Red de control de la calidad del agua en la Zona de Servicio Portuario, aplicación al Puerto de Cartagena (Murcia)

Texto preparado por E. López-Samaniego, F.J. Miranda, I. Malonda, I. Herráez del Departamento de Geología y Geoquímica de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Madrid

El Puerto de Cartagena cuenta con un largo historial de actividades, siendo necesario conocer la evolución de las mismas en cada una de sus dos dársenas (Cartagena y Escombreras). Este artículo forma parte de una Tesis Doctoral donde 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 (nutrientes) o industrial (metales pesados).

Se contó con la colaboración y documentación de la Autoridad Portuaria de Cartagena (Rol et al, 2004), 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).

El Puerto de Cartagena pertenece a la categoría de Puertos de interés general españoles. La necesidad de establecer una red de control de la calidad de las aguas que posibilite el establecimiento de medidas de mejora medioambiental en la gestión portuaria, pasa por la caracterización de la masa de agua a gestionar, así como por el conocimiento de los parámetros determinantes de su calidad.

En base a las directrices marcadas por la Directiva Marco del Agua (DMA, Directiva 2000/60/CE) sobre masas de agua costeras muy modificadas, se fijaron los parámetros indicadores físico-químicos, de contaminación y biológicos, necesarios para la evaluación del estado actual de la masa de agua y aquellos criterios a tener en cuenta para el diseño de la red de control necesaria para la evaluación de su evolución (López-Samaniego, 2007).

Se realizó la caracterización de las aguas en la zona de servicio portuario mediante el análisis de 22 puntos de muestreo, con toma de muestras a diferentes profundidades para la determinación de parámetros físico-químicos e indicadores de contaminación.

Con los resultados obtenidos de las 264 muestras tomadas a lo largo de cuatro muestreos, se realizó un análisis estadístico multivariable (Análisis de Componentes Principales, ACP) al objeto de discriminar los parámetros relevantes, la situación de los puntos de control necesarios y la periodicidad del muestreo a realizar en la red de control, todo ello ha dado lugar al diseño de una red más sencilla en base a criterios objetivos.

