

# CALIDAD DEL AGUA DE LA RED DE SUMINISTRO DE LA LOCALIDAD DE CÁDIZ: INFLUENCIA DE LA SEQUÍA EN EL PERIODO 1992 - 1998

María del Rocio Rodríguez Barroso, Rosario Solera del Rio, Diego Sales Márquez, José María Quiroga Alonso

## Resumen

Las periódicas sequías por las que atraviesan las zonas más áridas de España, y concretamente el sur, provocan un empeoramiento de la calidad de las aguas de consumo público al disminuir de manera considerable el agua embalsada en sus pantanos. El estudio físico-químico del agua que llega a través de la red de abastecimiento proporciona una idea de la efectividad de los tratamientos de potabilización que las ETAP (estaciones de tratamiento de agua potable) llevan a cabo de manera más rigurosa en tales épocas.

El presente trabajo pretende estudiar cómo el periodo de sequía de inicio de los 90 ha afectado al abastecimiento de la localidad de Cádiz, tratándose aspectos tan importantes como son la dotación recibida y la calidad del agua potable.

Los resultados obtenidos indican que la calidad del agua se mantiene dentro del intervalo establecido legalmente, disminuyendo la dotación desde unos 300 L/hab.día en épocas normales hasta unos 200 L/hab.día. También se ha observado un aumento de los valores medios de los parámetros relacionados con la cantidad de sales al tener que recurrir a otras fuentes de captación de agua caracterizadas por una mayor mineralización.

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

## INTRODUCCIÓN

El abastecimiento de agua de suministro 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 dos grandes cuencas fluviales para dotar a la población: la cuenca del río Guadalete y la cuenca del río Majaceite. La primera aporta el 62 % del total de los recursos hídricos, por lo que se considera la más importante para el abastecimiento de la provincia, mientras que es la cuenca del Majaceite la que riega las poblaciones de la Bahía de Cádiz (San Fernando, Puerto Real, Cádiz, Chiclana y Conil).

Entre estas poblaciones la ciudad de Cádiz, con unos 150.000 habitantes, no dispone de recursos propios debido a una serie de condicionantes físicos naturales. El carácter plenamente insular, al estar bañada por el océano Atlántico y rodeada de zonas marismas; la inexistencia de acuíferos explotables, y las características pluviométricas del clima mediterráneo, impiden el aporte de agua natural en el área estudiada (Barragán, 1993). Así pues, el embalse de los Hurones, de la cuenca del río Majaceite, con una capacidad de 135 Hm<sup>3</sup>, aporta unos 126 Hm<sup>3</sup> anuales a las poblaciones de la Bahía de Cádiz.

Como consecuencia de la sequía sufrida en la década de los noventa, el volumen de agua embalsada en los Hurones disminuyó drásticamente, lo que provocó, además de una menor dotación a las localidades que abastece, entre ellas Cádiz, un empeoramiento de la calidad de las aguas de suministro.

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

Artículo recibido el 15 de noviembre de 1999, recibido en forma revisada el 9 de mayo de 2000 y el 16 de agosto de 2000 y aceptado para su publicación el 7 de noviembre de 2000. 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.

tro, por lo que hubo que recurrir a los embalses de la cuenca del río Guadalete como fueron los embalses de Bornos y Zahara, caracterizados por una mayor mineralización, por lo que el agua de la red de suministro de la población de Cádiz cambió su calidad sobre todo en los parámetros referentes al contenido de sales tal y como describe el presente trabajo.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Métodos

Los parámetros que fueron analizados para determinar la calidad de las aguas están legislados por la *Reglamentación Técnico-Sanitaria (R.D. 1138/1990) para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público* y aparecen recogidos en la Tabla 1. Dicha reglamentación clasifica a los parámetros en caracteres de distintos tipos: organolépticos, físico-químicos, no deseables y microbiológicos. Los análisis correspondientes se llevaron a cabo siguiendo los métodos analíticos de referencia reglamentados, así como el manual de métodos estandarizados (APHA, AWWA y WPCF, 1989). Las unidades, los métodos analíticos y los tiempos máximos transcurridos desde la toma de muestra hasta su análisis se recogen en la misma tabla.

### Muestras

Se muestrearon seis puntos localizados a lo largo de toda la red de abastecimiento ubicados por la empresa municipal de abastecimiento. Uno de ellos es el de los depósitos reguladores de almacenamiento, situado a la entrada de la red, tal y como

se recoge en la legislación vigente (R.D. 1138/1990). El número total de muestras de agua de abastecimiento fue de 3577, desde febrero de 1992 hasta diciembre de 1998, con la periodicidad establecida en la reglamentación. El total de muestras comprende unos 3360 análisis de tipo mínimo, 126 de tipo normal y 91 análisis de tipo completo, usando los datos de este último (58 parámetros determinados a lo largo de 91 análisis completos) para el tratamiento estadístico mediante el programa STATISTICA 5.1.

