

Estudio preliminar de la carga de contaminantes transportada por el río Odiel

Preliminary study of the pollutants load of the Odiel river

A.M. Sarmiento y J.M. Nieto

Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Experimentales, Universidad de Huelva, 21071 Huelva

ABSTRACT

The Odiel river drains the central part of the Iberian Pyrite Belt, one of the oldest and most important sulphide mining districts of the world. As a consequence of a long mining history, large amounts of sulphides and sulphide-rich residues have been exposed in the surface. The oxidation of these sulphides has originated acidic effluents very rich in sulphates, metals and metalloids that end in the Odiel river. As a result, the water in the middle and lower part of the river normally has a pH lower than 3.5 and very high amounts of metals and sulphates. In order to understand the transport and fate of pollutants in this river, we have started a study of the river chemistry combining a systematic sampling with the analysis of water flux and metal concentration data for the last 15 years, from which the first results are shown here.

Key words: mining pollution, Odiel river, Iberian Pyrite Belt

Geogaceta, 34 (2003), 207-210
ISSN:0213683X

Introducción

Los ríos Tinto y Odiel se encuentran probablemente entre los cursos fluviales más contaminados de Europa. Estos dos ríos drenan la parte central y oriental de la Faja Pirítica Ibérica (FPI), una gran provincia metalogenética con numerosos depósitos de sulfuros masivos de grandes dimensiones, y con un total de reservas originales superior a los 1700 millones de toneladas (Sáez *et al.*, 1999). La contaminación en estos dos ríos está asociada a la oxidación en superficie de los sulfuros masivos, con la consiguiente liberación de sulfatos y metales, y un notable descenso del pH del agua. Esta oxidación de sulfuros y lixiviación de contaminantes se inició de forma natural al menos en el Mioceno (Moreno *et al.*, 2003), aunque adquiere mayor relevancia con el inicio de las actividades mineras en la región en la segunda mitad del tercer Milenio antes de nuestra era, tanto en la cuenca del Odiel (Nieto *et al.*, 2001), como en la del Tinto (Leblanc *et al.*, 2000), y llega a tener gran importancia a escala regional durante la época romana (Rosman *et al.*, 1997; Nieto *et al.*, 1999). Con posterioridad a este periodo, la actividad minera en la región fue intermitente hasta su resurgimiento fi-

nal a mediados del siglo XIX. Sin embargo, la gran cantidad de sulfuros y residuos expuestos en superficie originaron unos niveles de contaminación similares a los actuales, a juzgar por las descripciones de un informe minero de la región elaborado en 1556 (Salkield, 1987), que probablemente sea, sin pretenderlo, el primer informe de impacto ambiental de la actividad minera en la FPI.

Aunque el conocimiento de la carga de contaminantes de origen minero transportada por los ríos Tinto y Odiel ha sido objeto de estudio desde hace algunos años por varios grupos de investigación (ver para una revisión Elbaz-Poulichet *et al.*, 2001), el cálculo del flujo total de contaminantes al estuario es todavía demasiado estimativo por falta de un muestreo sistemático. Esto es especialmente importante en la zona objeto de estudio, dada la fuerte componente estacional de las descargas. Por tanto, y con objeto de poder establecer con mayor precisión el aporte de contaminantes de los ríos Tinto y Odiel desde las zonas mineras al estuario, se ha iniciado un estudio de los datos previos existentes junto con un muestreo sistemático de ambos ríos, del cual se muestran en este trabajo los primeros resultados para el río Odiel.

Descripción de la cuenca del Odiel

El río Odiel nace en la Sierra de Aracena (Fuente de Marimateo) y desemboca, en un estuario común junto con el río Tinto, en el Golfo de Cádiz, dentro del término municipal de Huelva (Figura 1). Su cuenca de drenaje posee una superficie de 2300 km² y el curso principal tiene una longitud de 140 km. El carácter fluvial del Odiel se pierde en las inmediaciones del municipio de Gibraleón, a partir del cual se crea un complejo estuario que constituye el Parque Natural de las Marismas del Odiel, que representa un 10% del total de la cuenca. Su red hidrográfica está compuesta por los afluentes Meca, Oraque, Olivargas, Santa Eulalia y Río Agrio, entre otros, con una longitud total de cursos de aproximadamente 1000 Km (Sainz, 1999).

