

EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS DEL EMBALSE DE LOS HURONES PARA CONSUMO PÚBLICO (CÁDIZ, ESPAÑA)

M^a del Rocío Rodríguez Barroso¹, Luis Vidal Valderas², Diego Sales Márquez¹ y José M^a Quiroga Alonso¹

Resumen:

La calidad de las aguas de los embalses que se destinan al abastecimiento de poblaciones debe ser protegida, mantenida y vigilada con especial atención, teniendo en cuenta en cada caso los sistemas de tratamiento para su potabilización.

El embalse de los Hurones, situado en la cuenca del río Majaceite en la provincia de Cádiz, es el quinto más importante de la provincia en cuanto a capacidad de embalse y de los primeros en cuanto a calidad físico-química. No obstante, y con las sequías sufridas en el inicio de los 90 y hasta el año 1996, la calidad de los embalses se vio perjudicada, por lo que se hizo necesario el estudio de la evolución de los parámetros más significativos de la calidad de las aguas, con el fin de poder adoptar soluciones en futuros periodos de sequía.

En este estudio se determina por una parte la frecuencia de las precipitaciones acontecidas durante el periodo comprendido entre los años 1991 – 1998, y por otra la evolución temporal de los parámetros analíticos relacionados tanto con el contenido salino, como con los nutrientes y el contenido en materia orgánica de las aguas de dicho embalse, en este mismo periodo.

Palabras clave: abastecimiento, embalse, sequía, calidad de las aguas, potabilidad.

INTRODUCCIÓN

El abastecimiento de agua de consumo público a las poblaciones es un tema importante al que se le ha prestado mucha atención a lo largo de los años. Así, asegurar tanto un caudal de agua diario y constante como una calidad óptima de la misma se convierten en los principales problemas del suministro, sobre todo cuando se atraviesan épocas de escasez de agua debido a periodos de sequía.

La provincia de Cádiz dispone de la cuenca hidrográfica del río Guadalete, destinada principalmente para riego, mientras que su afluente principal, el río Majaceite, destina las aguas de su cuenca para el abastecimiento a las poblaciones de la comarca de la Bahía de Cádiz (M.O.P.U., 1983). Esta cuenca forma parte de la red hidrográfica de la provincia de Cádiz y su gestión la realiza el organismo de cuenca Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.

En el río Majaceite se sitúan dos embalses: Guadalcaçín y Los Hurones, con 800 y 135 Hm³ de capacidad total respectivamente. Como consecuencia de la sequía sufrida en la década de los noventa, el volumen de agua embalsada en los Hurones disminuyó drásticamente, por lo que para poder dotar a las localidades de la Bahía de Cádiz hubo que recurrir a la mezcla de agua con los embalses de la cuenca del río Guadalete así como con aguas de acuíferos, caracterizados por un mayor contenido de sales, por lo que la calidad de las aguas de suministro domiciliario empeoró (Rodríguez y col., 2001.c).

Con este trabajo se pretende hacer un seguimiento de la calidad de las aguas del embalse de los Hurones para su adecuación como aguas potables, mediante el estudio de la evolución temporal de los parámetros analíticos relacionados tanto con el contenido salino, como con los nutrientes y el contenido en materia orgánica, en el periodo comprendido entre los años 1991 y 1998.

¹ 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. España. E-mail: rocio.rodriguez@uca.es

² Jefe de Sección Laboratorio y Control Sanitario Tratamiento de Aguas Potables. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. Abastecimiento de Agua a la Zona Gaditana.

Artículo recibido el 9 de enero de 2001, recibido en forma revisada el 3 de septiembre de 2001 y aceptado para su publicación el 13 de diciembre de 2001. Pueden ser remitidas discusiones sobre el artículo hasta seis meses después de la publicación del mismo siguiendo lo indicado en las "Instrucciones para autores". En el caso de ser aceptadas, éstas serán publicadas conjuntamente con la respuesta de los autores.

Localización de la zona de estudio

El embalse de Los Hurones (Figura 1), situado en el río Majaceite, se construyó en 1953 y supuso un momento clave en el cambio de la fuente de abastecimiento de aguas para los municipios de la Bahía de Cádiz. Ocupa una superficie de más de 900 hectáreas, alcanzando su cola más de 12 km y dispone de una capacidad total de 135 Hm³ (M.O.P.U., 1983). La superficie de la cuenca es de 290 km² y está situada en una de las zonas de mayor precipitación de la provincia (entre las localidades de El Bosque y Ubrique) alcanzando la lluvia media anual de su cuenca hidrográfica los 1200 mm y una aportación media anual de 134 Hm³. La presa se caracteriza por ser de gravedad de fábrica de hormigón, de planta recta con una longitud y cota de coronación de 405,00 m y 219,00 m respectivamente. La torre de toma de agua se encuentra adosada al paramento de la presa y dispone de tres compuertas de 2,00 m por 1,50 m, situadas a las cotas de 181,50 m - 194,00 m y 205,00 m sobre el nivel del mar.

Según la reglamentación española, (M.O.P.U., 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 los Hurones 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 uti-

liza 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).

MATERIAL Y MÉTODOS

Se recogieron 12 muestras de agua anuales, y a lo largo del periodo comprendido entre enero de 1991 y diciembre de 1998, espaciadas mensualmente. Las muestras fueron tomadas en la estación principal del embalse de los Hurones (localizado en el plano de la Figura 1), entre 5 y 10 metros desde la superficie, correspondiendo a la compuerta II, situada a la cota de 194,00 metros sobre el nivel del mar.

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 estación de tratamiento de aguas potables El Montañés, en la localidad de Puerto Real (provincia de Cádiz).

En cada muestreo se recogieron 2000 mL de agua para realizar los análisis fisicoquímicos: temperatura, pH, conductividad y oxígeno disuelto (determinados "in situ"); nitritos, nitratos, amonio, fosfatos y sílice (como nutrientes); alcalinidad total, cloruros, sulfatos, calcio, sodio y magnesio (parámetros indicativos de contenido salino); oxidabilidad al permanganato (como contenido en materia orgánica) y por último 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).

Tratamiento estadístico de los datos

Para el desarrollo del tratamiento estadístico se ha recurrido al uso de los programas informáticos DBASE IV y EXCEL 5.0 utilizados como base de datos, y se emplearon los programas estadísticos STATGRAPHICS-PLUS y STATISTICA 5.1. sobre el entorno CD/MSDOS y PC/WINDOWS. Con el fin de establecer la relación entre los valores de

los constituyentes químicos y el periodo estudiado, se ha empleado el gráfico "box and whisker", que representa los valores de la mediana, el rango de valores comprendidos entre el 25% y el 75% y los mínimos y máximos del conjunto de datos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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 Figura 2 se muestra la tendencia de las precipitaciones totales anuales durante 1982-1998, y la precipitación media durante dicho periodo (855 mm) recogidas en la estación meteorológica del embalse de los Hurones. Se distinguen tres etapas: la primera comprendida entre los años 1982 y 1989, en la que las precipitaciones son relativamente constantes excepto los años 1987 y 1989 en que el nivel de lluvias fue algo mayor que la media. A continuación, entre los años 1990 y 1994, se atraviesa por una etapa de sequía en la que la precipitación media desciende hasta unos 630 mm. Posteriormente las precipitaciones desde 1995 a 1997, aumentan considerablemente hasta alcanzar valores medios de aproximadamente 1196 mm. Durante el año 1998 vuelven a disminuir por debajo de la media. Así pues, el periodo objeto de estudio (años 1991 - 1998) se caracteriza como una época de acusada sequía entre los años 1992 y 1994, año en que se recrudece bastante la escasez de agua, y una época de mayores precipitaciones a partir de 1995.