En cada punto de muestreo se tomaron tres muestras, una para el análisis microbiológico y dos para el físico-químico. Para la toma de muestra, se dejó correr el agua durante un tiempo, no inferior a diez minutos, y se llenaron los envases de modo que no quedase cámara de aire (Peña, 1987). La muestra para el análisis microbiológico se tomó en frascos de vidrio (Pirex) de 500 ml, conteniendo 0.1 ml de tiosulfato sódico al 3 % por cada 100 ml, con objeto de neutralizar el efecto bactericida del cloro en el momento del muestreo y, a continuación, se esterilizaron (Orden de 27 de julio de 1983).

Las muestras para el análisis físico-químico se tomaron en frascos de vidrio y de polietileno de 1000 ml, según los parámetros que se pretendían determinar. Estos frascos, perfectamente limpios, se enjuagaron previamente con agua destilada y después con el agua objeto de muestreo. Las muestras transportadas en neveras portátiles hasta el laboratorio y conservadas en frigoríficos a 4 °C fueron analizadas lo antes posible, siempre en el transcurso de las 24 horas siguientes a su recogida, (Orden de 1 de diciembre de 1981)

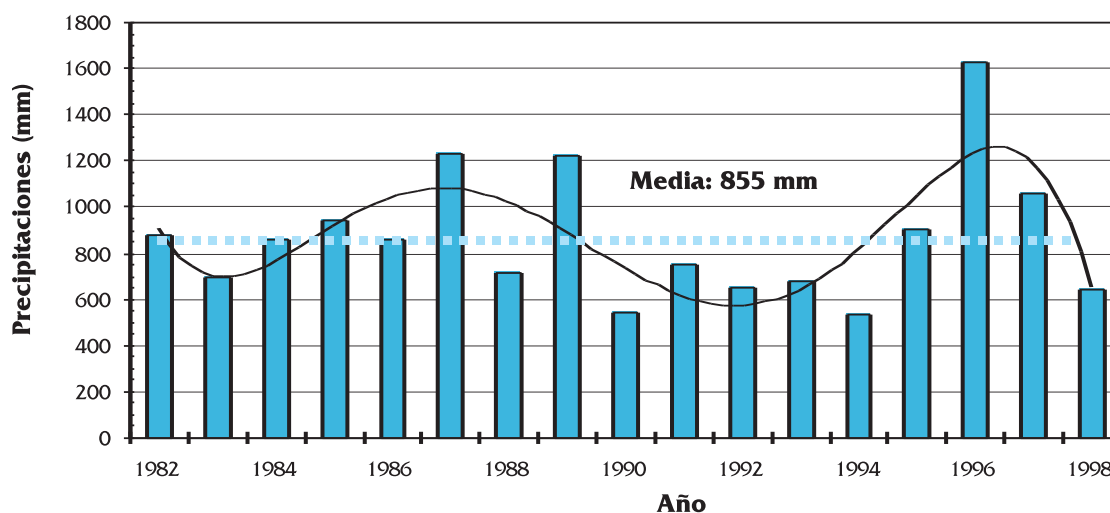


Figura 1. Precipitaciones totales anuales recogidas en la estación meteorológica del embalse de los Hurones, período 1982-1998

# CALIDAD DEL AGUA DE LA RED DE SUMINISTRO DE LA LOCALIDAD DE CÁDIZ: INFLUENCIA DE LA SEQUÍA EN EL PERIODO 1992 - 1998

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Precipitaciones en el embalse de los Hurones

Dado que el agua utilizada para el suministro es de superficie, del embalse de los Hurones, la ca-

lidad y cantidad de la misma depende de las precipitaciones ocurridas. Resulta interesante conocer, por tanto, la evolución pluviométrica de la zona en los años de estudio.

En la Figura 1 se muestra la tendencia de las precipitaciones totales anuales durante 1982-1998,

Tabla 1. Parámetros analizados para el control de la calidad de las aguas potables (APHA, AWWA, WPCF, 1989; R.D. 1138/1990, Orden 1 diciembre 1981, Orden 27 julio 1987)

