

COMPOSICIÓN DE LOS SEDIMENTOS ACUMULADOS EN EMBALSES ESPAÑOLES

M.E. Sanz Montero, R. Cobo Rayán, J.L. Gómez Montaña y C. Avendaño Salas¹

RESUMEN: En este trabajo se detallan las características composicionales de los sedimentos acumulados en 51 embalses españoles pertenecientes a 8 cuencas hidrográficas. Atendiendo a la naturaleza de los sedimentos se diferencian dos grupos de embalses: los carbonáticos y los silíceos. Los primeros presentan los valores más altos de Ca, Na, Mg y K. En el segundo tipo de embalses se reconocen las cantidades mayores de materia volátil, Fe, Mn y P. La mayor parte de los sedimentos acumulados en los embalses son alóctonos y, por tanto, su composición refleja en gran medida las características geológicas de la cuenca. Entre los procesos autigénicos que tienen lugar dentro del embalse se destaca, por ser el volumétricamente más importante, la precipitación de carbonato cálcico.

INTRODUCCIÓN

Para la gestión y explotación óptima de los embalses se requiere conocer las características composicionales y texturales de los sedimentos acumulados en ellos ya que éstos influyen en gran medida en distintos aspectos tanto técnicos como de índole medio ambiental. De modo que en los embalses con problemas de eutrofización en sus aguas los sedimentos juegan un papel destacado pues actúan como sumidero neto para nutrientes (Ryding y Rast, 1992).

Asimismo a partir de la naturaleza del sedimento se pueden discriminar en algunos casos las principales áreas fuente de materiales de los embalses, lo que permitiría emprender en puntos concretos de la cuenca medidas encaminadas a actuar para el control de la erosión.

De suma importancia para la planificación de recursos hidráulicos es también conocer el volumen que ocupan los sedimentos dentro de un embalse. Dicho volumen así como el grado de compactación del sedimento, está condicionado entre otros parámetros por los rasgos composicionales de éste (Gottschalk, 1964). Igualmente se requiere caracterizar el sedimento para determinar su comportamiento geotécnico cuando se pretenda actuar sobre ellos en prácticas de vaciado, dragado, etc. (Bravo, 1996).

Dado el interés que suscita el sedimento en los distintos aspectos indicados es por lo que en este trabajo se aportan datos referentes a la naturaleza composicional de los sedimentos acumulados en embalses españoles que se sitúan en contextos sedimentarios muy variados y, por tanto, su composición refleja en gran medida las distintas combinaciones mineralógicas que se pueden presentar en los embalses de este país. Por otra parte, se pretende

que esta aportación sobre la composición del sedimento acumulado en los embalses, conjuntamente con otras informaciones ya existentes referentes a la composición iónica de sus aguas (Armengol *et al.*, 1991), arroje más luz sobre las interacciones que se producen entre el sedimento y el agua y, en definitiva, sobre el funcionamiento geoquímico de dichos embalses.

METODOLOGÍA

Los rasgos composicionales se han determinado a partir de muestras extraídas de la capa más superficial del sedimento acumulado en los embalses. En primer lugar se comenta brevemente la metodología de muestreo y, a continuación, se especifica el procedimiento analítico.

El muestreo se realiza a lo largo de los ejes del embalse (el principal y los correspondientes a las vaguadas más importantes). El número de muestras recogidas viene condicionado por el tamaño del embalse, considerando en general suficiente la extracción de una muestra cada 4 ha de superficie. Las muestras se recogen desde una embarcación, dotada de grúa y un torno accionado manual y/o eléctricamente, ayudándose de dragas y sondas.

Para determinar la composición del sedimento se emplean tanto análisis mineralógicos, mediante difracción de rayos X, como análisis de elementos mayores, materia volátil y carbonato cálcico. Los componentes analizados y las técnicas empleadas para ello son: Ca y Mg se miden con complexometrías; fósforo total con técnicas colorimétricas aplicando ácido ascórbico; por absorción atómica se cuantifican Fe, Mn, Na y K; el carbonato cálcico equivalente se determina mediante valoración por retroceso con C1H1N y Na(OH) 0,5 N.

La materia volátil, que incluye materia orgánica, gases y compuestos nitrogenados, se mide con métodos gravimétricos.

¹ División de Erosión y Sedimentación. Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX). C/Paseo Bajo Virgen del Puerto, 3. -28005-Madrid e-mail:rcobo@cedex.es e-mail:cavendano@cedex.es

Artículo publicado en *Ingeniería del Agua*. Vol. 5 Num.4 (diciembre 1998), páginas 21-28, recibido el 17 de junio de 1998 y aceptado para su publicación el 4 de noviembre de 1998. Pueden ser remitidas discusiones sobre el artículo hasta seis meses después de la publicación del mismo. En el caso de ser aceptadas, las discusiones serán publicadas conjuntamente con la respuesta de los autores en el primer número de la revista que aparezca una vez transcurrido el plazo indicado.