La cuenca del Odiel posee un clima mediterráneo, que pasa de mediterráneo continental templado en la Sierra de Aracena, a mediterráneo subtropical hacia el centro de la cuenca y finalmente a mediterráneo marítimo en el litoral atlántico, con valores medios anuales de temperatura en torno a 18 °C (ITGE, 1993). Desde el punto de vista pluviométrico, tanto el régimen de humedad como la intensidad de las lluvias y la situación estacional del periodo seco, definen un

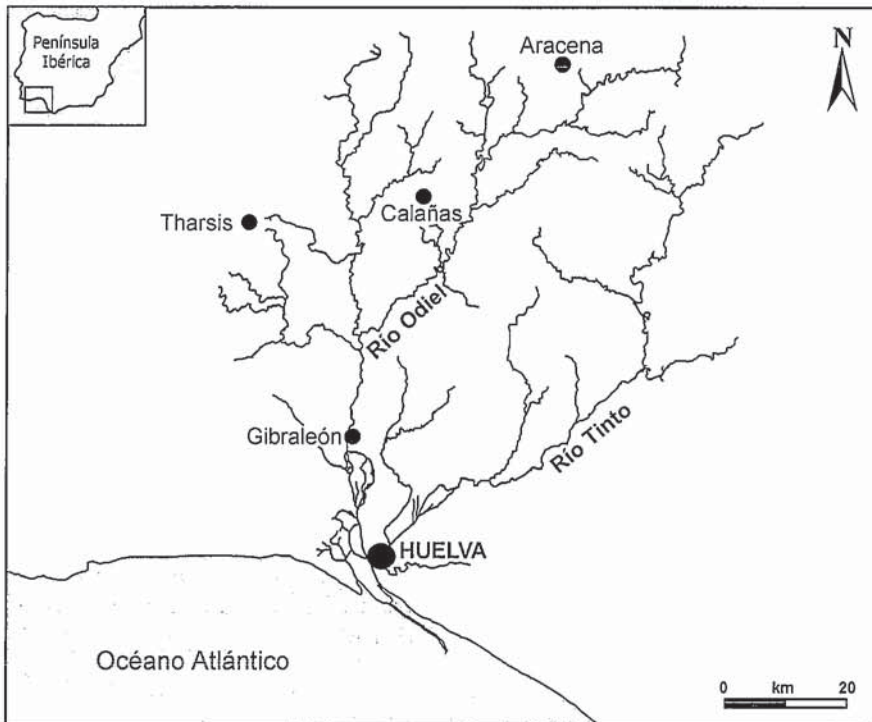


Figura 1.- Mapa de las cuencas de drenaje de los ríos Tinto y Odiel.

Figure 1.- Map of the watersheds of the Tinto and Odiel rivers.

clima mediterráneo seco, con precipitaciones medias anuales de 500 a 700 mm, exceptuando la zona de la Sierra de Aracena, donde las precipitaciones alcanzan de 800 a 1200 mm. La zona con menores precipitaciones es la parte baja del litoral atlántico, donde a veces se alcanza el valor total de precipitación de un mes en un solo día. En los meses más lluviosos (octubre, noviembre, enero y febrero) se suele llegar al 65-70% del total de agua caída durante todo el año (ITGE, 1993).

Origen de los datos y metodología

Los datos utilizados en este estudio corresponden a la estación de aforo 307 del río Odiel, ubicada en las inmediaciones del municipio de Gibraleón (Figura 1). Se han utilizado dos tipos de datos: datos históricos (desde enero de 1987) procedentes de distintos organismos nacionales y autonómicos, y los datos resultantes de un muestreo sistemático realizado durante el año 2001. Dado que el estudio se ha realizado para un amplio intervalo de tiempo (15 años), no ha sido posible disponer de datos de una sola fuente, por lo que se ha realizado una recopilación y contrastación de todos los datos disponibles. En concreto, los datos de análisis químicos se han obtenido de la Confederación Hidrográfica del Guadiana, la Delegación Provincial de

Medioambiente de Huelva y los nuevos análisis realizados para este estudio en los Servicios Centrales de I+D de la Universidad de Huelva. Los datos de caudal en la estación de aforo 307 proceden de la Confederación Hidrográfica del Guadiana, y los datos de precipitaciones en Gibraleón y La Zarza (Calañas) proceden del Instituto Nacional de Meteorología.

Para el caso de los análisis realizados en los Servicios Centrales de I+D de la Universidad de Huelva, se siguió un protocolo similar al empleado por Johnson (1986). Las muestras se recogieron en botes de polietileno previamente lavados con ácido para las muestras en las que se iba a determinar cationes, y con agua mili-Q para aquellas en las que se iba a medir aniones. Conductividad y pH se midieron *in situ* y posteriormente las muestras se filtraron con filtros de teflón de 0.45 μm de tamaño de poro. Las muestras en las que se iba a determinar cationes se acidularon con ácido nítrico calidad suprapur y todas las muestras se conservaron refrigeradas hasta su análisis. Los cationes se analizaron mediante absorción atómica (AAS) con un equipo marca Shimadzu AA-6601F equipado con automuestreador y los aniones se determinaron mediante cromatografía iónica con un cromatógrafo marca Dionex DX-120 con una columna AS 9-

HC de 4 x 250 mm y membrana supresora ASRS-ULTRA de 4mm.