	Unidades	Método analítico	Tiempo máximo
<b>Caracteres organolépticos</b>			
Color	mg/L Pt/Co)	Espectrometría	24 h
Turbidez	(UNF) <sup>a</sup>	Turbidimetría	A.P. <sup>b</sup>
<b>Caracteres fisico-químicos</b>			
Temperatura	(°C)	Termometría	Inmediato
pH	(Unidad pH)	Potenciometría	6 h
Conductividad	( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) a 20 °C	Conductimetría	24 h
Cloruro	(mg/L Cl <sup>-</sup> )	Volumet.de precip.	7 días
Sulfatos	(mg/L SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	Complexometría	7 días
Sílice	(mg/L SiO <sub>2</sub> )	Espectrofotometría	7 días
Calcio	(mg/L Ca)	Absorción atómica	6 meses, pH<2
Magnesio	(mg/L Mg)	Absorción atómica	6 meses, pH<2
Sodio	(mg/L Na)	Absorción atómica	6 meses, pH<2
Potasio	(mg/L K)	Absorción atómica	6 meses, pH<2
Aluminio	(mg/L Al)	Absorción atómica	6 meses, pH<2
Dureza total	(mg/L Ca)	Complexometría	-
Residuo seco	(mg/L)	Gravimetría	7 días
Oxígeno disuelto	(% O <sub>2</sub> saturación)	Electrodo específico	A.P. <sup>b</sup>
<b>Caracteres relativos a sustancias no deseables</b>			
Nitratos	(mg/L NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	Espectrofoto. absor.	24 h
Nitritos	(mg/L NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	Espectrofoto. absor.	24 h
Amonio	(mg/L NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	Espectrofoto. absor.	24 h
Oxidabilidad	(mg/L O <sub>2</sub> )	Volumetría redox	Inmediato
Carbono orgánico total	(mg/L C)	Analizador infrarrojo	24 horas
Substancias extraíbles al cloroformo	(mg/L)	Extrac. líquid/líqu.	24 horas
Boro	( $\mu\text{g/l}$ B)	Absorción atómica	Indefinido
Agentes tensioactivos	( $\mu\text{g/l}$ lauril sulfato)	Espectrofotometría	24 horas
Hierro	( $\mu\text{g/l}$ Fe)	Absorción atómica	6 meses, pH<2
Manganeso	( $\mu\text{g/l}$ Mn)	Absorción atómica	6 meses, pH<2
Cobre	( $\mu\text{g/l}$ Cu)	Absorción atómica	6 meses, pH<2
Zinc	( $\mu\text{g/l}$ Zn)	Absorción atómica	6 meses, pH<2
Materias en suspensión	(mg/L)	Gravimetría	A.P. <sup>b</sup>
Cloro residual	(mg/L Cl <sup>-</sup> )	Espectrofoto. absor.	Inmediato
Bario	( $\mu\text{g/L}$ Ba)	Absorción atómica	6 meses, pH<2
<b>Caracteres relativos a sustancias tóxicas</b>			
Cromo	( $\mu\text{g/L}$ Cr)	Absorción atómica	6 meses, pH<2
Plomo	( $\mu\text{g/L}$ Pb)	Absorción atómica	6 meses, pH<2
<b>Caracteres microbiológicos</b>			
Coliformes totales	n° col/100 ml	Filtración membrana	6 h, máx. 24 h
Coliformes fecales	n° col/100 ml	Filtración membrana	6 h, máx. 24 h
Estreptococos fecales	n° col/100 ml	Filtración membrana	6 h, máx. 24 h
Clostridium sulfitorreductores	n° col/20 ml	Filtración membrana	6 h, máx. 24 h

<sup>a</sup>. U.N.F.: Unidades Nefelométricas de Formacina

<sup>b</sup>. A.P.: Analizar lo antes posible

y la precipitación media durante dicho periodo (855 mm). 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 1992 - 1998) se caracteriza como una época de acusada sequía entre los años 1992 y 1994, año en que se recurre bastante la escasez de agua, y un época de mayores precipitaciones a partir de 1995.

### **Evolución del agua acumulada en el embalse de los Hurones y dotación por habitante**

El volumen anual acumulado en el embalse de los Hurones, el porcentaje que supone respecto de su capacidad total (135 Hm<sup>3</sup>) y la evolución del consumo de agua en la localidad de Cádiz, se muestran en la Tabla 2. 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 ni a los 17 Hm<sup>3</sup>). Con las lluvias de 1996, el embalse se recupera considerablemente, llegando a disponer de un volumen medio de hasta 114 Hm<sup>3</sup> (84.4 % de su capacidad), que se mantiene en 1997 sobre los 94 Hm<sup>3</sup>, 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 2), 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 prácticamente fue un año de sequía bastante acusado.

En lo referente al consumo total anual en el municipio de Cádiz, se observa una disminución hasta el año 1995, aumentando a partir de 1996 sin llegar a alcanzar la dotación del año 1991 (anterior a la sequía, son un consumo específico de 365 L/hab.día) debido probablemente a los hábitos de ahorro de agua adquiridos por la población durante la época de sequía.

Según los datos bibliográficos el consumo de agua en Andalucía en 1990 era de 314 L/hab.día (Cantó, 1990). En Cádiz, éste disminuyó un 62 % en el año 95 (año de menor consumo), respecto al de 1991. Este descenso se puede atribuir a dos motivos: los cortes en el suministro que realizó la Administración local entre las 21:00 h. y las 7:00 h. del día siguiente, por una parte, y la concienciación ciudadana ante el descenso de las precipitaciones y de los niveles de agua en los pantanos, por otra. Esta misma medida de restricción fue adoptada por otros muchos municipios de los alrededores como el caso de Sevilla, donde se pasó de un consumo de 397 L/hab.día en el año 1991 a unos 276 L/hab.día en la sequía de 1992 (Prats, 1994).

