

## Captaciones subterráneas/ Las aguas subterráneas en el sistema de abastecimiento de la Comunidad de Madrid

Máster en Ingeniería y Gestión del Agua

2015-2016

**PROFESOR**

José Antonio Iglesias Martín



Esta publicación está bajo licencia Creative Commons Reconocimiento, No comercial, Compartir igual, (by-nc-sa). Usted puede usar, copiar y difundir este documento o parte del mismo siempre y cuando se mencione su origen, no se use de forma comercial y no se modifique su licencia. Más información: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

## 1. INTRODUCCION

La Directiva europea 2000/60/CE, de 23 de octubre de 2000, “por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política del agua” (Directiva Marco del Agua), en su primer artículo fija los principios que marcarán la gestión del agua y del medio ambiente en la Unión Europea en los próximos años: “El objetivo de la presente Directiva es establecer un marco para la protección de las aguas superficiales continentales (...) y las aguas subterráneas que (...) proteja y mejore el estado de los ecosistemas acuáticos (...), terrestres y humedales (...); promueva un uso sostenible del agua basado en la protección a largo plazo de los recursos disponibles (...), y contribuya de esta forma a garantizar el suministro suficiente de agua superficial y subterránea en buen estado, tal y como requiere un uso del agua sostenible, equilibrado y equitativo”.

El Canal de Isabel II Gestión, S.A. empresa pública de la Comunidad de Madrid, encargada del abastecimiento de agua a la mayor parte de la región, aprovecha todos los recursos hídricos de Madrid, realizando un uso conjunto o integrado de las aguas superficiales y subterráneas, que le permiten acometer el cumplimiento de los principios de la Directiva Marco del Agua.

La irregularidad de las aportaciones de los ríos de la región, junto con unas mayores demandas, como consecuencia del incremento de la población y de la actividad económica e industrial que se viene registrando en los últimos años, requiere equilibrar la capacidad de suministro del sistema de abastecimiento de la Comunidad de Madrid y las necesidades a corto y medio plazo, con el fin de conseguir un triple objetivo: mantener una elevada garantía de abastecimiento, conseguir un uso sostenible de los recursos y conservar los ecosistemas asociados al agua; todo ello en consonancia con lo establecido en la Directiva Marco del Agua o en la Cumbre de la Unión Europea de Barcelona de 2001, sobre estrategias de desarrollo sostenible (López-Camacho, B. 2004).

El Canal de Isabel II ha ido construyendo un conjunto de pozos de captación de agua en el acuífero terciario detrítico que le permiten realizar un uso intenso de sus aguas en períodos de sequía, consiguiendo aumentar el volumen de recursos disponibles con los que acometer el suministro en los momentos en los que se reducen los volúmenes disponibles

en los embalses; habiendo introducido en su gestión los criterios de sostenibilidad del acuífero introducidos por la Directiva Marco.

## 2.- LOS RECURSOS HIDRICOS

Canal Gestión capta agua de siete ríos de la Sierra de Guadarrama: Alberche, Guadarrama-Aulencia, Guadalix, Manzanares, Lozoya, Jarama y Sorbe, estos dos últimos fuera de los límites de la Comunidad de Madrid. También se utilizan los principales acuíferos de su territorio: los constituidos por los sedimentos terciarios detríticos (U.H. 03.05.1) y los cretácicos carbonatados de Torrelaguna (U.H. 03.03).

En los ríos citados y sus afluentes se dispone de 14 embalses con una capacidad máxima de almacenamiento de 946 hm<sup>3</sup>, gráfico 1. El de mayor capacidad es El Atazar, con 425 hm<sup>3</sup>. Además se utilizan captaciones del río Sorbe -presa de Pozo de los Ramos- y en los embalses de San Juan y Picadas, en el río Alberche. En este último río se dispone de una concesión que permite utilizar un máximo de 120 hm<sup>3</sup> al año.

La determinación de las aportaciones superficiales se basa en el conocimiento de las ocurridas y registradas en los puntos de interés hidrológico. Se dispone de series de valores mensuales en 16 puntos de la red hidrográfica desde el año hidrológico 1913-14. El valor medio de la serie - que tiene una longitud de 93 años- es de 782,7 hm<sup>3</sup>/año. Sin embargo y de cara al abastecimiento, el hecho determinante es la variabilidad de aportaciones: en la serie histórica se cuenta con valores de 1.738,5 hm<sup>3</sup> en el año hidrológico 1940-1941 -año de máxima aportación- y de 222,8 hm<sup>3</sup>, correspondiente al año de aportación mínima, que fue el 1991-92.