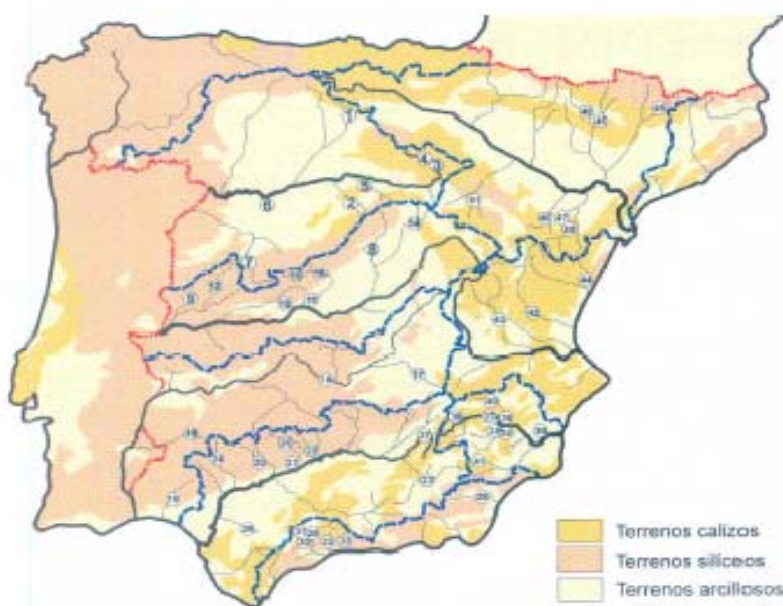


Figura 1. Situación de los embalses estudiados. La numeración coincide con la indicada en Tabla 1

Estos análisis se complementan en ocasiones con la observación de las muestras a través de microscopio óptico y/o microscopio electrónico de barrido.

EMBALSES ESTUDIADOS

El número de embalses reconocidos y analizados asciende a 51. Éstos se distribuyen en 8 Confederaciones Hidrográficas del siguiente modo (Tabla 1): 7 corresponden a la Confederación Hidrográfica del Duero, 8 a la del Tajo, 4 a la del Guadiana, 8 a la del Guadalquivir, 6 a la del Sur, 8 a la del Segura, 3 a la del Júcar y 7 a la del Ebro. La situación de estos embalses aparece reflejada en la Figura 1 donde se aprecia que los embalses se asientan en la mayor parte de las unidades geológicas aflorantes por lo que el conjunto de resultados se pueden considerar representativos de los distintos contextos sedimentarios del país. Esta representatividad es máxima en la Cuenca del Segura donde se ha estudiado el sedimento de la mayor parte de sus grandes embalses (Tabla 1).

En este estudio se amplía en cinco el número de embalses analizado respecto al trabajo previo de Sanz Montero *et al.* (1997).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores medios, expresados en porcentaje, de los componentes analizados en los sedimentos de los 51 embalses se indican en la Tabla 1. Los resultados se van a exponer por grupos de elementos afines haciéndose referencia a los embalses caracterizados por los valores máximos y mínimos de cada elemento, a la vez que se sugieren las causas que originan estos valores. Asimismo, en aquellos casos que se considera de más interés, se comenta la distribución de algunos elementos a lo largo del embalse así como el grado de correlación que existe entre ellos.

Carbonatos, Ca y Mg

Tras la sílice, los carbonatos son el componente más común en el sedimento de los embalses estudiados y sólo está ausente en 17 embalses que se caracterizan por ser netamente silíceos (Tabla 1). Estos embalses son los del Duero y Tajo cuyas cuencas se sitúan en el Sistema Central y los de Guadiana y Guadalquivir con cuencas ubicadas en la zona de Ossa-Sierra Morena (Figura 1). Destacan por su mayor contenido en carbonatos el embalse de Peñarroya (Guadiana) así como los embalses situados en las cuencas del Segura, Júcar y margen derecha del Ebro (Tabla 1 y Figura 1).

Los mayores contenidos de carbonatos conllevan los valores más altos de Ca, lo cual es coherente con una composición calcítica del sedimento (Figura 2). En el caso de los embalses situados en la cuenca del Segura

los altos porcentajes de Ca van emparejados a elevados porcentajes de Mg (hasta 6,75%), lo que denota que en estos sedimentos la calcita coexiste con cantidades variables de dolomita, hecho constatado también mediante difracción de rayos X. La presencia de dolomita en el sedimento pero en cantidades inferiores a las anteriores se ha puesto igualmente de manifiesto en algunos embalses del Ebro (Oliana y La Tranquera) o del Guadalquivir (Tranco de Beas).