Evolución del agua acumulada en el embalse de los Hurones

El volumen anual acumulado en el embalse de los Hurones y el porcentaje que supone respecto de su capacidad total (135 Hm³) se muestran en la Tabla 1. En ella se observa un descenso de las reservas de agua en el embalse desde el año 1992 hasta el 1995, en el que alcanza su valor mínimo (el volumen medio de agua no llega a los 17 Hm³, es decir, al 12,6 % de su capacidad). Con las lluvias de 1996, el embalse se recupera considerablemente, llegando a disponer de un volumen medio de hasta 114 Hm³ (84,4 % de su capacidad), que se mantiene en 1997 sobre los 94 Hm³, alcanzando el mayor nivel de embalse en el último año (85,2 %).

Se evidencia, de manera general, que el volumen acumulado en el embalse y las precipitaciones en este periodo siguen una tendencia similar (Tabla 1), excepto el año 1995, que aparece como un año lluvioso y en cambio el nivel de agua acumulada es mínimo debido a que las precipitaciones se producen al final del año, por lo que se puede considerar que fue un año de sequía bastante acusado.

El organismo de cuenca Confederación Hidrográfica del Guadalquivir tuvo que adoptar una serie de medidas durante el periodo de sequía 1992-95 para asegurar el suministro de agua a las poblaciones. Entre los años 1992 y 1993 se suministraba agua sólo de los embalses de Guadalcaçín y Los Hurones, mientras que entre los años 1994 y 1995, se utilizó también el agua del embalse de Bornos, y durante los meses de sequía de 1995 se recurrió a aguas de acuíferos como los pozos de Las Cabras, El Sotillo y El Madrugador (Rodríguez, 2001.d). Desde finales del año 1994 se tuvo que solicitar expediente de excepción a la Delegación Provincial de Salud, Sección Salud Ambiental de la Junta de Andalucía, para aquellos parámetros que superaron las concentraciones máximas admisibles, como fueron los cloruros, los sulfatos y el sodio.

La solución adoptada por Confederación, en futuros periodos de sequía fue acelerar los trámites administrativos para la construcción del trasvase de la cuenca del río Guadiaro (provincia de Málaga) al río Majaceite, lo que supuso una solución definitiva a la falta de recursos puesto que desde finales del mes de diciembre de 2000 se ofrece una aportación media anual de 150 hectómetros cúbicos, abasteciendo agua cuando se supera un caudal de 6 m³ por segundo, asegurándose así el abastecimiento de agua a la zona gaditana.

Resultados analíticos

La Tabla 2 recoge los valores medio, máximo y mínimo, la mediana y la desviación típica de los parámetros anteriormente expuestos, así como los niveles guía y las concentraciones máximas admisibles, establecidos en la Reglamentación Técnica-Sanitaria durante el periodo objeto de estudio.

Parámetros determinados "in situ"

En la Figura 3.a. se muestra la evolución de los valores medios mensuales de los parámetros temperatura y oxígeno disuelto durante el periodo comprendido entre los años 1991 y 1998. Se obser-

va que la temperatura mínima media mensual se registra durante el mes de enero (15 °C) y la máxima durante el mes de agosto (28 °C). No obstante, en la Tabla 2 se puede comprobar que durante el periodo muestreado se han llegado a alcanzar valores extremos de 5 °C y 40 °C. Respecto a la evolución del oxígeno disuelto, se observa en dicha figura un descenso de los valores del oxígeno en los meses de verano (por descenso de la solubilidad con la temperatura) y un aumento de la misma al disminuir la temperatura.

La Figura 3.b. representa una gráfica de tendencia asociada (caja box-whisker) para la temperatura. La mayor dispersión de valores de esta variable se observa en los años 1992, 93 y 94 en los que se alcanzaron temperaturas más extremas. A partir del año 1995 la temperatura se estabiliza alrededor de un valor medio de unos 15 °C.

El oxígeno disuelto presenta un valor medio durante los años de estudio de unos 8 mg/L O₂, con valores mínimo y máximo de 2,7 y 11,9 mg/L respectivamente, según se observa en la Tabla 2. La dispersión de datos, que muestra la Figura 3.c. es relativamente elevada en todos los años excepto en el año 1995, posiblemente por tratarse del año en que los niveles de agua embalsada eran menores.

El pH medio durante este periodo es alrededor de 7,94, comprendido entre el valor mínimo 7,30 y el máximo de 10,40 detectado en el año 1991 (Tabla 2). La distribución, observada en la Figura 3.d., es bastante homogénea.

Contenido salino

Los valores encontrados para la conductividad, cloruros, sulfatos y sodio mostrados en las gráficas de la Figura 4, presentan una misma tendencia, aumentando gradualmente los valores de la mediana desde el año 1991 a 1995 para disminuir a partir de 1996. Este aumento es indicativo de una alta concentración en iones disueltos y sustancias en suspensión, lo que se puede traducir en un empeoramiento de la calidad del agua como consecuencia de la sequía que se venía sufriendo, intensificada además en 1995, año en que los niveles de agua embalsada bajaron hasta un 12,6 % de capacidad según la Tabla 1. Posteriormente, tras las lluvias torrenciales de 1996, el embalse se recupera, alcanzando cotas del 84 %, que se mantuvieron hasta 1998. A partir de este momento, también se restablecieron los niveles de conductividad, cloruros y sulfatos que disminuyeron considerablemente.

La conductividad eléctrica integra todos los iones presentes en el agua siendo un parámetro sumamente representativo de su grado de mineralización. Los niveles de conductividad (Figura 4.a.) aumentaron desde los 520 µS/cm en el año 1991 hasta cerca de 640 µS/cm en 1995, disminuyendo posteriormente. No obstante, el valor medio para el periodo estudiado fue de 545 µS/cm según se observa en la Tabla 2, con un mínimo de 421 µS/cm y un máximo de 678 µS/cm, lo que significa que las aguas de este embalse son bastante buenas para el consumo, pues mantiene valores próximos al nivel guía legislado por la Reglamentación Técnico-Sanitaria (400 µS/cm), y bastante lejos de alcanzar el límite establecido por la Directiva 98/83/CE relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano (2500 µS/cm).

