

**Resumen**

En este trabajo se presentan los resultados del estudio limnológico de los embalses de la cuenca del río Guadalete (Zahara-El Gastor, Bornos y Arcos) durante el período 1992 - 1998. Dicha cuenca forma parte de la red hidrográfica de la provincia de Cádiz y pertenece a la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. El estudio de diferentes parámetros fisicoquímicos, junto con los datos de las variaciones climatológicas y la evolución del volumen de agua embalsada, ha permitido conocer la calidad de la misma, así como predecir determinadas pautas de comportamiento en la adecuación del agua en las estaciones de tratamiento de aguas potables (ETAP) para su destino final como agua de abastecimiento.

Los resultados obtenidos muestran una semejanza en cuanto a la calidad de las aguas de los pantanos de Bornos y Arcos, a diferencia de las aguas del embalse de Zahara-El Gastor las cuales están más mineralizadas. También se observa una disminución progresiva de la calidad de las aguas embalsadas durante el período de sequía (1992 - 1995), años en que las cotas embalsadas eran alarmantemente bajas.

**Palabras clave:**

Agua superficial, embalses, calidad de las aguas, sequía, río Guadalete.

**Abstract**

*Reservoirs of the basin of Guadalete river (Zahara-El Gastor, Bornos and Arcos) in Cádiz: waters quality and their influence with the drought*

In this work the results of the limnological study of the reservoirs of the basin of Guadalete river is presented: Zahara-El Gastor, Bornos and Arcos. These reservoirs are part of the hydrography net of the county of Cádiz (south of Spain) and it belongs to the Guadalquivir Hydrography Confederation. The study of physical chemical parameters, together with the data of the climate variations have allowed to know the quality of the dammed water, as well as, to predict certain behaviour rules in the adaptation of the water, in the drinking waters treatment plant for their final destination as water of supply.

The results obtained show a similarity of the waters quality of the reservoirs of Bornos and Arcos, and different to the reservoirs of Zahara-El Gastor because are more saline content. It is showed a progressive decrease of the waters quality dammed during the drought period (1992 - 1995). In 1995 the water levels was alarmingly lowest.

**Keywords:**

Day water, reservoirs, waters quality, drought, Guadalete river.

# Embalses de la cuenca del río Guadalete (Zahara-El Gastor, Bornos y Arcos) de la provincia de Cádiz: calidad de las aguas y su influencia con la sequía

Por: Rodríguez Barroso, M.R.<sup>(\*)</sup>; Vidal Valderas, L.<sup>(\*\*)</sup>; Sales Márquez, D.<sup>(\*)</sup>; Quiroga Alonso, J.M.<sup>(\*)</sup>

(\*) Departamento de Ingeniería Química, Tecnología de los Alimentos y Tecnologías del Medio Ambiente. Polígono Río San Pedro, s/n. 11510 Puerto Real. Cádiz. Facultad de Ciencias del Mar (CASEM). Universidad de Cádiz. rocio.rodriguez@uca.es

(\*\*) Jefe de Sección Laboratorio y Control Sanitario Tratamientos de Aguas Potables. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. Abastecimiento de Agua a la Zona Gaditana.

**1. Introducción**

La provincia de Cádiz se encuentra en la parte más meridional de Europa, al sur de la Península Ibérica y desde el punto de vista hidrológico, su red fluvial presenta un régimen de tipo subtropical con máximos en los meses de invierno y mínimos en verano. Son tres los principales ríos que discurren por la provincia: el Guadalquivir, el Guadalete y el Barbate, que desembocan en el Atlántico, a los que se pueden añadir los ríos Salados de Rota, Chiclana y Conil entre otros de menor importancia, y el Palmones, Guadarranque y Guadiaro que desembocan en el Mediterráneo (Gutiérrez, 1982).

El río Guadalete es el más importante y característico de la provincia de Cádiz. En su cuenca se disponen tres embalses con un total de unos 437 hm<sup>3</sup> de capacidad repartidos entre los 223 hm<sup>3</sup> de Zahara-El Gastor, 200 hm<sup>3</sup> de Bornos y 14 hm<sup>3</sup> de Arcos. Con un recorrido de 144 km y una cuenca de 3.966 km<sup>2</sup> de extensión es la de mayores dimensiones

de la provincia, abarcando casi la mitad de su superficie y drenando la principal zona de cultivos como es la Campiña del Guadalete para desembocar, finalmente, en la Bahía de Cádiz.

El río Guadalete se caracteriza en su curso alto por atravesar el área de la Serranía de Grazalema, donde se producen los niveles pluviométricos más altos de España (2200 mm/año). Su curso medio discurre por la cuenca de Arcos-Bornos que ocupa una zona alargada en dirección NE-SO representativa del Mioceno superior durante el cual el área estaba ocupada por un mar (Gutiérrez y col., 1991) cuya costa estaría situada según una línea entre San José del Valle y Puerto Serrano, y la profundidad aumentaría hacia el NO, como indica el hecho de que las calcarenitas pasen lateralmente a arcillas azules. Dicho mar se extendería por toda la Depresión del Guadalquivir, hacia el N, hasta Sierra Morena.

Esto hace que la composición mineralógica de las aguas de estos em-

balses sea diferente a las de los otros embalses de la provincia de Cádiz, como son los pertenecientes a la cuenca del río Majaceite (Rodríguez, 2000).

Por este motivo, los embalses de esta cuenca dedican una parte importante de su capacidad al abastecimiento de aguas para riego en la agricultura. No obstante, como consecuencia de la sequía sufrida en la década de los noventa, el volumen de agua de los embalses de la cuenca del Majaceite, de la que se abastecen las localidades de la Bahía de Cádiz, disminuyó drásticamente, por lo que para poder dotar a estos municipios hubo que recurrir a la mezcla de agua con los embalses de la cuenca del río Guadalete, caracterizados como se ha indicado por una mayor mineralización. Estos dos motivos, sequía y mezcla de agua, hicieron que la calidad de las aguas de suministro domiciliario empeorara, como ocurrió en el municipio de Cádiz (Rodríguez, 1998).

No obstante, desde 1976 confluyen diversos factores que provocan la alarma en el abastecimiento de agua a la zona gaditana, debido principalmente a los períodos de sequía que se han sucedido desde entonces, a los nuevos hábitos de consumo de agua que se han triplicado y a los cambios de población, sobre todo en las épocas estivales, en los que sufre aumentos demográficos desde aproximadamente setecientos mil a un millón trescientos mil habitantes. La medida adoptada ante estos problemas por las Autoridades ha sido la de las restricciones.

Tras la ampliación del embalse de Guadalcacín (desde 77 a 800 hm<sup>3</sup> de capacidad), la construcción de la presa de Zahara-El Gastor y las nuevas estaciones de bombeo, el Guadalete ha agotado sus posibilidades como fuente de abastecimiento, quedando un déficit anual de unos 100 hm<sup>3</sup>.

Así, el trasvase de la cuenca del río Guadiaro supone una solución definitiva a la falta de recursos pue-

to que ofrece una aportación media de 750 hm<sup>3</sup> anuales, el doble que la del río Guadalete. Desde finales del mes de diciembre de 2000 el trasvase de la cuenca del Guadiaro (provincia de Málaga) al río Majaceite se ha hecho realidad aportando agua cuando se supera un caudal de 6 m<sup>3</sup> por segundo, asegurándose así el abastecimiento de agua a la zona gaditana.

En el plano de la **Figura 1** se muestran los tres embalses que constituyen esta cuenca y que según el nacimiento del río Guadalete son: Zahara-El Gastor, Bornos y Arcos.

El pantano de Zahara-El Gastor se utiliza principalmente para regadío, así como para embalse de regulación. Presenta una capacidad inicial de 223 hm<sup>3</sup> y su aportación natural media es de 72 hm<sup>3</sup>/año, terminando su construcción en el año

1992. Este embalse cuenta con una superficie de cuenca de 128 km<sup>2</sup>, su superficie de embalse es de 723 ha (El Abastecimiento de Agua a la Zona Gaditana 1957 - 1982). La presa se compone de materiales sueltos, zonificada con núcleo de arcilla y cuerpo central de acarreo y espaldones de escollera. La longitud de coronación es de 420 m y la cota de coronación 357,00 m sobre el nivel del mar, siendo la cota máxima de nivel de embalse de 351,00 m sobre el nivel del mar.

El embalse de Bornos es el más antiguo de los embalses de la cuenca del río Guadalete pues el año de finalización de las obras fue en 1961. Este pantano se dedica tanto a regadío como embalse de regulación, además de ser utilizado para producción de energía hidroeléctrica. Su capacidad inicial es de

	ZAHARA-EL GASTOR	BORNOS	ARCOS
AÑO	(mm)	(mm)	(mm)
1981	907,5	498,2	461,7
1982	758,5	460,5	539,4
1983	870	652,4	654,4
1984	789	708,5	795,8
1985	827,5	599,5	474,4
1986	720,4	633,9	615,1
1987	705,5	719,2	*
1988	591,5	399,8	*
1989	*	714,1	*
1990	689	651,9	723
1991	560,5	398,5	493,4
1992	498,5	374,4	388,8
1993	566,6	500	433,5
1994	356,8	252,4	285,5
1995	1188	881,4	955,7
1996	1180	1085,6	1069
1997	1074,5	823,2	751,4
1998	378,5	283,7	248,5
<b>MEDIA</b>	<b>703,5</b>	<b>591,0</b>	<b>592,6</b>

[\*]: Datos no suministrados

Tabla 1. Precipitaciones totales anuales recogidas en las estaciones meteorológicas de los embalses de la cuenca del río Guadalete: Zahara-El Gastor, Bornos y Arcos, (período 1981 - 1998).