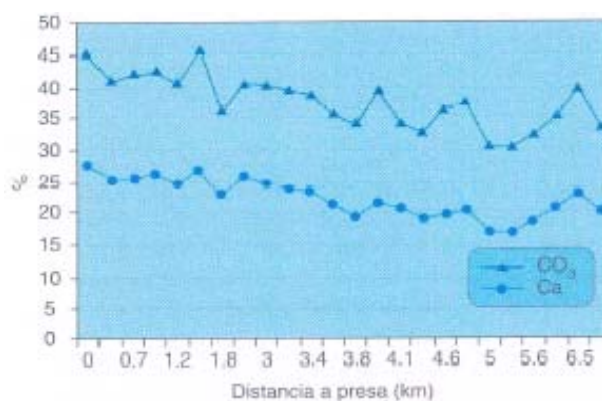


Figura 2. Distribución de CO₃ y Ca a lo largo del embalse de Peñarroya

En cuanto al origen, se considera que los carbonatos en la mayor parte de los embalses estudiados son autóctonos. Esto se demuestra porque aparecen asociados a fracciones gruesas del sedimento o porque se concentran preferentemente en entradas concretas del embalse. Sin embargo, existen indicios de que en algunos embalses, fundamentalmente en los situados en las cuencas del Júcar y Segura, se producen fenómenos de precipitación de carbonato con mineralogía calcítica. Aludimos a indicios tales como un descenso de la alcalinidad del agua en la primavera (según las mediciones de Margalef *et al.*, 1976), superior porcentaje de carbonatos en el embalse que en los sedimentos del lecho de los cauces fluviales que

Nº	Embalse	M.V.	Insol.	CO ₃	Ca	Mg	Fe	Mn	Na	K	Ptotal
1	A. de Campóo	6,61	77,68	3,02	1,59	0,41	2,95	0,053	0,04	1,12	0,047
2	Burgomillodo	5,44	69,75	5,44	4,06	2,56	1,98	0,028	0,05	0,37	0,067
3	Campillo de Buitrago	7,27	83,47	—	0,18	0,12	2,47	0,108	0,053	0,17	0,048
4	Cuerda del Pozo	5,91	79,62	—	1,13	0,18	2,32	0,050	0,06	0,99	0,055
5	Linares del Arroyo	6,77	57,69	12,48	6,74	1,37	3,36	0,039	0,08	0,89	0,054
6	San José	4,21	77,27	—	4,28	0,91	1,12	0,021	0,07	0,52	0,076
7	Santa Teresa	2,84	86,7	—	0,22	0,85	2,91	0,040	0,12	0,34	0,070
8	Beleña	6,16	76,48	—	1,01	1,23	3,00	0,050	0,09	0,43	0,060
9	Borbollón	7,60	75,7	—	1,31	2,18	3,35	0,022	0,097	0,15	0,093
10	Burguillo	13,07	64,99	—	0,51	0,97	3,19	0,061	0,07	0,79	0,254
11	Cazalegas	3,94	81,85	—	0,34	0,85	1,98	0,130	0,09	0,60	0,080
12	Gabriel y Galán	4,56	81,86	—	—	1,05	2,50	0,030	0,22	0,47	0,240
13	Navalcán	7,13	75,9	—	0,18	0,43	1,59	0,070	0,02	0,53	0,100
14	Pálmaces	4,50	66,63	4,95	1,44	0,56	3,63	0,038	0,14	1,60	0,053
15	San Juan	12,78	63,73	—	0,20	1,09	3,92	0,090	0,14	0,87	0,240
16	Brovales	7,76	79,74	—	0,47	0,99	3,59	0,040	0,05	0,58	0,120
17	Peñarroya	6,81	18,11	37,42	22,24	0,69	1,49	0,029	0,04	0,54	0,044
18	Piedras	6,27	71,02	—	0,11	0,60	3,50	0,110	0,09	1,27	0,060
19	El Vicario	12,2	49,14	14,50	9,38	0,71	2,41	0,110	0,14	0,72	0,100
20	Bembezar	8,32	63,22	—	0,35	0,69	5,77	0,141	0,05	1,21	0,087
21	La Breña	6,90	68,71	—	0,76	2,14	5,73	0,100	0,29	1,31	0,073
22	Guadalmellato	7,42	65,44	—	0,58	1,08	4,47	0,101	0,16	1,20	0,097
23	Negratín	4,72	38,7	25,89	15,81	2,25	2,18	0,028	0,10	0,59	0,046
24	El Pintado	7,16	71,66	1,24	0,84	0,93	4,64	0,070	0,07	1,18	0,090
25	Puente Nuevo	8,01	69,1	—	0,60	0,55	3,63	0,100	0,05	1,16	0,079

Tabla 1. Composición media, expresada en porcentaje, de los embalses estudiados (Continúa en página siguiente)

