

# Evolución de las aguas de los embalses de la provincia de Cádiz durante el último periodo de sequía

M<sup>a</sup> Rocío RODRÍGUEZ BARROSO

Diego SALES MÁRQUEZ

José M<sup>a</sup> QUIROGA ALONSO

Departamento de Ingeniería Química, Tecnología de los Alimentos y Tecnologías del Medio Ambiente

Facultad de Ciencias del Mar (CASEM)

UNIVERSIDAD DE CÁDIZ

Luis VIDAL VALDERAS

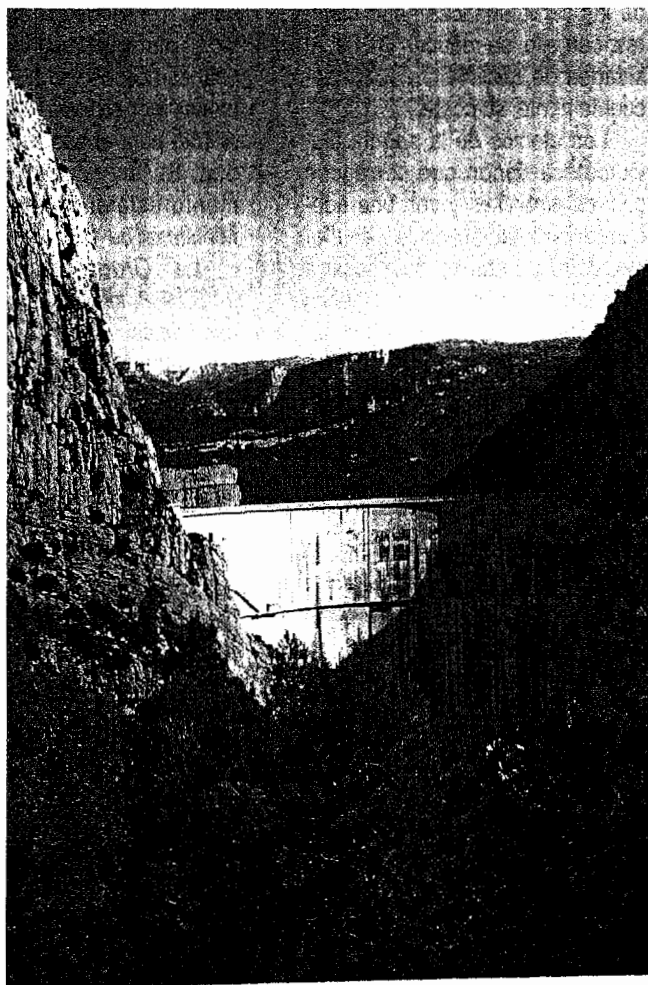
Jefe de Sección Laboratorio y Control Sanitario de Tratamientos de Aguas Potables

Abastecimiento de Agua a la Zona Gaditana

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADALQUIVIR

*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.*

*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 sus aguas para el abastecimiento. Cada una de estas cuencas está enclavada en un entorno geológico distinto y con embalses cuya calidad de aguas también es diferente. En este artículo se presentan algunas características generales de los embalses de la cuenca de los ríos Guadalete y Majaceite. Siendo la cuenca del Majaceite la de mayor capacidad de embalse, 935 Hm<sup>3</sup> frente a 437 Hm<sup>3</sup> de la cuenca del Guadalete, además de enclavarse en una zona de mayor pluviosidad.*



## Introducción

### Abastecimiento de agua a través de embalses

La toma de agua en los embalses se realiza a partir de una torre en vertical que dispone de una serie de compuertas a distintos niveles de profundidad por donde se toma el

agua, pudiéndose elegir, en todo momento, el lugar de donde se quiere realizar la toma. Esto tiene importancia teniendo en cuenta que dependiendo de la estación del año, las aguas, según la profundidad del embalse tienen características distintas debido a la variación de la temperatura en la columna de agua.

El desagüe de fondo es la toma de agua que se encuentra al nivel más bajo del embalse. Se usa en los casos en los que el nivel de agua en el embalse está por debajo del nivel de la toma de agua.

En los embalses se diferencian tres capas de distinta tempe-

ratura, el epilimnion (capa superior) y el hipolimnion (capa más profunda), ambas separadas por el metalimnion (termoclina que separa las dos masas de agua de diferentes densidades). El agua se suele tomar de la capa inferior por tener una temperatura más baja y constante y un escaso contenido en algas. Sin embargo puede presentar unos niveles bajos de oxígeno y tener cierto color y olor debido al SH<sub>2</sub> y contener hierro y manganeso.

