4504	D
Cd	Málaga 2	1992-1997	6 c.	-0,3333	0,1738	D
Cd	Fuengirola	1991-2003	12 n.c.	0,3512	0,0570	I
Cd	Marbella	1993-2003	8 n.c.	0,0741	0,4008	I
Cd	San Diego	1991-2003	13 c.	0,3007	0,0791	I
Cd	Algeciras 1	1991-2003	13 c.	0,0260	0,4513	I
Cd	Algeciras 2	1994-2003	10 c.	-0,4495	0,0362	D *
Pb	Almería	1992-1998	6 n.c.	-0,0667	0,4255	D
Pb	Calahonda	1992-2003	11 n.c.	-0,3455	0,0696	D
Pb	Motril	1991-1999	6 n.c.	-0,2000	0,2865	D
Pb	Almuñécar	1991-2003	12 n.c.	-0,3636	0,0499	D *
Pb	La Herradura	1992-2003	11 n.c.	0,0182	0,4690	I
Pb	Torrox	1992-2003	9 n.c.	0,2222	0,2021	I
Pb	Málaga 1	1991-1999	8 n.c.	0,0714	0,4023	I
Pb	Málaga 2	1992-1997	6 c.	-0,0667	0,4255	D
Pb	Fuengirola	1991-2003	12 n.c.	0,2424	0,1363	I
Pb	Marbella	1993-2003	8 n.c.	-0,2857	0,1611	D
Pb	San Diego	1991-2003	13 c.	0,0260	0,4513	I
Pb	Algeciras 1	1991-2003	13 c.	0,2308	0,1361	I
Pb	Algeciras 2	1994-2003	10 c.	0,3778	0,0642	I
Cu	Almería	1992-1998	6 n.c.	-0,4667	0,0942	D
Cu	Calahonda	1992-2003	11 n.c.	-0,1273	0,2929	D
Cu	Motril	1991-1999	6 n.c.	-0,3333	0,1738	D
Cu	Almuñécar	1991-2003	12 n.c.	-0,2290	0,1513	D
Cu	La Herradura	1992-2003	11 n.c.	-0,3091	0,0928	D
Cu	Torrox	1992-2003	9 n.c.	-0,1667	0,2658	D
Cu	Málaga 1	1991-1999	8 n.c.	0,3333	0,1466	I
Cu	Málaga 2	1992-1997	6 c.	-0,5521	0,0630	D
Cu	Fuengirola	1991-2003	12 n.c.	-0,4733	0,0166	D *
Cu	Marbella	1993-2003	8 n.c.	0,4001	0,0851	I
Cu	San Diego	1991-2003	13 c.	0,2452	0,1228	I
Cu	Algeciras 1	1991-2003	13 c.	-0,1161	0,2911	D
Cu	Algeciras 2	1994-2003	10 c.	0,4045	0,0530	I
Zn	Almería	1992-1998	6 n.c.	0,0667	0,4255	I
Zn	Calahonda	1992-2003	11 n.c.	0,2000	0,1959	I
Zn	Motril	1991-1999	6 n.c.	-0,2000	0,2865	D

Tabla IV (continuación).

Metal	Localidad	Periodo	Nº años	τ -b Kendall	Nivel de significación p	Tendencia Test de una cola
Zn	Almuñécar	1991-2003	12 nc.	-0,1818	0,2053	D
Zn	La Herradura	1992-2003	11 nc.	0,2364	0,1558	I
Zn	Torrox	1992-2003	9 nc.	0,1972	0,2315	I
Zn	Málaga 1	1991-1999	8 nc.	0,2857	0,1611	I
Zn	Málaga 2	1992-1997	6 c.	0,1380	0,3510	I
Zn	Fuengirola	1991-2003	12 nc.	0,0909	0,3404	I
Zn	Marbella	1993-2003	8 nc.	0,1429	0,3103	I
Zn	San Diego	1991-2003	13 c.	-0,4615	0,0140	D *
Zn	Algeciras 1	1991-2003	13 c.	0,2051	0,1645	I
Zn	Algeciras 2	1994-2003	10 c.	-0,2884	0,1225	D