Lo mismo ocurre para los niveles de cloruros y de sulfatos. Los cloruros corresponden a uno de los aniones más habituales en el agua, y el aumento de su concentración es genérico para la actividad urbana e industrial. También se puede producir la salinización de aguas de embalse como los de la cuenca del río Guadalete (provincia de Cádiz) al atravesar estratos de sal gema (Rodríguez y col., 2001.a). En la Tabla 2, los cloruros presentan un valor medio que supera el nivel guía establecido por la Reglamentación Técnico-Sanitaria de 25 mg/L Cl, quedando lejos de los 200 mg/L Cl por encima del cual la legislación considera que se pueden producir efectos como sabor desagradable. El sulfato (SO₄²⁻) también es un anión habitual especialmente en terrenos sedimentarios (yesos), donde puede alcanzar concentraciones importantes de forma natural. En la Figura 4.c. se observa que los niveles de sulfatos no alcanzan en ningún momento la concentración máxima admisible de 250 mg/L SO₄²⁻.

El sodio es un catión que va unido normalmente al anión cloruro y presenta una gran solubilidad, siendo la sal más abundante en el agua de mar, por ello su presencia puede ser un indicador de la intrusión de agua marina. En la Figura 4.d. se observa la misma tendencia que los cloruros representados en la Figura 4.c., donde los valores de la mediana aumentan progresivamente hasta el año 1995 para disminuir en años posteriores. El valor medio que aparece en la Tabla 2 equivale justo al nivel guía (30 mg/L Na), quedando por tanto bastante alejado de la concentración máxima admisible 150 mg/L Na.

La composición en hidrogenocarbonatos (aniones carbonatos, hidróxidos e hidrogenocarbonatos) determinada como alcalinidad total (mg/L

HCO_3^-), presenta un valor medio de 126 mg/L y una gran dispersión de datos, según la Figura 4.e. En general se trata de aguas hidrogenocarbonatadas cálcicas, con un grado de mineralización media según la conductividad (Pérez, 1999), y de débil mineralización atendiendo al residuo seco, (Directiva 80/777/CE) por lo que se consideran como de buena calidad para el consumo humano.

El magnesio es otro de los parámetros relacionados con el contenido salino. Es un catión que va unido al ion sulfato y que proviene de la corrosión de las dolomitas en forma de bicarbonato (Queralt, 2000). Sigue una tendencia similar a los parámetros anteriores tal y como se observa en la Figura 5.a. aunque no de forma tan acusada como en los casos anteriores. Aumenta su concentración media hasta el año 1995 y posteriormente disminuye. Tampoco alcanza el nivel guía reglamentado de 30 mg/L Mg; tan sólo, puntualmente, alcanza un valor máximo de 33 mg/L Mg según la Tabla 2, pero su valor medio es de 15 mg/L Mg.

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 (calcitas y calizas) y el sulfato en zonas de yesos; es el principal responsable de la denominada "dureza" del agua. En la Figura 5.b se observa una tendencia bastante homogénea entre 1991 y 1998, con niveles en torno a 60mg/L Ca, bastante lejos del nivel guía reglamentado (100 mg/L Ca).

Los metales hierro y manganeso se deben tener en cuenta por los problemas que ocasionan en los posteriores tratamientos de potabilización. Atendiendo a las concentraciones de manganeso, se observan valores bastante altos, por encima de la concentración máxima admisible de 50 $\mu\text{g/L}$ Mn, durante los años 1991, 1992, 1993 y 1994 (Figura 6.a.), por lo que aunque el valor medio para el periodo estudiado es de unos 40 $\mu\text{g/L}$ Mn, el valor de la mediana, que es un valor más real, es cero. En trabajos realizados sobre las aguas de suministro del municipio de Cádiz, cuyas aguas provienen de este embalse (Rodríguez y col., 2001.b), se encuentran valores medios a lo largo de la red de abastecimiento de unos 8 $\mu\text{g/L}$ Mn, superándose incluso el nivel guía (20 $\mu\text{g/L}$ Mn) en el año de mayor sequía 1995. Esto fue debido a la adición de permanganato potásico como agente oxidante a la salida de los embalses para la eliminación tanto de la materia orgánica, como de las sales de manganeso presentes en los pantanos con bajo nivel de agua y captaciones más profundas. El dióxido de manganeso origi-

nado como producto de tales oxidaciones es insoluble y puede eliminarse en el transcurso de la coagulación-floculación, por sedimentación o en la filtración (García, 1998), pudiendo quedar restos en exceso que provocan el aumento recogido en este año. Por otra parte, el bombeo y la cloración para el abastecimiento provocan la precipitación de estos iones, dando lugar a problemas de turbidez y malos sabores en el agua suministrada.

En el caso del hierro ocurre algo parecido en cuanto a los niveles encontrados entre los años 1991 y 1994 (Figura 6.b.), que son muy altos, y los años siguientes cuyos valores se aproximan a cero. Así, el valor de la mediana es 0,21 $\mu\text{g/L}$ Fe quedando bastante lejos del nivel guía (50 $\mu\text{g/L}$ Fe).

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 desencadenantes de este proceso.

En los embalses destinados al abastecimiento de agua potable, la eutrofización favorece el desarrollo de algas 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 sintetizada como consecuencia de la masiva proliferación algal, 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).

El anión nitrato es de origen antropogénico y su presencia en las aguas deriva en su mayoría del abonado agrícola, por ello su presencia es habitual en las zonas de agricultura y/o ganadería intensiva. Los niveles medios encontrados en el embalse de los Hurones durante el periodo estudiado se mantienen por debajo de 2 mg/L, presentando un valor máximo de 6,70 mg/L en el año 1995, por lo que no alcanza el nivel guía (25 mg/L). Durante este mismo año, y según se observa en la Figura 7.a., los datos de nitratos presentan una mayor dispersión durante el año 1995, siendo también mayor el valor de la mediana.

Los niveles de nitritos se mantienen por debajo de la concentración máxima admisible (0,1 mg/L), encontrándose los valores mayores en los años 1993 y 1995 tal y como se observa en la Figura 7.b. Cabe resaltar la poca dispersión de datos encontrados para este parámetro como lo demuestra la desviación típica representada en la Tabla 2.

La forma amoniacal del nitrógeno es la que mayor dispersión de datos presenta. Los valores son mayores durante la época de sequía debido a una mayor contaminación orgánica de las aguas al encontrarse más cerca del fondo del pantano. A partir de 1996, y como consecuencia de las lluvias, los valores disminuyen, como se observa en la Figura 7.c.