El principal acuífero que se aprovecha para el abastecimiento en períodos de escasez o sequía es el terciario detrítico, con una superficie de 2.500 km<sup>2</sup> y unos recursos renovables utilizables de 130-150 hm<sup>3</sup>/año. Canal Gestión II dispone de 70 pozos de profundidades comprendidas entre 250 y 700 m, que aportan caudales entre 40 - 110 l/s (gráfico 2). Su capacidad de aportación es de hasta 78 hm<sup>3</sup> en un año de sequía, teniendo que dejar recuperar el acuífero durante 2-4 años por cada año de bombeo. Las extracciones del resto de usuarios de este acuífero son de unos 40 hm<sup>3</sup>/año, (ETI, 2010); siendo el principal uso el abastecimiento de las urbanizaciones. El acuífero cretácico carbonatado de Torrelaguna

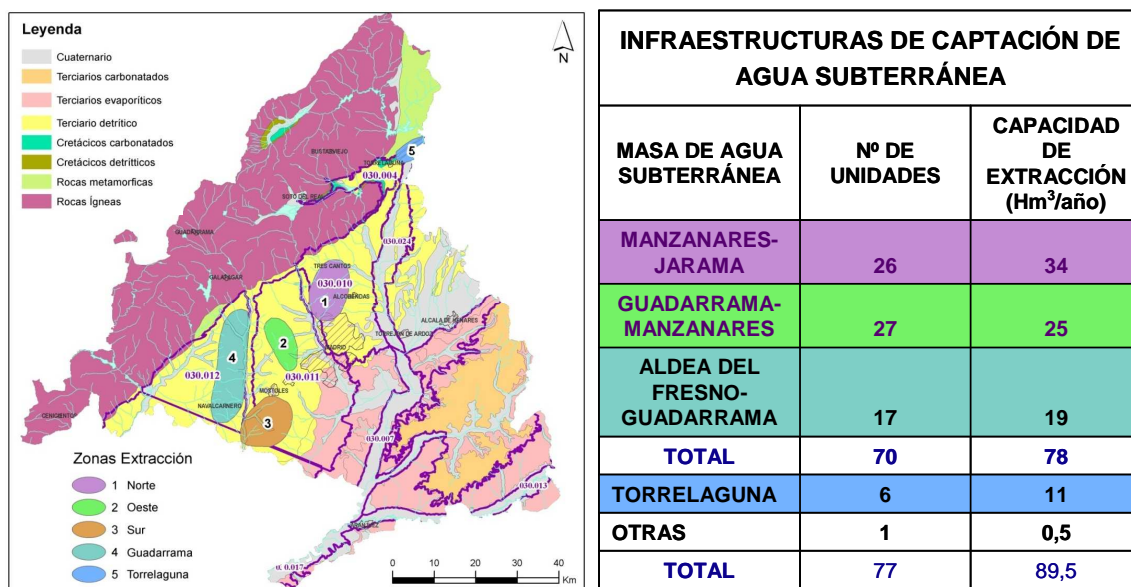
puede aportar 5-12 hm<sup>3</sup>/año, con caudales por pozo entre 60 - 120 l/s, sin afectar los caudales mínimos circulantes por el río Jarama.

Este conjunto de infraestructuras ha permitido satisfacer en el año 2012 un volumen de 519,4 hm<sup>3</sup>, equivalentes a una dotación media de unos 230 litros por habitante y día, cantidad en la que se incluye el abastecimiento domiciliario, usos comerciales e industriales conectados con las redes de suministro, riego de jardines y baldeo de calles y pérdidas en el transporte y la distribución. De esta dotación, a abastecimiento domiciliario corresponden unos 150 l/h/d.

Gráfico 1. La principal fuente de suministro del Canal Gestión es la red de 14 embalses superficiales de que dispone, distribuidos por toda la Sierra de Madrid.



Gráfico 2. El principal acuífero de la región es el terciario detrítico, en el que se encuentran casi el 90 % de los pozos de captación de aguas subterráneas del Canal Gestión.



### 3. - LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HIDRICOS

Los recursos disponibles se clasifican en función de sus condicionantes de captación y de utilización, según el Manual de Abastecimiento (Canal de Isabel II, 2003).

- Según los condicionantes de utilización:
  - **Exclusivos.** Son aquéllos cuyo uso íntegro es potestad del Canal Gestión. (Ej.: río Lozoya).
  - **Condicionados institucionalmente.** Son aquéllos cuya utilización precisa de una autorización por parte del organismo de cuenca. (Ejemplo: río Sorbe).
  - **Compartidos.** Son aquéllos cuya captación y uso se sitúa en masas de agua compartidas con otros usuarios o condicionantes ajenos a Canal Gestión. (Ej.: río Alberche).
  
- Según el tipo de utilización:

- **Recursos Ordinarios.** Circulan por gravedad hasta la red de distribución, aportando los mayores volúmenes del agua suministrada, son empleados con carácter prioritario respecto al resto. Incluyen todos los puntos de captación por gravedad del sistema del Canal Gestión formado por:
  - 14 embalses, con un almacenamiento máximo de 946 hm<sup>3</sup>.
  - Azud en el río Sorbe.
  - Azud en el río Guadarrama.
  - Azud de La Parra (río Lozoya).
  - Azud del Mesto (río Guadalix).
- **Recursos Complementarios.** Precisan, para su incorporación al sistema de abastecimiento, de algún tipo de impulsión. Están formados por los procedentes del río Alberche (compartidos con otros usuarios), mediante las impulsiones de San Juan-Valmayor y Picadas-Majadahonda, más los pozos del acuífero cretácico de Torrelaguna.
- **Reservas Estratégicas.** Los recursos que se utilizan exclusivamente en situaciones de sequía o con carácter preventivo de estas situaciones en los estadios de aproximación a dichos escenarios. Se incluyen en este apartado los pozos del acuífero terciario detrítico, con una capacidad de extracción de hasta 78 hm<sup>3</sup>/año.
- **Intercambios por cesión de derecho de uso.** Todos los que sea posible incorporar durante las situaciones de escasez. Requieren acuerdos de cesión de derechos de otros concesionarios, con la conformidad de la Confederación Hidrográfica del Tajo. En algunos casos, podría ser necesaria la construcción de nuevas infraestructuras para la incorporación de estos recursos al Sistema de Abastecimiento de Canal Gestión.
- **Reciclados.** Incluyen los procedentes de la regeneración de las aguas residuales urbanas. Este tipo de recursos pueden suponer tanto un incremento de las disponibilidades, como una reducción del consumo demandado por el sistema de suministro.