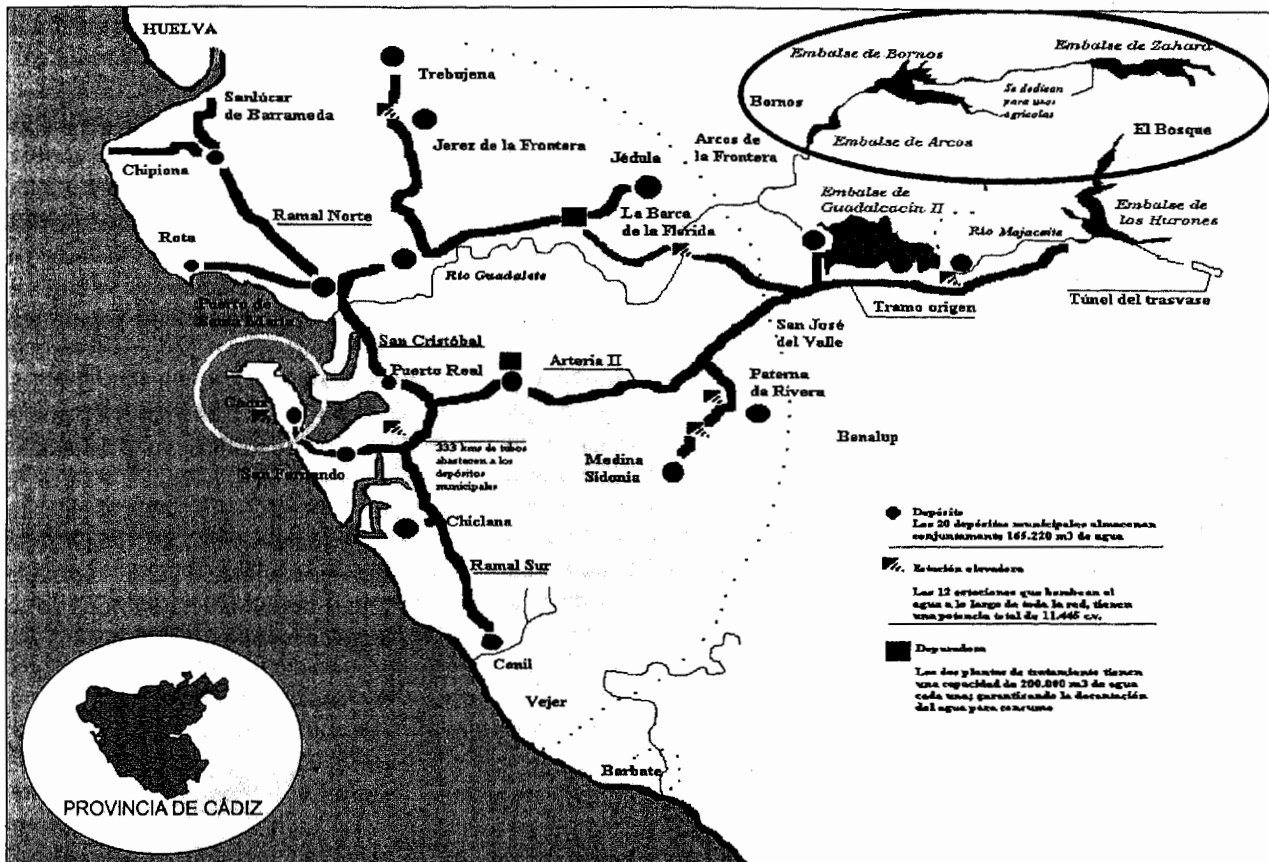


Figura 1. Embalses de la provincia de Cádiz. Embalses de la cuenca del río Guadalete: Zahara, Bornos y Arcos.

215 hm<sup>3</sup> y cuenta con una superficie de cuenca de 1344 km<sup>2</sup>; su superficie de embalse es de 2190 ha. La presa se caracteriza por ser de gravedad con vertedero de planta recta, de hormigón en masa y pilas de hormigón armado. La longitud de coronación es de 164,10 m sobre el nivel del mar y la cota de coronación de 108,45 m, siendo la cota máxima de nivel de embalse de 104,00 m sobre el nivel del mar.

El pantano de Arcos es el más pequeño pues presenta una capacidad inicial de 14 hm<sup>3</sup>; data de 1964 y se dedica principalmente a regadío. Cuenta con una superficie de cuenca de 1375,5 km<sup>2</sup>, su superficie de embalse es de 28 ha. En este caso también se trata de una presa de gravedad con vertedero de planta recta fabricado de hormigón en masa y pilas de hormigón armado. La longitud de coronación es de 191,00 m sobre el nivel del mar y la cota de coronación de 69,00 m, siendo la cota máxima de

nivel de embalse de 67,00 m sobre nivel del mar.

Los niveles de los embalses están internamente relacionados con las condiciones climáticas del entorno donde están ubicados. En este sentido el clima de la provincia de Cádiz puede ser considerado como de tipo Mediterráneo, modificado por su situación al borde del Océano Atlántico. Posee una estación cálida y seca larga, pero sus particulares características geográficas y proximidad al mar condicionan la existencia de una serie de variedades climáticas, que van desde el clima semiárido de la zona noroeste de la provincia, al húmedo de la sierra y zona del Estrecho. Predominan en general las temperaturas moderadas, sobre todo en el litoral, así como un característico régimen de vientos. Estas características climáticas influyen tanto en el caudal de sus ríos como en el volumen de agua embalsada en sus pantanos.

### 1.1. Legislación española

Según la reglamentación española, (Orden 11-5-1988 sobre características básicas de calidad que deben ser mantenidas en las corrientes de aguas superficiales cuando sean destinadas a la producción de agua potable), las aguas superficiales susceptibles de ser destinadas al consumo humano quedan clasificadas, en tres grupos, según el grado de tratamiento que deben recibir para su potabilización: aguas de tipo A1, que requieren tratamiento físico simple y desinfección; aguas de tipo A2, que necesitan un tratamiento físico normal, tratamiento químico y desinfección, y aguas de tipo A3, a las que se les aplica un tratamiento físico y químico intensivos, afino y desinfección.

La Orden 13-8-1999 que publica las determinaciones de contenido normativo del Plan Hidrológico de Cuenca del Guadalquivir (Real Decreto 1664/1998) clasifica a las aguas del embalse de Arcos, Bornos

AÑO	Embalse de Zahara-El Gastor hm <sup>3</sup> - (%)	Embalse de Bornos hm <sup>3</sup> - (%)	Embalse de Arcos hm <sup>3</sup> - (%)
1992	6,875 - (3,08 %)	*	*
1993	1,284 - (0,58 %)	25,769 - (12,88 %)	9,675 - (69,07 %)
1994	2,468 - (1,10 %)	18,740 - (9,37 %)	11,070 - (79,07 %)
1995	1,489 - (0,67 %)	15,541 - (7,77 %)	*
1996	*	*	13,251 - (94,65 %)
1997	*	*	11,012 - (78,64 %)
1998	*	*	*

(\*): datos no suministrados

Tabla 2. Evolución del agua acumulada en los embalses de la cuenca del río Guadalete (Zahara-El Gastor, Bornos y Arcos). Volumen acumulado (Hm<sup>3</sup>) y porcentaje que supone respecto a la capacidad total de embalse, durante el período 1992 - 1997.

y Zahara como de tipo A2. Esta Orden estipula en su capítulo V sobre la calidad de las aguas y de la ordenación de los vertidos, que "las aguas destinadas al abastecimiento deberán cumplir las exigencias de calidad que prescribe el Real Decreto 1138/1990, de 14 de septiembre, por el que se aprueba la Reglamentación Técnico-Sanitaria para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público".

En España el tratamiento más comúnmente utilizado para potabilizar es del tipo A2 que se utiliza para un 59 % de la población abastecida con aguas superficiales. El 37 % recibe un tratamiento A3 y sólo un 2 % reciben tratamiento A1 (González, 1995).

## 2. Material y métodos

### 2.1. Toma de muestras

Se recogieron aproximadamente 12 muestras de agua anuales y a lo largo del período comprendido entre enero de 1992 y diciembre de 1998, espaciadas mensualmente, en cada uno de los embalses de estudio. En el embalse de Zahara-El Gastor las muestras se tomaron en superficie, entre 342 y 349 m sobre el nivel del mar; en el embalse de Bornos las muestras también fueron tomadas en superficie entre 80 y 90 m sobre nivel del mar y por último entre la

cota de 66 y 67 m se tomaron las muestras en el embalse de Arcos.

Los análisis fueron realizados en el Laboratorio del Abastecimiento de Agua a la Zona Gaditana perteneciente a la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir y situado en la ETAP- El Montañés, en la localidad de Puerto Real de la provincia de Cádiz.

En cada muestreo se recogieron unos 1000 mL de agua para realizar los siguientes análisis fisicoquímicos: temperatura, pH, conductividad y oxígeno disuelto (determinados "in situ"); nitritos, nitratos, amonio, fosfatos y sílice (como nutrientes); cloruros, sulfatos, alcalinidad total, residuo seco, sodio, magnesio y calcio (parámetros indicativos del contenido salino); oxidabilidad al permanganato (como contenido en materia orgánica) y por último los metales hierro y manganeso. Las muestras eran transportadas inmediatamente después de su recogida en neveras portátiles hasta el laboratorio y conservadas en frigoríficos a 4 °C (Orden de 1 de Diciembre de 1981); las determinaciones analíticas eran realizadas siempre en el transcurso de las 24 horas siguientes a su recogida. Los análisis correspondientes se llevaron a cabo siguiendo los métodos analíticos de referencia recomendados por la Reglamentación Técnico-Sanitaria, así como el manual de métodos

estandarizados (APHA, AWWA y WPCF, 1989).

## 2.2. Tratamiento estadístico de los datos

De los distintos parámetros determinados en cada análisis, se han utilizado 21 de ellos, lo que hace un total de 5.292 datos que se han sometido a un tratamiento estadístico mediante el uso de los programas informáticos DBASE IV y EXCEL 5.0 utilizados como base de datos, y empleando los programas estadísticos STATGRAPHICS-PLUS y STATISTICA 5.1. sobre el entorno CD/MSDOS y PC/WINDOWS. Se han representado los datos mediante líneas de tendencia evolutiva a lo largo de los años de estudio.

## 3. Resultados y discusión

### 3.1. Meteorología de la zona

La evolución del volumen de agua acumulado en los embalses depende principalmente de las precipitaciones, por lo que resulta interesante conocer la evolución pluviométrica de la zona en los años de estudio.

En la Tabla 1 se presentan los datos correspondientes a las precipitaciones totales anuales durante los años 1981 - 1998, recogidas en las estaciones meteorológicas que dispone el Servicio de Hidrología de la Comisaría de Aguas del Guadalquivir cercanas a cada uno de los embalses y cuya identificación es la que sigue: Zahara-El Gastor (estación número 912), embalse de Bornos (estación número 932) y embalse de Arcos (estación número 932-I). En la última fila de dicha Tabla se presentan las precipitaciones medias de este período para cada embalse.