El conocimiento de la ecología de los embalses destinados al abastecimiento de agua potable, es fundamental para captar el agua de aquella profundidad donde las características sean mejores; con ello, se reducen las necesidades de tratamiento y, consecuentemente, su coste.

Los efectos de la sequía pluviométrica tienen que corregirse con los embalses y con una adecuada explotación de los acuíferos, de modo que se evite llegar a la situación de sequía hidráulica (períodos en que no se puede suministrar toda la demanda de agua), (Ferraro y col. 1999). Si el sistema de infraestructuras hidráulicas tiene capacidad suficiente no debe producirse sequía hidráulica aunque haya sequía pluviométrica.

Con este estudio se intenta establecer la evolución de los periodos de sequía pluviométrica con la escasez de agua en los embalses, antes de llegar a la sequía hidráulica, con el objeto de poder predecir determinadas pautas de comportamiento en la gestión del agua desde los embalses, así como su adecuación en las estaciones de tratamiento de aguas potables (ETAP) para su destino final como agua de abastecimiento

### Legislación

La *tabla 1* recoge una relación de las principales directivas europeas y leyes estatales relacionadas con la producción y la calidad de las aguas destinadas al consumo público.

La Comunidad Europea ha establecido Directivas, tanto para las aguas superficiales destinadas a

la producción de agua potable (Directiva 74/440/CEE), como para la calidad de las aguas destinadas al consumo público (Directiva 98/83/CE). Estas Directivas obligan a los Estados Miembros a establecer su propia legislación de acuerdo con las Directivas como marco superior.

*Directiva 74/440/CEE* del Consejo de 16 de junio de 1975 relativa a la calidad requerida para las aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable en los Estados miembros. Esta Directiva excluye las aguas subterráneas, las aguas salobres y las aguas destinadas a la realimentación de las capas subterráneas, y entiende por agua potable todas las aguas superficiales destinadas al consumo humano distribuidas por sistemas de abastecimiento para el uso de la colectividad. Su transposición al reglamento estatal originó la *Orden Ministerial de 11/5/1988*.

La *Orden Ministerial de 11/5/1988*, incluye las características básicas de calidad que deben ser mantenidas en las corrientes de aguas superficiales cuando sean destinadas a la producción de agua potable. En ella 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. Estas categorías establecen los tratamientos apropiados para conseguir los requisitos a los

que debe ajustarse la calidad de las aguas continentales superficiales utilizadas o destinadas a ser utilizadas en la producción de agua potable.

La clasificación de estas aguas es:

- \* Tipo A1. Se trata de las aguas que requieran tratamiento físico simple y desinfección, por ejemplo, filtración rápida y desinfección.
- \* Tipo A2. Son las aguas que necesiten un tratamiento físico normal, tratamiento químico y desinfección, por ejemplo, precloración, coagulación, floculación, decantación, filtración y desinfección (cloración final).
- \* Tipo A3. Aquellas aguas superficiales a las que se les aplica un tratamiento físico y químico intensivos, afino y desinfección, por ejemplo, cloración hasta el *break point*, coagulación, floculación, decantación, filtración, afino (carbono activo) y desinfección (ozono, cloración final).

Esta Orden de 11 de mayo de 1988 ha sido modificada en el año 1990, por la Orden 15-10- 1990 y posteriormente en el año 1994 por la Orden de 30-11-1994.

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

DIRECTIVA del Consejo 74/440/CEE	Orden Ministerial de 11/5/1988 (BOE nº 124, de 24/05/1988) ORDEN 15-10- 1990 (BOE nº 254, de 23/10/1990) ORDEN de 30-11-1994 (BOE nº 298, de 14/12/1994) Real Decreto 1664/1998 de 24 de julio (BOE nº 191, de 11/8/1998) Orden Ministerial de 13/8/1999 (BOE nº 205, de 27/8/1999)
DIRECTIVA del Consejo 79/869/CEE	Orden Ministerial de 8/Febrero/1988, (BOE nº 53, de 2/03/1988)
DIRECTIVA del Consejo 80/778/CEE	Real Decreto 1138/1990 de 14 de Septiembre (BOE nº 220, de 20/09/1990) Orden de 1-7-1987 (BOE nº 163, de 9/07/1987)
DIRECTIVA del Consejo 98/83/CE	En espera de su transposición al reglamento español