La experiencia que ha ido adquiriendo el Canal Gestión en la gestión de los recursos hídricos se ha recogido en el Manual del Abastecimiento (Canal Gestión), en el que se identifican niveles de referencia (volumen almacenado en la red de embalses

superficiales), para la gestión de los recursos en los distintos escenarios de actuación. Establece las pautas generales de planificación y operación del Sistema de Abastecimiento del Canal Gestión, de forma que se asegure el suministro de agua a los núcleos urbanos con el cumplimiento de todos los estándares establecidos, al tiempo que se optimizan los recursos hídricos disponibles. Se desarrolla en el contexto metodológico de la gestión integrada del abastecimiento, con una orientación enfocada a la prevención y gestión del riesgo de insuficiencia de recursos para atender las demandas de agua (González Igualada, 2007).

Se parte de los siguientes condicionantes:

- Mantenimiento de resguardos en los embalses. La normativa legal sobre seguridad de presas y embalses y protección frente a avenidas obliga a disponer de resguardos en los embalses, que sólo pueden utilizarse para laminación de avenidas. Para cada mes se establece un resguardo; siendo el volumen máximo de llenado permitido en invierno.
- Las demandas medioambientales. El Plan Hidrológico de la cuenca del Tajo determina las demandas medioambientales que se deben satisfacer desde los embalses de abastecimiento de Canal Gestión. No existe obligación de proporcionar caudales ambientales con volúmenes almacenados por debajo de 643 hm<sup>3</sup> (junio) y 553 hm<sup>3</sup> (noviembre y diciembre). Se establecen específicamente demandas ambientales para El Vado, en el río Jarama y El Atazar, en el río Lozoya.
- Otras limitaciones. Condicionan la disponibilidad de recursos en algunos períodos del año y los modos de gestión. Entre ellas merecen citarse: las limitaciones de derivar caudales del río Sorbe desde el Pozo de los Ramos por el régimen de funcionamiento del embalse de Beleña, situado aguas abajo, impuesto por la Confederación Hidrográfica del Tajo; la necesidad de dejar períodos de recuperación del acuífero detrítico (2-4 años de recuperación por cada año de bombeo).

Los escenarios de actuación definidos son:

### 1.- Normalidad.

El volumen almacenado al inicio de cada mes supera los valores indicados como de inicio de escasez. Esta situación abarca desde la de abundancia y llenado completo de los embalses y niveles de acuíferos hasta la preventiva de escasez, en la que se empiezan a utilizar las aguas subterráneas para evitar la incursión en escenarios de escasez.

Se consideran 3 niveles que marcan distintas formas de utilizar los recursos y dar cumplimiento a las demandas ambientales:

- ✓ **Excedentes ocasionales.** Suceden durante episodios de avenidas en que se están utilizando los volúmenes de resguardo para paliar y laminar avenidas. Sólo se utilizan recursos ordinarios.
- ✓ **FASE A. Abundancia.** Hay grandes volúmenes almacenados en los embalses superficiales, por lo que se realiza el abastecimiento utilizando únicamente reservas exclusivas y las de reutilización de carácter permanente.
- ✓ **FASE B. Reservas medias.** Los volúmenes almacenados en el sistema superficial precisan la utilización de recursos complementarios, además de los de reutilización permanente.
- ✓ **FASE C. Reservas bajas.** Los volúmenes almacenados en el sistema superficial requieren de la utilización de los recursos complementarios más las reservas estratégicas subterráneas.
- ✓ **FASE 0.** Nivel de alerta de sequía, entendiendo este último como una situación de prevención y atención debido al bajo nivel de reservas, y en la que, por existir una gran probabilidad de incurrir en una fase de sequía, se deben desarrollar todas las medidas preparatorias para la primera fase de sequía

## 2.- Escasez.

Su inicio viene marcado por la serie de los volúmenes mensuales correspondientes a la ocurrencia de una sequía hidrológica severa o a cualquiera de las aportaciones mensuales consecutivas (de 1 a 48 meses) a las que corresponda una probabilidad de menor aportación igual o inferior al 4%.

El nivel de inicio de este escenario corresponde a los volúmenes de reservas mensuales en los que se incurriría solamente el 4% de los años. Se asegura un periodo de precaución



mínimo de 12 meses antes de incurrir en el escenario de escasez grave, aún en el caso de que ocurrieran las peores secuencias mensuales.