Comparativamente, la estación meteorológica de Zahara-El Gastor es la que registra los mayores niveles pluviométricos, en todos y cada uno de los años estudiados, obteniéndose una precipitación total anual media de 703,5 mm, frente a

los 591,0 mm de la estación de Bornos y los 592,6 mm de la de Arcos.

Esta distribución pluviométrica es lógica si se considera la ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas. En esta Tabla se observa una etapa de precipitaciones relativamente constantes comprendida entre los años 1981 y 1990, seguida de una etapa de sequía (1991 - 1994) en la que las precipitaciones descienden muy por debajo de los valores medios de precipitaciones. Posteriormente, la pluviosidad entre 1995 y 1997, aumenta considerablemente, muy por encima de estos datos de pluviosidad media. Cabe destacar el año 1996 en que se alcanzaron 1085 mm en Bornos y 1180 mm en Zahara-El Gastor. El año 1998 se puede considerar como otro año de sequía pues las precipitaciones quedan muy por debajo de la media. En resumen, y teniendo en cuenta la **Tabla 1** el período objeto de estudio (años 1992 - 1998) se caracteriza como una época de acusada sequía entre los años 1992 a 1994, año en que se recrudece bastante la escasez de agua, y una época de mayores precipitaciones a partir de 1995.

### 3.2. Evolución del agua acumulada en los embalses de la cuenca del río Guadalete

En la **Tabla 2** aparecen los datos relativos al volumen de agua acumulado en cada embalse de la cuenca del río Guadalete y el porcentaje que supone el mismo respecto a la capacidad máxima de embalse (223 hm<sup>3</sup>, 215 hm<sup>3</sup> y 14 hm<sup>3</sup> para Zahara-El Gastor, Bornos y Arcos respectivamente) durante el período estudiado 1992 - 1998. Algunos años no presentan ningún dato debido a que no fueron suministrados.

En los embalses de mayor capacidad volumétrica (Bornos y Zahara-El Gastor), los niveles que se presentan entre los años 1992 - 1995 son muy bajos, destacando en este sentido el embalse de Zahara-El Gastor que registró un 3,08 % en

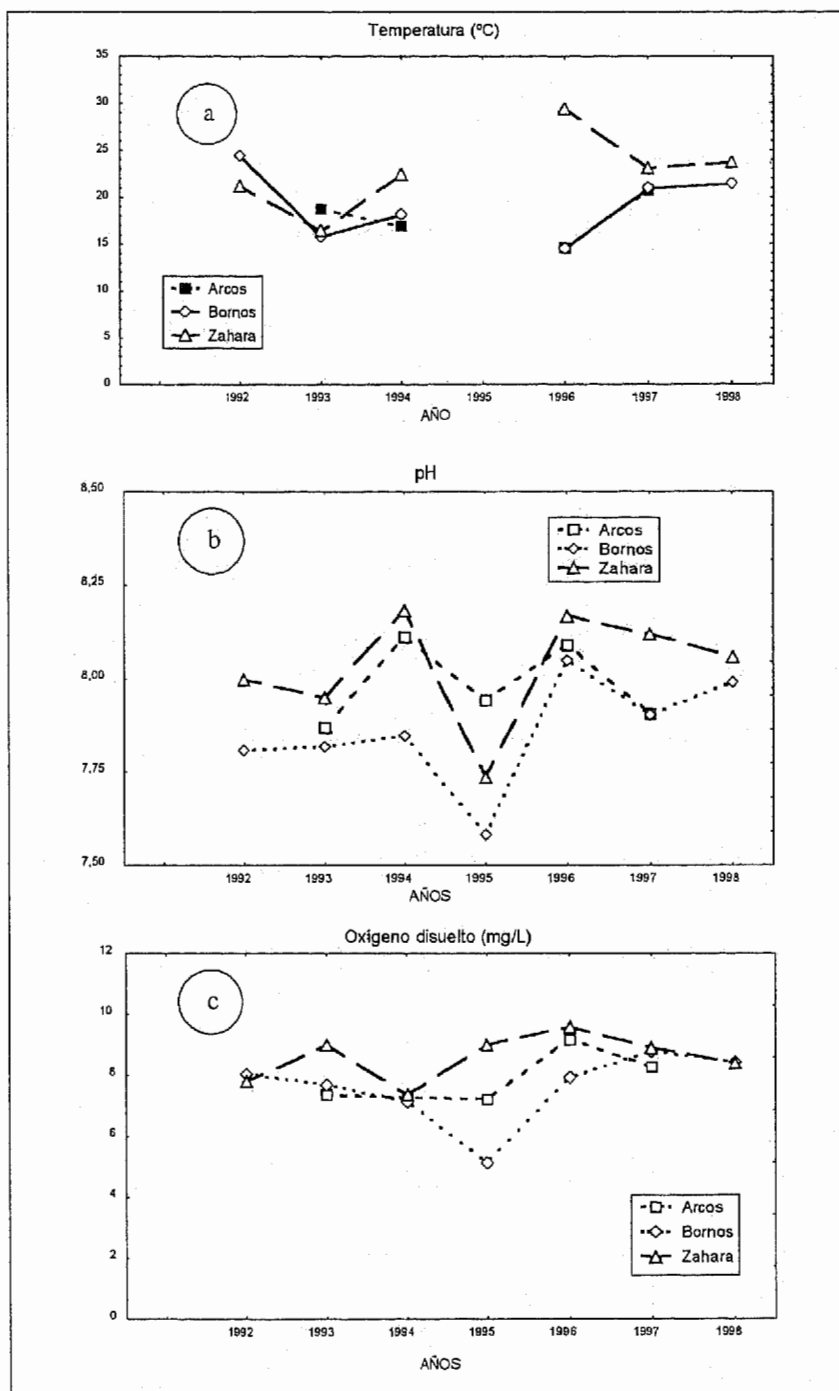


Figura 2. Evolución temporal de los valores medios de (a) temperatura, (b) pH y (c) oxígeno disuelto en los embalses de la cuenca del río Guadalete

1992 y un 0,67 % en 1995, debido a la sequía que se registra durante este período. Lo mismo ocurre en el caso de Bornos cuya cota oscilaba entre un 12,88 % en el año 1993 y bajó hasta un 7,77 % en 1995.

El embalse de Arcos, que es el de menor capacidad de contención de agua (14 hm<sup>3</sup>), se mantuvo en niveles bastante altos durante el período

de estudio, llegando en el año 1996 a disponer de hasta un 94,65 %; esto es debido a que es utilizado como contraembalse para mantener una determinada cota para riego, por lo que es común el procedimiento de vaciar aguas desde el pantano de Bornos hasta el de Arcos.

Si comparamos los datos de pluviosidad (**Tabla 1**) y los porcentajes

de agua embalsada (Tabla 2) se comprueba como los años de mayor precipitación el volumen de agua embalsada aumenta, a excepción del año 1995 en que las lluvias ocurren en el último trimestre, por lo que no dio tiempo a llenar los embalses y el aumento de nivel se registró en el año siguiente (7,77 % para Bornos y 0,67 % para Zahara-El Gastor).

**3.3. Análisis estadístico de los resultados**

Las Tablas 3, 4 y 5 recogen los valores medio, máximo y mínimo,

la mediana y la desviación típica de los parámetros analizados para los embalses de Zahara-El Gastor, Bornos y Arcos, respectivamente. También aparecen, para que sirvan de referencia de la calidad de las aguas embalsadas antes de su tratamiento en las ETAPs (Estación de Tratamiento de Aguas Potables), los valores establecidos por la *Reglamentación Técnico-Sanitaria para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público*, como son el nivel guía y la concentración máxima admisible. En la Tabla 6 se recogen

los valores medios de los parámetros de control de calidad de todos los embalses.

**3.3.1. Parámetros determinados "in situ"**

Los parámetros determinados "in situ" fueron: temperatura, pH, oxígeno disuelto y turbidez. La temperatura influye en la solubilidad de las sales y gases, en la conductividad eléctrica, en el origen del agua y de posibles mezclas, además de afectar a la mayoría de los procesos biológicos que tienen lugar en un ecosistema como los embalses.

	ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA PERÍODO 1992-1998					Reglamentación Técnico-Sanitaria (R.D. 1138/1990)	
	Valor medio	Mínimo	Máximo	Mediana	Desviación Típica	Nivel Guía	Concentración Máxima Admisible
<i>Caracteres organolépticos</i>							
Turbidez (U.N.F.)	2,56	0,21	15,00	1,80	3,24	1	6
<i>Caracteres físico-químicos</i>							
Temperatura (°C)	21,1	9,1	39,6	21,6	6,60	12	25
pH (Unidad pH)	8,06	7,31	8,66	8,06	0,28	6,5 ≤ pH ≤ 8,5	9,5
Conductividad (µS.cm <sup>-1</sup> )	1852	732	3690	2195	910,74	400	-
Cloruro (mg/L Cl)	383	61	1012	480	282,07	25	-
Sulfatos (mg/L SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	224	87	478	205	85,07	25	250
Alcalinidad total (mg/L HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	147	11	262	174	81,39	-	-
Silice (mg/L SiO <sub>2</sub> )	5,24	0,00	14,00	5,72	3,03	-	-
Calcio (mg/L Ca)	118	18	190	118	31,88	100	-
Magnesio (mg/L Mg)	35	11	85	31	18,40	30	50
Sodio (mg/L Na)	196	5	610	80	184,73	20	150
Dureza total (mg/L Ca)	429	263	764	400	131,64	-	-
Residuo seco (mg/L)	278	0	1038	5	310,37	-	1500
Oxígeno disuelto (mg/L O <sub>2</sub> )	8,5	4,0	14,5	8,8	1,90	-	-
<i>Caracteres relativos a sustancias no deseables</i>							
Nitratos (mg/L NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	3,22	0,08	102,00	0,95	13,88	25	50
Nitritos (mg/L NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	0,11	0,00	3,00	0,04	0,43	-	0,1
Amonio (mg/L NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	0,26	0,00	0,85	0,23	0,19	0,05	0,5
Oxidabilidad (mg/L O <sub>2</sub> )	3,66	1,76	6,00	3,64	1,06	2	5
Hierro (µg/L Fe)	68,45	0,00	390,00	0,41	99,54	50	200
Manganeso (µg/L Mn)	119,21	0,00	680,00	0,12	189,19	20	50
Fosforo (µg/L P)	98	5	757	45	141,99	400	5000

Tabla 3. Índices estadísticos de los parámetros de control de calidad del embalse de Zahara-El Gastor, cuenca del río Guadalete (período 1992 - 1998).