*Tabla 1. Principales directivas europeas y leyes estatales relacionadas con la producción y la calidad de las aguas destinadas al consumo público.*

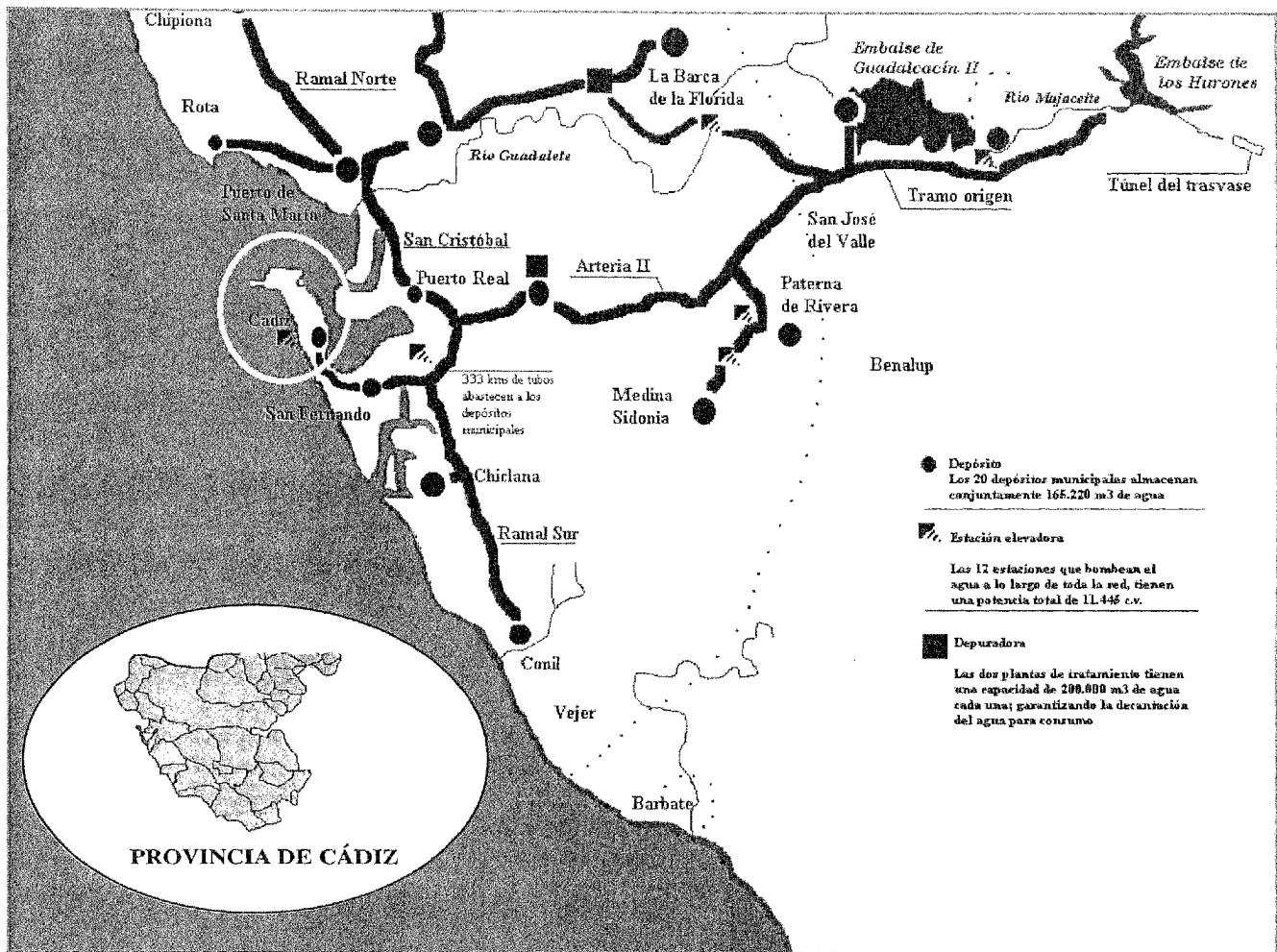


Figura 1. Embalses de la provincia de Cádiz. Embalses de la cuenca del río Guadalete: Zahara, Bornos y Arcos.

