

# Aplicación de la Directiva Marco del Agua (DMA) al Diseño de Redes de Control de la Calidad de las Aguas en Zonas de Servicio Portuario (Cartagena - Murcia)

*Water Framework Directive (WFD) Application to Water Quality Monitoring Design in Port Service Areas (Cartagena-Murcia)*

E. López-Samaniego, I. Herráez, I. Malonda y F. J. Miranda

Departamento de Geología y Geoquímica, C-VI, 406. Facultad de Ciencias. C/ Francisco Tomás y Valiente nº 7. Universidad Autónoma de Madrid. 28049 Madrid. estibaliz.samaniego@uam.es; isabel.herraez@uam.es

## ABSTRACT

A Water Quality Monitoring Network was developed in the Port of Cartagena, one of the Major Spanish Ports, in order to improve its Environmental Management System.

The physical-chemical parameters and biological indicators were established according to the WFD (Water Framework Directive 2000/60/EC), these guidelines, to assess the current status of the water body and to establish the criteria to design the monitoring network necessary for the evaluation of its evolution.

Twenty two stations were sampled at different depths and 264 samples were taken. A statistical analysis was applied to these samples in order to discriminate relevant parameters, as well as the status of the Control stations and the frequency of sampling to conduct the design with objective criteria of the monitoring network.

**Key words:** Cartagena harbour, coastal water quality control, harbour pollution, Water Frame Directive.

Geogaceta, 44 (2008), 179-182  
ISSN: 0213683X

## Introducción

El puerto de Cartagena cuenta con una dilatada historia de actividades industriales (extracción minera, astilleros, refinerías, etc.) (Morales, 2004), por lo que es necesario conocer la evolución de las mismas en cada una de las dársenas (Cartagena y Escombreras) al objeto de identificar zonas con mayor afección ambiental. Por ello se definieron los principales impactos potenciales sobre la masa de agua y la selección de indicadores de contaminación a determinar (metales pesados, hidrocarburos totales y nutrientes) en función de los posibles vertidos de origen urbano o industrial.

Se ha contado con la colaboración y documentación de la Autoridad Portuaria de Cartagena, con los datos de autorizaciones de vertido de la Junta de Comunidades de Murcia y los estudios previos de caracterización realizados por el CEDEX (CEDEX, 1983).

Este trabajo forma parte de la Tesis doctoral de la primera firmante (López-Samaniego, 2007).

## Metodología

Para el desarrollo del trabajo se realizaron cuatro campañas de muestreo, con

periodicidad trimestral al objeto de caracterizar posibles variaciones estacionales, en 22 puntos de muestreo (Fig. 1) a diferentes profundidades (1, 5, 10, 20 y 40 metros de profundidad en función de la

profundidad máxima del punto de muestreo) obteniéndose un total de 264 muestras de agua.