Nº	Embalse	M.V.	Insol.	CO ₃ ≡	Ca	Mg	Fe	Mn	Na	K	Ptotal
26	Torre del Águila	6,35	37,9	23,85	15,61	1,45	2,75	0,050	0,18	0,42	0,070
27	Tranco de Beas	3,22	45,96	26,85	11,46	3,88	2,31	0,040	0,07	1,04	0,040
28	C. de Guadalhorce	4,49	50,03	14,35	7,99	1,55	2,91	0,070	0,12	1,02	0,086
29	Cvas. de Alanzora	4,76	47,39	20,59	10,57	1,50	2,25	0,061	0,12	0,63	0,056
30	Guadalhorce	5,72	50,02	17,18	11,25	1,08	2,73	0,070	0,32	1,08	0,048
31	Guadalteba	5,42	50,16	18,80	11,27	1,81	2,94	0,090	0,22	0,85	0,111
32	Limonero	5,59	60,19	8,70	4,54	1,10	3,71	0,064	0,14	1,31	0,055
33	La Viñuela	6,11	50,47	13,15	7,06	1,84	3,25	0,109	0,04	1,46	0,069
34	Alfonso XIII	6,52	32,22	28,60	18,86	2,31	1,61	0,030	0,27	1,05	0,028
35	Argos	5,47	25,26	34,88	20,46	2,68	1,58	0,020	0,15	1,06	0,110
36	Camarillas	5,59	31,56	28,43	16,75	3,17	1,79	0,030	0,19	1,18	0,060
37	Cenajo	3,50	39,49	30,31	16,16	2,47	1,71	0,020	0,55	0,77	0,027
38	Fuensanta	5,54	46,06	21,30	12,11	2,95	2,24	0,020	0,07	0,90	0,029
39	Santomera	8,80	29,01	34,19	19,52	2,57	1,58	0,023	1,36	1,31	0,059
40	Talave	4,38	41,5	24,14	11,41	6,75	2,53	0,037	0,15	1,50	0,054
41	Valdeinferno	4,80	30,02	31,37	20,01	1,80	1,85	0,051	0,19	0,96	0,022
42	Benageber	4,67	49,18	17,65	14,15	1,42	2,64	0,380	0,06	0,73	0,052
43	Contreras	5,31	38,18	29,28	15,64	2,14	2,43	0,460	0,10	1,52	0,040
44	María Cristina	4,68	28,71	31,27	20,88	1,26	2,05	0,029	0,10	0,69	0,100
45	Barasona	2,83	43,65	22,21	15,10	1,16	2,45	0,030	0,15	1,18	0,040
46	Cueva Foradada	5,85	45,98	15,30	9,92	1,29	2,97	0,030	0,16	1,30	0,070
47	Gallipuéñ	5,19	38,38	26,034	16,60	0,54	1,33	0,070	0,07	0,36	0,038
48	Mediano	3,60	46,25	23,42	14,71	1,17	2,47	0,033	0,07	1,18	0,037
49	Oliana	4,44	56,90	14,13	10,44	1,50	3,48	0,072	0,09	0,96	0,077
50	Santolea	5,05	31,90	33,70	19,56	1,44	1,77	0,021	0,18	1,15	0,040
51	La Tranquera	4,46	37,11	28,17	16,52	0,84	2,01	0,023	0,05	0,85	0,040

lo alimentan y/o una variación en el porcentaje de carbonatos a lo largo de perfiles verticales levantados en el sedimento del antiguo embalse de Puentes (Cobo et al., 1997).

La precipitación de carbonatas en los embalses se promueve por el consumo masivo de CO₂ que se experimenta en la primavera a causa de la eclosión de algas y macrofitas fotosintéticas (Hakanson y Jansson, 1983).

La cantidad de calcita precipitada dentro del embalse, que se conserva en el sedimento, depende de que en la época en la que se produce la precipitación el embalse presente estratificación térmica, según las observaciones de Cobo et al. (1997). Así, en los episodios de estratificación la proporción de calcita que alcanza el sedimento es menor debido a que una parte de la que se forma en la zona fotosintética puede disolverse cuando al atravesar la termoclina se pone en contacto con aguas más frías enriquecidas en CO₂ (Hakanson y Jansson, 1983). Puesto que la formación o no de termoclina depende del régimen de explotación, la proporción de calcita autigénica que se incorpora finalmente al sedimento va a estar controlada artificialmente. En la zona mediterránea la lámina de agua de los embalses varía frecuentemente conforme lo hacen las aportaciones y demandas de agua; ello conlleva que en intervalos reducidos de tiempo el sedimento de un embalse dado sufra transformaciones notables en su composición.

Todo lo comentado pone de manifiesto la necesidad de estudiar en detalle los procesos de precipitación de carbonato cálcico en los embalses, no sólo por las variaciones en la calidad del agua que estos procesos comportan, sino también porque los carbonatos pueden afectar al buen funcionamiento de conducciones y otras instalaciones de las presas.