Posteriormente se aprobó el *Plan Hidrológico de Cuenca del Guadalquivir (Real Decreto 1664/1998, de 24/7/1998)*, siendo la *Orden Ministerial de 13/8/1999* la que publica las determinaciones del contenido normativo del *Plan Hidrológico de Cuenca del Guadalquivir*.

Esta Orden establece la división territorial en unidades hidrográficas que se denominan zonas, subzonas y áreas. (Art. 1), además de recoger 17 sistemas de explotación de recursos (SER) entre las que se definen la nº 16 Guadalete.

*Directiva 79/869/CEE* del Consejo de 9 de octubre de 1979 relativa a los métodos de medición y a la frecuencia de los muestreos y del análisis de las aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable en los Estados miembros.

La transposición de esta Directiva originó la *Orden Ministerial de 8/Febrero/1988* por la que se

establecen los métodos de medición y frecuencia de muestreos y de análisis de aguas superficiales que se destinen a la producción de agua potable.

*Directiva del Consejo 80/778/CEE* de 15 de julio de 1980 relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo público.

La primera Reglamentación Técnico-Sanitaria fue la elaborada por el Real Decreto 1423/1982 de 18 de junio de 1982 que aprobó la Reglamentación Técnico-Sanitaria para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público (BOE nº 154, de 29/06/1982), elaborado en desarrollo del Código Alimentario Español. Éste quedó derogado a raíz de la transposición de la Directiva 80/778/CEE que originó el Real Decreto 1138/1990 de 14 de Septiembre por el que se aprueba la Reglamentación Técnico-Sanitaria para el abastecimiento y control de la calidad de las aguas po-

tables de consumo público, así como a la Orden de 1 de julio de 1987 por la que se aprueban los métodos oficiales de análisis físico-químico para aguas potables de consumo público quedando derogado el Real Decreto 1423/1982 de 18 de junio de 1982.

Se trata de la reglamentación que actualmente legisla la calidad de las aguas potables en España, hasta la transposición de la nueva Directiva del Consejo 98/83/CE de 3 de noviembre de 1998 relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano.

### La red hidrográfica

Son tres los principales ríos que discurren por la provincia de Cádiz: el Guadalquivir, el Guadalete y el Barbate, que desembocan en el Atlántico, a los que se puede añadir los Salados de Rota, Chiclana y Conil entre otros de menor importancia, y el Palmones,

AÑO Hidrológico	Embalses de la cuenca del río GUADALETE			Embalses de la cuenca del río MAJACEITE	
	ZAHARA-EL GASTOR	BORNOS	ARCOS	HURONES	GUADALCACÍN
	Estación nº 912 (mm)	Estación nº 932 (mm)	Estación nº 932-1 (mm)	Estación nº 947 (mm)	Estación nº 950 (mm)
1981/82	907,5	498,2	461,7	609,7	542,9
1982/83	758,5	460,5	539,4	877,9	-
1983/84	870	652,4	654,4	700	-
1984/85	789	708,5	795,8	860,9	-
1985/86	827,5	599,5	474,4	940,3	-
1986/87	720,4	633,9	615,1	857,7	487,3
1987/88	705,5	719,2	-	1.228,2	829,5
1988/89	591,5	399,8	-	715	449,6
1989/90	-	714,1	-	1.224,3	760,3
1990/91	689	651,9	723	540,5	644
1991/92	560,5	398,5	493,4	754,8	312
1992/93	498,5	374,4	388,8	648,6	425,5
1993/94	566,6	500	433,5	675,7	597,7
1994/95	356,8	252,4	285,5	532,5	347,4
1995/96	1.188	881,4	955,7	906,2	1.131,5
1996/97	1.180	1.085,6	1.069	1.626,6	1.048,9
1997/98	1.074,5	823,2	751,4	1.055,1	835
1998/99	378,5	283,7	248,5	612	315,3
<b>MEDIA</b>	<b>703,5</b>	<b>591,0</b>	<b>592,6</b>	<b>853,7</b>	<b>623,4</b>

(-): Datos no suministrados

Tabla 2. Precipitaciones totales anuales recogidas en las estaciones meteorológicas de los embalses de la cuenca del río Guadalete (Zahara-El Gastor, Bornos y Arcos) y en los embalses de la cuenca del río Majaceite (Guadalcaçín y Hurones) durante el periodo 1981 - 1998.

Guadarranque y Guadiaro que desembocan en el Mediterráneo. (Gutiérrez, 1982).