Los parámetros físico-químicos (Temperatura, pH, Conductividad eléctrica

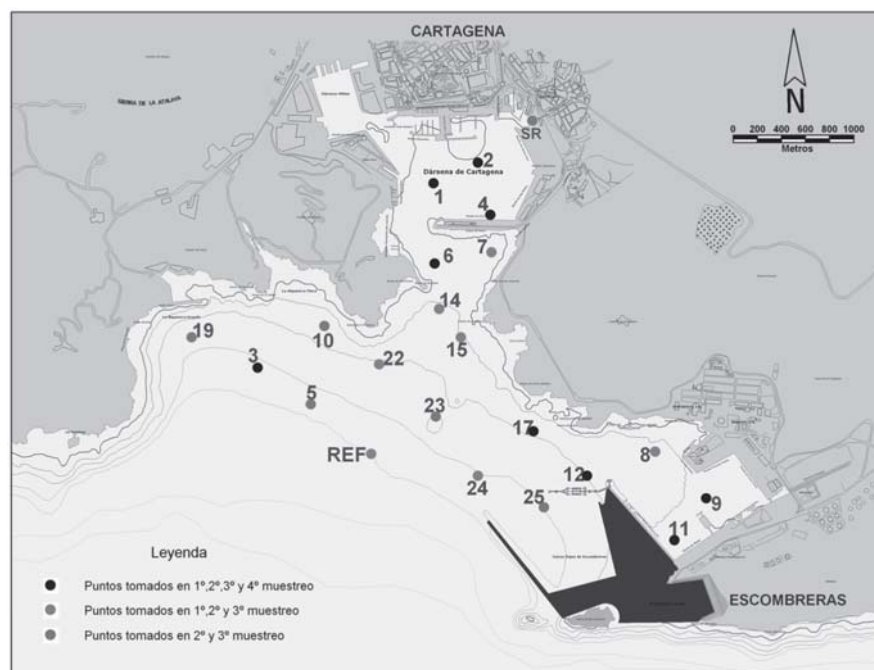


Fig. 1.- Red de muestreo

Fig. 1.- Monitoring Network

ca, Salinidad, Turbidez, Oxígeno disuelto, Potencial Redox y Clorofila A) fueron medidos *in situ* mediante una sonda multiparamétrica Idromar IM71. La alcalinidad y nutrientes (amonio, nitritos, nitratos y fosfatos) fueron medidos *in situ* mediante volumetría y espectrofotometría respectivamente (Rol *et al.*, 2004).

Las muestras fueron filtradas en campo mediante filtros de 0,45 mm de fibra de vidrio; acidificadas a pH < 2 con HNO<sub>3</sub> (2%) y refrigeradas a 4°C hasta su análisis en laboratorio. Las muestras recogidas para análisis de aniones mayoritarios (sulfatos y cloruros) fueron filtradas, pero no aciduladas.

Se determinaron cationes mayoritarios mediante cromatografía iónica y metales pesados por polarografía en los laboratorios del Departamento de Geología y Geoquímica de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Madrid.

Las muestras recogidas para la determinación de hidrocarburos totales correspondieron a la profundidad de 1 m. Para su conservación no fueron filtradas pero se mantuvieron congeladas hasta su determinación por cromatografía de gases en el Servicio Interdepartamental de Investigación (SIDI) de la Universidad Autónoma de Madrid.

Para el estudio de los datos obtenidos se aplicó el método estadístico de Componentes Principales (ACP), mediante el programa SPSS, sobre los datos correspondientes a los dos muestreos más representativos (2º

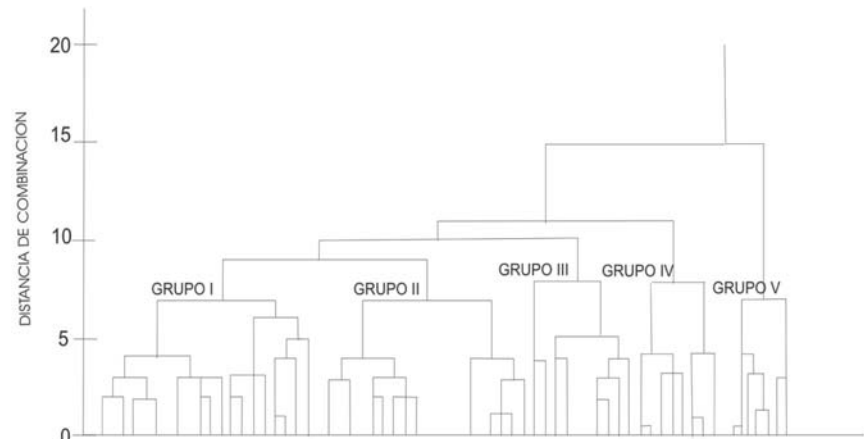


Fig. 2.- Resultado del análisis de conglomerados

Fig. 2.- Cluster analysis results

y 3º muestreo, 150 muestras) para establecer las correlaciones existentes entre los parámetros analizados y seleccionar los más relevantes (Borja *et al.*, 2003 a y b).

A los resultados del ACP se les aplicó un análisis de conglomerados en dos fases (Pérez López, 2004) al objeto de establecer las relaciones entre las muestras y su estacionalidad, pudiendo así definirse cuatro masas de agua diferenciadas en la zona de estudio.