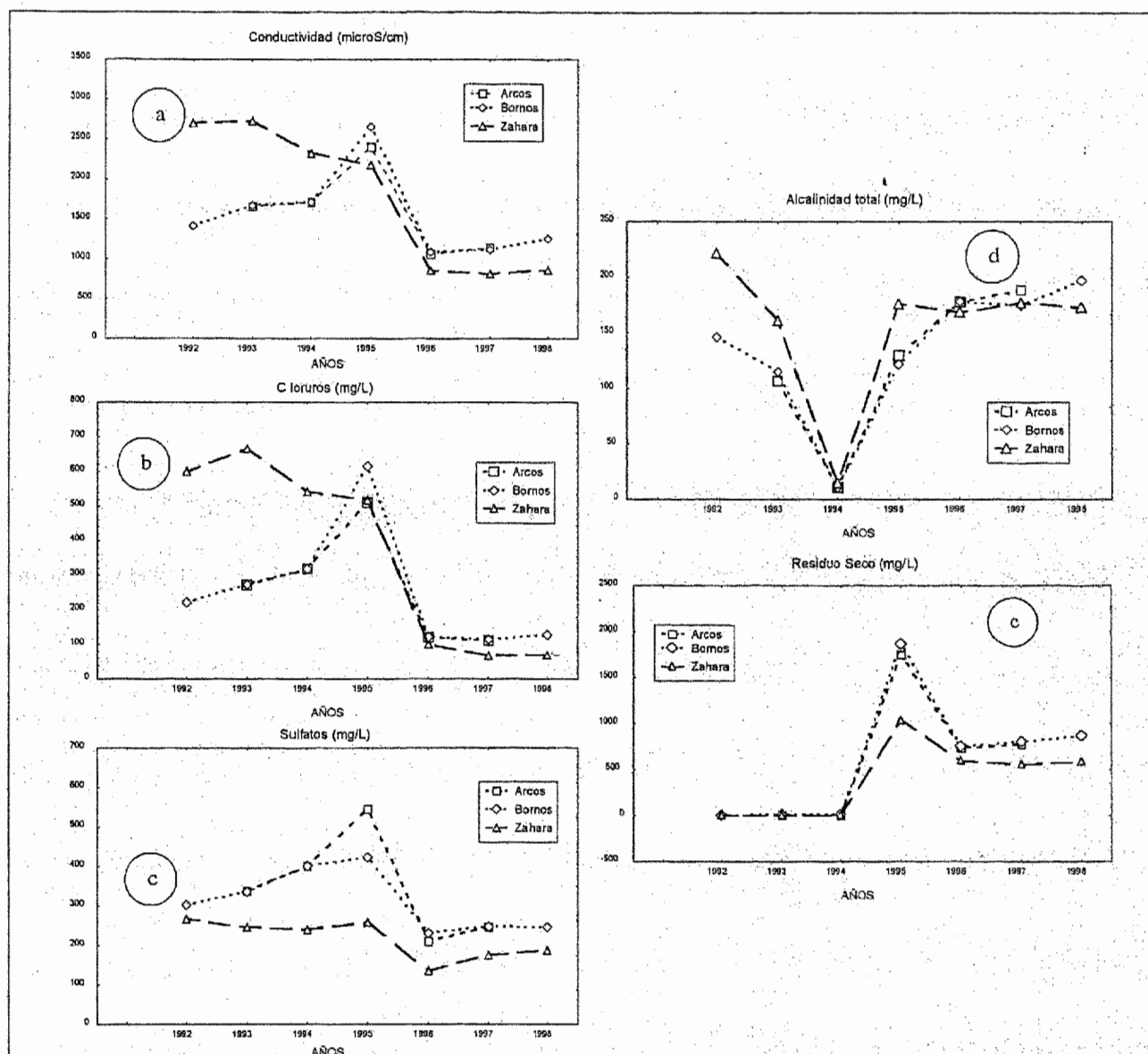


Figura 3. Evolución temporal de los valores medios de (a) conductividad, (b) cloruros y (c) sulfatos, (d) alcalinidad total y (e) residuo seco en los embalses de la cuenca del río Guadalete.

Según se muestra en la **Tabla 6**, los valores medios de temperatura más altos se registran en el embalse de Zahara-El Gastor (21,1 °C), seguido del de Bornos (20,0 °C) y Arcos (18,1 °C). En la **Figura 2.a** se representa la evolución temporal de la temperatura durante el período comprendido entre los años 1992 y 1998. Los datos durante el año 1995 no se registraron por la escasa cantidad de agua embalsada según se mostró en la **Tabla 2** sobre evolución del agua acumulada en los embalses. Para cada embalse se observa una dispersión de los valores de la temperatura durante los primeros

años antes de las lluvias debido a la escasez de agua acumulada, mientras que a partir de 1996 con el aumento pluviométrico, los embalses de Arcos y Bornos presentan las mismas temperaturas mientras que en Zahara-El Gastor se registran mayores valores, sobre todo en 1996. Cabe destacar algunos valores máximos puntuales registrados en Zahara-El Gastor (39,6 °C) y Bornos (39,9 °C) en los meses de verano del año 1995 en que la sequía se había prolongado tanto que el nivel de agua embalsada era ínfimo; en Arcos, en ese mismo período la temperatura máxima fue de 26,8 °C,

lo cual es lógico al tratarse de un contraembalse que siempre ha tenido mayor porcentaje de agua que los anteriores.

Los niveles medios de pH son muy parecidos para Zahara-El Gastor y Arcos (en torno a 8,00) y menor para Bornos (7,86, **Tabla 6**). La **Figura 2.b** muestra una evolución similar de este parámetro en los tres embalses durante el período de estudio. El elevado descenso que se produce en el año 1995, el de mayor sequía y de menor contención de agua embalsada, se debe probablemente a los procesos de nitrificación (Poch, 1999) que

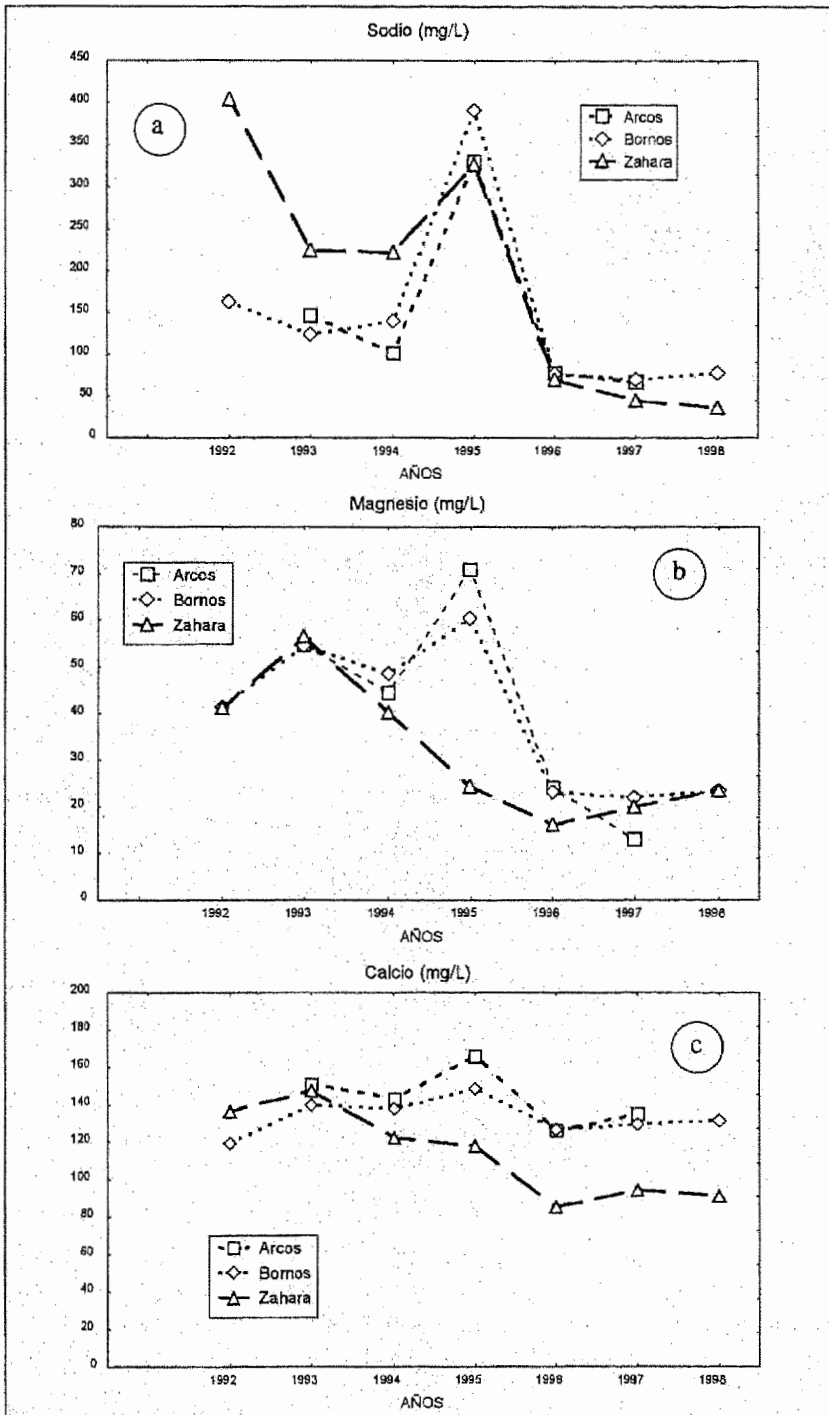


Figura 4. Evolución temporal de los valores medios de (a) sodio, (b) magnesio y (c) calcio en los embalses de la cuenca del río Guadalete.

están teniendo lugar, así como a la emisión de CO<sub>2</sub> procedente de los procesos de biodegradación de la materia orgánica presente. El aumento de las sustancias oxidables al permanganato potásico en el año 1995, mostrado en la Figura 8, corrobora esta hipótesis (Sánchez, 1994). Posteriormente el pH vuel-

ve a aumentar con la avenida de las lluvias.

