

Sobre la calidad del agua del futuro embalse de Alcolea (Cuenca del río Odiel, Huelva)

Water Quality of the Future Alcolea Dam (Odiel River Basin, Huelva)

M. OÍas⁽¹⁾, J.M. Nieto⁽²⁾, L. Galvan⁽¹⁾, A.M. Sarmiento⁽²⁾ y C.R. Canovas⁽¹⁾

⁽¹⁾ Departamento de Geodinámica y Paleontología. Universidad de Huelva. Campus «El Carmen» s/n. 21071-Huelva. manuel.olias@dgyp.uhu.es

⁽²⁾ Departamento de Geología. Universidad de Huelva. Campus «El Carmen» s/n. 21071-Huelva.

ABSTRACT

The Odiel River drains the central part of the Iberian Pyrite Belt, an area with many polymetallic massive sulphide mines that have been worked since prehistoric times. As a consequence of the oxidative dissolution of the sulphides exposed in the surface associated to mining activities, acid mine drainage pollution is an important processes in the Odiel basin that lower considerably the water quality of the river. In fact, near its mouth, the Odiel river has a very low pH and high concentrations of metals and metalloids in solution. Two reservoirs are planned in the Odiel river within the National Hydrologic Plan: Alcolea and Coronada. The construction of the Alcolea dam is suppose to start this year, with a total planned investment of 200.000.000 €. After the study and analysis of the water quality in the watershed of the Alcolea dam, and the study of the chemical evolution with time in others water dams in the Odiel basin, the inferred long-term quality for the water in the Alcolea dam will not allow its direct use for agriculture or industrial uses. Therefore, taking into account the important investment planned and the poor quality of the water expected, it is necessary an important re-evaluation of the original project that takes into account, in a more rigorous way, the final quality of the water accumulated in the dam.

Key words: Acid Mine Drainage, Alcolea dam, Water quality, Odiel

Geogaceta, 42 (2007), 59-62
ISSN: 0213683X

Introducción

La mayor parte de la red fluvial del río Odiel está intensamente contaminada por drenajes ácidos (Fig.1) procedentes de las numerosas minas que explotan los yacimientos de sulfuros de la Faja Pirítica Ibérica (Sánchez-España *et al.*, 2005; Sarmiento, 2007). Cerca de su desembocadura, el pH del río Odiel es próximo a 3,60, con elevadas concentraciones de metales tóxicos disueltos (Cánovas *et al.*, 2007). En las proximidades de las minas las condiciones son mucho más extremas, pero la calidad del agua va mejorando a medida que se aleja de los puntos de vertido debido a: 1) la dilución por la mezcla de agua de arroyos no contaminados, 2) la precipitación de oxihidroxisulfatos de hierro que tapizan los cauces afectados por aguas ácidas y 3) procesos de coprecipitación y/o adsorción con los oxihidroxisulfatos de hierro, que afectan especialmente a algunos elementos, como arsénico y plomo.

La cantidad de metales tóxicos transportados por el río Odiel al cabo del año es enorme: 4500 toneladas de Al, 2800 de