Se definen tres grados de riesgo de escasez. La incursión en cada uno de los escenarios supone la toma de una serie de medidas que eviten que se entre en un escenario de mayor gravedad, siempre en un contexto probabilístico determinado.

Se distinguen tres escenarios, de menor a mayor importancia:

- ✓ **FASE 1. Escasez severa.** Marca el inicio de una sequía. Se considera una reducción media de la demanda del 9 %. Se utilizan recursos exclusivos, complementarios y estratégicos.
  
- ✓ **FASE 2. Escasez grave.** Es una auténtica situación de sequía. El nivel de inicio del escenario de escasez grave sería el conjunto de valores mensuales de almacenamiento superficiales correspondiente a la ocurrencia de una secuencia hidrológica de menores aportaciones que la sequía hidrológica severa. Se asegura un periodo de precaución mínimo de 24 meses antes de incurrir en el escenario de escasez de emergencia.

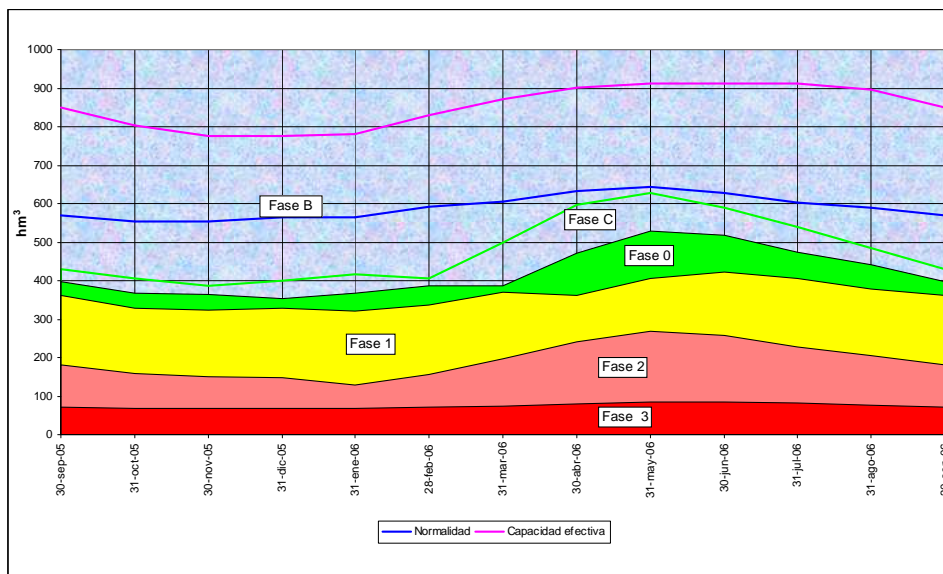
Se provocarían reducciones medias de la demanda de un 26 %. Se utilizan recursos exclusivos, reservas estratégicas, recursos complementarios, reutilización e intercambios de usos.

- ✓ **FASE 3. Escasez de emergencia.** Los niveles de inicio de este escenario son aquéllos en los que solamente se incurriría en el caso de ocurrencia de sequías hidrológicas con aportaciones inferiores a las tipificadas como graves y que además asegurarían un periodo de precaución mínimo de 12 meses para la búsqueda de una solución de emergencia que permitiera recuperar escenarios de menor gravedad.

Se reduce la demanda de la población a 80 l/h/d para uso doméstico y al 50 % las dotaciones normales para el resto de actividades. Se usan recursos complementarios, estratégicos, de reutilización de agua reciclados o intercambios por parte de otros concesionarios.

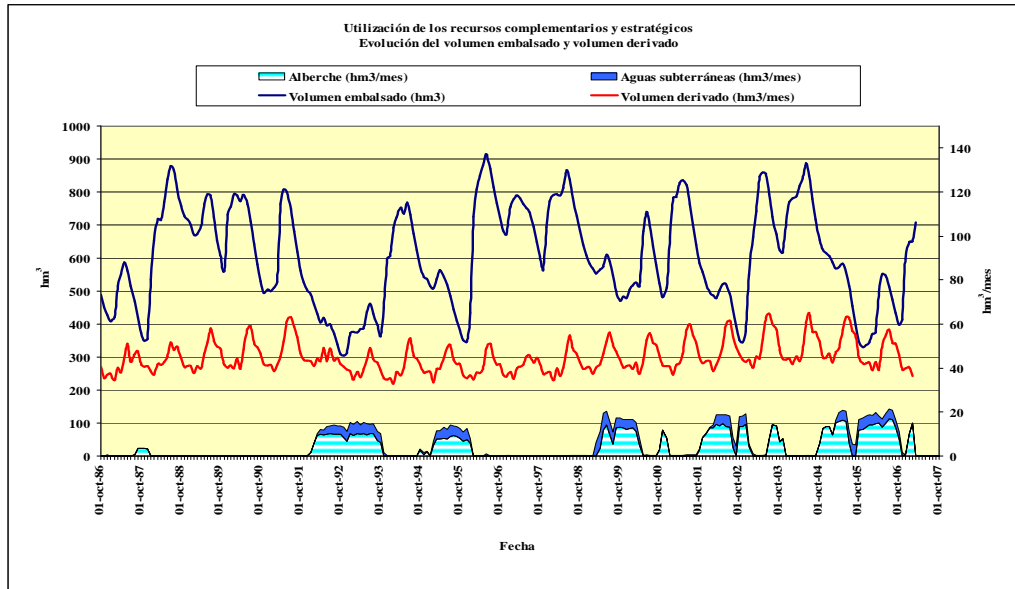
Se tiene en cuenta, además, la curva establecida en el Plan Hidrológico del Tajo, por debajo de la cual se reducen los caudales medioambientales proporcionados a los ríos.