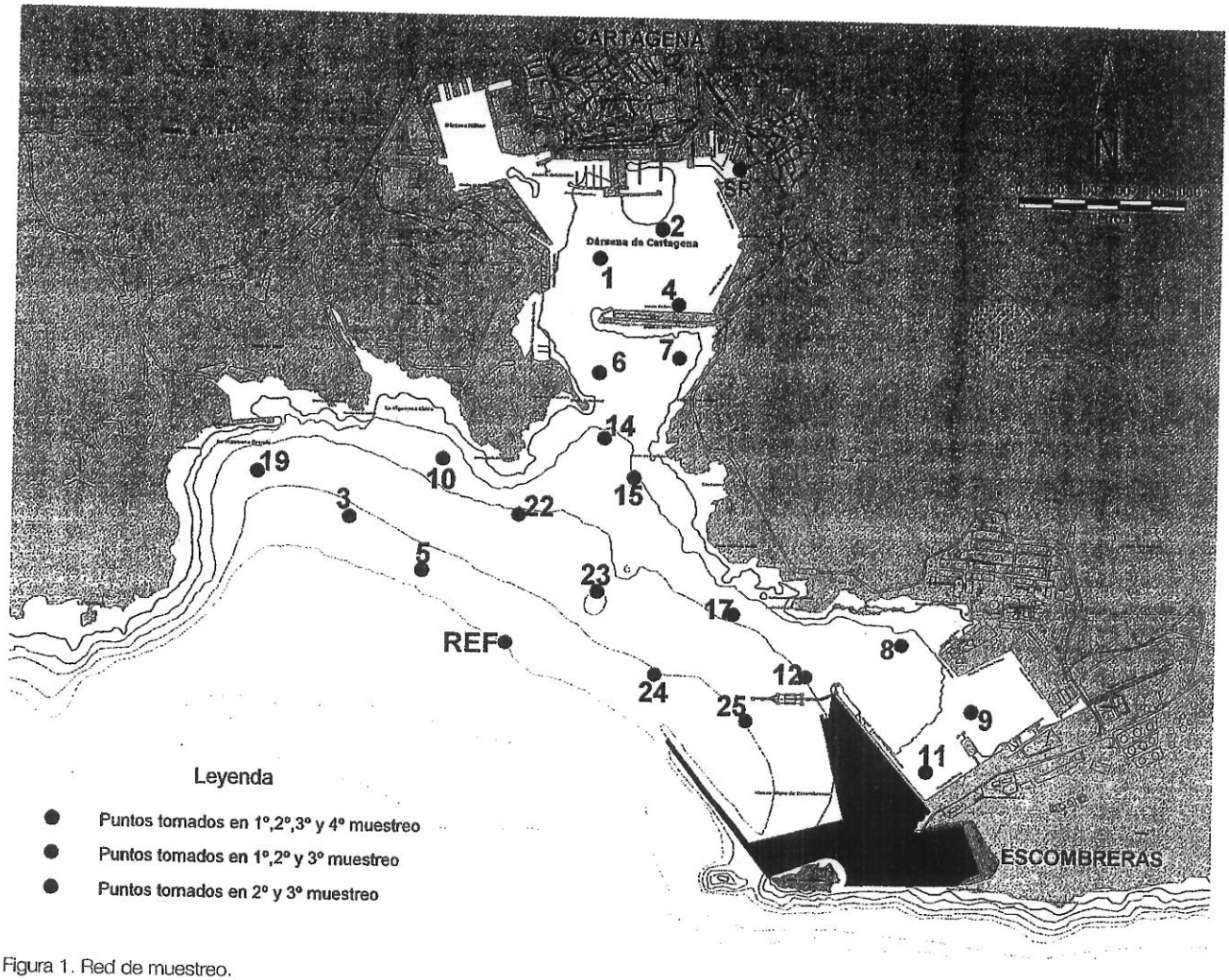


Figura 1. Red de muestreo.

Metodología

Para el desarrollo del trabajo se realizaron cuatro campañas de muestreo, con una periodicidad trimestral al objeto de caracterizar posibles variaciones estacionales, en 22 puntos de muestreo (Figura 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 (Puertos del Estado, 2006).

Se aplicó el método estadístico de Análisis de Componentes Principales (ACP) a los datos correspondientes a los dos muestreos más representativos (150 muestras) para establecer las correlaciones existentes entre los parámetros analizados y seleccionar aquellos más relevantes (Borja et al, 2003). A los resultados del ACP se les aplicó un análisis de conglomerados en dos fases al objeto de establecer las relaciones entre las muestras y su estacionalidad, pudiendo así definir 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 1).

Los factores así obtenidos agrupan los parámetros analizados como:

- Parámetros relacionados con la hidrodinámica del sistema: Factores 1 y 2.
- Parámetros relacionados con vertidos industriales: Factores 3 y 5.
- Parámetros relacionados con vertidos urbanos: Factor 4.

Análisis de Conglomerados en dos fases

A partir de la matriz de correlación resultante del ACP, se introducen los valores de todas las muestras

	1	2	3	4	5
Temperatura	0,89	0,15	0,18	–0,11	–0,17
DBO	0,89	0,15	0,19	0,10	–0,19
Bicarbonatos	–0,66	–0,20	–0,34	0,05	0,28
Sólidos	0,86	–0,01	0,06	0,11	0,06
Oxígeno	–0,59	0,04	–0,18	0,43	–0,08
Cloruros	0,13	0,98	0,02	0,03	0,02
Salinidad	0,13	0,98	0,02	0,03	0,02
Cu	0,19	–0,08	0,89	–0,12	0,01
Pb	0,17	0,10	0,90	–0,02	0,05
Amonio	0,09	0,08	0,04	0,86	0,07
Nitritos	–0,11	–0,04	–0,17	0,79	–0,24
Zn	0,27	–0,20	0,01	0,05	0,81
Redox	0,10	0,28	0,07	–0,24	0,79

Tabla 1. Distribución de parámetros en los diferentes factores y puntuaciones

para los 13 parámetros seleccionados y se procede a un análisis de conglomerados en dos fases.