	Río Odiel en Sotiel (n=17)				Río Oraque (n=11)				Río Meca (n=6)			
	Media	D.E.	Min.	Max.	Media	D.E.	Min.	Max.	Media	D.E.	Min.	Max.
pH	3.40	0.65	2.17	4.67	3.43	0.57	2.85	4.80	3.55	0.62	2.81	4.43
CE $\mu\text{S}/\text{cm}$	1798	1046	512	3544	1291	660	394	2540	1434	650	706	2440
Al mg/L	74.5	52.9	9.4	179.0	27.1	21.7	5.3	81.7	45.4	28.0	14.2	86.4
As $\mu\text{g}/\text{L}$	287	923	3.3	3217	11.5	7.8	4.8	20.2	10.7	-	10.7	10.7
Ca mg/L	71.7	47.5	29.8	185.5	39.8	28.4	12.8	113.8	34.1	13.8	15.3	56.7
Cd $\mu\text{g}/\text{L}$	82.8	49.9	31.0	195.2	30.4	15.4	13.0	62.1	35.5	28.0	4.5	79.2
Co $\mu\text{g}/\text{L}$	470	330	115	1250	257	191	27	652	563	344	185	1044
Cr $\mu\text{g}/\text{L}$	13.4	9.8	4.0	33.3	5.5	1.0	4.4	6.9	18.0	8.2	10.5	27.3
Cu mg/L	9.1	5.2	2.5	20.9	2.6	1.4	0.5	4.7	7.2	4.3	2.5	12.8
Fe mg/L	12.8	7.9	3.2	26.5	9.3	8.3	1.8	29.0	12.3	6.6	1.9	20.2
K mg/L	2.8	1.5	0.8	5.6	2.0	0.9	1.0	4.2	2.5	1.0	1.3	3.9
Li $\mu\text{g}/\text{L}$	135.5	98.7	28.8	331.1	61.5	54.7	8.4	172.6	76.2	53.9	21.0	169.9
Mg mg/L	111.0	74.1	30.3	272.4	65.9	43.9	15.8	171.9	67.9	32.8	27.2	111.3
Mn mg/L	15.8	11.5	3.1	42.2	6.1	4.6	1.0	15.7	8.9	5.5	2.7	16.2
Na mg/L	19.4	8.5	9.9	41.2	25.4	15.3	11.6	64.0	35.4	8.6	25.4	51.4
Ni $\mu\text{g}/\text{L}$	241.2	175.5	60.6	662.2	148.9	106.4	9.0	370.0	252.2	161.5	61.9	458.8
Pb $\mu\text{g}/\text{L}$	111.1	131.2	18.2	493.4	28.6	19.9	9.5	76.0	239.2	410.3	7.0	968.9
Si mg/L	11.5	10.7	0.5	40.5	10.7	10.2	1.0	34.4	8.3	6.4	2.8	20.6
Sr $\mu\text{g}/\text{L}$	276	566	59	2305	528	1400	34	4747	118	54	52	196
Zn mg/L	19.6	13.2	5.1	52.9	10.8	7.7	1.6	28.5	13.7	9.5	4.5	28.2
SO ₄ mg/L	1207	773	323	2796	635	387	120	1465	785	464	241	1399

Tabla I.- Resumen de los resultados analíticos del río Odiel en Sotiel, del río Oraque y del río Meca (CE: conductividad eléctrica; D.E.: desviación estándar).

Table I.- Mean analytical results of the Odiel river in Sotiel, the Oraque river, and the Meca river (CE: electrical conductivity; D.E.: standard deviation).