Un sistema de aguas mineralizadas favorece la precipitación del fósforo, en mayor proporción que uno de escasa mineralización. Por esa razón, la entrada en un ecosistema de aguas ricas en fósforo desencadena una rápida proliferación de algas, en sistemas de aguas poco mineralizadas (Medina, 1999). En este caso, las concentraciones de fósforo están muy por debajo del nivel guía (177 µg/L P), según se observa en la Figura 8.a, donde también se aprecia que el valor máximo de la mediana se corresponde con el año 1995. Para finalizar con los nutrientes, los niveles de sílice en torno a 1,5 mg/L SiO₂ presentan una tendencia contraria a los parámetros relacionados con el contenido salino, pues los valores durante los años 1991 a 1995 son menores que entre 1996 y 1998 (ver Figura 8.b), lo cual evidencia nuevamente un aumento de este parámetro con el aumento de las precipitaciones.

La liberación de nutrientes de los sedimentos en lagos poco profundos, o con escaso nivel de agua acumulado, por ejemplo durante los periodos de sequía, es un factor a tener en cuenta puesto que la zona de máxima productividad de algas en la columna de agua contacta directamente con los mismos. Así, bajo estas circunstancias, cualquier nutriente liberado por los sedimentos puede estimular los procesos de eutrofización, disminuyéndose el contenido en oxígeno y generando una capa reductora sobre la interfase agua-sedimento liberándose iones divalentes de manganeso e hierro, así como sulfuros de hidrógeno (Ryding, et. al. 1992). Por este motivo, en este embalse se detectaron niveles de fósforo (Figura 6.a.), manganeso (Figura 6.a.) e hierro (Figura 6.b.), superiores a la media durante los años más secos.

Materia orgánica

La concentración de materia orgánica expresada como oxidabilidad al permanganato potásico, resulta ser baja (unos 3 mg/L O₂), por debajo de los 5 mg/L O₂ de concentración máxima admisible. En la Figura 9 se observa un aumento leve en el año de mayor sequía y una disminución en los años posteriores lo que se traduce en una mejoría en la calidad de las aguas embalsadas.

CONCLUSIONES

1. El embalse de los Hurones dispone de aguas hidrogenocarbonatadas cálcicas, con un grado de mineralización media, estando regulado el pH de sus aguas por el equilibrio carbonato / hidrogenocarbonato.

2. A lo largo del periodo muestreado (1991 – 1998), el efecto de la sequía fue mayor en 1995, puesto que aunque fue un año lluvioso, las mayores precipitaciones transcurrieron durante el último trimestre. Se detectó el menor volumen de agua embalsada en los Hurones (12,6%), y el aumento sustancial de la concentración de parámetros tales como: conductividad, cloruros, sulfatos, iones calcio, sodio y magnesio. A partir de este año las aguas restablecieron su calidad habitual con la llegada de las lluvias.

3. Las concentraciones de hierro, manganeso y fósforo total durante el periodo 1991 – 1994 se manifiestan elevadas como consecuencia de la poca cantidad de agua embalsada, el aumento de la temperatura de las aguas y la consiguiente descomposición anaeróbica de los sedimentos que los liberan.

4. Los índices de materia orgánica fácilmente oxidable aparecen creciendo durante el intervalo de 1991 a 1995, por causa del déficit del agua de suministro y la proximidad de éste al sedimento. Por el contrario, y como es razonable, desde el momento en que se producen las lluvias, su contenido baja considerablemente.

AGRADECIMIENTOS

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

de las aguas del embalse de los Hurones desde el año 1991.

REFERENCIAS

- 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.
- DIRECTIVA 80/777/CEE de 15 de julio de 1980 relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo público.
- DIRECTIVA 98/83/CE DEL CONSEJO de 3 de noviembre de 1998 relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano.
- GARCÍA MARTÍNEZ DE SIMÓN, I. (1998). "Eliminación de los sólidos incrustados en las conducciones de agua potable de Cantillana (Sevilla). Tecnología del Agua, 178:35 – 40.
- 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.
- M.O.P.U. 1983. "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.
- M.O.P.U., 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. (B.O.E. nº 124, de 24-5-1988, pp. 15823)
- MEDINA VELA, M.; DÍAZ BORREGO, M.D.; PUENTE GUIADO, M.L.; BURRACO BARRERA, C. (1999). "Limnología del embalse del Huesna". Tecnología del Agua, 194: 25 – 31.
- 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. (B.O.E. nº 205, de 27-8-1999, pp. 31813)
- 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).
- PÉREZ LÓPEZ, J.A.; (1999). "Estudio sanitario del agua". Editorial Universidad de Granada. Motril.
- QUERALT, R. (2000). "Hidrograma para la representación de la calidad y contaminación de las aguas subterráneas". Tecnología del Agua, 197: 20 – 29.
- 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).
- 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]
- RODRÍGUEZ BARROSO, M.R.; SALES MÁRQUEZ, D.; QUIROGA ALONSO, J.M. 2001.a. "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, Vol. 8, Nº 2, junio 2001.
- RODRÍGUEZ BARROSO, M.R.; VIDAL VALDERAS, L.; SALES MÁRQUEZ, D.; Quiroga Alonso, J.M. 2001.b. "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". Tecnología del Agua, 212: 41 – 56.
- RODRÍGUEZ BARROSO, M.R.; VIDAL VALDERAS, L.; SALES MÁRQUEZ, D.; QUIROGA ALONSO, J.M. 2001.c. "Embalses de la cuenca del río Majaceite (Hurones y Guadalcaçín) de la provincia de Cádiz". Tecnología del Agua, 217: 36 – 49.
- RODRÍGUEZ BARROSO, M.R.; VIDAL VALDERAS, L.; SALES MÁRQUEZ, D.; QUIROGA ALONSO, J.M. 2001.d. "Evolución de las aguas de los embalses de la provincia de Cádiz durante el último periodo de sequía". Tecnol. Ambiente. nº 110: 43 – 50.
- RYDING, S.-O.; RAST, W. 1992. El control de la eutrofización en lagos y embalses. Ed. Pirámide.S.A. UNESCO. Madrid.
- VIDAL VALDERAS, L. 1992. Tesis de Doctorado. "Estudio limnológico del embalse de los Hurones (Cádiz). Especiación de fosfatos y su relación con la eutrofización". Universidad de Cádiz.

TABLAS

Tabla 1. Evolución del volumen de agua acumulada en el embalse de los Hurones, (período 1992 – 1998).

	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Agua embalsada (Hm³)	57,6	37,4	41,6	16,9	114	93,7	115
% sobre la capacidad	42,7	27,7	30,8	12,6	84,4	69,4	85,2

Tabla 2. Índices estadísticos de los parámetros de control de calidad del embalse de los Hurones, período 1991 - 1998.

	ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA PERIODO 1992 - 1998					Reglamentación Técnico-Sanitaria (R.D. 1138/1990)	
	Valor medio	Mínimo	Máximo	Mediana	Desviación Típica	Nivel Guía	Concentración Máxima Admisible
Caracteres organolépticos							
Turbidez (U.N.F.)	198	0,22	500	7.8	204,68	1	6
Caracteres físico-químicos							
Temperatura (°C)	14,8	5,0	40,0	16,0	6,88	12	25
pH (Unidad pH)	7,94	7,30	10,40	7,88	0,45	6,5 ≤ pH ≤ 8,5	9.5
Conductividad (µS.cm⁻¹)	545	421	678	544	59,87	400	-
Cloruro (mg/L Cl⁻)	49	25	68	50	12,02	25	-
Sulfatos (mg/L SO₄²⁻)	83	37	163	83	23,72	25	250
Alcalinidad total (mg/L HCO₃⁻)	126	10	219	162	72,98	-	-
Sílice (mg/L SiO₂)	1,46	0,05	5,07	1,07	1,32	-	-
Calcio (mg/L Ca⁺²)	64	3	81	65	10,66	100	-
Magnesio (mg/L Mg⁺²)	15	6	33	14	5,30	30	50
Sodio (mg/L Na⁺)	31	2	54	33	11,06	20	150
Dureza total (mg/L CaCO₃)	218	40	292	222	30,43	-	-
Residuo seco (mg/L)	166	0,80	460	5,70	183,02	-	1500
Oxígeno disuelto (mg/L O₂ saturación)	7,9	2,7	11,9	7,7	1,85	-	-
Caracteres relativos a sustancias no deseables							
Nitratos (mg/L NO₃⁻)	1,79	0,04	6,70	1,60	1,30	25	50
Nitritos (mg/L NO₂⁻)	0,05	0,00	0,40	0,03	0,06	-	0,1
Amonio (mg/L NH₄⁺)	0,47	0,00	1,30	0,45	0,30	0,05	0,5
Oxidabilidad (mg/L O₂)	2,9	1,4	4,9	2,8	0,79	2	5
Hierro (µg/L Fe)	56,32	0,00	400,00	0,21	87,87	50	200
Manganeso (µg/L Mn)	40,61	0,00	400,00	0,00	89,04	20	50
Fósforo (µg/L P)	132,53	0,32	1100,00	80,50	172,31	177	2222

EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS DEL EMBALSE DE LOS HURONES PARA CONSUMO PÚBLICO (CÁDIZ, ESPAÑA)

FIGURAS

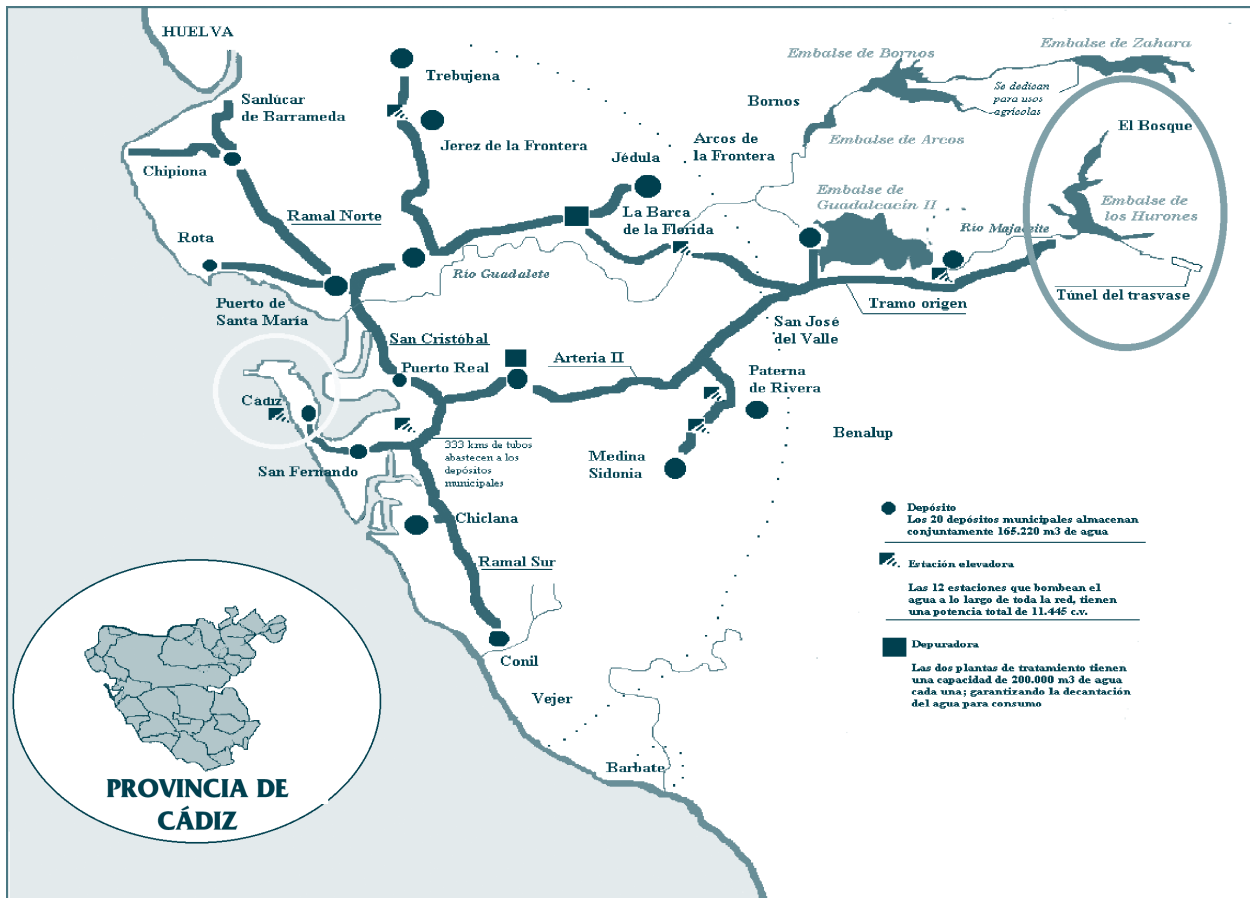


Figura 1. Embalses de la provincia de Cádiz.

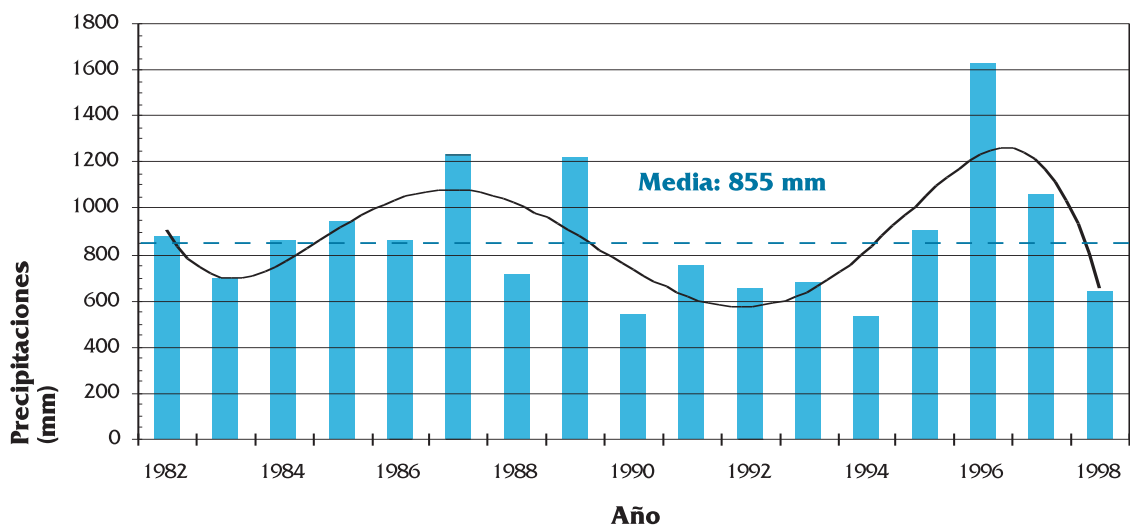


Figura 2. Precipitaciones totales anuales recogidas en la estación meteorológica del embalse de los Hurones, periodo 1982 – 1998