### **Influencia de la sequía en los parámetros de calidad**

La Tabla 3 recoge los valores medios, máximos, mínimos y desviaciones típicas de los parámetros establecidos en la Reglamentación Técnico-Sanitaria, así como los niveles guía y las concentraciones máximas admisibles, durante el periodo objeto de estudio. Para el tratamiento estadístico, del total de los 58 parámetros determinados en los análisis de tipo completo, se han eliminado 22 parámetros que presentaron valores nulos, mientras que de los 36 restantes se omitieron aquellos cuyos valores no eran fiables.

En líneas generales se trata de aguas hidrogeocarbonatadas 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. Cabe exceptuar ciertos valores medios por encima

Table 2. Evolución del volumen de agua embalsada en los Hurones y del consumo en la localidad de Cádiz, (período 1992-1998)

	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
<b>Agua embalsada (Hm<sup>3</sup>)</b>	57,6	37,4	41,6	16,9	114	93,7	115
<b>% sobre la capacidad</b>	42,7	27,7	30,8	12,6	84,4	69,4	85,2
<b>Consumo anual (Hm<sup>3</sup>)</b>	16,5	14,4	14,4	12,5	15,0	15,7	15,5
<b>Consumo (L/hab.día)</b>	301	264	264	228	273	287	282

# CALIDAD DEL AGUA DE LA RED DE SUMINISTRO DE LA LOCALIDAD DE CÁDIZ: INFLUENCIA DE LA SEQUÍA EN EL PERÍODO 1992 - 1998

Tabla 3. Índices estadísticos de los parámetros de control de calidad de las aguas de consumo público de la ciudad de Cádiz, período 1992-1998

	ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA PERÍODO 1992-1998					Reglamentación Técnicosanitaria (R.D. 1138/1990)	
	Valor medio	Mínimo	Máximo	Mediana	Desviación Típica	Nivel Guía	Concentración Máxima Admisible
<b>Caracteres organolépticos</b>							
Turbidez (UNF)	1,4	0,0	19,0	1,0	2,33	1	6
Color mg/L Pt/Co)	5,8	0,0	<b>20,0</b>	5,0	5,53	1	20
<b>Caracteres físico-químicos</b>							
Temperatura (°C)	18,6	11,1	<b>26,1</b>	18,6	3,72	12	25
pH (Unidad pH)	7,61	6,76	8,13	7,64	0,30	6,5 ≤ pH ≤ 8,5	9,5
Conductividad (µS.cm <sup>-1</sup> )	575	310	<b>1601</b>	505	227	400	-
Cloruro (mg/L Cl <sup>-</sup> )	97	36	323	82	62	25	-
Sulfatos (mg/L SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	85	26	210	84	33	25	250
Sílice (mg/L SiO <sub>2</sub> )	1,9	0,0	8,1	1,4	1,7	-	-
Calcio (mg/L Ca)	74	30	141	71	24,6	100	-
Magnesio (mg/L Mg)	16	8	33	14	6,83	30	50
Sodio(mg/L Na)	50	11	<b>200</b>	40	41,2	20	150
Potasio (mg/L K)	3,20	1,68	7,00	2,80	1,39	10	12
Aluminio (mg/L Al)	0,13	0,00	<b>0,48</b>	0,12	0,08	0,05	0,2
Dureza total (mg/L Ca)	83	40	162	81	18	-	-
Residuo seco (mg/L)	399	19	913	366	130	-	1500
Oxígeno disuelto (% O <sub>2</sub> saturación)	86,9	60,0	100,0	85,5	9,4	-	-
Anhidrido carbónico (mg/L CO <sub>2</sub> )	0,91	0,00	7,00	0,20	1,36	-	-
<b>Caracteres relativos a sustancias no deseables</b>							
Nitratos(mg/L NO <sub>3</sub> )	3	0	11	3	11	25	50
Nitritos (mg/L NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	0,01	0,00	0,06	0,01	0,01	-	0,1
Amonio (mg/L NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	0,01	0,00	0,05	0,00	0,01	0,05	0,5
Oxidabilidad (mg/L O <sub>2</sub> )	1,30	0,20	3,40	1,25	0,30	2	5
Carbono orgánico total (mg/L C)	2,1	0,0	11,7	1,8	2,4	-	-
Boro (µg/l B)	59,9	0,0	150,0	60,0	38,9	1000	-
Agentes tensioactivos (µg/l lauril sulfato)	29,8	0,0	150,0	22,0	27,4	-	200
Hierro (µg/l Fe)	25,6	3,57	97,0	17,8	20,8	50	200
Manganeso (µg/l Mn)	8,84	0,36	<b>64,2</b>	4,00	13,28	20	50
Cobre (µg/l Cu)	1,46	0,00	7,50	0,82	1,75	100	-
Zinc (µg/l Zn)	33,8	0,0	101,0	20,0	31,7	100	-
Materias en suspensión (mg/L)	0,82	0,00	<b>23,2</b>	0,00	2,78	Ausencia	-
Cloro residual (mg/L Cl <sup>-</sup> )	0,82	0,20	1,80	0,80	0,32	-	-
<b>Caracteres relativos a sustancias tóxicas</b>							
(µg/L Ba)	73,7	16,0	186	75,8	32,2	100	-
Bario (µg/L Cr)	1,61	0,00	6,52	1,00	1,54	-	50
Cromo(µg/L Pb)	20,7	0,00	31,6	2,58	35,5	-	50
<b>Caracteres microbiológicos</b>							
Plomo	0			-	-	0	0
Coliformes totales	0			-	-	0	0
Coliformes fecales	0			-	-	0	0
Estreptococos fecales	0			-	-	0	0
Clostridium sulfitoreductores							