	Embalses no afectados (n=5)				Embalse Olivargas (n=8)				Embalse Sancho (n=8)			
	Media	D.E.	Min.	Max.	Media	D.E.	Min.	Max.	Media	D.E.	Min.	Max.
pH	7.20	0.50	6.60	7.72	7.01	0.35	6.21	7.30	4.24	0.22	3.94	4.68
CE µS/cm	157	25	120	190	209	25	168	243	362	25	328	400
Al mg/L	0.10	0.16	<l.d.	0.38	0.20	0.33	<l.d.	0.93	2.96	0.63	1.65	3.58
As µg/L	5.10	1.91	3.01	7.85	1.26	2.34	<l.d.	5.41	5.51	0.39	5.23	5.78
Ca mg/L	10.3	2.9	7.1	14.6	9.7	3.3	4.8	15.9	12.3	2.1	9.5	16.0
Cd µg/L	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.
Co µg/L	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	72	18	58	114
Cr µg/L	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.
Cu mg/L	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0.65	0.12	0.54	0.90
Fe mg/L	0.37	0.26	0.18	0.55	0.10	0.28	0.00	0.78	0.39	0.41	0.15	0.86
K mg/L	1.85	0.33	1.47	2.36	0.83	0.33	0.33	1.37	2.71	0.54	1.94	3.59
Li µg/L	14.4	0.2	14.1	14.7	11.1	6.7	5.8	19.1	12.1	5.7	5.5	21.8
Mg mg/L	7.6	1.6	6.0	10.2	5.9	1.9	3.5	8.9	13.5	3.1	11.1	20.6
Mn mg/L	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0.21	0.14	0.11	0.50	1.71	0.36	1.42	2.52
Na mg/L	9.2	1.4	7.4	11.7	7.4	2.0	3.1	10.2	16.1	1.4	13.7	17.9
Ni µg/L	5.5	0.2	5.3	5.6	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	30.7	11.9	19.4	55.8
Pb µg/L	12.9	1.7	10.7	15.7	11.4	16.5	3.9	48.7	16.7	12.7	8.1	40.3
Si mg/L	1.80	3.20	0.15	6.60	3.89	1.58	1.89	6.40	3.43	0.97	1.82	4.24
Sr µg/L	44.2	3.3	39.3	48.6	51.2	42.0	22.5	148.7	65.1	27.4	43.7	126.0
Zn mg/L	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0.78	0.43	<l.d.	1.28	1.85	0.49	1.14	2.52
SO ₄ mg/L	19.5	6.5	13.9	32.1	26.3	8.3	18.9	45.3	121.2	31.4	78.4	185.0
ICO ₃ mg/L	59.7	13.3	45.0	82.0	41.0	14.9	13.3	62.6	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabla II.- Resumen de los resultados analíticos en los embalses de la cuenca (CE: Conductividad eléctrica; D.E: Desviación estándar; <l.d.: por debajo del límite de detección).

Table II.- Mean analytical results of the water dams located in the Odiel basin (CE: electrical conductivity; D.E.: standard deviation; <l.d.: below detection limit).

Fe, 2600 de Zn, etc. (Ollás *et al.*, 2006). Una parte importante de los metales tóxicos se depositan al mezclarse las aguas ácidas del río con el agua de mar en el estuario de la Ría de Huelva, aunque un porcentaje importante de los metales y metaloides que tienen un comportamiento más conservativo (Cd, Zn, As, etc.) siguen en solución en su paso por el estuario al mar (Elbaz Poulichet *et al.*, 2001; Braungardt *et al.*, 2003). En la Ría de Huelva se encuentra una importante reserva ornitológica: el Paraje Natural de las Marismas del Odiel.

Probablemente debido a la intensa contaminación de sus aguas, la cuenca del río Odiel está poco regulada, los dos embalses más grandes son el Olivargas (29 hm³ de capacidad) y el Sancho (58 hm³). El Plan Hidrológico de Cuenca y, posteriormente, el Plan Hidrológico Nacional contemplan la construcción de varios embalses en la provincia de Huelva. Ya se ha finalizado la construcción de la presa del Andévalo (600 hm³ de capacidad) en la cuenca del Rivera del Chanza y existen otros dos grandes embalses previstos en la cuenca del Odiel: el embalse de La Coronada (800 hm³) y el de Alcolea (363 hm³). El agua de estos embalses se destinaría fundamentalmente a uso agrícola.

Próximamente está previsto firmar el acuerdo para la construcción del embalse de Alcolea, con una inversión prevista en

torno a 200.000.000 €. Existe una fuerte oposición a la construcción de este embalse debido, entre otros, al impacto sobre la especie endémica *Erica Andevalensis*, las abundantes parejas de búho real que anida en las zonas inundables, el efecto barrera que produciría y la necesidad de analizar la repercusión de la disminución del volumen de sedimentos y agua fluvial en el Paraje Natural de las Marismas del Odiel.

Además, la presa de Alcolea se localiza en la confluencia de los ríos Oraque y Odiel (Fig.1), ambos fuertemente contaminados por drenaje ácido de mina (AMD), por lo que existen serias dudas sobre la calidad final del agua del embalse. El objetivo de este trabajo es realizar una estimación de la calidad del agua que se tendría en el embalse de Alcolea tras su construcción.