Resultados y discusión

En la base de datos construida con los datos procedentes de las fuentes antes mencionadas, existían algunas lagunas, fundamentalmente en los datos de caudal y, en algunos casos, en la existencia de análisis incompletos. Por tanto, en primer lugar, se procedió a intentar subsanar estas lagunas. Para el caso de la falta de datos de caudal, se ha analizado la relación existente, en las cuencas mediterráneas como la del Odiel, entre precipitación y caudal (Syvitski y Morehead, 1999). La correlación entre estos dos parámetros debería ser muy alta el caso que nos ocupa dada la alta estacionalidad de las precipitaciones y la práctica ausencia de acuíferos en la mayor parte de la cuenca. Estos acuíferos se limitan a la parte más alta de la cuenca (Sierra de Aracena), donde se localizan pequeños acuíferos carbonatados, y a la parte baja de la misma donde está el acuífero de Ayamonte-Huelva, de origen detrítico (ITGE, 1993). La mejor correlación entre precipitación y caudal se obtuvo con la suma de los datos de precipitación de las estaciones de Gibraleón y La Zarza (Calañas) y los datos de caudal de la estación de aforo de Gibraleón, eliminando previamente los datos de caudal nulos y algunos datos esporádicos correspondientes a caudales excesivamente elevados, en torno a los 300 m^3/s (Tabla 1).

Una vez estimados los datos de caudal de los meses para los cuales no había registro, se procedió a intentar subsanar algunas de las lagunas observadas en los análisis químicos. En concreto se estudió, entre otras, la relación entre conductividad, por ser este un parámetro medido en la práctica totalidad de los análisis disponibles, y concentración de los principales aniones y cationes, observándose una correlación bastante alta para el caso de sulfatos, Cu, Zn y Cd, mientras que otros contaminantes, como el Pb, presentaban correlaciones muy bajas (Figura 2). En general, las altas correlaciones entre concentración y conductividad se han obtenido para aquellos contaminantes que tienen una alta tendencia a estar presentes en forma disuelta en este tipo de aguas. Así, Cu y Zn presentan una relación entre especies ligadas a partículas y especies disueltas inferior a 0.1 para valores de pH inferiores a 4 (Johnson, 1986). Como podemos observar en la Tabla 1, el pH en la estación de Gibraleón presenta un valor relativa-