Na y K

Los embalses carbonáticos estudiados se caracterizan por presentar valores más elevados de Na y K que los no carbonáticos. Los porcentajes de Na se sitúan por debajo del 1% en todos los casos excepto en el embalse de Santomera (Cuenca del Segura), donde el elevado contenido de este elemento (1,36%) se explica por la presencia de sales (cloruros y sulfatos) en la cuenca. La existencia de diapiros salinos en su cuenca (Elizaga, 1994), justifican igualmente la presencia de altos porcentajes de Na en el sedimento del embalse de Cenajo (0,55%). En el embalse de Guadalhorce la abundancia de Na (0,32%) se explica por la presencia de un manantial salino, rico en ClNa, que aflora en su interior (Baonza et al., 1983).

En general la presencia de Na en el sedimento va asociado a un grado de salinidad elevado en el embalse. La salinidad influye en distintos aspectos entre los cuales el más reseñable, desde el punto de vista sedimentológico, es la formación de flóculos de partículas finas que aceleran su sedimentación. Este funcionamiento contrasta con el de los embalses de agua dulce en los que dominan los procesos de sedimentación por decantación.

El valor de K más elevado (1,60%) corresponde al embalse de Pálmaces (Tajo). Se debe a que el sedimento presenta un porcentaje muy elevado de filosilicatos (hasta un 85%). Aunque un alto contenido en K podía estar relacionado con la existencia de feldespatos, en este caso dichos minerales constituyen tan solo el 5% del total. Los filosilicatos (micas, predominantemente) son arrastrados hasta el embalse de Pálmaces formando parte de fragmentos de roca metamórfica (pizarras, filitas, esquistos), que son las litologías dominantes en las proximidades de éste. Por el contrario, el porcentaje más bajo de K se da en el embalse de Borbollón que se encuentra situado en la zona más occidental del Sistema Central. Los embalses localizados en ese entorno (Sierra de Gata, Sierra de Gredos), se caracterizan por porcentajes bajos en K. Para dicha área estos resultados se justifican por la presencia de rocas graníticas que aportan sedimentos de grano grueso de composición cuarcítica.

En general, el K está más vinculado a la presencia de filosilicatos que a la de feldespatos tal y como se pone de manifiesto mediante la alta correlación que existe entre este elemento y el sedimento con textura arcillosa con la que suelen presentarse los filosilicatos (Figura 3).

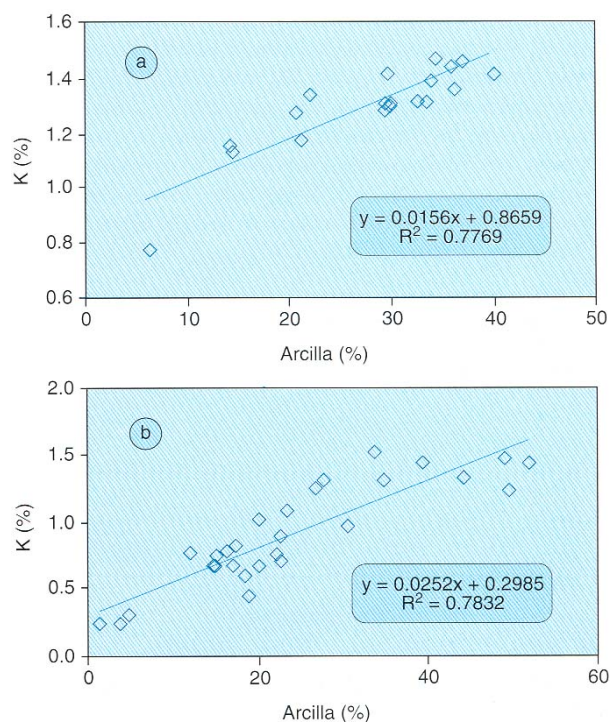


Figura 3. Relación entre el porcentaje de K y el contenido de arcillas en dos de los embalses estudiados: a. Cueva Foradada y b. Linares del Arroyo.

Elementos móviles (Fe y Mn)

La cantidad final de Fe y Mn en el sedimento varía en función de distintos factores, dado el carácter móvil de estos metales (Engstrom y Wright, 1983).

En España los embalses son monomicticos, es decir, experimentan un único episodio de estratificación térmica que se prolonga desde la primavera hasta el otoño.

Así, durante los períodos en que el embalse permanece estratificado, careciendo, por tanto, de oxígeno en el hipolimnion, los metales Mn y Fe se reducen. Las formas reducidas de estos elementos son muy solubles y pasan a la masa de agua (Hakason y Jansson, 1983). Este proceso de intercambio de Fe y Mn entre el sedimento y el agua se detalla para uno de los embalses estudiados (Guadalmellato) en el trabajo realizado por Marín Galvín (1993).

Todo ello sirve para ilustrar que la cantidad de Fe y Mn presente en los sedimentos analizados va a estar influida por la época en que se realizó el muestreo, diferente en cada ejemplo. Sin embargo, por los resultados obtenidos se considera que los datos mostrados son representativos de la situación media de cada embalse.