**Discusión de Resultados**

*Análisis de Componentes Principales*

Con objeto de encontrar posibles relaciones entre los diferentes parámetros

analizados en este estudio, se ha realizado el análisis de Componentes Principales (ACP) mediante el estudio de 24 variables que finalmente quedaron reducidas a 13 agrupadas en 5 factores (Tabla I)

Los factores así obtenidos agrupan los parámetros analizados como:

- Parámetros relacionados con las características físico-químicas generales del sistema: Factores 1 y 2
- Parámetros Relacionados con vertidos industriales: Factores 3 y 5
- Parámetros Relacionados con vertidos urbanos: Factor 4

Siendo los parámetros más relevantes a determinar:

- Parámetros Físico-Químicos: temperatura, conductividad eléctrica, bicarbonatos, sodio, oxígeno disuelto, cloruros, salinidad, potencial redox.
- Metales pesados: Cobre, Plomo, Zinc
- Nutrientes: Amonio, Nitritos

**Análisis de Conglomerados en dos fases**

A partir de la matriz de correlación resultante del ACP, se introducen los valores de todas las muestras para los 13 parámetros seleccionados y se procede a un análisis de conglomerados en dos fases a partir de las puntuaciones de las muestras en cada factor (Pérez López, 2004).

Se obtienen cinco agrupaciones de muestras (Fig. 2) que denotan una diferenciación en distintas áreas en función de su profundidad y su estacionalidad (periodo de formación de la termoclina).

Las muestras se agrupan en los conglomerados de la siguiente forma (Tabla II):

Los resultados anteriores permiten definir 4 masas de agua (Fig.3).

	1	2	3	4	5
<b>Temperatura</b>	0,89	0,15	0,18	-0,11	-0,17
<b>C.E.</b>	0,89	0,15	0,19	-0,10	-0,19
<b>Bicarbonatos</b>	-0,66	-0,20	-0,34	0,05	0,28
<b>Sodio</b>	0,85	-0,01	0,05	0,11	0,06
<b>Oxígeno</b>	-0,59	0,04	-0,18	0,43	-0,08
<b>Cloruros</b>	0,13	0,98	0,02	0,03	0,02
<b>Salinidad</b>	0,13	0,98	0,02	0,03	0,02
<b>Cu</b>	0,19	-0,08	0,89	-0,12	0,01
<b>Pb</b>	0,17	0,10	0,90	-0,02	0,05
<b>Amonio</b>	-0,09	0,08	0,04	0,86	0,07
<b>Nitritos</b>	-0,11	-0,04	-0,17	0,79	-0,24
<b>Zn</b>	-0,27	-0,20	-0,01	0,05	0,81
<b>Redox</b>	0,10	0,28	0,07	-0,24	0,79

Tabla I.- Resultado del análisis factorial

Table I.- Factor analysis results

Conglomerado	Muestreo	Zona	Profundidad de las muestras
1	2°	Zona Exterior	1 - 5 m
		Escombreras	
		Zona Exterior	10 - 20 m
		Escombreras	
	Interior Cartagena		
3°	Puntos 9 y 10	20 m	
2	3°	Zona Exterior	1 m
		Cartagena	5 - 20 m
3	2°	Cartagena	1 - 5 m
		Exterior de Escombreras	
		Exterior de Escombreras	10 - 20 m
4	3°	Cartagena	1 m
		Escombreras	
		Entorno de la Algameca	
		Zona Exterior	5 - 20 m
5	2°	Exterior de Cartagena	10 - 20 m
		Zona de la Algameca	

Tabla II.- Distribución de las muestras en los conglomerados

Table II.- Samples distribution in clusters

**Variaciones Estacionales**

La aplicación del análisis estadístico a los datos químicos ha permitido mostrar una importante variación estacional en estos parámetros en función de los periodos de formación de la termoclina y la profundidad de los puntos de muestreo (Tabla II), así las zonas de menor profundidad (masas de agua 1 y 3, Fig. 3) presentan formación de termoclina a partir de 5 m de profundidad únicamente en el periodo de verano (3er muestreo), mientras que en las zonas más profundas (masa de agua 2, Fig. 3) la profundidad de formación se establece a partir de 10 m y el periodo se prolonga hasta el otoño (4º muestreo).

Estas variaciones permiten definir en la red de control la periodicidad (semestral) y profundidad del muestreo, que se reduciría a una muestra superficial a 5 m y una profunda a 10 ó 20 m, en función de la profundidad total del punto de muestreo.

Las variaciones estacionales de los parámetros analizados han puesto de re-

lieve la importancia de algunas variables que no han sido integradas por el ACP (mercurio, clorofila A y pH), parámetros que también deben ser incluidos en los programas de control de evolución de la calidad del agua en la zona de servicio portuario.