Metodología

Se ha partido de varios muestreos realizados en los ríos y arroyos de la cuenca del río Odiel entre los años 2003 y 2005 (Sarmiento, 2007). En concreto, cercanos a la zona donde se va a construir el embalse, se dispone de datos del río Odiel en Sotiel, del río Oraque y del río Meca (Fig.1). También se dispone de datos semanales de análisis del río Odiel en Gibrleón. Además se han muestreado los

embalses del Sancho y Olivargas junto con otros pequeños pantanos no afectados por drenaje ácido de mina (embalses del Odiel, Asturianos, Risco, Calabazar y Campanario).

Las muestras se almacenaron en botes de polietileno de alta densidad, previamente lavados con ácido nítrico al 10% y posteriormente enjuagados con agua mili-Q (18.2 MΩ) para los cationes, y solamente con agua mili-Q para los aniones. Fueron filtradas *in situ* con un filtro de teflón de 0.45 µm de tamaño de poro y, las destinadas a la determinación de cationes, aciduladas para su conservación con ácido nítrico de calidad suprapur al 2%. Posteriormente fueron transportadas hasta el laboratorio en la oscuridad a una temperatura próxima a 4 °C y conservadas en frigorífico hasta su análisis.

La conductividad eléctrica, pH, temperatura y potencial redox fueron determinados *in situ*. La alcalinidad se determinó mediante valoración con HCl estandarizado dentro de las 48 horas siguientes a la recogida de la muestra. Los cationes se analizaron mediante ICP-OES marca Jobin Yvon (JY ULTIMA 2) en los Servicios Centrales de I+D de la Universidad de Huelva.

Resultados y Discusión

Datos de los ríos y embalses de la zona

En la tabla I se expone un resumen de los resultados en tres de los puntos muestreados próximos al embalse de Alcolea. La calidad del agua es pésima en todos ellos, aunque las condiciones más extremas son las del río Odiel en Sotiel, con un pH medio de 3.40, 12,8 mg/L de Fe, 74,5 mg/L de Al, 19,6 mg/L de Zn, etc. Los niveles de contaminantes del río Meca y del río Oraque son parecidos, aunque ligeramente más elevados en el río Meca.

El río Meca está regulado por el embalse del Sancho, que como se comentará más adelante tiene valores de pH próximos a 4.2 y elevadas concentraciones de metales tóxicos (Tabla II). Las aguas que llegarían al embalse de Alcolea presentan peores condiciones que las que llegan al Sancho, lo que induce a pensar que el embalse de Alcolea también tendría aguas ácidas y elevadas concentraciones de metales tóxicos.

Las aguas de los embalses de la cuenca del Odiel que no reciben lixiviados ácidos (Tabla II) presentan un valor de pH próximo a neutro (media de 7,2) y una baja mineralización (conductividad eléctrica media de 157 mS/cm). Son aguas

bicarbonatadas con un bajo contenido en sulfatos (media de 19,5 mg/L).

El ión sulfato es un buen indicador de la contaminación por AMD, debido a que es un compuesto no reactivo que se encuentra en concentraciones muy elevadas en los lixiviados ácidos y bajas concentraciones en los cursos naturales no afectados por AMD. Los procesos químicos que podrían detraer sulfatos del agua son despreciables en comparación con los procesos de dilución (Nordstrom y Ball, 1986). La concentración de sulfatos de los embalses que reciben lixiviados ácidos de mina es significativamente mayor que en los no afectados por AMD (media de 26 mg/L en el embalse Olivargas y 121 mg/L en el Sancho).

La menor concentración de sulfatos en los embalses respecto a los ríos se debe a los procesos de dilución que se producen en las grandes avenidas, cuando la calidad del agua del río mejora temporalmente. Estas avenidas aportan grandes volúmenes de agua y tienen por tanto una gran influencia en la calidad del agua del embalse. Así, por ejemplo, mientras en el río Meca la concentración media de sulfatos es de 785 mg/L en el embalse del Sancho es de 121 mg/L.