Los embalses de Contreras y Benageber, ambos con sedimentos carbonáticos, se caracterizan por los valores más altos de Mn (0,460% y 0,380%, respectivamente). Cabe destacar que estos embalses se encuentran en la Confederación del Júcar, dispuestos muy próximos entre sí, de modo que comparten algún tramo de sus líneas divisorias (Figura 1). Geológicamente, sus cuencas se enmarcan en el sector central de la Cordillera Ibérica que se compone esencialmente de rocas carbonáticas del Mesozoico. En algunos puntos de estas cuencas afloran, no obstante, unidades terciarias de naturaleza detrítica y carbonática por lo que el Mn no se puede adscribir, con los datos disponibles, a ninguna fuente concreta. A excepción de los dos citados, el Mn aparece en mayor cuantía en los embalses de composición no carbonática que se ubican en terrenos de origen ígneo. Esto es coherente con las mayores concentraciones de dicho elemento en este tipo de rocas (Bowen, 1966).

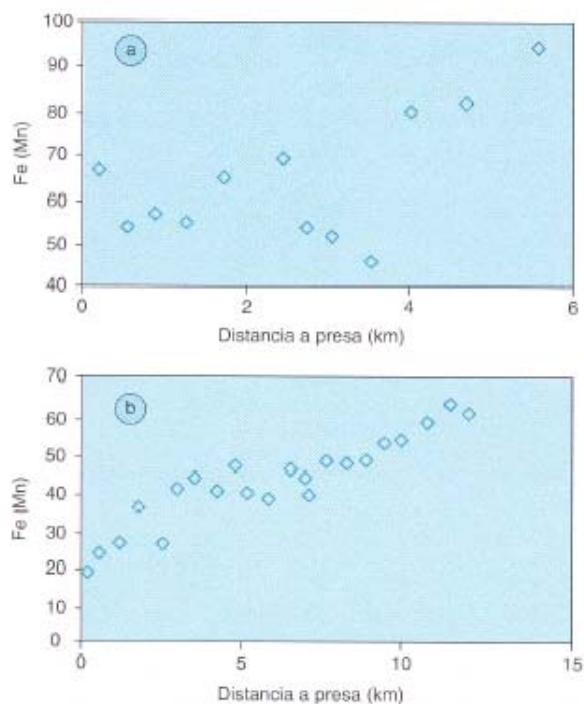


Figura 4. Relación Fe/Mn a lo largo de dos de los embalses estudiados: a. Beleña y b. Bembezar.

Las concentraciones más elevadas de Fe (próximas a 5%) se han medido en los embalses del Guadalquivir que se ubican en la zona de Ossa-Sierra Morena donde aflora una serie de pizarras y areniscas ferruginosas del Devónico (MOPT, 1991), que proponemos como posible fuente de Fe a dichos embalses. Por el contrario, el embalse de Peñarroya así como otros embalses situados en la cuenca del Segura, que se caracterizan como muy carbonáticos, tienen bajos porcentajes de este metal.

Se ha determinado la relación Fe/Mn en todas las muestras de cada embalse y se ha podido deducir una pauta general según la cual dicha relación disminuye desde la cola y/o entradas principales del embalse (con aguas más someras y más oxigenadas) hasta la zona de presa donde el sedimento se encuentra más profundo (Figura 4). Tanto la concentración de Fe como la de Mn aumentan en el mismo sentido, aunque este último lo hace más rápidamente. Esta tendencia, que ha sido observada en lagos naturales por distintos autores (ver referencias en Syers *et al.*, 1973), se debe a que el Fe precipita antes que el Mn (Engstrom y Wright, 1983).

En los embalses cuyas aguas están destinadas al consumo humano pero se encuentran enriquecidas en Fe y Mn sería muy aconsejable tanto estudiar la dinámica de intercambio de estos metales entre el sedimento y el agua como identificar las zonas donde éstos se encuentran en concentraciones más bajas, al objeto de localizar los puntos de toma de agua más óptimos. El conocimiento de estos aspectos podría, si no evitar, sí disminuir la aplicación en las plantas de tratamiento de aguas de procesos de oxidación muy fuertes para eliminar estos elementos, como ocurre, por ejemplo, en el embalse de Guadalmellato (Marín Galvín, 1993).

Materia volátil y Fósforo

Respecto a la materia volátil (principalmente constituida por materia orgánica), puede proceder tanto de fuentes externas como internas y varía mucho en función de la actividad humana que se desarrolla en la cuenca. Esto justifica la gran variedad de valores obtenidos en los embalses estudiados, siendo los valores máximos los de los embalses de Burguillo (13,07%) y San Juan (12,78%), ambos en el Tajo. El contenido de materia volátil del embalse de Barasona, por contra, es el más bajo del conjunto (2,83%).