Se obtienen cinco agrupaciones de muestras que denotan una diferenciación en distintas áreas en función de su profundidad y su estacionalidad (periodo de formación de la termoclina). Se han establecido así cuatro masas de agua (Figura 2).

Se definió la calidad general o nivel de referencia, para cada una de las masas de agua, en base a los resultados analíticos de los parámetros relacionados con la hidro-

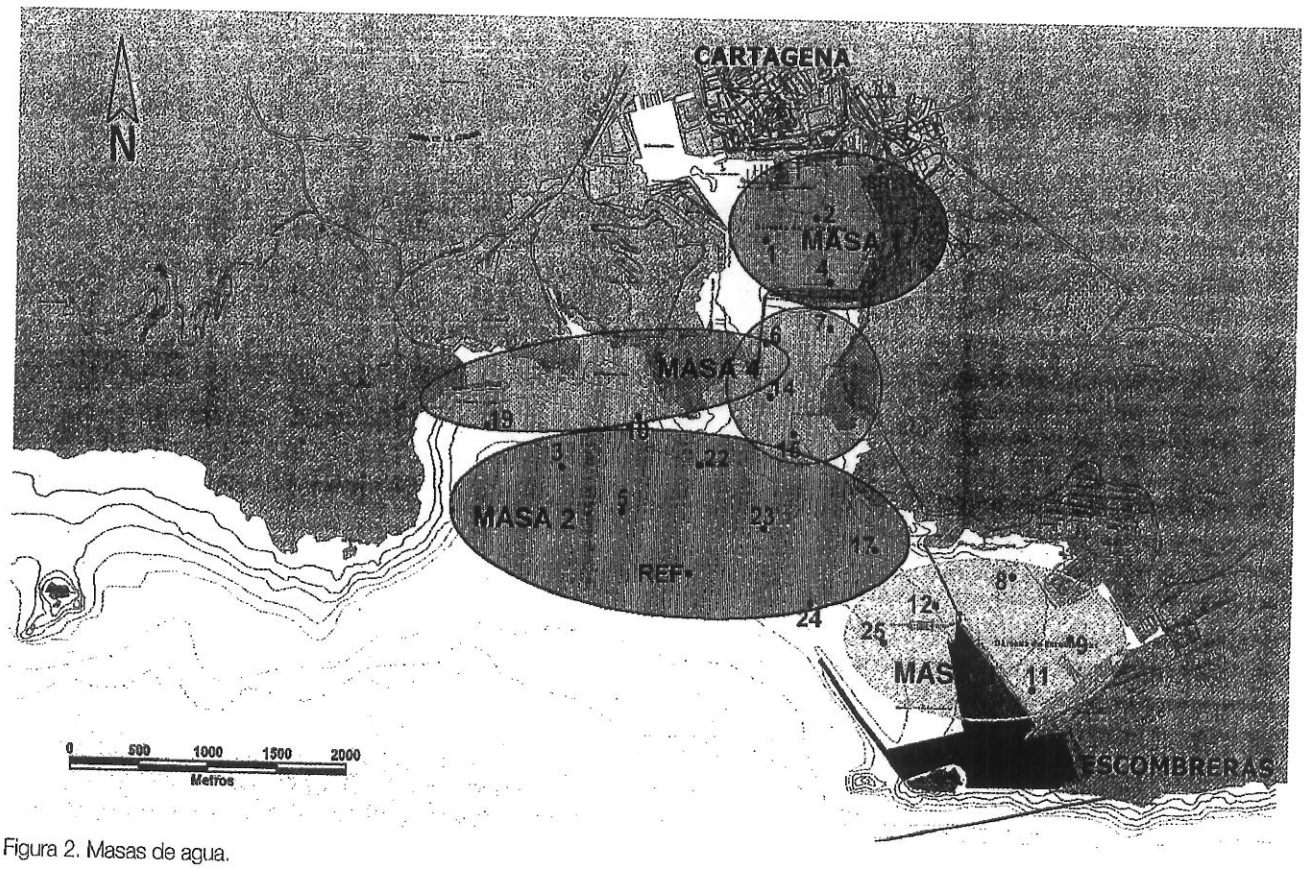


Figura 2. Masas de agua.