La provincia gaditana dispone de forma natural de más cantidad de agua procedente de lluvia que el resto de Andalucía Occidental. Esto se explica gracias a la orografía; por una parte la zona occidental es relativamente llana y de escasa altitud, mientras que la oriental presenta unos relieves muy accidentados e incluso altitudes que rebasan los 1.600 metros.

Esta alineación montañosa con un sentido del eje norte-sur constituye una auténtica barrera orográfica para los vientos predominantes en el clima provincial, con dirección oeste-este. Así, las nubes cargadas de humedad procedentes del Atlántico y que van hacia el este, se elevan ganando altitud y se enfrían condensándose y provocando precipitaciones al encontrarse con la mencionada alineación montañosa.

Esta es la causa de la desigualdad en la distribución de las precipitaciones. Así aparece una franja oriental de la provincia, cuyos niveles pluviométricos superan normalmente los 1.000 l/m<sup>2</sup>/año (Grazalema, por ejemplo, con una precipitación media de más de 2.200 mm<sup>3</sup>/año es el registro máximo de España) y otra occidental, donde la pluviosidad se encuentra entre 500 y 700 mm/año.

Existe un fenómeno topográfico como es la dirección de las pendientes, que unido a otro meteorológico, como es la relativa abundancia de precipitaciones, justifica que la provincia de Cádiz disponga de abundantes recursos hídricos superficiales. Además, esta misma topografía hace que el piedemonte serrano o las estribaciones montañosas se conviertan en lugar idóneo para ubicar las grandes superficies de almacenamiento de agua, siendo así como se explican básicamente los emplazamientos de los embalses de Bornos, Guadalcaçín y Los Hurones.

El río Majaceite

### Río Majaceite

El río Majaceite es el principal afluente del río Guadalete, que se une al mismo en su curso bajo, a pocos kilómetros al sur de la ciudad de Arcos de la Frontera, y drena las zonas de Ubrique, El Bosque, Algar, etc. En la cuenca del río Majaceite se sitúan dos embalses: Guadalcaçín y Los Hurones, con 800 Hm<sup>3</sup> y 135 Hm<sup>3</sup> de capacidad total respectivamente (figura 1).

El embalse de Guadalcaçín cuenta con una superficie de cuenca de 687 km<sup>2</sup>; su superficie al máximo nivel de embalse es de 3.670 Ha y la longitud del río al máximo nivel embalsado es de 25 km. La capacidad del vaso es de 800 Hm<sup>3</sup>. El tipo de presa es de materiales sueltos, heterogé-



nea de planta recta, con una cota de coronación de 110,00 m y una altura de 75 m. La longitud y el ancho de coronación son de 267 m y 10 m respectivamente. Los taludes son de paramento, presentando uno de ellos la cota de máximo nivel normal a 102,00 m y la cota mínima de explotación de 39,50 m. La galería perimetral es de 2,50 por 1,50 m<sup>2</sup> de sección y la torre de toma de agua es de sección circular de 7,00 m de diámetro interior, existiendo dos tomas de desagüe a la cota de 40,00 m y cuatro tomas de aguas limpias a las cotas de 79,20 m, 72,80 m, 66,40 m y 60,00 m. Este embalse se encuentra en una zona donde se recoge una pluviometría anual media de 631 mm/año y proporciona una aportación natural media de 227 Hm<sup>3</sup>/año.

El embalse de Los Hurones, situado en el río Majaceite, se construyó a mediados de siglo 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 Hm<sup>3</sup>. La superficie de la cuenca ronda los 290 km<sup>2</sup> estando situado en una de las zonas de mayor precipitación de la provincia (entre las localidades de El

Bosque y Ubrique) ya que la lluvia media anual de su cuenca hidrográfica alcanza los 1.200 mm y una aportación media anual de 134 Hm<sup>3</sup>. En este caso se trata de una presa 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.

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, caracterizados 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, 2001).

### Cuenca del río Guadalete

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 (2.200 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 embalses sea diferente a las de los otros embalses de la provincia de Cádiz, como son los pertenecientes a la cuenca del río Majaceite (Rodríguez, 2001). Por este motivo, los embalses de esta cuenca dedican una parte importante de su capacidad al abastecimiento de aguas para riego en la agricultura.