El embalse del Sancho recibe mayor carga contaminante y de acidez que el del Olivargas. En este último, la dilución producida por las aguas de escorrentía de las avenidas es suficiente para compensar la acidez que recibe. Al aumentar el pH precipita en primer lugar el hierro que es eliminado casi completamente cuando el pH del agua aumenta por encima de 3,5. El aluminio es el siguiente elemento en precipitar entre pH 4 y 5. Posteriormente a valores de pH próximos a neutro también precipitan en forma de hidróxidos otros metales como Cu, Co, etc. Los metales tóxicos más móviles son Mn, Cd y Zn, que necesitan valores de pH superiores a 8 para precipitar (Nordstrom y Alpers, 1999).

En el embalse del Olivargas, donde la dilución con aguas limpias es suficiente para contrarrestar la acidez y se tiene un valor de pH neutro, la mayor parte de los elementos tóxicos que recibe precipitan, acumulándose en los sedimentos del fondo. No obstante, las concentraciones de Mn y Zn en el agua son significativamente superiores a las de los embalses que no reciben AMD.

En el embalse del Sancho, la dilución producida por las avenidas no es suficiente para contrarrestar la acidez y el pH se mantiene próximo a 4. En estas condiciones sólo precipita el Fe y la mayor parte

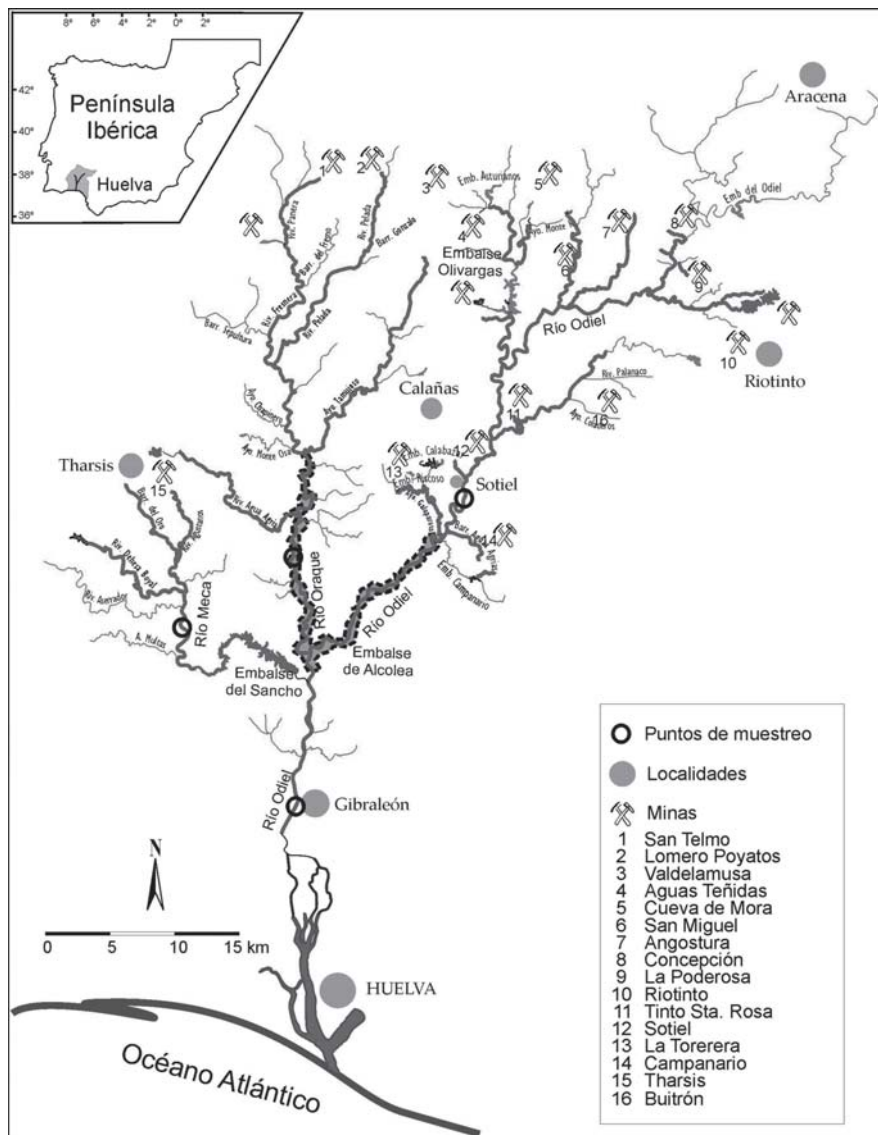


Fig. 1.- Cuenca del río Odiel, indicando los arroyos y ríos contaminados (trazo grueso), la situación de los puntos muestreados, las principales minas y la ubicación prevista del embalse de Alcolea.