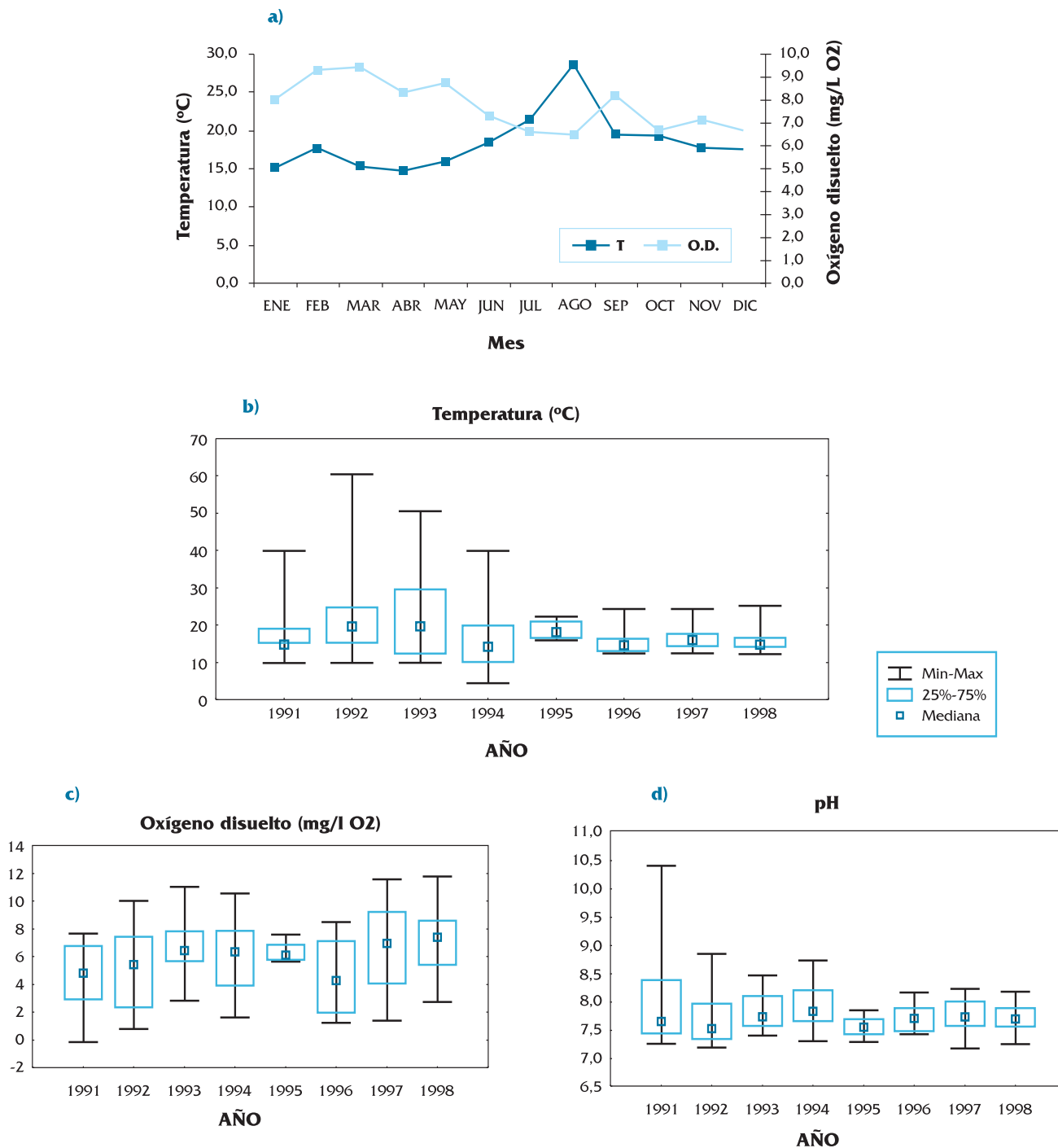


Figura 3. Evolución temporal de los valores medios de (a) evolución anual de la temperatura y el oxígeno disuelto, (b) temperatura, (c) oxígeno disuelto y (d) pH en el embalse de los Hurones.

EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS DEL EMBALSE DE LOS HURONES PARA CONSUMO PÚBLICO (CÁDIZ, ESPAÑA)