No existe mucha diferencia entre los valores medios de oxígeno disuelto en cada embalse, ya que varía entre 7,8 mg/L O<sub>2</sub> de los embalses de Bornos y Arcos hasta 8,5 en Zahara-El Gastor (Tabla 6). Estos valores son los normales que se pue-

den registrar en este tipo de aguas. En la Figura 2.c se observa como el embalse de Bornos presenta valores bajos en 1995, coincidiendo con el descenso de los niveles de pH y agua embalsada. Se observa un aumento de los valores a partir de 1996, al estabilizarse las cotas de agua embalsada.

La principal fuente de turbidez en las aguas naturales procede de la materia coloidal (arcilla, fragmentos de roca, sustancias del lecho, etc.) erosionada y transportada por los ríos en su recorrido; también puede proceder de las aportaciones de fibras vegetales que son arrastradas por el río, así como de los microorganismos que viven en su seno (Poch, 1999). En la Tablas 6 se observa que los valores medios no alcanzan la concentración máxima admisible reglamentada (6 U.N.F.), aunque sí se ha registrado algún valor máximo para cada uno de los embalses que la supera, probablemente durante los años de baja cota de embalse al darse problemas de resuspensión de sedimento del fondo. En líneas generales se puede admitir que las aguas de estos embalses son bastante claras.

### 3.3.2. Contenido salino

El contenido salino está caracterizado por los valores de parámetros tales como conductividad, cloruros, sulfatos, alcalinidad, residuo seco, sodio, magnesio y calcio. La evolución de estos parámetros se muestra en los gráficos de la Figura 3 y, a excepción de la alcalinidad total, todos muestran la similitud de presentar valores bastante altos en el año de mayor sequía.

La conductividad es un parámetro relacionado con el conjunto de iones (y por tanto de sales) del agua, por lo que no es específico de una especie concreta, sino globalizador del conjunto de iones. Los valores medios para cada embalse varían entre 1500 μS/cm de Bornos y Arcos hasta 1852 μS/cm para Zahara-El Gastor (Tabla 6), presentando éste último una elevada dispersión



## ARTICULOS TECNICOS

de datos (entre 732  $\mu\text{S}/\text{cm}$  como valor mínimo hasta 3690  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , (Tabla 3) y superando en algún momento el límite establecido por la DIRECTIVA 98/83/CE relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano (2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Los valores más elevados en el caso de Arcos y Bornos se alcanzan en el año 1995, tal y como se observa en la Figura 3.a. Para el embalse de Zahara-El Gator, aunque el valor registrado en el año 1995 es elevado, no lo es tanto como en los años anteriores (1992, 1993 y 1994). To-

dos los embalses disminuyeron sus valores de conductividad drásticamente a partir de 1996 con la avenida de las lluvias. En general, estos embalses presentan un grado de mineralización excesivo según el valor de la conductividad (Pérez, 1999).

Las aguas naturales tienen contenidos muy variables en cloruros dependiendo de las características de los terrenos que atraviesen. El nivel en cloruros no suele plantear problemas de potabilidad a las aguas de consumo pero en concentraciones superiores a 200 mg/l no resulta

aconsejable en casos de hipertensión o de problemas renales. Se recomienda 50 mg/l para el consumo diario, por lo que se puede considerar que en función de los niveles de cloruros encontrados en estos embalses, el consumo no sería recomendable. Los cloruros presentan un comportamiento análogo a la conductividad (Figura 3.b). Así el embalse de Zahara-El Gator es el que presenta los mayores niveles de cloruros entre los años 1992 y 95, siendo menores los siguientes años, aunque el valor medio de cloruros es

	ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA PERÍODO 1992 - 1998					Reglamentación Técnico-Sanitaria (R.D. 1138/1990)	
	Valor medio	Mínimo	Máximo	Mediana	Desviación Típica	Nivel Guía	Concentración Máxima Admisible
<i>Caracteres organolépticos</i>							
Turbidez (U.N.F.)	3,17	0,26	13,70	2,90	2,99	1	6
<i>Caracteres físico-químicos</i>							
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	20,0	4,9	39,9	17,8	7,06	12	25
pH (Unidad pH)	7,86	7,26	8,52	7,84	0,31	$6,5 \leq \text{pH} \leq 8,5$	9,5
Conductividad ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )	1530	905	3200	1390	501,50	400	-
Cloruro (mg/L Cl)	247	66	729	214	161,57	25	-
Sulfatos (mg/L $\text{SO}_4^{2-}$ )	311	129	544	294	88,20	25	250
Alcalinidad total (mg/L $\text{HCO}_3^-$ )	135	10	239	152	67,21	-	-
Sílice (mg/L $\text{SiO}_2$ )	5,44	0,48	8,89	5,86	1,91	-	-
Calcio (mg/L Ca)	132	97	159	133	14,12	100	-
Magnesio (mg/L Mg)	39	8	99	36	19,30	30	50
Sodio (mg/L Na)	141	4	487	91	155,66	20	150
Dureza total (mg/L Ca)	488	358	724	469	84,15	-	-
Residuo seco (mg/L)	495	1	2160	635	555,58	-	1500
Oxígeno disuelto (mg/L $\text{O}_2$ )	7,8	2,6	11,5	8,1	1,68	-	-
<i>Caracteres relativos a sustancias no deseables</i>							
Nitratos (mg/L $\text{NO}_3^-$ )	5,26	0,00	16,80	2,16	5,44	25	50
Nitritos (mg/L $\text{NO}_2^-$ )	0,13	0,00	0,89	0,07	0,17	-	0,1
Amonio (mg/L $\text{NH}_4^+$ )	0,33	0,00	2,00	0,26	0,32	0,05	0,5
Oxidabilidad (mg/L $\text{O}_2$ )	4,4	1,9	14,9	3,6	2,48	2	5
Hierro ( $\mu\text{g}/\text{L Fe}$ )	126,08	0,00	760,00	0,45	174,97	50	200
Manganeso ( $\mu\text{g}/\text{L Mn}$ )	143,57	0,00	860,00	0,13	221,59	20	50
Fósforo ( $\mu\text{g}/\text{L P}$ )	139	9	1080	66	184,63	400	5000

Tabla 4. Índices estadísticos de los parámetros de control de calidad del embalse de Bornos, cuenca del río Guadalete (período 1992 - 1998).

Tabla 5

	ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA PERÍODO 1992-1998					Reglamentación Técnico-Sanitaria (R.D. 1138/1990)	
	Valor medio	Mínimo	Máximo	Mediana	Desviación Típica	Nivel Guía	Concentración Máxima Admisible
<i>Caracteres organolépticos</i>							
Turbidez (U.N.F.)	4,15	0,30	21,30	1,10	6,41	1	6
<i>Caracteres físico-químicos</i>							
Temperatura (°C)	18,1	4,8	26,8	16,1	5,04	12	25
pH (Unidad pH)	8,00	7,31	8,63	7,97	0,31	6,5 ≤ pH ≤ 8,5	9.5
Conductividad (µS.cm <sup>-1</sup> )	1516	927	2516	1616	440,30	400	-
Cloruro (mg/L Cl <sup>-</sup> )	245	77	555	261	133,56	25	-
Sulfatos (mg/L SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	326	120	630	295	125,88	25	250
Alcalinidad total (mg/L HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	114	9	219	152	78,52	-	-
Sílica (mg/L SiO <sub>2</sub> )	7,38	0,67	39,00	6,49	6,18	-	-
Calcio (mg/L Ca)	141	155	183	137	17,69	100	-
Magnesio (mg/L Mg)	40	5	90	36	23,08	30	50
Sodio (mg/L Na)	125	4	367	80	101,09	20	150
Dureza total (mg/L Ca)	519	381	810	515	114,42	-	-
Residuo seco (mg/L)	524	2	1840	660	572,96	-	1500
Oxígeno disuelto (mg/L O <sub>2</sub> )	7,9	4,7	7,5	15,6	2,10	-	-
<i>Caracteres relativos a sustancias no deseables</i>							
Nitratos (mg/L NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	4,32	0,37	16,20	1,30	5,40	25	50
Nitritos (mg/L NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	0,07	0,00	0,58	0,03	0,11	-	0,1
Amonio (mg/L NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	0,33	0,00	1,70	0,24	0,32	0,05	0,5
Oxidabilidad (mg/L O <sub>2</sub> )	4,6	2,6	10,7	4,1	1,79	2	5
Hierro (µg/L Fe)	86,86	0,00	500,00	0,38	123,49	50	200
Manganeso (µg/L Mn)	130,90	0,00	1580,00	0,27	283,14	20	50
Fósforo (µg/L P)	180	21	1576	66	356,40	400	5000

Tabla 5. Índices estadísticos de los parámetros de control de calidad del embalse de Arcos, cuenca del río Guadalete (período 1992-1998).

mayor que para los otros dos embalses (383 mg/L Cl<sup>-</sup>, frente a 245 mg/L Cl<sup>-</sup>, **Tabla 6**).

El contenido de sulfatos no suele presentar problemas de potabilidad en las aguas de consumo, pero contenidos superiores a 300 mg/l pueden ocasionar trastornos gastrointestinales en los niños. Se sabe que los sulfatos de sodio y magnesio pueden tener acción laxante, por lo que no es deseable un exceso de los mismos en las aguas de bebida. La cantidad máxima para el consumo habitual es de 50 mg/l, mientras que la concentración máxima admisible

establecida por la Reglamentación Técnico-Sanitaria, es de 250 mg/L SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, valor superado en todos los embalses excepto en Zahara-El Gastor (**Tablas 3, 4, 5 y 6**). En cuanto a su evolución, ocurre lo contrario que para los parámetros anteriores puesto que los valores menores se presentan en Zahara-El Gastor (**Figura 3.c**) registrándose 224 mg/L SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> frente a 320 mg/L SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> de Arcos. Los valores más altos se registraron en Arcos seguido de Bornos en donde se alcanza un máximo en el año 1995, y descendiendo en los años posteriores.