En lo referente al fósforo, en la Tabla 1 se ha reflejado únicamente el valor de la fracción total pero en todas las muestras se han cuantificado por separado el de origen orgánico e inorgánico, siendo este último el mayoritario en el conjunto de los embalses (Figura 5). Dado que el apatito, principal fuente externa de fósforo inorgánico, es un mineral muy escaso en las cuencas estudiadas, se deduce que el fósforo inorgánico presente en el sedimento resulta de la mineralización del fósforo orgánico. Esta mineralización se produce al precipitar el fósforo orgánico junto a complejos inorgánicos, generalmente hidróxidos de hierro. A favor de esta posibilidad redonda el hecho de que el contenido de fósforo inorgánico muestra, en un gran número de los embalses analizados, una correlación positiva con el contenido de Fe (Figura 6).

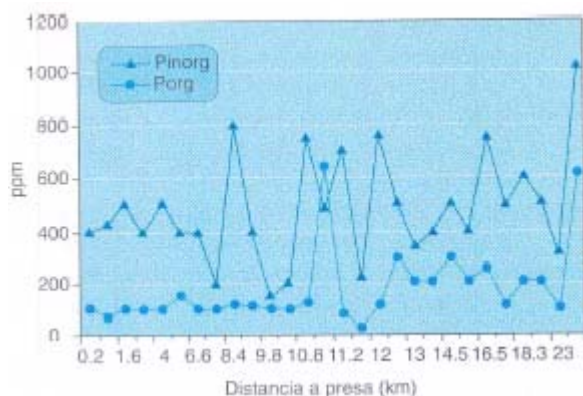


Figura 5. Distribución de fósforo orgánico e inorgánico a lo largo del embalse de Santa Teresa

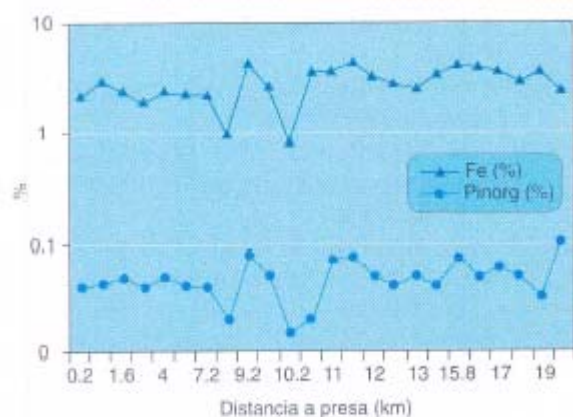


Figura 6. Distribución de Fe y fósforo inorgánico en el sedimento del embalse de Santa Teresa

Por su parte, el fósforo total se correlaciona con la materia volátil (Figura 7), lo que apoyaría el origen inicialmente orgánico del fósforo.

En los embalses con abundancia de carbonatas el fósforo orgánico precipita con Ca y se incorpora al sedimento con mineralogía de hidroxiapatito (Estrada, 1978). Cualquiera que sea el mecanismo de retirada de fósforo del agua y su ulterior incorporación en el sedimento, el

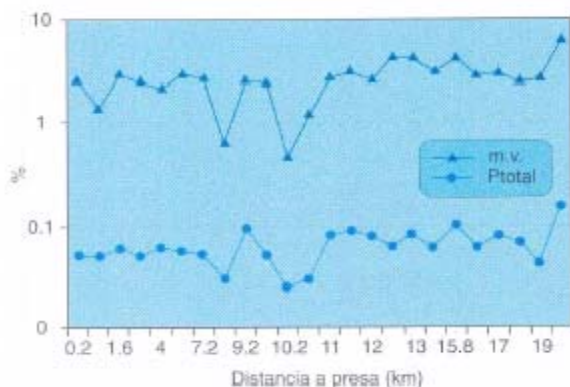


Figura 7. Distribución de materia volátil (m.v.) y fosforo total (Ptotal) en el embalse de Santa Teresa.

resultado es que estos procesos previenen la eutrofización del embalse, según ha sido señalado por Armengol *et al.* (1991).

El sedimento con el valor más alto de fósforo corresponde al embalse de Burguillo (0,254%), 11 veces superior al contenido en fósforo del embalse de Valdeinfierno, que es el más pobre en este elemento.

En términos generales hay que destacar que tanto el fósforo como la materia volátil son más abundantes en los sedimentos no carbonáticos (Tabla 1).

El contenido en materia orgánica del sedimento es un parámetro a tener en consideración si se pretende remover el sedimento para realizar prácticas de dragado o vaciado de embalses, por los efectos nocivos que puede ocasionar en el medio aguas abajo de las presas. Estos efectos derivan de la alta capacidad de la materia orgánica para atrapar compuestos contaminantes así como de su tendencia a oxidarse consumiendo un gran volumen de oxígeno. La pérdida de oxígeno del sistema causa serios perjuicios a los seres vivos que allí se encuentran.