Gráfico 3. Volúmenes almacenados en la red de embalses de Canal Gestión al inicio de cada una de las fases de los distintos escenarios definidos en la gestión del sistema.



El objetivo que se persigue es el de garantizar el abastecimiento en el horizonte de 4 años minimizando el vertido de los embalses y contemplando la satisfacción de caudales ambientales en los ríos durante el mayor tiempo posible.

Gráfico 4. Las aguas subterráneas se utilizan en los períodos de sequía, como complemento de las superficiales, cuyos volúmenes almacenados se ven reducidos.



En el gráfico 4 se puede observar la gran irregularidad en las aportaciones a la red de embalses de Canal Gestión, siendo bastante frecuentes los períodos con reducidos volúmenes embalsados; así como la utilización de las distintas fuentes de suministro disponibles en los últimos veinte años.

## 4.- EL ACUÍFERO TERCIARIO DETRÍTICO DE MADRID

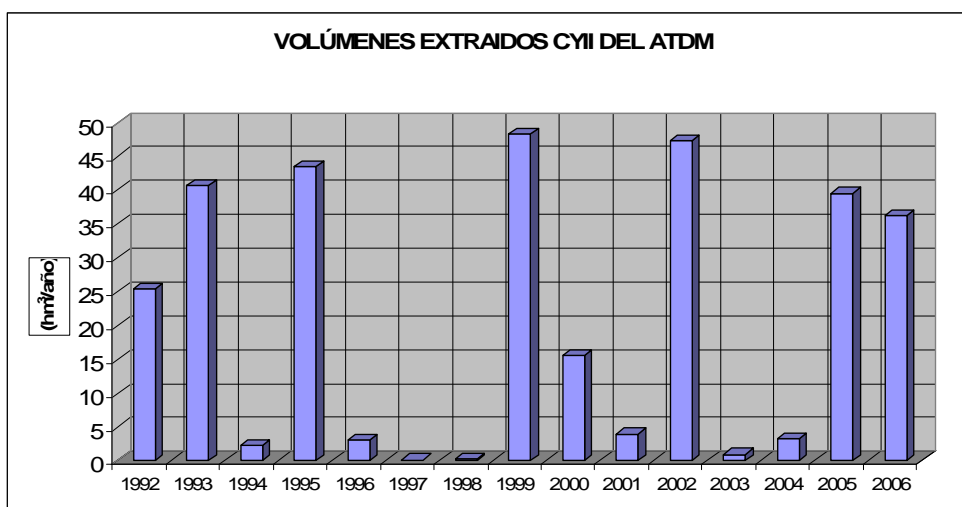
### 4.1.- Aprovechamiento del acuífero por Canal Gestión

Canal Gestión incorporó las aguas subterráneas a su sistema de abastecimiento en la década de los setenta del siglo pasado, por medio de las aguas extraídas en el campo de pozos de Fuencarral. Sin embargo, no es hasta comienzos de la década de los noventa del S. XX cuando comienza a construir la red de campos de pozos de que dispone actualmente, poniéndolos en funcionamiento de acuerdo a lo establecido en su Manual de Gestión de Sequías, primeramente, y al Manual de Gestión del Abastecimiento a partir de 2003, según se ha comentado en el apartado 3.

Desde el año 1992, se han realizado seis períodos de bombeo de larga duración, entre 1 - 1,5 años, en los que se han extraído los siguientes volúmenes:

Gráfico 5. Canal Gestión ha extraído un volumen inferior a 50 hm<sup>3</sup>/año, los años que ha aprovechado el acuífero detrítico desde el año 1992, con un volumen medio equivalente extraído en ese período de 21,5 hm<sup>3</sup>/año.

AÑO	VOLUMEN EXTRAÍDO (hm <sup>3</sup> )
1992 - 1993	66,00
1995 - 1996	45,90
1999 - 2000	62,80
2002	50,40
2005 - 2006	76,00