Fig. 1.- Map of the Odiel basin showing the location of AMD affected (thick line) and non-affected streams, sampling points, main mines, and the location of the projected Alcolea dam.

de los elementos tóxicos permanecen en disolución (Tabla II).

Igualmente, aquellos embalses que tengan un contenido en sulfatos igual o superior al del Sancho el efecto de dilución no será suficiente para compensar la acidez, y tendrán aguas ácidas con elevadas concentraciones de elementos tóxicos.

Estimación de la composición media del agua en Gibrleón

El cálculo de la composición media del agua de los ríos ácidos es complicado debido a las fuertes variaciones de calidad que se producen durante las crecidas (Olías *et al.*, 2004) y la dificultad para muestrear estos episodios. Olías *et al.*

(2006) han realizado una estimación de la carga contaminante del río Odiel en Gibrleón en el periodo 1995/96 a 2002/03 a partir de numerosos análisis (con una media de 52 muestras por año) basándose en las relaciones que existen entre caudal y concentración de contaminantes.

Si dividimos la carga anual de contaminantes por la aportación media del río en ese periodo, tendremos la composición media del agua en ese punto (Tabla III), que es la misma que se tendría en un embalse construida en ese punto. En el cálculo realizado ya se contempla la dilución de los contaminantes producida por las avenidas.

Los resultados indican que la concentración de sulfatos sería mayor que la

SO ₄	Al	As	Cd	Cu	Co	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
mg/L	mg/L	µg/L	µg/L	mg/L	µg/L	mg/L	mg/L	µg/L	µg/L	mg/L
157,4	4,9	25	8	1,34	67	3,05	1,55	36	13	2,79

Tabla III.- Concentración media de los parámetros seleccionados del agua que se tendría en un embalse situado en Gibrleón, calculada a partir de la carga contaminante aportada por Olías et al. (2006).

Table III.- Mean concentration of the selected parameters for a water that could accumulate in a hypothetical water dam constructed at Gibrleón, calculated with the contaminant load data in Olías et al. (2006).

del embalse del Sancho, por lo que los niveles de contaminación serían incluso más elevados. Probablemente parte del Fe precipite, pero la mayor parte del resto de elementos tóxicos permanecerá en disolución, al igual que en el Sancho.

En cuanto a la composición del agua en el embalse de Alcolea sería incluso algo peor que la obtenida en Gibrleón, pues entre estos dos puntos el Odiel recibe aguas limpias de zonas no afectadas por drenaje ácido de mina, produciendo una dilución adicional que no se tendría en el caso del embalse de Alcolea.

Análisis de la Declaración de Impacto Ambiental

La Declaración de Impacto Ambiental (DIA) de la presa de Alcolea (BOE nº 33 de 8 de febrero de 2000) dice: 'La contaminación minera del río Odiel es alta durante todo el año a excepción de los periodos de riada. La construcción de un embalse de almacenamiento permite mezclar las aguas que discurren a lo largo del año con las de riadas, reduciendo, inicialmente por dilución y posteriormente por decantación, la carga contaminante del conjunto, habiéndose constatado en las grandes presas existentes en la zona, como las del Chanza y el Olivargas, que los metales pesados que lleva el agua se depositan en los sedimentos del fondo, obteniéndose agua de salida para suministro con valores admisibles de contaminantes'.