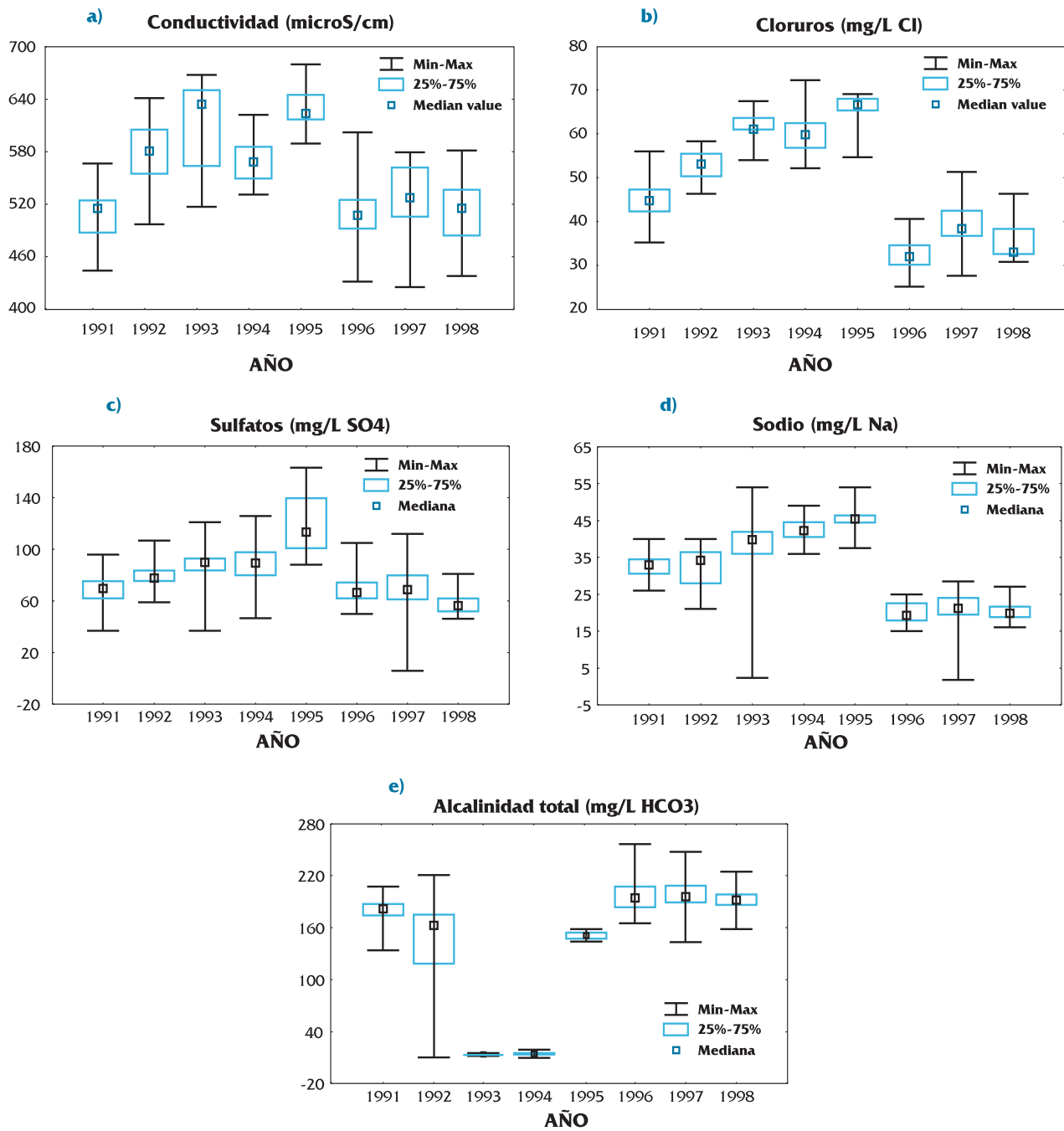


Figura 4. Evolución temporal de los parámetros (a) Conductividad, (b) Cloruros, (c) Sulfatos, (d) Sodio y (e) Alcalinidad total en el embalse de los Hurones.

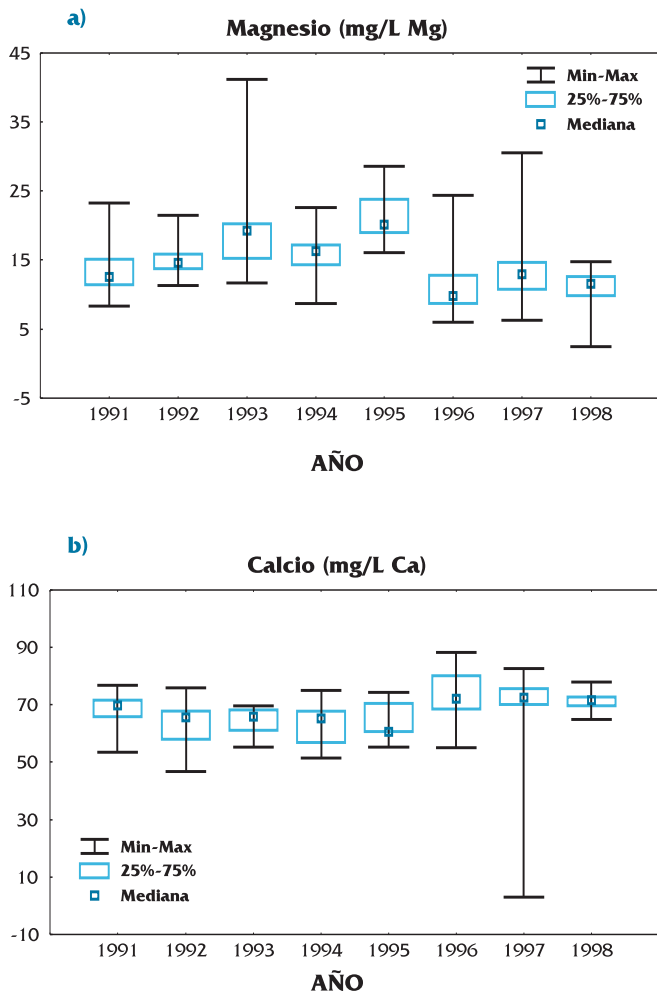


Figura 5. Evolución temporal de los parámetros (a) Magnesio y (b) Calcio en el embalse de los Hurones.

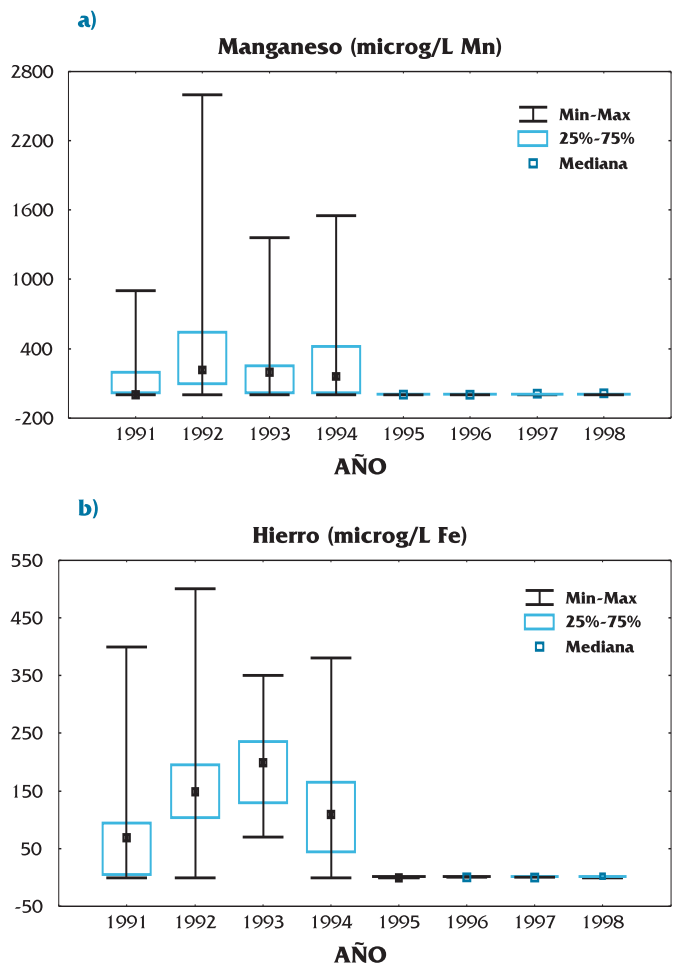


Figura 6. Evolución temporal de los parámetros (a) Manganeso y (b) Hierro en el embalse de los Hurones.

EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS DEL EMBALSE DE LOS HURONES PARA CONSUMO PÚBLICO (CÁDIZ, ESPAÑA)

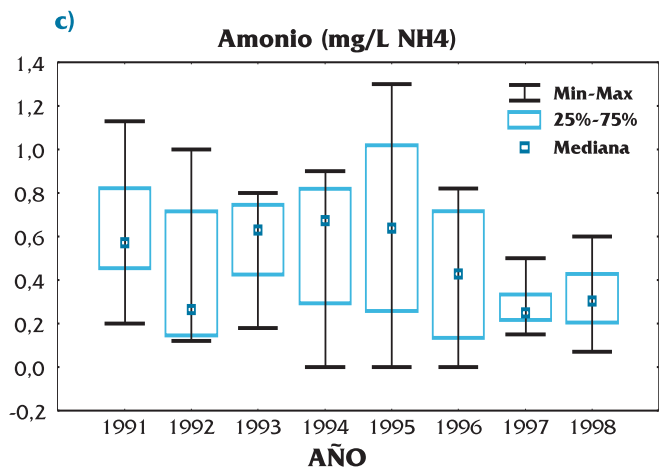
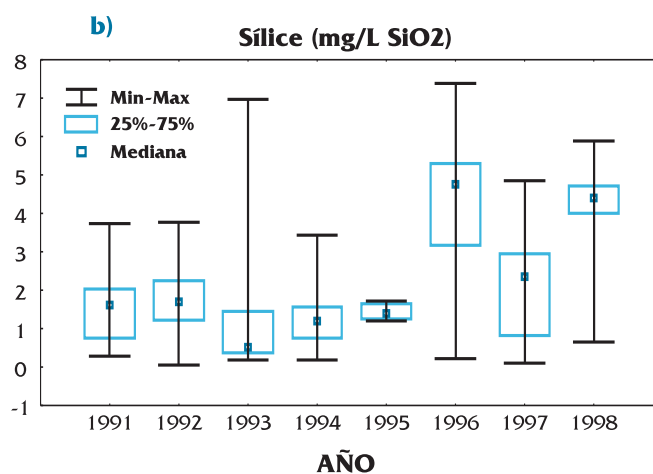
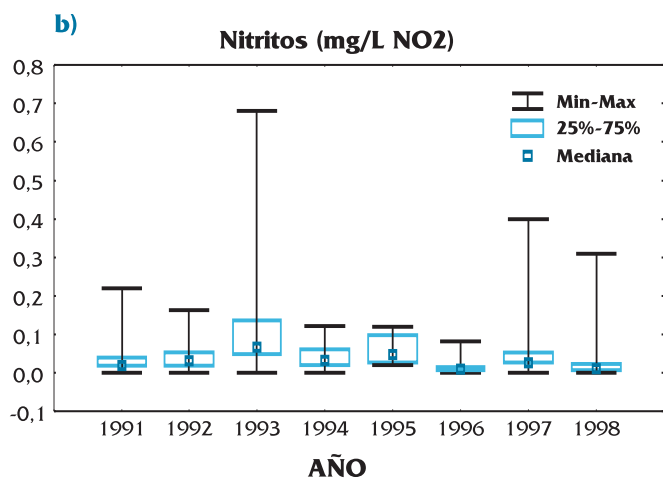
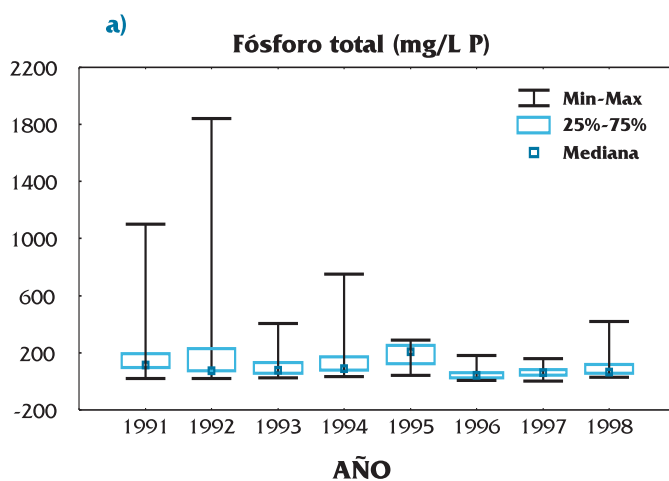
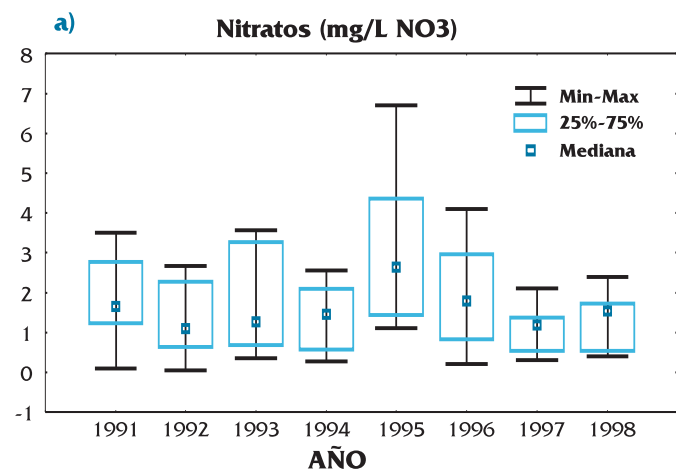


Figura 7. Evolución temporal de los parámetros (a) Nitratos, (b) Nitritos y (c) Amonio en el embalse de los Hurones.

Figura 8. Evolución temporal de los parámetros (a) Fósforo y (b) Sílice en el embalse de los Hurones.

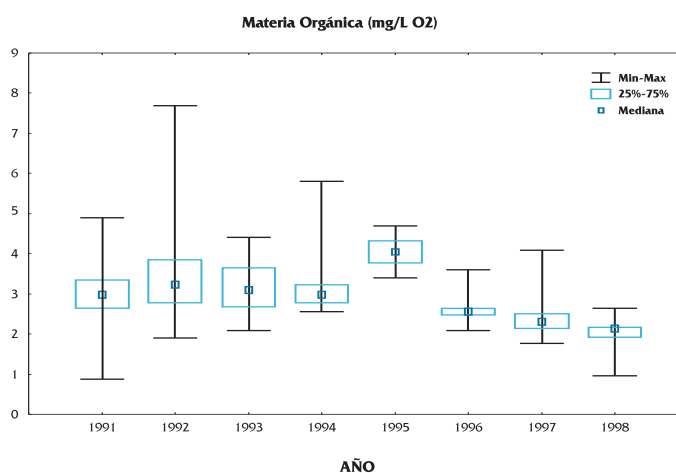


Figura 9. Evolución temporal de la Materia Orgánica en el embalse de los Hurones.