**Conclusiones**

La caracterización físico-química de áreas de especial problemática medioambiental, como son los grandes puertos, permite la identificación, mediante herramientas estadísticas, de aquellas variables relevantes para el control de la calidad de la lámina de agua, así como la ubicación y programación temporal de la propia red de control, tal y como recoge la DMA (Directiva 2000/60/CE) para la caracterización y establecimiento del estado de las masas de agua costeras y de transición muy modificadas.

Se simplifica de esta manera los requerimientos analíticos para la gestión medioambiental del medio bajo argumentos científico-técnicos que eliminan la incertidumbre inherente al establecimiento arbitrario de los mismos.

Para el puerto de Cartagena se han establecido cuatro masas de agua que permiten identificar aquellos puntos de muestreo que por su representatividad o por su comportamiento estacional anómalo han de ser objeto de control preferente, esto supone que de los 22 puntos de muestreo seleccionados inicialmente se estiman necesarios 9 (Fig. 4) para el establecimiento del control de evolución.

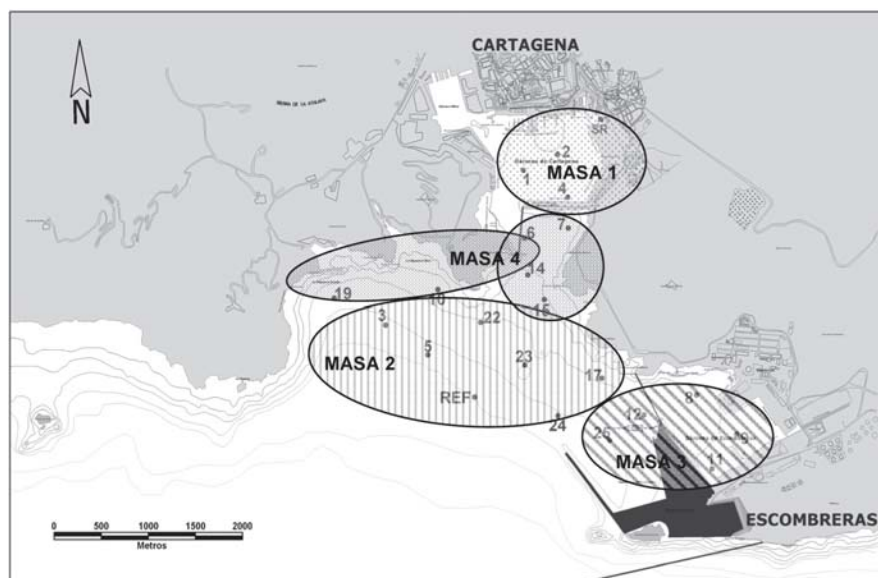


Fig. 3.- Masas de agua

Fig. 3.- Water bodies

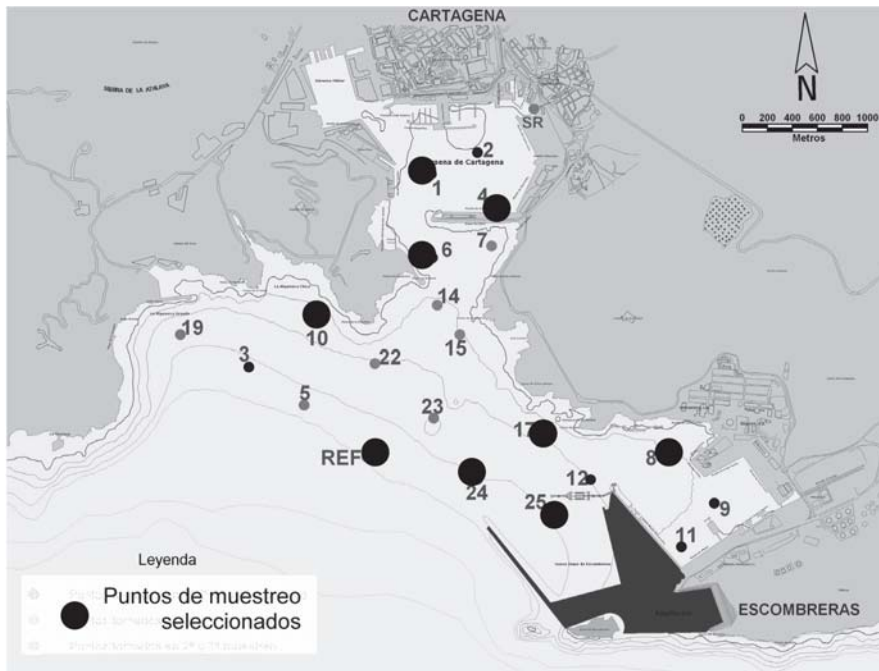


Fig. 4.- Puntos de muestreo seleccionados

Fig. 4.- Selected sampling stations

En base a las variaciones estacionales de los parámetros analizados, que se relacionan directamente con las variaciones de temperatura y los periodos de formación de la termoclina, se estima que con la toma de muestras a dos profundidades (5 y 10 ó 20 m) quedan recogidas las variaciones en la vertical y con una programación de muestreo semestral. Se reduce por lo tanto el número de muestras de 264 a 36.

Los resultados del Análisis de Componentes Principales, junto con las variaciones estacionales ponen de manifiesto que de los 28 parámetros analizados 15 de ellos tienen relevancia para el establecimiento y seguimiento de la calidad del agua en la zona de servicio portuario del puerto de Cartagena reduciéndose en un 93% la información necesaria para evaluar la evolución de la calidad del agua en este entorno.

La metodología desarrollada en este trabajo podría ser aplicada a otras zonas portuarias de manera que se establecieran las redes de control adecuadas para la aplicación de la DMA (Directiva 2000/60/CE).