Los fenómenos que tienen lugar al atravesar el agua los suelos provocan aumentos en la concentración de aniones carbonatos, hidróxidos e hidrogenocarbonatos, determinados como alcalinidad total (mg/L HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>). La formación de estos compuestos se debe a que en la capa superior de los suelos, los microorganismos presentes incrementan la concentración de dióxido de carbono, que provoca un cambio del pH favoreciendo el paso de los carbonatos presentes en las rocas en forma insoluble a bicarbonatos que son solubilizados. Estos fenómenos tienen

bastante importancia sobre todo en las aguas subterráneas, no teniéndola tanta en aguas embalsadas. La evolución seguida por este parámetro es la misma en los tres embalses y diferente a las variables estudiadas en este apartado (Figura 3.d), puesto que sufre una disminución drástica en el año 1994 previsiblemente debida a la emisión de CO<sub>2</sub> que ejerce la abundancia de plancton como consecuencia del bajo nivel de los embalses y las escasas precipitaciones. Este aumento de CO<sub>2</sub> provoca el aumento de la unidad de pH al tratarse de aguas basificadas, como se observa en la Figura 2.b en que el año 1994 presenta altos niveles. Se puede considerar que este año es el de menor volumen medio anual de agua acumulada y el de peor calidad de la misma.

El residuo seco puede afectar sensiblemente a la calidad de un agua y por lo tanto limitar sus usos. Las aguas altamente mineralizadas, con un elevado contenido en residuo seco, son peor aceptadas para la bebida (comunican sabor al agua y pueden producir irritación gastrointestinal), usos domésticos y algunos usos industriales específicos. Las aguas de débil o muy débil mineralización son las adecuadas para personas con problemas renales o para comidas infantiles. El embalse de Zahara-El Gastor presenta el valor medio de residuo seco más bajo de los embalses, aunque todos se pueden considerar como de débil mineralización, según la Directiva 80/777/CE, además de que ninguno alcanza la concentración máxima admisible reglamentada en 1500 mg/L (Tabla 6). Según la Figura 3.e se observa un aumento sustancial de la concentración de residuo seco en 1995 para todos los embalses y una estabilización posterior a niveles próximos a 600 mg/L. Esta evolución es la misma que siguen las variables conductividad, cloruros y sulfatos.

La dureza total de las aguas es un componente con bastante significación en su calidad fisicoquímica.

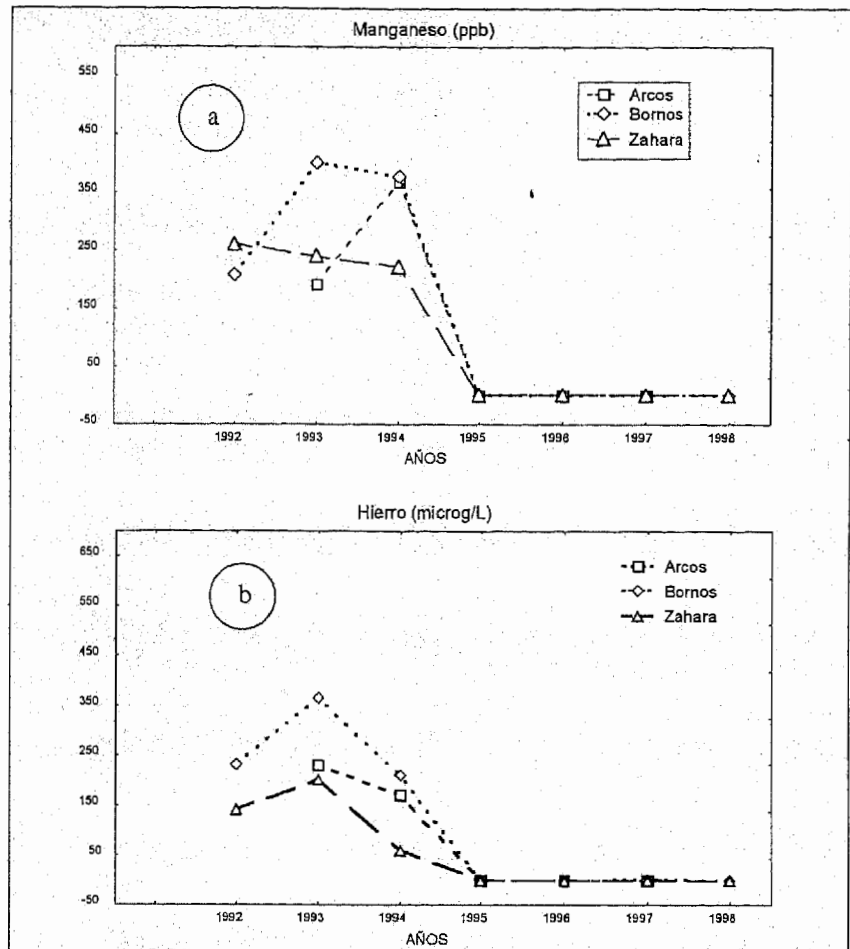


Figura 5. Evolución temporal de los valores medios de (a) manganeso, (b) hierro en los embalses de la cuenca del río Guadalete.

Aunque no se conocen con claridad los efectos de las aguas duras y blandas sobre el organismo de los consumidores, ciertos estudios epidemiológicos parecen apuntar a que la incidencia de enfermedades cardiovasculares es mayor en las zonas de consumo de aguas blandas. Por otra parte, las aguas blandas son agresivas y facilitan la disolución de metales de las cañerías provocando, entre otras enfermedades, saturnismos (intoxicación por plomo) en aquellos abastecimientos en que aún se conservan tuberías antiguas de plomo. Las aguas con más de 600 mg CO<sub>3</sub>H/L (bicarbonatadas) convienen a personas con gastritis o acidez de estómago. Los valores medios de dureza total encontrados en estos embalses oscilan entre 429 - 519 mg/L Ca (Tabla 6), tratándose de valores bastante más altos que los determinados en otros embalses de

la provincia como los de la cuenca del río Majaceite, en torno a 270 mg/L Ca (Rodríguez, 2001).

Los niveles de sodio, magnesio y calcio se representan en los gráficos de la Figuras 4. En todos se incrementa el valor del elemento en el año de mayor sequía excepto para el magnesio en el caso del embalse de Zahara. Los niveles medios de sodio son mayores en Zahara-El Gastor, superando la concentración máxima admisible reglamentada en 150 mg/L Na (Tabla 6). Según la Figura 4.a, la evolución de los niveles de sodio es mayor durante los primeros años para Zahara-El Gastor que para los embalses restantes, aunque a partir de 1994 esta evolución se invierte.

Los niveles medios de magnesio son muy parecidos en los tres embalses (Tabla 6) y ninguno llega a superar la concentración máxima

Tabla 6

	ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA PERÍODO 1992 - 1998			Reglamentación Técnico-Sanitaria (R.D. 1138/1990)	
	Zahara	Bornos	Arcos	Nivel Guía	Concentración Máx. Admisible
<i>Caracteres organolépticos</i>					
Turbidez (U.N.F.)	2,56	3,17	4,15	1	6
<i>Caracteres físico-químicos</i>					
Temperatura (°C)	21,1	20,0	18,1	12	25
pH (Unidad pH)	8,06	7,86	8,00	6,5 ≤ pH ≤ 8,5	9,5
Conductividad (µS.cm <sup>-1</sup> )	1852	1530	1516	400	-
Cloruro (mg/L Cl <sup>-</sup> )	383	247	245	25	-
Sulfatos (mg/L SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	224	311	326	25	250
Alcalinidad total (mg/L HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	147	135	114	-	-
Sílice (mg/L SiO <sub>2</sub> )	5,24	5,44	7,38	-	-
Calcio (mg/L Ca)	118	132	141	100	-
Magnesio (mg/L Mg)	35	39	40	30	50
Sodio (mg/L Na)	196	141	125	20	150
Dureza total (mg/L Ca)	429	488	519	-	-
Residuo seco (mg/L)	278	495	524	-	1500
Oxígeno disuelto (mg/L O <sub>2</sub> )	8,5	7,8	7,9	-	-
<i>Caracteres relativos a sustancias no deseables</i>					
Nitratos (mg/L NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	3,22	5,26	4,32	25	50
Nitritos (mg/L NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	0,11	0,13	0,07	-	0,1
Amonio (mg/L NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	0,26	0,33	0,33	0,05	0,5
Oxidabilidad (mg/L O <sub>2</sub> )	3,66	4,4	4,6	2	5
Hierro (µg/L Fe)	68,45	126,08	86,86	50	200
Manganeso (µg/L Mn)	119,21	143,57	130,90	20	50
Fósforo (µg/L P)	98	139	180	400	5000

Tabla 6. Valores medios de los parámetros de control de calidad de cada uno de los embalses: Zahara-El Gastor, Bornos y Arcos, cuenca del río Guadalete (período 1992 - 1998).

admisible (50 mg/L Mg). Se trata de otro parámetro relacionado con el contenido salino, ya que es un catión que va unido generalmente al ion sulfato y que proviene de la corrosión de las dolomitas en forma de bicarbonato (Queralt, 2000). Los valores más altos se presentan en el año 1995 (Figura 4.b) excepto, y como se ha comentado, para el embalse de Zahara-El Gastor que los presenta en 1993 y que tiene una evolución muy distinta a los demás embalses.

El calcio es un catión similar al anterior pero más abundante en el

agua, estando asociado a la forma de bicarbonato cuando proviene de rocas calcáreas (calizas y calcitas) y al sulfato en zonas de yesos. Es el principal responsable de la denominada "dureza" del agua. Los niveles medios analizados de calcio se presentan casi en las mismas concentraciones en los embalses de Bornos y Arcos y en menor cantidad en Zahara-El Gastor, aunque en todos los casos se supera el nivel guía establecido legalmente en 100 mg/L Ca (Tablas 3, 4 y 5). La evolución temporal observada en la Figura 4.c muestra como la diferen-

cia va siendo más acusada a partir de 1994.

Los metales hierro y manganeso pueden ocasionar problemas en los tratamientos posteriores de potabilización y son considerados como caracteres relativos a sustancias no deseables. En la Figura 5.a. se muestra que los valores medios de manganeso recogidos entre 1992 y 1994 para los tres embalses son muy diferentes. A partir de 1995 se homogeneizan acercándose a valores próximos a cero, por lo que las desviaciones típicas encontradas son muy altas (Tabla 3, 4 y 5); para

este parámetro es conveniente, por tanto, centrarse en los valores de la mediana que son más representativos. Se observan valores de la mediana en torno a 0,13  $\mu\text{g/L}$  Mn para Zahara-El Gastor y Bornos y un poco mayores, 0,27  $\mu\text{g/L}$ , para Arcos. En los tres embalses, y durante los primeros años del período estudiado, se supera la concentración máxima admisible de manganeso establecida en 50  $\mu\text{g/L}$  Mn, aunque la mayor concentración de manganeso se observa en el embalse de Bornos, seguida de Zahara-El Gastor y Arcos, tal y como se muestra en la Figura 5.a.