Si bien es cierto que existe ese proceso de dilución causado por las aguas menos mineralizadas de las avenidas, es muy arriesgado suponer que va a ser suficiente para compensar la acidez que transporta el río. Máxime cuando los dos embalses que se citan en la DIA no son

comparables al de Alcolea, y sin embargo, no se hace la comparación con el embalse del Sancho, que es el más próximo al de Alcolea (Fig. 1), y que presenta una pésima calidad de agua que imposibilita su uso agrícola.

Como se ha comentado, el embalse del Olivargas recibe pocos efluentes afectados por drenaje ácido de mina en relación a su aportación. Por otro lado, el del Chanza tiene una gran cuenca donde la mayor parte de su red fluvial no está afectada por AMD, y sólo recibe pequeños efluentes afectados de la zona minera de Herrerías y Trimpachos. Según los análisis de la Confederación Hidrográfica del Guadiana, el contenido medio de sulfatos del embalse del Chanza es 37 mg/L lo que indica un aporte de contaminantes moderado, similar al del Olivargas.

Sin embargo la presa de Alcolea recibiría un elevado caudal de efluentes ácidos procedentes de las minas de Riotinto, Tharsis y Lomero Poyatos que son, con diferencia, las que producen una mayor carga de contaminantes (Sarmiento, 2007), además de los de otras muchas minas: Sotiel, Concepción, Poderosa, Esperanza, Buitrón, Tinto Santa Rosa, Torerera, San Telmo, La Zarza, etc. (Fig.1).

Conclusiones

De las estimaciones realizadas resulta que la calidad del agua del embalse de Alcolea será peor que la del Embalse del Sancho. Esta agua no podría ser utilizada directamente en la agricultura ni para ningún otro fin.

La Declaración de Impacto Ambiental del embalse de Alcolea parte de asun-

ciones no contrastadas. Aunque es cierto que en el embalse se produce un proceso de dilución por las avenidas, la calidad final dependerá en cada caso de la cantidad de aportes ácidos en relación a los volúmenes de agua no afectados.

Desgraciadamente en nuestro país tenemos múltiples ejemplos de grandes obras hidráulicas que se han ejecutado y luego han resultado inservibles por distintos motivos. Teniendo en cuenta la gran inversión prevista para la construcción de la presa y los posibles impactos que su construcción causaría, son necesarios estudios más profundos y rigurosos sobre la calidad final del agua antes de iniciar la ejecución de la obra.

Referencias

- Braungardt, C.B., Achterberg, E.P., Elbaz-Poulichet, F. y Morley, N.H. (2003). *Applied Geochemistry*, 18, 1757-1771.
- Cánovas, C.R., Olías, M., Nieto, J.M., Sarmiento, A.M. y Cerón, J.C. (2007). *Science of the Total Environment*, 373, 636-682.
- Elbaz-Poulichet, F., Braungardt, C., Achterberg, E., Morley, N., Cossa, D., Beckers, J.M., Nomérange, P., Cruzado, A. y Leblanc, M. (2001). *Continental Shelf Research*, 21, 1961-1973.
- Olías, M., Nieto, J.M., Sarmiento, A.M., Cerón, J.C. y Cánovas, C.R. (2004). *Science of the Total Environment*, 333, 267-281.
- Olías, M., Cánovas, C.R., Nieto, J.M. y Sarmiento, A.M. (2006). *Applied Geochemistry*, 21, 1733-1749.
- Nordstrom, D.K. y Ball, J.W. (1986). *Science*, 232, 54-56.
- Nordstrom, D.K. y Alpers, C.N. (1999). En: *The environmental geochemistry of mineral deposits* (G.S. Plumlee y M.J. Logson, Eds.). Reviews in Economic Geology, 6A, 133-160.
- Sánchez España, J., López Pamo, E., Santofimia, E., Aduvire, O., Reyes, J. y Barrettino, D. (2005). *Applied Geochemistry*, 20, 1320-1356.
- Sarmiento, A.M. (2007). *Estudio de la contaminación por drenajes ácidos de mina de las aguas superficiales en la cuenca del río Odiel (SO España)*. Tesis Doctoral, Univ. de Huelva, 395 p.