de los niveles guía reglamentados como es el caso de la conductividad eléctrica y los niveles de sodio. Para este último la O.M.S. recomienda a las autoridades sanitarias la limitación de consumo de agua con niveles superiores a 20 mg/L de sodio a las personas hipertensas y con insuficiencia cardíaca; no obstante y a pesar de detectarse niveles medios de sodio cercanos a 50 mg/L en el agua, en los últimos años de muestreo no se registraron valores tan altos.

Otra peculiaridad encontrada en la Tabla 3 es la existencia de ciertos parámetros entre los que se encuentran color, temperatura, aluminio, manganeso y materia en suspensión, que de forma puntual presentaron valores máximos que superaron las concentraciones máximas admisibles (C.M.A.). Para el caso del aluminio, el máximo encontrado se detectó de manera puntual en 1997, debido probablemente a una floculación imperfecta, ya que se utiliza como agente químico en los procesos de coagulación en los tratamientos de potabilización (Resolución de 23-4-1984). El máximo de manganeso ocurrió durante 1995, en que el agua presentaba un elevado grado de turbidez así como un sabor desagradable, provocado posiblemente por este parámetro.

Como consecuencia de las diferencias pluviométricas existentes en el periodo 1992 - 1998, la evolución temporal de ciertos parámetros se caracteriza por sufrir un incremento considerable respecto a los años anteriores y posteriores a 1995; no obstante los niveles medios para estos parámetros no superaron las concentraciones máximas admisibles establecidas por ley. Esto es debido a la escasez de lluvia durante la mayor parte del año y a la baja cota de agua existente en el embalse de los Hurones, teniendo que recurrir a aportaciones de agua provenientes de la cuenca del Guadalete (embalse de Zahara y Bornos) caracterizadas por una mayor mineralización, así como de captaciones de acuíferos de zonas colindantes.

En las Figuras 2.a. y 2.b. se observa que durante el periodo 1991-98 tanto la concentración de cloruros como los valores de conductividad en los embalses de Zahara y Bornos son mayores que en el de los Hurones por lo que como consecuencia de la mezcla de aguas de los tres embalses durante 1995, se produjo un aumento sustancial de la mineralización en las aguas de bebida.

Los parámetros organolépticos turbidez y color quedan recogidos en la Figura 3. La turbidez

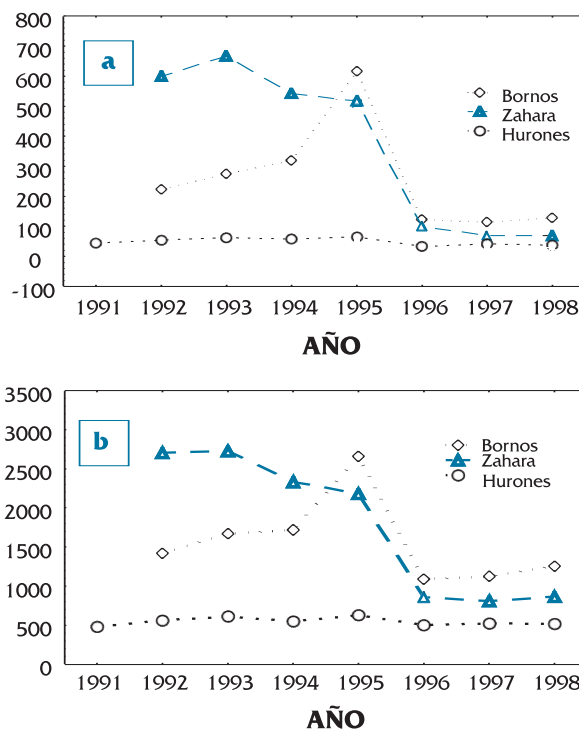


Figura 2. Evolución de los niveles medios de Cloruros (a) y Conductividad (b) en los embalses de las cuencas de los ríos Guadalete (Bornos y Zahara) y la del río Majaceite (Hurones).