ciones durante el periodo considerado. De las 13 estaciones estudiadas, 11 muestran tendencia a disminuir, aunque solo en cuatro de ellas (Algeciras 2, San Diego, Calahonda y Algeciras 1) son estadísticamente significativas. Las concentraciones de cadmio disminuyen significativamente en Motril, Almuñécar y Algeciras 2; las de plomo en Almuñécar; las de cobre en Fuengirola y las de cinc en San Diego.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que las concentraciones medias de los cinco metales, analizados durante el periodo 1991-2003, se encuentran dentro de los rangos obtenidos en otros estudios similares desarrollados en zonas del Mediterráneo occidental y el Atlántico norte franco-español, y por encima de los valores basales establecidos por Oskar. Destaca el hecho de que los niveles de Zn del litoral andaluz sean más altos que los del resto del Mediterráneo ibérico (desde el cabo de Creus al cabo de Palos) y francés, y más bajos que los de la costa portuguesa del Algarve. Este hecho puede deberse a una mayor biodisponibilidad natural de este metal en la costa surmediterránea a causa de la influencia de las aguas atlánticas (Elbaz-Polulichet *et al.*, 2001) y debe ser tenido en cuenta al establecer sus niveles basales. Lo anteriormente expuesto está de acuerdo con el patrón de distribución de concentraciones crecientes de Zn en el litoral de Andalucía, en el sentido noreste-suroeste, aportado en este estudio. Las concentraciones más altas de Hg en Algeciras 2-playa de Guadarranque, Motril y Almería, y de Pb en Málaga 2 y Almería, pueden explicarse por la proximidad de fuentes contaminantes. La estación Algeciras 2-playa de Guadarranque está situa-

da en la zona interior de la bahía y próxima al polo industrial, mientras que en las estaciones de Almería, Málaga 2 y Motril están situadas en zonas portuarias.

Si consideramos de manera global los resultados de las tendencias temporales de metales en el litoral de Andalucía, se puede concluir que las concentraciones de Hg y Cu, y en menor medida, las de Pb, han ido disminuyendo desde 1991, siendo el Hg el metal que mejor refleja esta tendencia. Los metales Cd y Zn sólo mostraron tendencias decrecientes significativas en una localidad y un número similar de tendencias crecientes y decrecientes no significativas. La tendencia decreciente de Pb, Cu y Zn es similar a la obtenida en los estudios realizados en la costa mediterránea y en la atlántica francesa (RNO, 2000) y noratlántica española (Besada, Fumega y Vaamonde, 2002). La tendencia decreciente del Hg también se ha observado en las costas mediterráneas española y francesa y en la noratlántica española, mientras que en la costa atlántica francesa los decrementos significativos superan a los incrementos. En el caso del Cd, la tendencia en las zonas evaluadas es variable, predominando los decrementos en el Mediterráneo francés y los incrementos en el litoral noratlántico ibérico.

Las tendencias decrecientes observadas pueden ser el reflejo de los esfuerzos realizados en los últimos años para reducir las emisiones de contaminantes de naturaleza metálica, tanto de procedencia atmosférica como las derivadas de la depuración de aguas industriales y urbanas.

BIBLIOGRAFÍA

Andral, B., J. Stanisière y S. Mercier. 2001. *Evaluation de la contamination chimique des eaux basées sur l'utilisation de sta-*