Para el caso del hierro, las mayores concentraciones medias anuales se presentan en Bornos y Arcos, seguida de Zahara-El Gastor (Tabla 6). Los niveles encontrados en el año 1993 son los mayores registrados para el período estudiado, disminuyendo en años sucesivos e igualándose a partir de 1995, (Figura 5.b). Los niveles medios no superan la concentración máxima admisible establecida en 200  $\mu\text{g/L}$  Fe, aunque sí se observan máximos puntuales en cada embalse que supera este valor (Tablas 3, 4 y 5).

**3.3.3. Nutrientes**

La principal amenaza a la que se encuentran sometidos los embalses cuando acontecen sucesos de aumento de la concentración de nutrientes (nitrógeno y especialmente fósforo) es la eutrofización que origina un gran desarrollo del fitoplancton. El lavado de las tierras de labor y las aguas residuales vertidas a este tipo de ecosistemas son las desencadenantes de este proceso.

En los embalses destinados al abastecimiento de agua potable la eutrofización puede favorecer el desarrollo de un tipo de algas conocidas como Cianofíceas (capaces de fijar nitrógeno atmosférico una vez agotado el nitrógeno combinado, creciendo mientras exista fósforo) que pueden originar olores y sabores desagradables en el

agua tratada. Además, la descomposición de la materia orgánica como consecuencia de la masiva proliferación de algas, consume grandes cantidades de oxígeno que provocan la acumulación de compuestos de hierro y manganeso en el hipolimnion, ocasionando problemas durante la explotación (Vidal, 1992). Estos problemas

hacen necesario controlar la presencia de los nutrientes principales (nitrógeno en sus diferentes formas y fósforo) en el agua embalsada.

El anión nitrato es de origen antropogénico y su presencia en las aguas deriva mayoritariamente del abonado agrícola, por lo que es habitual en las zonas de agri-

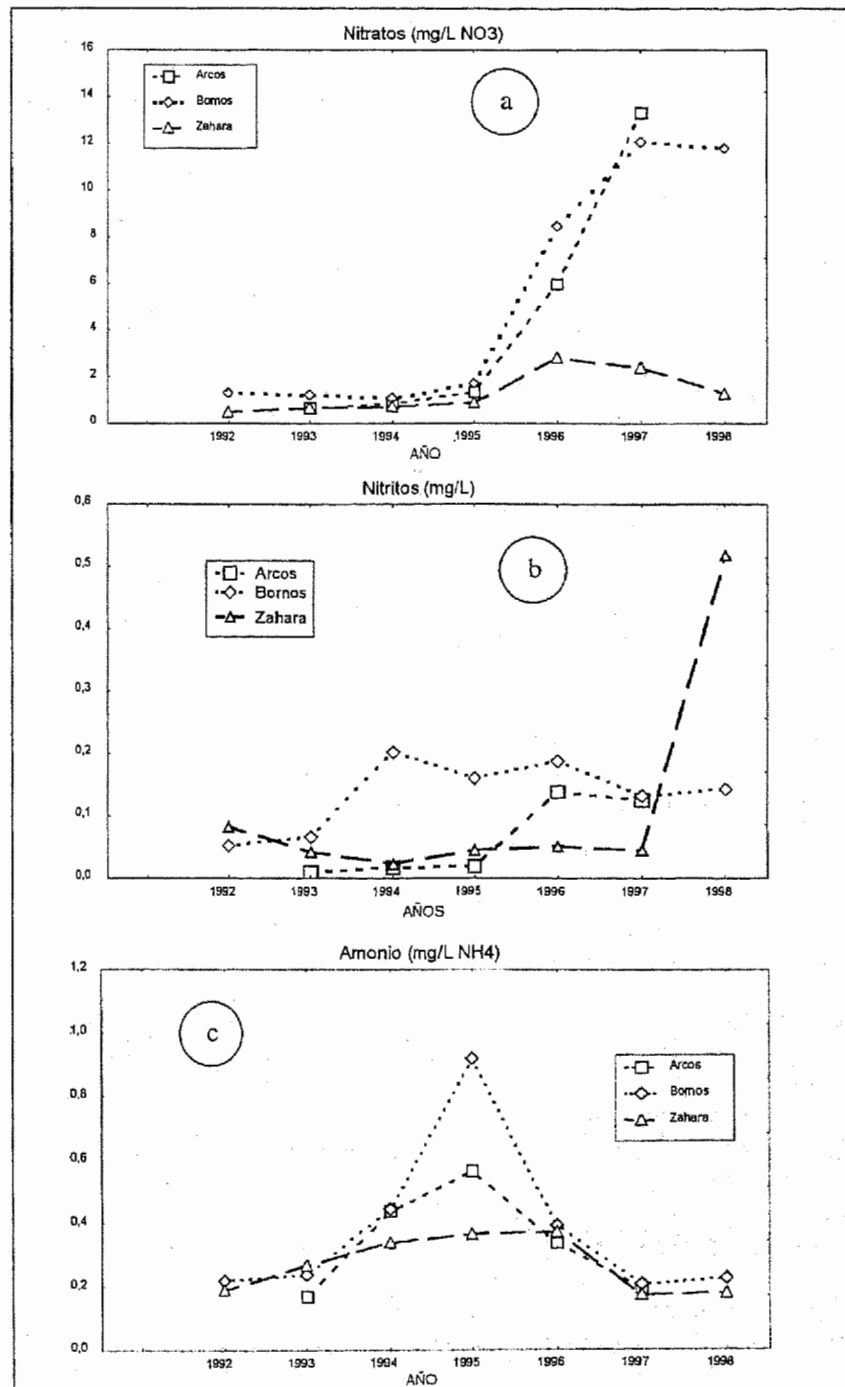


Figura 6. Evolución temporal de los valores medios de (a) nitros, (b) nitritos y (c) amonio en los embalses de la cuenca del río Guadalete.

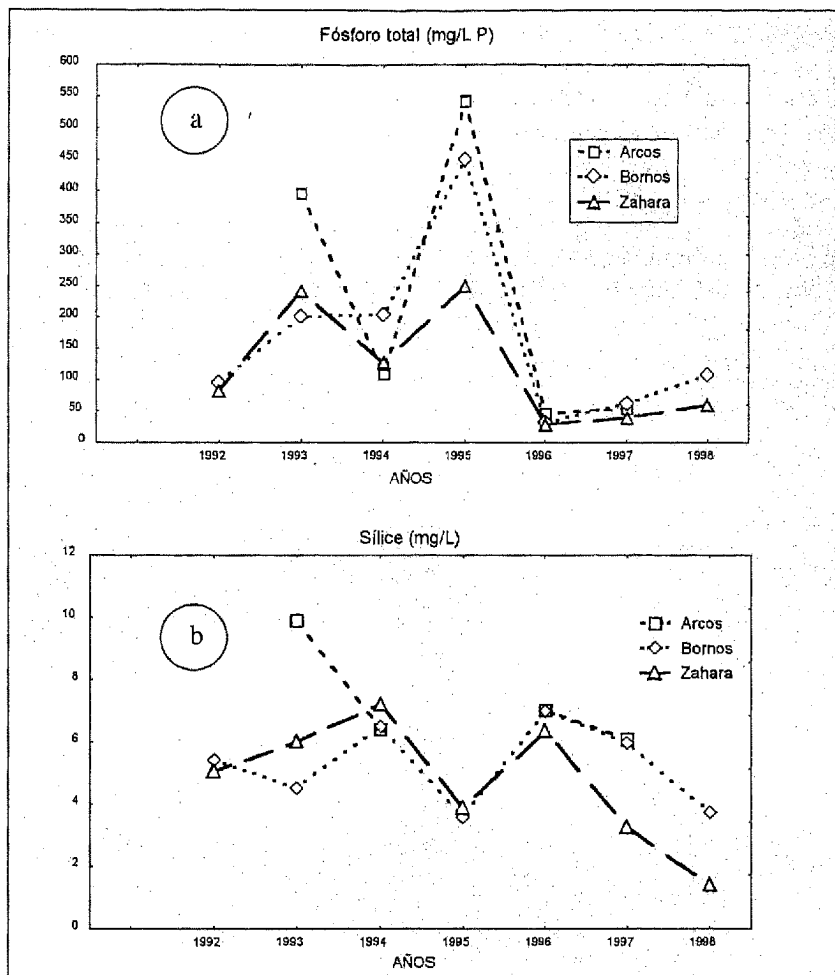


Figura 7. Evolución temporal de los valores medios de (a) fósforo, (b) sílice en los embalses de la cuenca del río Guadalete.

cultura y/o ganadería intensiva. En el caso de lagos o embalses, los niveles de nitrato deben ser especialmente controlados para evitar el crecimiento excesivo de algas, con el correspondiente problema de eutrofia que, según algunos autores, puede empezar a aparecer a partir de concentraciones superiores a los 0,8 mg/L de nitratos (Poch, 1999). Los niveles de nitrato encontrados en estos embalses no alcanzan el nivel guía (25 mg/L  $\text{NO}_3^-$ ), aunque se haya alcanzado un valor máximo de 102 mg/L en el embalse de Zahara-El Gastor (Tabla 3). El embalse de Bornos presenta la mayor concentración y a partir de las lluvias de 1996, todos incrementan los niveles de nitratos hasta alcanzar valores medios entre 12 y 14 mg/L, sobre todo los embalses de

Arcos y Bornos tal y como se observa en la Figura 6.a., lo cual se explica por el arrastre de compuestos nitrogenados por las aguas de escorrentía.

Los valores medios de nitritos alcanzan la concentración máxima admisible (0,1 mg/L  $\text{NO}_2^-$ ), detectándose en Zahara-El Gastor un valor máximo de hasta 3 mg/L (Tabla 3). Los niveles de nitritos deben vigilarse en el suministro domiciliario pues niveles altos pueden provocar la enfermedad de la metahemoglobinemia o enfermedad de la sangre azul que afecta principalmente a la infancia. En la gráfica de la Figura 6.b. se observa que el embalse de Bornos tiene las mayores cotas entre 1993 y 1998, a excepción de un valor máximo que presenta Zahara-El Gastor en 1997.