presenta una gran importancia sanitaria ya que refleja una aproximación del contenido en materias coloidales minerales u orgánicas, por lo que puede ser indicio de contaminación; además protege a los microorganismos de los efectos de desinfección, facilita el crecimiento de bacterias y aumenta la demanda de cloro (Pérez, 1999). Los valores de este parámetro se mantienen por encima del nivel guía (1 UNF), sin alcanzar la C.M.A. (6 UNF), aunque experimentaron un leve aumento en los años 1993 y 1995. El mismo aumento lo sufre el color en 1995 que llega a alcanzar valores de 11,10 mg/L, que no superan la C.M.A. (20 mg/l Pt/Co), restableciéndose en años posteriores.

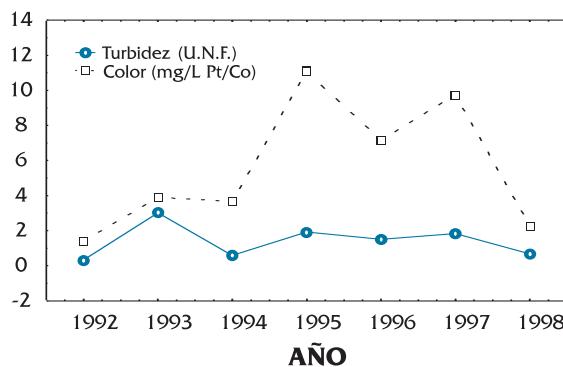


Figura 3. Evolución temporal de los valores medios de Turbidez y Color en la red de abastecimiento de la localidad de Cádiz.

Los parámetros indicativos del nivel de mineralización, representados en la Figura 4, siguen una misma tendencia evolutiva durante el periodo de estudio. Así, los valores de conductividad y de residuo seco, Figura 4.a., experimentan un incremento en el año 1995. Este aumento es indicativo de una alta concentración en iones disueltos y sustancias en suspensión, lo se puede traducir en un empeoramiento de la calidad del agua, que puede afectar a los caracteres organolépticos, además de que pueden contener sustancias que afectan a la salud. Durante los siguientes años las concentraciones disminuyen mejorándose la calidad gracias a las lluvias.

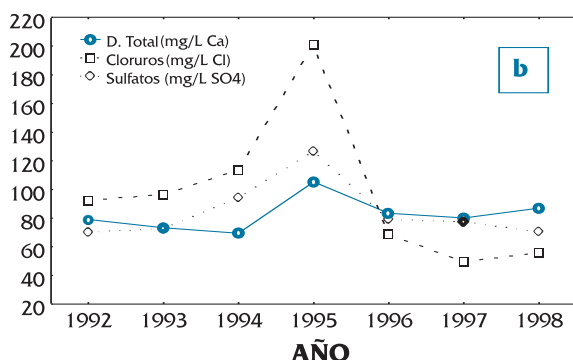
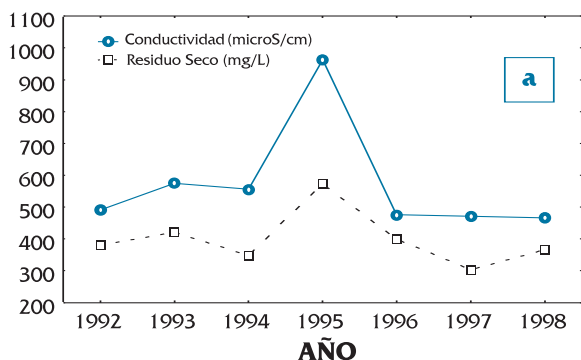


Figura 4. Evolución temporal de los valores medios de los parámetros relacionados con la mineralización de las aguas en la red de abastecimiento de la localidad de Cádiz: (a) Conductividad y Residuo Seco, (b) Dureza total, Cloruros y Sulfatos.

Las concentraciones de cloruros, sulfatos y dureza total (que expresa las concentraciones de calcio y magnesio en el agua) presentan también un máximo de concentración en 1995, (Figura 4.b.). El agua de abastecimiento de Cádiz muestra una dureza total en torno a los 83 mg/L Ca, por lo que se considera como de dureza media o semidura, excepto en 1995 en que alcanza valores medios de hasta 105 mg/L Ca, por lo que durante este periodo puede ser considerada como un agua bastante dura. Algunos autores han sugerido que valores de dureza superiores a 60 mg/L Ca guardan relación con ciertos padecimientos cardiovasculares de los con-