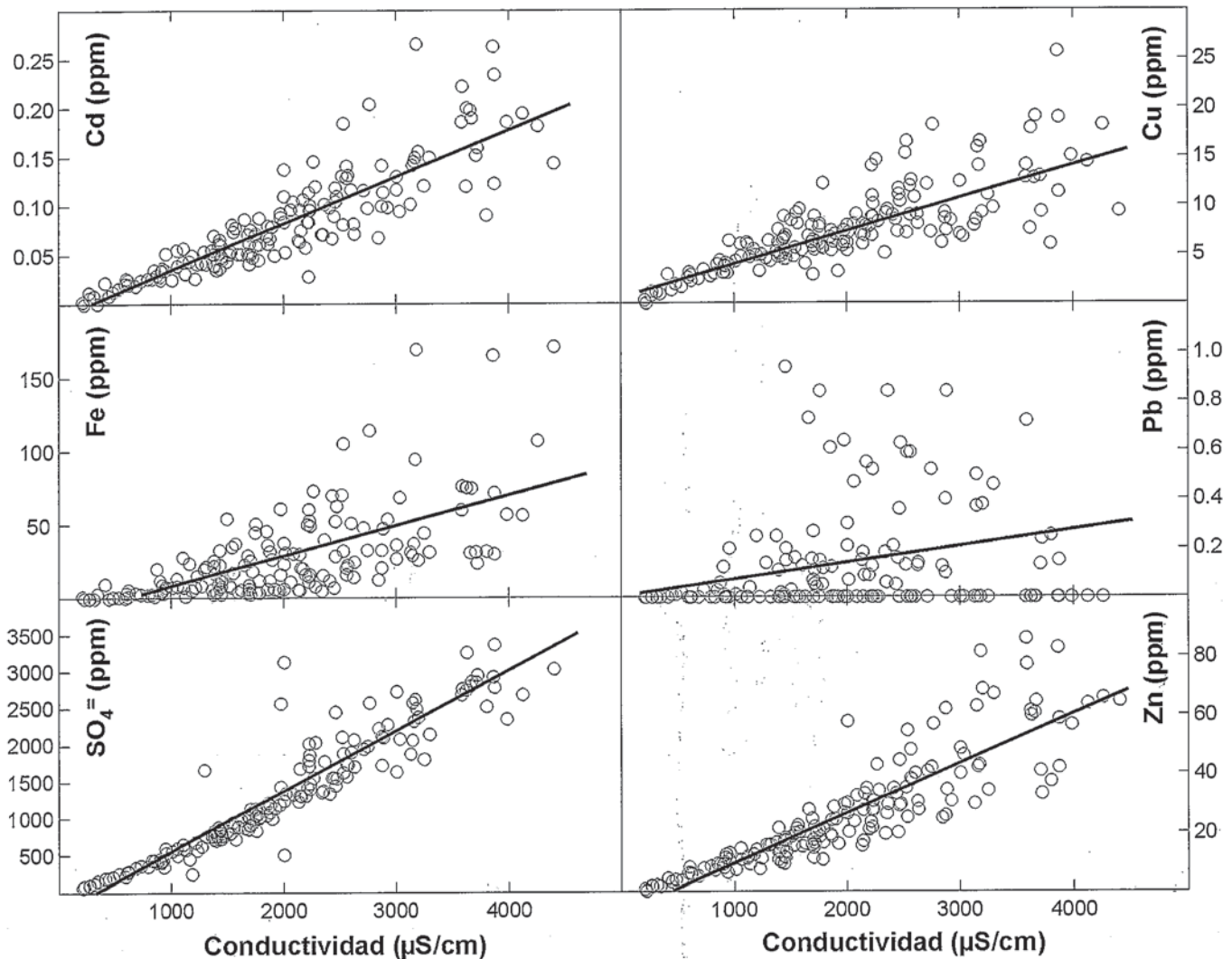


Fig. 2.- Correlación entre conductividad y principales contaminantes en el río Odiel.

Fig. 2.- Correlation between conductivity and main pollutants in the Odiel river.

mente constante de 3.0 ± 0.4 , estando las escasas variaciones con respecto a este valor relacionadas con grandes avenidas, como es el caso del mes de noviembre de 1989, cuando se alcanzó un valor de pH de 6.2 para un caudal de $300 \text{ m}^3/\text{s}$ (el máximo en el periodo considerado). Por tanto, consideramos que en la mayoría de los análisis disponibles es posible estimar la concentración a partir de los datos de conductividad de aquellos elementos en los que la correlación entre estos dos parámetros es alta, lo que nos ha permitido completar en parte nuestra base de datos.

En la Figura 3 se representa la evolución temporal de la media anual del aporte total de contaminantes frente al caudal medio anual registrado en el periodo de tiempo considerado. Como podemos observar en esta figura, en general existe una relación entre estas dos variables, de forma que para caudales altos el aporte

total de contaminantes es también alto. La única excepción clara corresponde al año 1989. Durante gran parte de este año se registraron caudales relativamente bajos, con lo que las medias mensuales de carga de contaminantes también eran bajas. Sin embargo, en los meses de noviembre y diciembre se registraron caudales de 300 y $280 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente, lo que hace aumentar de forma significativa la media anual de caudal.

Conclusiones

Se ha realizado un estudio, para un periodo de 15 años, de la carga de contaminantes transportada por el río Odiel. Parte de los datos utilizados para este estudio, procedentes de distintos organismos nacionales y autonómicos, estaban incompletos, por lo que se ha procedido a completarlos en la medida de lo posible realizando correlaciones entre precipita-

ción y caudal, para la estimación de caudales no medidos, y entre conductividad y concentración, para la estimación de algunos parámetros químicos. Con el total de los datos se ha calculado la carga anual de contaminantes transportados por el río Odiel hasta su estuario. Esta carga anual muestra importantes variaciones en el periodo considerado, que en general se relacionan con las variaciones registradas en el caudal.

Agradecimientos

Los autores del trabajo agradecen a la Confederación Hidrográfica del Guadiana, la Delegación Provincial de Medioambiente de Huelva y el Instituto Nacional de Meteorología los datos aportados para este trabajo, el cual ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología a través del proyecto REN 2000-1003-C03-03 / HID.