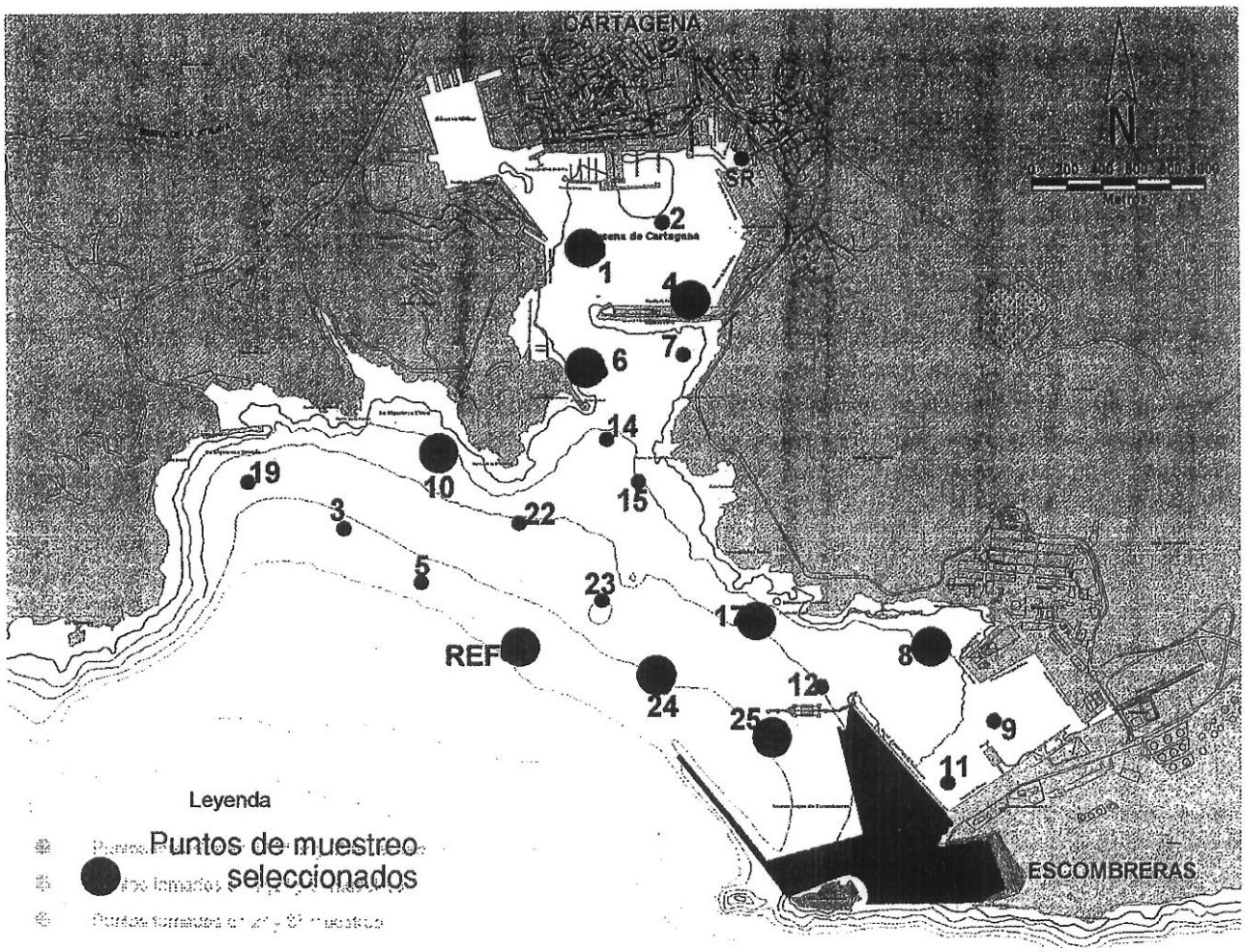


Figura 3. Puntos de muestreo seleccionados.

dinámica del sistema (Factores 1 y 2, Tabla 1), y en base a la legislación (RD 258/1989 sobre vertido de sustancias peligrosas desde tierra al mar) para los parámetros relacionados con vertidos industriales y urbanos (Factores 3, 4 y 5, Tabla 1).