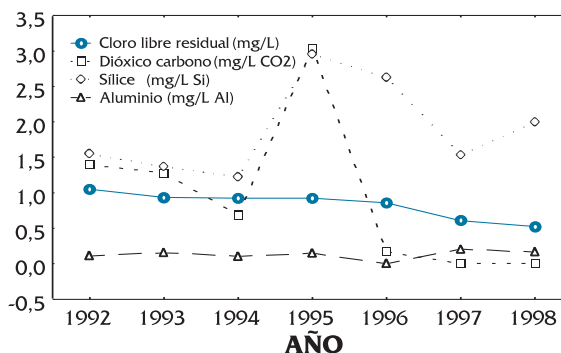


Figura 5. Evolución temporal de los valores medios de Cloro libre residual, Dióxido de carbono, Sílice y Aluminio en la red de abastecimiento de la localidad de Cádiz.

sumidores (Gimeno y col., 1990; Leonin y col., 1985; Packham y col., 1982), sin embargo estudios epidemiológicos recientes consideran las aguas duras como un factor protector, mientras que las blandas tienen efectos negativos en el equilibrio mineral (Pérez, 1999).

El nivel máximo de cloruros alcanzado en 1995, fue de 200 mg/L Cl<sup>-</sup> disminuyendo considerablemente en años posteriores (Figura 4.b.). La legislación establece que por encima de esta cantidad se pueden producir efectos como sabor desagradable. Los sulfatos siguen la misma evolución, sin rozar la C.M.A. (250 mg/L SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>). La evolución de estos tres parámetros evidencian, al igual que los recogidos en las Figuras 3 y 4.a. un empeoramiento de la calidad de las aguas de consumo en el año 1995, debido a la mezcla con agua de otros embalses de mayor mineralización; y una mejora de la misma en años posteriores gracias al aumento pluviométrico.

Otros parámetros que presentan valores medios elevados en el año 1995 son dióxido de carbono, sílice y aluminio, representados en la Figura 5. Los niveles de dióxido de carbono alcanza 3 mg/L CO<sub>2</sub> valor que no llega a resultar peligroso para la salud humana. Este aumento se debe a la disminución del contenido de oxígeno disuelto del agua embalsada al reducirse bastante su volumen y aumentar el contenido del gas CO<sub>2</sub>, debido probablemente a procesos de fermentación. El aluminio se encuentra en torno a 0,1 mg/L Al para los tres periodos estudiados, por encima del nivel guía (0,05 mg/L) pero muy por debajo de los 0,2 mg/L de C.M.A., a partir del cual se puede producir la aparición de masas de flóculos de hidróxido de aluminio en los sistemas de distribución de agua y acentuar la coloración de la misma por el hierro. Por otra parte, los riesgos sanitarios de la ingesta de altos ni-

veles de aluminio pueden provocar la destrucción de las células cerebrales o del miocardio, causando encefalopatías o cardiomiopatías mortales, la destrucción de células hepáticas y la producción de anemias y descalcificaciones óseas (Pérez, 1999).

El cloro libre residual, además de ser utilizado como agente desinfectante, pues elimina a los microorganismos, también puede ser usado como agente oxidante de compuestos químicos presentes en las aguas. En la figura 5 se observa una disminución de su concentración a lo largo de los años indicativo de la mejora de la calidad del agua de abastecimiento, y la menor necesidad, por tanto, de cloración de la misma.

También los parámetros tales como boro, agentes tensioactivos y manganeso sufren un aumento de concentración en el año 1995 (Figura 6). Los dos primeros se mantienen en concentraciones inferiores a la C.M.A. Los agentes tensioactivos, aumentan posiblemente por el empeoramiento de la calidad del agua, ya que el método utilizado para la determinación de tensioactivos establecido en la legislación puede presentar interferencias de cloruros, sulfatos y otros aniones o sustancias lipofílicas que pueden reaccionar con el azul de metileno o con el cloroformo. En cuanto al boro presenta dos picos en los años 1993 y 1995.

El manganeso aumenta su concentración hasta superar el N.G. (20 µg/L Mn) en 1995, aunque queda lejos de la C.M.A. (50 µg/L Mn), debido probablemente a la adición de permanganato potásico (KMnO<sub>4</sub>) como agente oxidante a la salida de los embalses de abastecimiento, para la eliminación tanto de la materia orgánica, como de las sales de manganeso presentes en los embalses con bajo nivel de agua y captaciones más profundas. El dióxido de manganeso originado como producto de ta-

les 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.

### CONCLUSIONES

1. Las aguas potables que abastecen a la ciudad de Cádiz se consideran de buena calidad, puesto que los valores medios de los parámetros analizados no superaron las concentraciones máximas admisibles recogidas en la Reglamentación Técnico-Sanitaria (R.D. 1138/1990).

2. A lo largo del periodo muestreado (1992 - 1998), el efecto de la sequía fue mayor en 1995, puesto que aunque fue un año lluvioso, éstas transcurrieron durante el último trimestre. Se detectó el menor volumen de agua embalsada en los Hurones y el aumento sustancial de la concentración de determinados parámetros; no obstante, en ningún momento se superaron las concentraciones máximas admisibles. A partir de este año las aguas restablecieron su calidad habitual con la llegada de las lluvias.