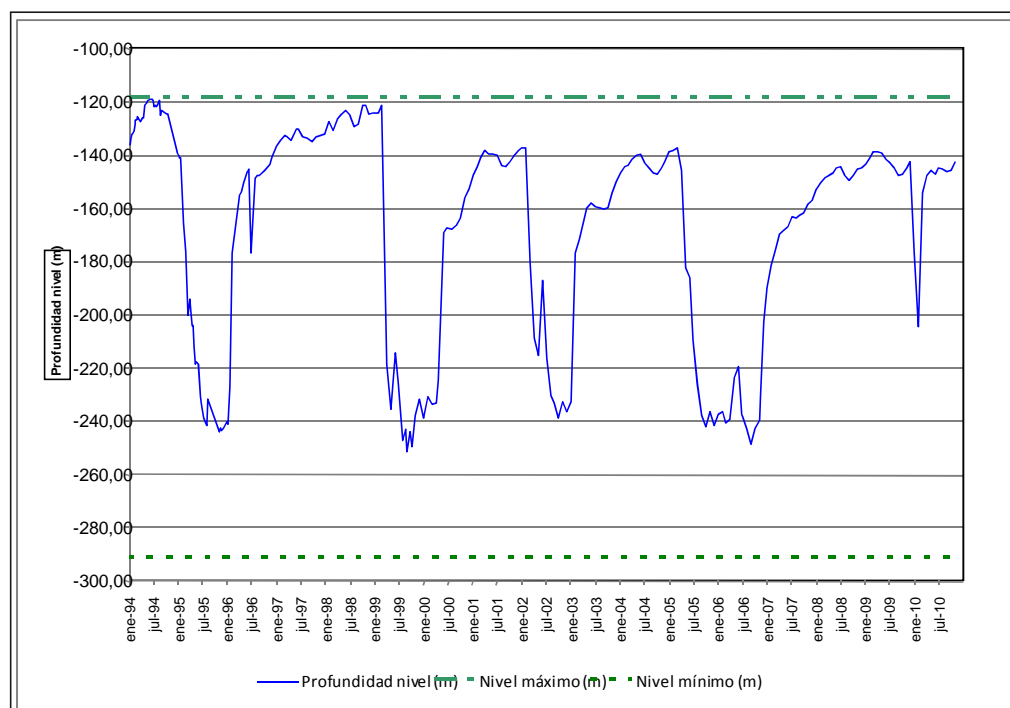


Entre los períodos de bombeo prolongado, en los pozos de Canal Gestión se hacen bombeos de corta duración temporal, unas semanas, para comprobar el funcionamiento de los equipos electromecánicos, de tal que se mantengan en estado operativo. Los volúmenes anuales extraídos en estos bombeos son del orden de 5-6 hm<sup>3</sup> para toda la red de pozos.

El funcionamiento prolongado de estos pozos provoca depresiones del nivel piezométrico superiores a los 100-120 m, alcanzándose una profundidad media del nivel dinámico en el conjunto de la red de pozos de Canal Gestión de 250 m, haciéndose necesario alternar los períodos de bombeo con otros de recuperación en los que únicamente se ponen en marcha

los pozos en las labores de mantenimiento o ante situaciones de contingencias en el sistema de abastecimiento. La duración óptima de los periodos de recuperación está alrededor del doble del tiempo que haya durado el periodo de bombeo, como se pudo comprobar en el periodo de recuperación que siguió al de bombeo de 1995. A once meses de funcionamiento continuado de los pozos, le siguieron más de tres años de parada, alcanzándose una recuperación completa de los niveles piezométricos (gráfico 6).

Gráfico 6. Evolución de la profundidad del nivel piezométrico en la red de pozos de Canal Gestión durante los períodos de bombeo y de recuperación.



Los siguientes períodos de recuperación no han mantenido estas proporciones, observándose la generación de descensos residuales, de bastante pequeña cuantía en comparación con el importante espesor del acuífero, en los niveles piezométricos de las zonas de extracción del Canal Gestión.

Estos descensos se producen en zonas localizadas del acuífero, coincidiendo con aquéllas en las que se concentran importantes extracciones, tal como ponen de manifiesto las observaciones que realiza la Consejería de Medio Ambiente de la Comunidad de Madrid en su red de control piezométrico (Consejería de Medio Ambiente, 2002), que abarca la

totalidad del acuífero dentro del territorio de la Comunidad. Así, para el período 2000/01-2003/04, la relación entre el “volumen de ascenso piezométrico” (superficie de las áreas con subida del nivel piezométrico, multiplicada por los respectivos ascensos) y el “volumen del descenso piezométrico”, calculados a partir de los mapas de isolíneas, es 1,8 veces mayor el “volumen de ascenso piezométrico” que el volumen del descenso; si bien el reparto de las zonas de ascenso y de descenso es muy irregular. Cuando se incluyen los datos del año 2004/05, se invierte esta relación, siendo mayor el volumen de descenso piezométrico, como consecuencia de la importante sequía padecida por la región, que ha provocado una intensa utilización de los recursos del acuífero.