La presencia de grandes cantidades de nitrógeno amoniacal indica, generalmente, una contaminación reciente por materias orgánicas en descomposición. El amoníaco favorece el desarrollo de ciertas bacterias, las cuales, a su vez, producen sabores desagradables. Los niveles de amonio encontrados en los embalses de la cuenca del Guadalete no superan la concentración máxima admisible reglamentada (0,5 mg/L  $\text{NH}_4^+$ ), aunque en los tres embalses se encontraron valores máximos puntuales mayores (Tablas 3, 4 y 5). Durante el año 1995 en que los niveles de agua eran escasos y bastante altos, los niveles de amonio alcanzan un máximo (Figura 6.c), descendiendo a continuación hasta valores análogos al inicio del período de estudio.

En cuanto a los niveles de fósforo encontrados no se supera la concentración máxima admisible (5000  $\mu\text{g/L P}$ ), detectándose un valor máximo de 1576  $\mu\text{g/L P}$  en el embalse de Arcos (Tabla 5). La entrada en un ecosistema de aguas ricas en fósforo desencadena una rápida proliferación de algas, con aguas poco mineralizadas, ya que si el sistema tiene aguas mineralizadas se favorece la precipitación del fósforo (Medina, 1999). Por este motivo se podría concluir que en estos tres embalses al tener altos contenidos mineralógicos, los procesos de eutrofización se ven poco favorecidos. En la Figura 7.a se observan dos picos de concentración de fósforo total para los tres embalses, el primero en 1993 y el segundo, de mayor magnitud en 1995, decreciendo posteriormente. El embalse de Zahara-El Gastor presenta menor contenido en fósforo durante todo el período.

Los contenidos medios de sílice durante el período estudiado son muy parecidos para los embalses de Bornos y Zahara-El Gastor y un poco mayor para Arcos (Tabla 6). Se trata de otro nutriente que puede contribuir a los procesos de eu-

trofización en caso de darse las condiciones oportunas. En la **Figura 7.b** se observan dos máximos aunque no coincidan en el tiempo con los máximos determinados en el caso del fósforo.

### 3.3.4. Materia orgánica

Algunos compuestos orgánicos son la causa del color y del mal sabor del agua ya que favorecen el desarrollo de organismos, como las algas, hongos y bacterias, que se fijan en las paredes de las tuberías y secretan sustancias malolientes. Pueden producir compuestos de olor desagradable al combinarse con el cloro añadido al agua para la desinfección. Un agua rica en materias orgánicas es siempre sospechosa de contaminación bacteriológica o química. La concentración de materia orgánica, expresada como oxidabilidad al permanganato potásico, ronda en todos los embalses los 4 mg/L O<sub>2</sub> acercándose a la concentración máxima admisible de 5 mg/L e incluso en el caso de Bornos presenta un máximo de 15 mg/L. En la **Figura 8** se evidencia un empeoramiento de la calidad de las aguas en 1995 ya que aumenta la oxidabilidad, restableciéndose la misma con la avenida de las lluvias.

### 4. Conclusiones

1. La calidad de las aguas de los embalses de Bornos y Arcos es muy similar en cuanto al contenido salino (conductividad, cloruros, sulfatos, alcalinidad total, calcio, magnesio, sodio, dureza total y residuo seco), al presentar concentraciones muy parecidas.

2. El embalse de Zahara-El Gasor presenta diferencias bastante significativas respecto a los embalses de Bornos y Arcos en cuanto a mineralización: mayor conductividad, cloruros, alcalinidad total, sodio y oxígeno disuelto pero en cambio, las concentraciones de fósforo, sulfatos, calcio y residuo seco son mucho menores.

3. Durante el período muestreado (1992 - 1998) el efecto de la se-

cuía fue mayor en 1995, puesto que aunque fue un año lluvioso, las mayores precipitaciones transcurrieron durante el último trimestre del mismo.

4. La calidad de las aguas empeoró durante 1995 al detectarse el menor volumen de agua embalsada en los pantanos y el aumento sustancial de la concentración de parámetros relacionados tanto con la cantidad de sales (conductividad, cloruros, sulfatos, iones calcio, sodio y magnesio) como con la contaminación por materia orgánica (oxidabilidad al permanganato y amoníaco)

5. El año en que las aguas embalsadas fueron de peor calidad fue 1994 debido al bajo nivel de agua acumulado como consecuencia de las escasas precipitaciones. A partir de último trimestre de 1995 las aguas restablecieron su calidad habitual con la llegada de las lluvias.

6. En los tres embalses estudiados en este trabajo, los procesos de eutrofización se ven poco favorecidos al tratarse de aguas con altos contenidos mineralógicos.

### Agradecimientos

Los autores desean expresar su más sincero agradecimiento a Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. Abastecimiento de Agua a la Zona Gaditana, por la cesión de los datos de análisis de las aguas de

los embalses de Guadalcaçín y los Hurones desde el año 1991.

### Bibliografía

- [1] APHA, AWWA, WPCF (1989). Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Editorial Díaz de Santos, S.A. Edición en español (1992). Madrid.
- [2] DIRECTIVA 80/777/CEE de 15 de julio de 1980 relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo público.
- [3] DIRECTIVA 98/83/CE DEL CONSEJO de 3 de noviembre de 1998 relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano.
- [4] El Abastecimiento de Agua a la zona Gaditana 1957 - 1982. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Dirección general de Obras Hidráulicas. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. Sevilla, 1983.
- [5] González Quesada, R.; González Carballo, J.A. (1995). "Aguas Potables", ponencia del libro "La calidad de las aguas continentales españolas. Estado actual e investigación". geoforma-Ediciones.
- [6] Gutiérrez Mas, J.M. (1982). "Itinerarios geológicos por la provincia de Cádiz". Servicio

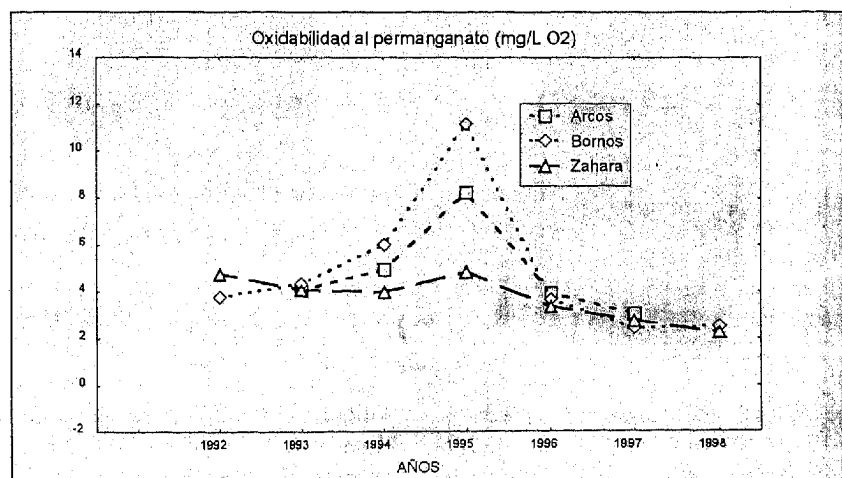


Figura 8. Evolución temporal de los valores medios de oxidabilidad en los embalses de la cuenca del río Guadalete.

- de publicaciones de la Universidad de Cádiz.
- [7] Gutiérrez Mas, J.M.; Martín Algarra, A.; Domínguez Bella, S.; Moral Cardona, J.P. (1991). "Introducción a la geología de la provincia de Cádiz". Servicio de publicaciones de la Universidad de Cádiz.
- [6] Medina Vela, M.; Díaz Borego, M.D.; Puente Guisado, M.L.; Burraco Barrera, C. (1999). "Limnología del embalse del Huesna". *Tecnología del Agua*, 194: 25 – 31.
- [7] ORDEN 11-5-1988, sobre características básicas de calidad que deben ser mantenidas en las corrientes de aguas superficiales cuando sean destinadas a la producción de agua potable
- [8] Orden 13-8-1999, publica las determinaciones de contenido normativo del Plan Hidrológico de Cuenca del Guadalquivir, aprobado por Real Decreto 1664/1998, de 24-7-1998.
- [9] Orden de 1 de diciembre de 1981, por la que se establecen Métodos Oficiales de Análisis de Aguas y otros productos y alimentos (B.O.E. de 20 de enero de 1982).
- [10] Pérez López, J.A.; (1999). "Estudio sanitario del agua". Editorial Universidad de Granada. Motril.
- [11] Poch, M. (1999). "Las calidades del agua". Rubes Editorial, S.L. Barcelona.
- [12] Queralt, R. (2000). "Hidrograma para la representación de la calidad y contaminación de las aguas subterráneas". *Tecnología del Agua*, 197: 20 – 29.
- [13] REAL DECRETO 1138/1990, de 14 de septiembre, por el que se aprueba la Reglamentación Técnico-Sanitaria para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público, (B.O.E. del 20 de Septiembre de 1990).
- [14] REAL DECRETO 1664/1998, de 24-7-1998, por el que se aprueba los Planes Hidrológicos de cuenca, BOE 11-8-1998, núm. 191, [pág. 27296]
- [15] Rodríguez Barroso, M.R. (1998). Tesis de Licenciatura. "Caracterización del agua potable de la ciudad de Cádiz y su relación con las aguas residuales". Universidad de Cádiz.
- [16] Rodríguez Barroso, M.R. (2000). "Embalses de la cuenca del río Majaceite (Huronos y Guadalcaçín) de la provincia de Cádiz: Calidad de las aguas y su influencia con la sequía". Documento Interno. Departamento de Ingeniería Química, Tecnología de los Alimentos y Tecnologías del Medio Ambiente. Universidad de Cádiz.
- [17] Rodríguez Barroso, M.R. (2001) "Calidad del agua de la red de suministro de la localidad de Cádiz: influencia de la sequía en el periodo 1992 – 1998". Ingeniería del Agua, aceptada, pendiente de publicación.
- [18] Sánchez, M. D. (1994). "Estudio de calidad de las aguas del río Turia en el entorno de Teruel: II.- Salinidad del agua y clasificación según la composición de iones mayoritarios". *Tecnología del Agua*, nº 127, pp. 9 – 15.
- [19] Vidal Valderas, L. (1992). Tesis de Doctorado. "Estudio limnológico del embalse de los Huronos (Cádiz). Especiación de fosfatos y su relación con la eutrofización". Universidad de Cádiz.