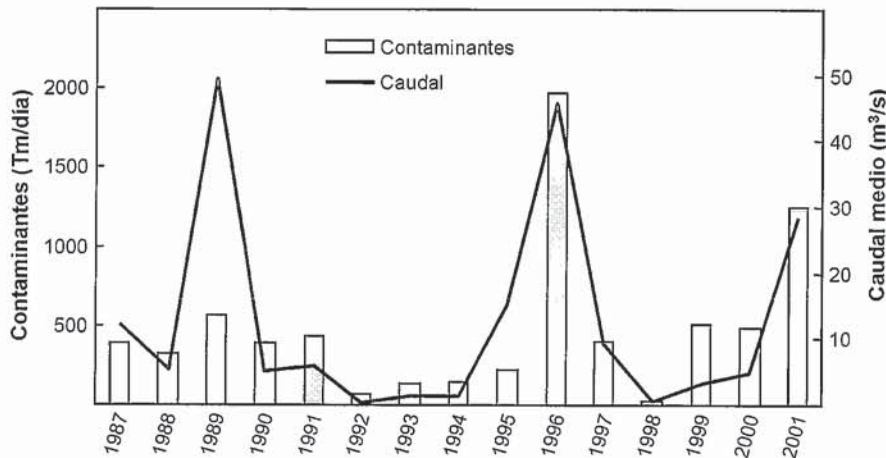


Fig. 3.- Evolución temporal de la carga de contaminantes y relación con el caudal medio anual.

Fig. 3.- Temporal evolution of the pollutants load in relation with the annual mean water flow.

| Variable | Mínimo | Máximo | Media (n = 165) | Desviación estandar |
|-------------------------|--------|---------|-----------------|---------------------|
| Caudal (m³/s) | 0,00 | 300,00 | 12,45 | 44,48 |
| Conductividad (µS/cm) | 205,00 | 4400,00 | 1970,10 | 960,97 |
| pH | 2,50 | 6,20 | 3,02 | 0,43 |
| SO4 ²⁻ (ppm) | 70,30 | 3960,00 | 1327,90 | 849,25 |
| Mn (ppm) | 0,00 | 55,59 | 14,02 | 10,14 |
| Fe (ppm) | 0,00 | 171,00 | 27,20 | 30,66 |
| Cu (ppm) | 0,00 | 25,72 | 7,52 | 4,23 |
| Zn (ppm) | 0,00 | 86,07 | 26,04 | 18,82 |
| Cd (ppm) | 0,00 | 0,27 | 0,08 | 0,05 |
| Pb (ppm) | 0,00 | 1,18 | 0,14 | 0,24 |
| Σ Metales (ppm) | 0,00 | 316,51 | 74,17 | 58,34 |

Tabla I.- Rango de variación y valores medios de los parámetros medidos en el río Odiel.

Table I.- Variation range and mean values of the measured parameters in the Odiel river.

Referencias

Elbaz-Poulichet, F., Braungard, C., Achtenberg, E., Morley, N.H., Cossa, D., Beckers, J.M., Nomerange, P., Cruzado A. y Leblanc, M., (2001). Continental Shelf Research. 21, 1961-1973.

ITGE (1993). Atlas Hidrogeológico de la Provincia de Huelva.

Johnson, C.A. (1986). Geochim. Cosmochim. Acta, 50, 2433-2438.

Leblanc, M., Morales, J.A., Borrego, J. y Elbaz-Poulichet, F. (2000). Econ. Geol., 95, 655-662.

Moreno, C., Capitán, M.A., Doyle, M., Nieto, J.M., Ruiz, F. y Sáez, R. (2003). Geogaceta, 33, 75-78.

Nieto, J.M., Puga, E. y Maldonado, A. (1999). En: Minería, Industria y Medio Ambiente en la Cuenca Mediterránea. Serv. Publ. Univ. Almería, 110-117.

Nieto, J.M., Nocete, F. y Sáez, R. (2001). Bol. Soc. Esp. Mineralogía, 24A, 109-110.

Rosman, K.J.R., Chisholm, W., Hong, S., Candelone, J.P. y Boutron, C.F. (1997). Environ. Sci. & Technol., 31, 3413-3416.

Sáez, R., Pascual, E., Toscano, M. y Almodóvar, G.R. (1999). Mineral. Deposita, 34, 549-570.

Sainz, A. (1999). Tesis Doctoral Univ. Córdoba.

Salkield, L.U. (1987). A technical history of the Rio Tinto mines: some notes on exploitation from pre-Phoenician times to the 1950s. The Institution of Mining and Metallurgy, 114 pp.

Syvitski, J.P. y Morehead, M.D. (1999). Marine Geology, 154, 13-28.