Una vez definida la calidad general del agua es posible representar gráficamente los resultados analíticos de cada muestra frente a los factores definidos por el ACP, de forma que se obtenga información sobre su pertenencia a la agrupación de calidad general o su desviación de la misma. Este último caso parece indicar la existencia de una alteración de la calidad de la masa de agua (López-Samaniego, 2007).

La posición relativa de las alteraciones detectadas frente a cada factor permite determinar su posible origen, orientando así las medidas correctoras necesarias para que la totalidad de las muestras se mantengan dentro de los límites establecidos como calidad general.

Esta metodología permite por lo tanto obtener un análisis de evolución que facilita la gestión de la calidad físico-química de la masa de agua a estudio

Variaciones Estacionales

La aplicación del análisis estadístico a los datos físico-químicos pone de relieve una importante variación estacional en función de los periodos de formación de la termoclina y la profundidad de los puntos de muestreo. Las zonas de menor profundidad (masas de agua 1 y 3, Figura 2) presentan formación de termoclina a partir de 5 m de profundidad únicamente en el periodo de verano, mientras que en las zonas más profundas (masa de agua 2, Figura 2) la profundidad de formación se establece a partir de 10 m y el periodo se prolonga hasta el otoño.

Estas variaciones permiten definir las profundidades y estacionalidad óptima de la red de control a diseñar, así se restringe la periodicidad a tomas de muestras semestrales y la profundidad a 5 y 10 ó 20 m, en función de la profundidad total del punto de muestreo.

Del estudio de las variaciones estacionales de los parámetros analizados también se desprende la importancia de algunas variables que no han sido integradas

por el ACP (mercurio, clorofila A y pH), parámetros que también deben ser tenidos en cuenta 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 masa de agua, así como la ubicación y programación temporal de la propia red de control. Se simplifican, de esta manera, los requerimientos analíticos para la gestión medioambiental 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 bien por su comportamiento estacional anómalo, han de ser objeto de control preferente, esto supone que de los 22 puntos de muestreo iniciales se estiman necesarios 9 (Figura 3).

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 una programación de muestreo semestral. De las 264 muestras necesarias para la realización de este trabajo se estiman necesarias 36 para el adecuado control de la calidad del agua y su evolución.

Los resultados del ACP, 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. Por lo tanto se ha reducido en un 54% los requerimientos analíticos necesarios para evaluar la evolución de la calidad del agua en este entorno.

La entrada en vigor de la DMA (Directiva 2000/60/CE) implica la necesidad de establecer sistemas de control de la calidad del agua y su evolución en las zonas de servicio portuario. Esta necesidad implica una adecuada gestión. La metodología aquí expuesta permite simplificar la misma, sin comprometer la calidad de los resultados. Esta metodología podría ser aplicada a otros entornos portuarios de manera que se facilite 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, la colaboración del Ente Público Puertos del Estado, la Autoridad Portuaria de Cartagena y la Dra. Rocío Millán del Departamento de Medioambiente del CIEMAT.

Bibliografía

- 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. 2003. "Red de Vigilancia de las Masas de Aguas Superficiales de la Comunidad Autónoma del País Vasco". Tomo 1: Metodologías Utilizadas. Departamento de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente, Gobierno Vasco. 199 pp.
- 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, de 23 de octubre del 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. (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.
- Puertos del Estado. 2006. "Procedimiento metodológico Participativo para la Canalización, Recogida y Difusión de Estudios y Análisis Técnico-Científicos sobre los documentos del Programa ROM, EROM 01". Ed. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia. 214 pp.
- Real Decreto 258/1989, de 10 de marzo, por el que se establece la normativa general sobre vertido de sustancias peligrosas desde tierra al mar. (BOE nº 64, pp. 7359 – 7362).
- ROL, F., CANO, R., HERRÁEZ, I., LÓPEZ-SAMANIEGO, E., MALONDA, I. y MIRANDA, J. (2004). "Sistema integrado de seguimiento de la calidad del agua en el Puerto de Cartagena. Fase I: Caracterización de las aguas". Revista "Puertos", Ente Público Puertos del Estado, 117, 36-39.