El pantano de Zahara-El Gastor se dedica principalmente a regadío, así como embalse de regulación, figura 1. 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 Gáditaná 1957 - 1982). La presa

AÑO	Cuenca del río Guadalete						Cuenca del río Majaceite			
	Zahara-El Gastor		Bornos		Arcos		Hurones		Guadalcaçin	
	(Hm <sup>3</sup> )	(%)	(Hm <sup>3</sup> )	(%)	(Hm <sup>3</sup> )	(%)	(Hm <sup>3</sup> )	(%)	(Hm <sup>3</sup> )	(%)
1991	-	-	-	-	-	-	90,49	67,0	24,93	3,1
1992	6,87	3,1	-	-	-	-	57,56	42,6	9,24	1,2
1993	1,28	0,6	25,77	12,9	9,68	69,1	37,39	27,7	15,53	1,9
1994	2,47	1,1	18,74	9,4	11,07	79,1	41,64	30,8	18,09	2,3
1995	1,49	0,7	15,54	7,8	-	-	17,12	12,7	9,04	1,1
1996	-	-	-	-	13,25	94,6	113,83	84,3	239,27	29,9
1997	-	-	-	-	11,01	78,6	93,65	69,4	506,99	63,4
1998	-	-	-	-	-	-	121,70	90,1	634,42	79,3

(-): datos no suministrados

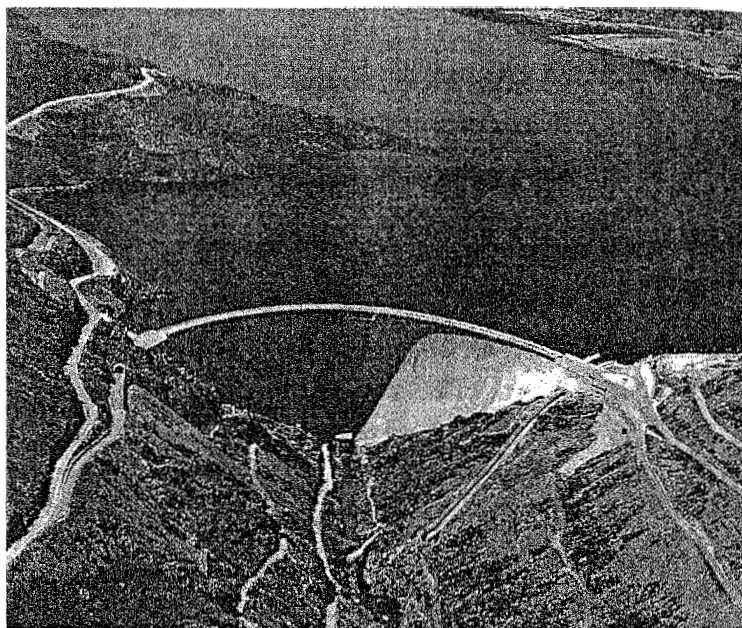
Tabla 3. Evolución del agua acumulada en los embalses de la cuenca del río Guadalete (Zahara-El Gastor, Bornos y Arcos) y en los embalses de la cuenca del río Majaceite (Guadalcaçin y Hurones) durante el periodo 1991 - 1998.

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 (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 215 Hm<sup>3</sup>, cuenta con una superficie de cuenca de 1.344 km<sup>2</sup> y su superficie de embalse es de 2.190 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 1.375,5 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.

A pesar de la existencia de estos embalses, desde 1976 confluyen diversos factores que provocan la alarma en el abastecimiento de agua a la zona gaditana, debido principalmente a los periodos 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 au-



mentos 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 Guadalcaacín (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 puesto 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.