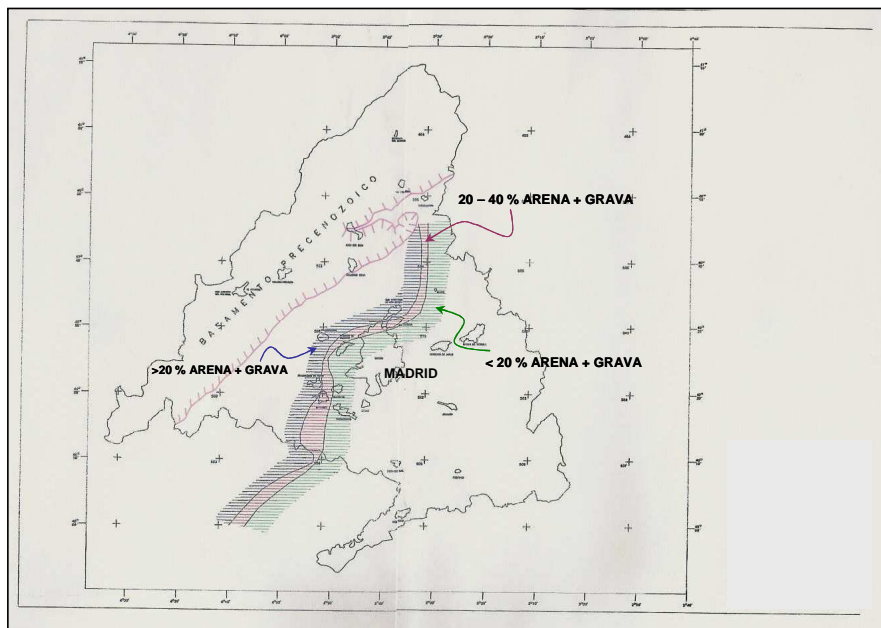
#### 4.2.- Funcionamiento del acuífero

Se han realizado diversos modelos matemáticos de este acuífero desde los años 70 del siglo pasado, con los que analizar su comportamiento ante diversas hipótesis de aprovechamiento. La abundante colección de datos que ha tomado Canal Gestión en su red de pozos y piezómetros en estos últimos años, ha permitido la realización de un modelo matemático de flujo, con el que analizar diversas opciones de aprovechamiento del mismo con la red de pozos de que dispone.

Hidrogeológicamente se han distinguido tres bandas, casi paralelas a la línea de la sierra, en función del tipo de facies: las facies más gruesas, próximas a la Sierra, las intermedias y comienzo de las de transición, tomando como base la distribución de facies del mapa de isoporcentajes en contenido de gravas más arenas definido el estudio Conocimiento geológico del subsuelo productivo de la cuenca miocena de Madrid (CYII - ETSIM, 1994), (gráfico 7).

La recarga se ha tomado como una variable a calibrar, dada la incertidumbre en el conocimiento de su cuantía y modo de producirse, tanto geográfica como temporalmente.

Gráfico 7. Mapa de isoporcentaje de gravas y arenas en el acuífero (CYII-ETSIM, 1994)

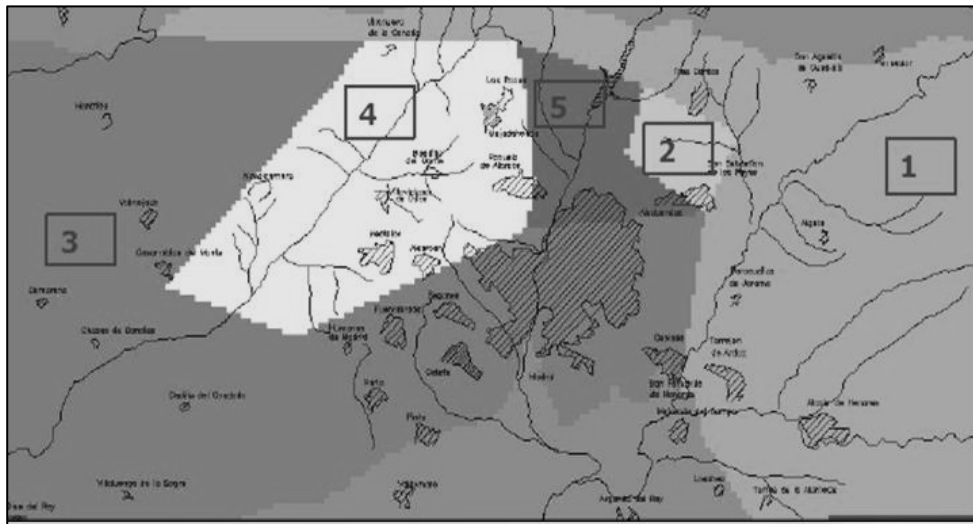


Se han distinguido cinco zonas en función del mejor o peor rendimiento de las captaciones existentes en cada una de ellas (gráfico 8), de las cuales la más favorable es la número 5, en la que se encuentran los campos de pozos Fuencarral y sur del Canal Bajo (norte de la ciudad de Madrid, junto a El Pardo y Fuencarral), que aportan casi el 50 % del volumen extraído por Canal Gestión. Los valores de los parámetros hidrogeológicos asignados a cada zona se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores de los parámetros de la zonificación definida

ZONACION	PARAMETRO		
	S (%)	$k_v$ (m/d)	$k_h$ (m/d)
ZONA 1	0.60	0.03	0.06
ZONA 2	0.90	0.05	0.09
ZONA 3	1.50	0.08	0.15
ZONA 4	2.00	0.10	0.20
ZONA5	3.00	0.15	0.30

Gráfico 8. La calibración del modelo ha requerido la definición de una zonificación del acuífero, en base al diferente comportamiento de las mismas durante la explotación de los pozos del Canal Gestión en las mismas (Canal de Isabel II, 2005).