**Agradecimientos**

Este estudio ha sido desarrollado gracias a las ayudas PROFIT (FIT-050000-2003-24 y FIT-310100-2004-12) del Ministerio de Educación y Ciencia y el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, la cofinanciación de las empresas Miliarium y OPM y la colaboración del Ente Público Puertos del Estado y la Autoridad Portuaria de Cartagena.

**Referencias**

Borja, A., García de Vicuña, B., Blanco J.M., Aguirre, A., Aierbe, E., Bald, J., Belzunce, M.J., Fraile, H., Franco, J., Gandarias, O., Goikoetxea, I, Leonardo, J.M.,

Lonbide, L., Moso, M., Muxika, I., Pérez, V., Santoro, F., Solaun, O., Tello, E.M. y Valencia, V. (2003a). *Red de Vigilancia de las Masas de Aguas Superficiales de la Comunidad Autónoma del País Vasco*. Tomo I: Metodologías Utilizadas. Departamento de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente, Gobierno Vasco, 199 p.

Borja, A., García de Vicuña, B., Blanco J.M., Aguirre, A., Aierbe, E., Bald, J., Belzunce, M.J., Fraile, H., Franco, J., Gandarias, O., Goikoetxea, I, Leonardo, J.M., Lonbide, L., Moso, M., Muxika, I., Pérez, V., Santoro, F., Solaun, O., Tello, E.M. y Valencia, V. (2003b). *Red de Vigilancia de las Masas de Aguas Superficiales de la Comunidad Autónoma del País Vasco*. Tomo 22, Síntesis del Estado Ecológico. Departamento de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente, Gobierno Vasco, 226 p.

CEDEX. (1983). *Estudio Piloto de Contaminación Marina en la Bahía de Cartagena*. Centro de Estudios y Experimentación de Puertos y Costas Ramón Iribarren. Tomo II. 231 p.

Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, (23 de octubre del 2000). DOCE L327 22/12/2000. 1-73.

López-Samaniego, E. (2007). *Bases Científico Técnicas para el Diseño de la Red de Control de la Calidad del Agua en el Entorno Marítimo Portuario de Cartagena (Murcia)*. Tesis Doctoral, Univ. Autónoma de Madrid. 374 p.

Morales Gil, A. (2004). *Trascendencia Territorial del Puerto de Cartagena. Investigaciones Geográficas*. Anales de la Univ. de Alicante, Instituto Universitario de Geografía, 6, 6-29.

Pérez López, C. (2004). *Técnicas de análisis multivariante de datos*. Pearson Educación S.A. 672 p.

Rol, F., Cano, R., Herráez, I., López-Samaniego, E., Malonda, I. y Miranda, J. (2004). *Revista Puertos del Ente Público Puertos del Estado*, 117.

Aplicación de la DMA al Diseño de Redes de Control de la Calidad de las Aguas en Zonas de Servicio Portuario (Cartagena - Murcia), 36-39.