3. En el año de mayor sequía, los parámetros relacionados con la mineralización (Conductividad, Dureza total, Residuo seco, Cloruros, Sulfatos, Sílice, Potasio) sufrieron incrementos de concentración como consecuencia de la mezcla de aguas del embalse de los Hurones con otras fuentes de abastecimiento procedentes de los embalses de la cuenca del Guadalete con mayor contenido en sales.

4. Otros parámetros organolépticos como Turbidez y Color también aumentaron sus concentraciones en 1995, sin embargo los valores registrados para estos parámetros permanecieron dentro de los límites reglamentados; esta anomalía se puede deber al alto nivel de Manganeso encontrado en este periodo.

5. La disminución de los niveles de Cloro libre residual, Boro, Dióxido de carbono, a partir de 1996 son indicativos de la mejoría de la calidad de las aguas de consumo a partir de dicha fecha.

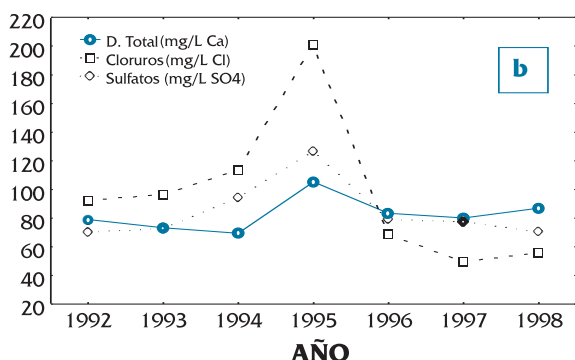


Figura 6. Evolución temporal de los valores medios de los parámetros Agentes tensioactivos, Boro y Manganeso en la red de abastecimiento de la localidad de Cádiz.



## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a la empresa municipal de Aguas de Cádiz, S.A., por la cesión de los datos de control y análisis de las aguas de suministro desde el año 1992, así como a D. Luis Vidal Valderas, Jefe de sección de laboratorio de Confederación Hidrográfica del Guadalquivir: abastecimiento de agua a la zona gaditana, por su colaboración en el trabajo desarrollado.

## REFERENCIAS

- APHA, AWWA, WPCF (1989). Métodos normalizados para el análisis de agua potables y residuales. Editorial Díaz de Santos, S.A. Edición en español (1992). Madrid.
- Barragán Muñoz, J.M. (1993). "Agua, Ciudad y Territorio. Aproximación geo-histórica al abastecimiento de agua a Cádiz". Servicio de Publicaciones Universidad de Cádiz.
- Cantó Janer, J. (1990). "Calidad del agua en España, encuesta AEAS 1990". Tecnología del Agua, 91: 42 - 52.
- DIRECTIVA 80/777/CEE DE 15 DE JULIO DE 1980 RELATIVA A LA CALIDAD DE LAS AGUAS DESTINADAS AL CONSUMO PÚBLICO.
- 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.
- Gimeno Ortiz, A. Y col. (1990). "Estudio de la relación entre algunos componentes físico-químicos en el agua de consumo, hipertensión y muerte por enfermedades cardiovasculares". San. Hig. Púb. 64 (7-8), 377-385.
- Leonin, A.; Fabioni, L.; Tichiarelli, L. (1985). "Water hardness and cardiovascular mortality rate in Abruzzo, Italy. Arch Environ Health 40 (5), 274-278.
- 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).
- ORDEN de 27 de julio de 1983, por la que se establecen métodos oficiales de análisis microbiológicos de aguas potables de consumo público (B.O.E. de 13 de agosto de 1983).
- Packham, R.F., y col. (1982). "Drinking water quality and cardiovascular disease practical implications of recent research". Supplement to National Water Council Bulletin Nº 34, 19.
- Peña Castiñeira, F.J. (1987). "Un valor llamado agua. Control Sanitario del agua potable". Offarm. 6, 7, 59 - 64.
- Pérez López, J.A.; Espigares García, M. (1999). "Estudio sanitario del agua". Editorial Universidad de Granada. Motril.
- Prats Vila, J. L. (1994). "La gestión del abastecimiento de aguas en épocas de sequía". Jornadas Técnicas: biosó-

lidos y aguas depuradas como recursos. San Feliu de Guíxols, Costa Brava, Girona.

REAL DECRETO 1138/1990, de 14 de septiembre, (B.O.E. del 20 de Septiembre de 1990), por el que se aprueba la Reglamentación Técnico-Sanitaria para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público.

Resolución de 23-4-1984, de la subsecretaría, por la que se aprueba la Lista Positiva de Aditivos coadyuvantes tecnológicos autorizados para tratamientos de las aguas potables de consumo público.