- tions artificielles de moules en Méditerranée: résultats de la campagne 2000. Rinbio: Réseau Intégrateurs Biologiques. Ifremer/Direction de l'Environnement et de l'Aménagement littoral: 93 pp.
- Benedicto, J., C. Rodríguez, J. Guerrero, A. Jornet y C. Gomis. 2001. Niveles de metales traza en reservas marinas y zonas de interés ecológico de la costa mediterránea de la península Ibérica, utilizando mejillón (*Mytilus galloprovincialis*, Lamarck, 1819) como bioindicador. En: *Actas I Jornadas Internacionales sobre Reservas Marinas* (24-26 de marzo, 1999. Murcia, España): 283-291. Secretaria General de Pesca Marítima. Madrid.
- Besada, V., J. Fumega y A. Vaamonde. 2002. Temporal trends of Cd, Cu, Hg, Pb and Zn in mussel (*Mytilus galloprovincialis*) from the Spanish North-Atlantic coast, 1991-1999. *The Science of the Total Environment* 288: 239-253.
- Cantillo, A. 1998. Comparison of results of Mussel Watch Programs of the United States and France with Worldwide Mussel Watch Studies. *Marine Pollution Bulletin* 36 (9): 712-717.
- Claissie, D. 1989. Chemical contamination of French coasts. The results of a ten years mussel watch. *Marine Pollution Bulletin* 20 (10): 523-528.
- Claissie, D., M. Joanny y J. Quintin. 1992. Le reseau national d'observation de la qualité du milieu marin (RNO). *Analysis* 6: 19-23.
- Elbaz-Polulichet, F., N. H. Morley, J. M. Beckers y P. Nomerange. 2001. Metal fluxes through the Strait of Gibraltar: the influence of the Tinto and Odiel rivers (SW Spain). *Marine Chemistry* 73: 193-213.
- Goldberg, E. D. 1986. The Mussel Watch Concept. *Environmental Monitoring and Assessment* 7: 91-103.
- Goldberg, E. D., V. T. Bowen, J. W. Farrington, G. Harvey, J. H. Martin, P. L. Parker y R. W. Risebrough. 1978. The Mussel Watch. *Environmental Conservation* 5: 101-125.
- Hollander, M. y D. Wolf. 1999. *Non-parametric Statistical Methods*. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- ICES. 1996. Report of the Working Group on Statistical Aspects of Environmental Monitoring. *ICES C.M.* 1996/D:1.
- Machado, L. M., M. J. Bebianno, T. Boski y D. M. Moura. 1999. Trace metals on the Algarve coast, II: Bioaccumulation in mussels *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819). En: *Oceanography of the Atlantic Iberian Continental Margin. 2nd Symposium on the Atlantic Iberian Continental Margin* (17-20 de febrero, 1997. Cádiz, España). F. J. Hernández-Molina y J. T. Vázquez (eds.) 15 (1-4): 465-471. *Boletín. Instituto Español de Oceanografía*: 546 pp.
- MMA. 2001. Indicadores. Contaminación en puntos críticos. En: *Sistema español de indicadores ambientales: subárea de costas y medio marino*. Capítulo 5: 47-56. Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- Monirith, I., D. Ueno, S. Takahashi, H. Nakata y A. Sudaryanto. 2003. Asia-Pacific mussel watch: monitoring contamination of persistent organochlorine compounds in coastal waters of Asian countries. *Marine Pollution Bulletin* 46: 281-300.
- O'Connors, T. 1992. *Mussel Watch: Recent trends in Coastal Environmental Quality*. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). National Status and Trend Programme. NOAA Rockville, MD: 46 pp.
- O'Connors, T. 1994. *National Monitoring of chemical contamination in the coastal United States. Environmental statistics, assessment, and forecasting*. Capítulo 19. National Status and Trends Mussel Watch Programme. The National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). CRC Press, Inc.
- O'Connors, T. 1996. Trends in chemical concentrations in mussels and oysters collected along the US coast from 1986 to 1993. *Marine Environmental Research* 41 (2): 183-200.
- O'Connors, T. y B. Beliaeff. 1995. *Recent trends in Coastal Environmental Quality: Results from the Mussel Watch Project 1986-1993*. NS Trend Programme: 40 pp.
- Ospar. 2000. *Quality Status Report 2000: Region IV - Bay of Biscay and Iberian coast*. Oskar Commission. Londres: 134 + xii pp.
- Rodríguez, C., J. Guerrero, J. Benedicto y A. Jornet. 1995. Spatial distribution of heavy metals in the Mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis* from the Spanish Mediterranean coast. *Rapp. Comm. Int. Mar. Médit.* 34: 145.
- Rodríguez, C., J. Guerrero, J. Benedicto y A. Jornet. 1996. Metales traza en mejillones de la costa mediterránea. En: *Actas del VII Seminario Ibérico de Química Marina. Procesos biogeoquímicos en los sistemas costeros hispano-portugueses*: 99-103.
- RNO. 1991. Tendances des polluants dans la matière vivante. En: *Surveillance du Milieu Marin. Travaux du RNO*. Ifremer/Ministère de l'Environnement: 7-29.
- RNO. 2000. Tendances temporelles des teneurs en contaminants dans les mollusques du littoral Français. En: *Surveillance du Milieu Marin. Travaux du Réseau National d'Observation de la qualité du milieu marin*. Ifremer/Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement: 9-32.
- Soto, M., A. Orbea, X. Lekube, B. Zaldibar, I. Zorita, I. Marigómez y M. P. Cajaraville. 2001. A proposal for a marine pollution monitoring programme in the Basque coast based on the use of biomarkers. En: *11th Annual Meeting of European Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (6-10 de mayo, 2001. Madrid, España). Libro de Resúmenes: p. 40.
- Tripp, B., J. Farrington, E. Goldberg y Sericano. 1992. International Mussel Watch: the implementation phase. *Marine Pollution Bulletin* 24 (7): 371-373.