CONCLUSIONES

La geología de la cuenca vertiente es el factor que controla en mayor medida la composición de los sedimentos acumulados en los 51 embalses analizados, de modo que los embalses que se encuentran próximos entre sí se caracterizan por una composición similar.

En el interior de los embalses tienen lugar distintos procesos autigénicos que también repercuten en la composición final del sedimento. Tales procesos son la precipitación de carbonato cálcico, la mineralización de fósforo orgánico y fenómenos de oxidación-reducción de hierro y manganeso. En los embalses estos procesos están controlados tanto por factores naturales como por el régimen de explotación, lo que provoca variaciones en la composición del sedimento que pueden ser porcentualmente muy importantes, especialmente en el caso del carbonato cálcico.

Existen tantas combinaciones composicionales como embalses, aunque las mayores diferencias geoquímicas se observan entre sedimentos carbonáticos y no carbonáticos. Mientras que en los primeros hay más variedad mineral que se manifiesta por cantidades más altas de calcio, magnesio, sodio y potasio, los embalses no carbonáticos presentan mayor contenido en hierro, fósforo y materia volátil.

Obviamente, diferentes composiciones en el sedimento condicionan distintos comportamientos ante las prácticas de control de sedimento del embalse, por lo que es aconsejable tenerla en consideración.

AGRADECIMIENTOS

Al personal auxiliar de la División de Erosión y Sedimentación del Centro de Estudios Hidrográficos, les agradecemos su colaboración en las distintas facetas que conlleva este trabajo. Igualmente agradecemos los comentarios de dos evaluadores anónimos.

REFERENCIAS

- Armengol, J.; Riera, J.L. y Morguá, J.A. (1991). *Major ionic composition in the spanish reservoirs*. Verh. Internat. Verein. Limnol., 24, 1363-1366.
- Baonza, E., Plata, A. y Escolano, A. (1983) Estudio sobre procedencia y comportamiento del agua del manatial salino de Meliones en el embalse de Guadalhorce (Málaga). Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, 47 pp.
- Bowen, H.J.M. (1966). Trace elements in biochemistry. Academic Press, London, New York, 241 p.
- Bravo, G. (1996). Posibilidades de actuación contra el aterramiento de embalses. V Jornadas España-las de Presas. Valencia. 1-34.
- Cobo, R., Sanz Montero, E., Gómez, J.L., Avendaño, C. y Plata, A. (1997) *Influence of the Puentes reservoir operation procedure on the sediment accumulation rate between 1954-1994*. En: Nineteenth-Congress on Large Dams, Question 74. R. 52, 835-847.
- Elizaga, E. (1994). Análisis de facies y petrología de los depósitos lacustres de edad neógeno superior de la zona prebélica, Albacete, España. Instituto de Estudios Albacetenses de la Excm. Diputación de Albacete, 216 pp.
- Engstrom, D.R. y Wright, H.E. (1983) *Chemical stratigraphy of lake sediments as a record of environmental change*. En: Lake Sediments and Environmental History Studies in Palaeolimnology and Palaeoecology in Honour of Winifred Tutin (Eds. E. Y. Haworth y J.W.G. Lund), Leicester University Press, pp. 11-67.
- Estrada, M. (1978). *Relationship among biological and physicochemical parameters in spanish reservoirs*. Verh. Internat. Verein. Limnol., 19, 1849-1859.
- Gottschalk, L.C. (1964) *Sedimentation. Reservoir Sedimentation*. En: Handbook of Applied Hydrology. (Ed. V.T. Chow), 17-1-17-34.
- Hakanson, L. y Jansson, M. (1983) Principies of Lake sedimentology. Springer-Verlag. Berlín. 316 pp.
- Margalef, R., Planas, D., Armengol, J., Vidal, A., Prat, N., Guiset, A., Hoja, J. y Estrada, M. (1976). Limnología de los embalses españoles. M.O.P., Publicación nº 123, 422 pp.
- Marín Galvín, R. (1993) *Evolution of water quality in a reservoir used for human consumption, Guadal-mellato (1980-1991), 1. Hydric behaviour, temperature, oxygen, pH, Fe, Mn and ammonia*. European Water Pollution Control, Vol. 3, nº 3, 15-20.
- MOPT (1991) Geología y Relieve. Atlas Nacional de España. Sección II. Grupos 5 y 6.
- Ryding, S.O. y Rast, W. (Eds.) (1992) El control de la eutrofización en lagos y pantanos. UNESCO. PI-RÁMIDE. 375 pp.
- Sanz Montero, M.E., Cobo, R., Gómez Montaña, J.L. y Avendaño, C. (1997) *Características geoquímicas de los sedimentos acumulados en embalses españoles*. En: I Congreso Ibérico de Geoquímica/VII Congreso Geoquímico de España. (Ed. CEDEX). 417-424.
- Syers, J.K., Harris, R.F. y Armstrong, D.E. (1973) *Phosphate chemistry in lake sediments*. J Environ. Qual. 2,1-14.