### Resultados y discusión

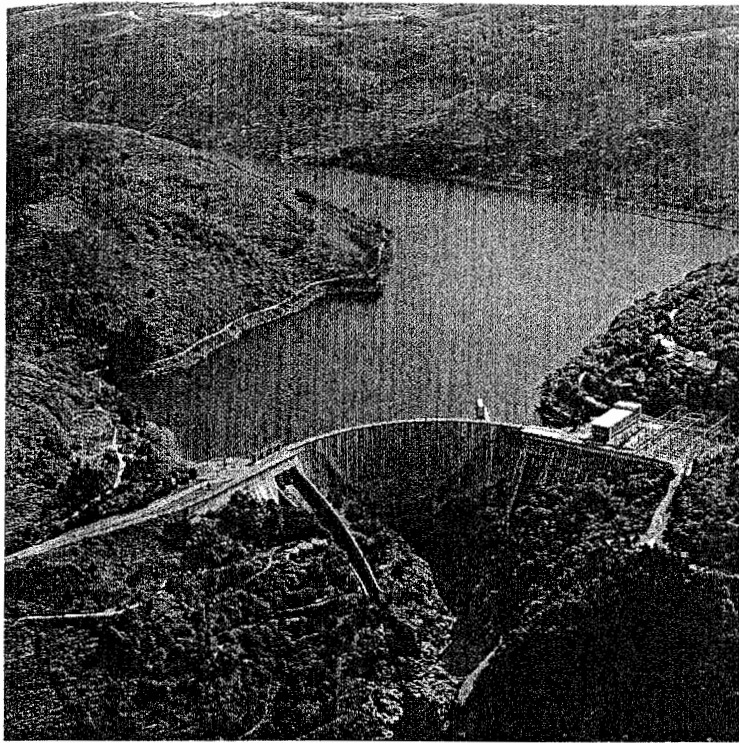
Para establecer las relaciones del volumen de agua embalsada en los pantanos con la meteorología de cada zona y poder predecir así los periodos de sequía hidráulica, se utilizarán los

datos de pluviosidad en las estaciones meteorológicas cercanas a los embalses, así como los datos facilitados por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir relativos a las cotas de embalse.

### Meteorología en las distintas cuencas

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 2* 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: Guadalcaacín (estación número 950) y los Hurones (estación número 947) propios de la cuenca del Majaceite, Zahara-El Gastor (estación número 912), embalse de Bornos (estación número 932) y embalse de Arcos (estación número 932-1) de la cuenca del río Guadalete. En esta tabla se presentan las precipitaciones medias del periodo estudiado para cada embalse.



Según el valor medio de precipitaciones registradas en cada embalse, los embalses de la cuenca del río Majaceite se ubican en una zona de mayor pluviosidad que los del Guadalete, a excepción del embalse de Zahara-El Gastor; mientras que los embalses de Bornos y Arcos se localizan en zonas más secas. Así, la precipitación media para Los Hurones es de 853,7 mm/año frente a 703,5 mm/año para Zahara-El Gastor, seguido de Guadalcaçín con 623,4 mm anuales. Presentando estos tres embalses altos niveles de pluviosidad en comparación con otros de la región andaluza, como los de la cuenca del Guadalquivir, donde se registró una precipitación media anual de 559 mm en el periodo comprendido entre los años 1996 a 1998, (Ferraro y col., 1999).

Atendiendo al periodo hidrológico (1981 – 1998), se aprecian distintas etapas según el nivel de lluvias. La primera etapa es la comprendida entre 1981/82 a 1989/90 que se caracterizó por ser años hidrológicos de precipitaciones relativamente constantes, en torno a los valores medios registrados para cada embalse.

Las sequías pluviométricas, entendidas como periodos de precipitación más o menos escasa, son inherentes a la profunda irregularidad del clima mediterráneo, y en particular en la cuenca del Guadalete en la que entre los años 1991/95 se registraron precipitaciones inferiores a 500 mm llegando a descender a 252 en 1994/95 como el caso de la estación nº 932 de Bornos. Esta misma sequía se registra en la cuenca del Majaceite aunque los niveles nunca disminuyeron por debajo de 312 mm (caso de la estación nº 950 de Guadalcaçín). A pesar de la escasez de agua y que en el embalse de los Hurones se recogieron niveles inferiores a la media (853 mm) en estos años de sequía, siempre se superaron los 500 mm/año.

Los años hidrológicos comprendidos entre 1995/98 han sido muy lluviosos, alcanzándose niveles de hasta 1.626 mm (Los Hurones) a partir del último trimestre de 1995. En todos los embalses se registraron precipitaciones superiores a los valores medios reflejados en la *tabla 2*. Volviendo a ser 1998/99 un año de acusada sequía en toda la región.

Así pues, el periodo objeto de

estudio (años 1991 - 1998) se caracteriza como una época de acusada sequía entre los años 1991/92 y 1994/95, año en que se recrudece bastante la escasez de agua, y una época de mayores precipitaciones a partir de 1995.

### **Evolución de las cotas de embalse**

El volumen anual acumulado en los embalses tanto de la cuenca del Guadalete como del Majaceite se muestran en la *tabla 3*, junto con el porcentaje que supone respecto a la capacidad total de cada embalse: 223 Hm<sup>3</sup> para Zahara-El Gastor, 215 Hm<sup>3</sup> para Bornos y 14 Hm<sup>3</sup> para Arcos; 800 Hm<sup>3</sup> para Guadalcaçín, 135 Hm<sup>3</sup> para Los Hurones. Algunos años no presentan ningún dato debido a que no fueron suministrados como los años 1992, 1995, 1996 y 1997.

Se observa un descenso de las reservas de agua en el embalse de los Hurones desde el 91 hasta el 95, año en el que Los Hurones alcanza su valor mínimo (12,7%); con las lluvias de 1996, este embalse se recupera considerablemente, llegando a disponer de un volumen medio de hasta casi 114 Hm<sup>3</sup> (84,3 % 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 (90,1%).

En cambio el embalse de Guadalcaçín durante los primeros cinco años contiene muy poca cantidad de agua (2%) debido a la sequía de ese periodo, y es a partir de 1995 con la avenida de las lluvias cuando las aguas embalsadas aumentan sustancialmente gracias a la enorme capacidad del mismo tras las obras de ampliación de la presa en 1992. Se observó una acumulación de agua embalsada que pasó desde 9 Hm<sup>3</sup> (1,1%) a 239 Hm<sup>3</sup> (30%) en tan sólo unos meses (principios de 1996), aumentando hasta 634 Hm<sup>3</sup> (79,3%) en 1998.

En ambos embalses se evidencia, de manera general, que el volumen acumulado en los embalses y las precipitaciones en este

periodo (tabla 2) siguen una tendencia similar, excepto el año 1995, que aparece como un año lluvioso y en cambio el nivel de agua embalsada es mínimo debido a que las precipitaciones se producen al final del año, por lo que la cantidad de agua acumulada a lo largo de ese periodo es pequeña.

En los embalses de mayor capacidad volumétrica de la cuenca del Guadalete (Bornos y Zahara), los niveles que se presentan entre el 92 y el 95 son muy bajos debido a los sucesivos años de sequía, entre un 3,1% en 1992 para el embalse de Zahara y un 0,7% en 1995. Lo mismo ocurre para Bornos cuya cota oscilaba entre un 12,9% en 1993 y bajó hasta un 7,8% en 1995.

En cambio 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 llegando en 1996 a 94,65%, esto es debido a que se trata de un 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.

Como conclusiones al estudio realizado en este artículo, se puede establecer que la cuenca del Majaceite, además de ser la de mayor capacidad de embalse 935 Hm<sup>3</sup> frente a 437 Hm<sup>3</sup> de la cuenca del Guadalete, se ubica en una zona de mayor pluviosidad.

Según los resultados obtenidos en este estudio, referente al sistema de infraestructuras de las cuencas del Guadalete y Majaceite se podría afirmar que durante el periodo de estudio (1991-1998), no tenía toda la capacidad necesaria, y por ello se produjeron sequías hidráulicas y restricciones a principios de los 80 y en 1991/95, pero gracias al trasvase del río Guadiaro (provincia de Málaga) al río Majaceite, hecho realidad desde finales de diciembre de 2000, se asegura el abastecimiento de agua a la zona gaditana al aportar un volumen medio de 750 Hm<sup>3</sup>/año.

## Bibliografía

- Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. 1983. *El Abastecimiento de Agua a la zona Gaditana 1957-1982*. Dirección general de Obras Hidráulicas. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. Sevilla.
- Ferraro García, F; Gámiz López, A.; Lucena Rodríguez, J.; Verde Casanova, J.E. 1999. *Agua, empleo y riqueza en la cuenca del Guadalquivir*. Plataforma del Guadalquivir. Consejería de Obra Públicas y Transportes. Junta de Andalucía.
- García González, L. 1995. *Guía de los embalses de Extremadura*. Junta de Extremadura. Consejería de Cultura y Patrimonio. Cuadernos Populares nº 51. Editora Regional de Extremadura.
- González Quesada, R., y González Carballo, J. A. 1995. *Aguas potables, ponencia del libro La calidad de las aguas continentales españolas. Estado actual e investigación*. Geoforma-Ediciones.
- Gutiérrez Mas, J.M. 1982. *Itinerarios geológicos por la provincia de Cádiz*. Servicio de publicaciones de la Universidad de Cádiz.
- 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.
- Rodríguez Barroso, M.R. 2001. *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*. Tecnología del Agua, aceptada.
- 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.