El análisis con el modelo realizado de las series piezométricas registradas en la red de pozos y piezómetros de Canal Gestión en el período 1992-2002 indica algunas consideraciones sobre el funcionamiento del acuífero, tomando las extracciones realizadas tanto por Canal Gestión como por el resto de usuarios:

- Descenso acumulado de niveles, al final de un ciclo de 20 años, en las zonas de extracción de Canal Gestión superiores a 20 m, con zonas de hasta 60 m.
- Los bombeos de la capa inferior usan agua procedente de las reservas de la capa superior, que se transmite verticalmente a la inferior.
- En recuperación el agua procede horizontalmente de las áreas adyacentes, que rellenan los conos de bombeo generados llegando a reponer las reservas de la capa superior.
- El coeficiente de almacenamiento del acuífero libre regula la cantidad de agua aportada por la capa superior, así como la permeabilidad vertical.



Se han definido cuatro grupos de hipótesis, con ciclos a 20 años, en las que se han simulado bombeos continuos, sin períodos de recuperación; bombeos de dos años al 100 % de la capacidad de bombeo, o al 100 % el primer año y el segundo al 60 % de la misma, seguidos de períodos de recuperación de dos años, que al final del ciclo de veinte años pueden ser cuatro de parada en algunas hipótesis; junto a otras en las que el primer año de la recuperación se realizarían operaciones de recarga artificial del acuífero. En todos los casos se supuso que todos los años los usuarios del acuífero externos a Canal Gestión extraían 52 hm<sup>3</sup>. Las extracciones netas en los ciclos de veinte años simulados en la red de pozos de Canal Gestión serían de entre 69 y 115 hm<sup>3</sup>/año, tanto si se realizase recarga artificial o no; actuando la recarga artificial como si las extracciones simuladas fuesen menores.

Los resultados obtenidos indican que cuanto mayor es la extracción neta media, mayores son los descensos piezométricos al final del ciclo, independientemente del ritmo de bombeo y recuperación, o de que se haga recarga artificial; ya que ésta reduce la extracción neta y, por tanto, el tiempo necesario de recuperación.

Los descensos obtenidos están entre 10 y 60 m, según las zonas de extracción, para extracciones medias de 90 hm<sup>3</sup>/año, produciéndose los mayores en las áreas de los campos de pozos Canal Alto y Canal Bajo (al norte de la ciudad de Madrid, entre la Universidad Autónoma y Tres Cantos), y los menores en el campo de pozos de Fuencarral. Estos descensos son bastante razonables, teniendo en cuenta el gran espesor del acuífero.

La recarga natural no influye a medio plazo, dada la gran inercia del acuífero, aunque sí que condiciona la evolución del acuífero a largo plazo.

### 4.3.- Calidad del agua de acuífero

La calidad del agua del acuífero varía con la profundidad, siendo relativamente baja la mineralización en la denominada Unidad Detrítica Superior del Neógeno, (facies de más del 20 % de arenas más gravas marcada en el mapa de la gráfico 8), que aparece hasta los 500 - 700 m de profundidad, según el Estudio Conocimiento geológico del subsuelo productivo de la cuenca Miocena de Madrid (Canal de Isabel II-ETSIM, 1994), con conductividades de hasta 1000 μS/cm. El gradiente de conductividad en esta unidad es de 50 μS/cm por cada 100 m. Por debajo de esta unidad se encuentran las unidades Detríticas del Paleógeno, separadas de la unidad neógena, en algunas zonas como el sondeo El Pradillo, por una serie

de arcillas con picos muy acusados de radiactividad. En los materiales del Paleógeno las aguas están muy mineralizadas, presentando conductividades de 17.000 a 25.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , con gradientes de conductividad con la profundidad de 2.500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  por cada 100 m (Canal de Isabel II-ETSIM, 1994).

La separación entre ambas unidades es variable, apareciendo a 779 m en el sondeo geotérmico de Tres Cantos, a 686 m en el de San Sebastián de los Reyes, o a 587 m en el sondeo de petróleo de El Pradillo; mientras que en Tielmes aparece a 223 m y Alcalá de Henares a 496 m.

Esta distribución en la vertical de la calidad del agua del acuífero condiciona la profundidad máxima de los sondeos de captación de aguas para abastecimiento; pudiéndose, por tanto, realizar pozos de hasta 700 m de profundidad en las zonas de mayor espesor de la Unidad Detrítica Superior del Neógeno, alejadas de las facies de transición o las de centro de cuenca, caso de los interfluvios Manzanares-Jarama, Guadarrama-Manzanares o Alberche-Guadarrama. Así, Canal Gestión ha repuesto la mayoría de pozos del campo de Fuencarral, en el que los nuevos pozos perforados tienen profundidades de alrededor de 700 m; mientras que los construidos inicialmente eran de 500 m de profundidad.

El R.D. 140/2003, sobre criterios sanitarios de aguas de consumo humano, fija un valor paramétrico de 10  $\mu\text{g}/\text{l}$  para el arsénico. En las zonas del acuífero en las que se concentran los mayores grados de explotación, correspondientes con aquéllas que se encuentran sobre materiales detríticos de las facies intermedias de los acuíferos aluviales, se supera este nivel paramétrico.

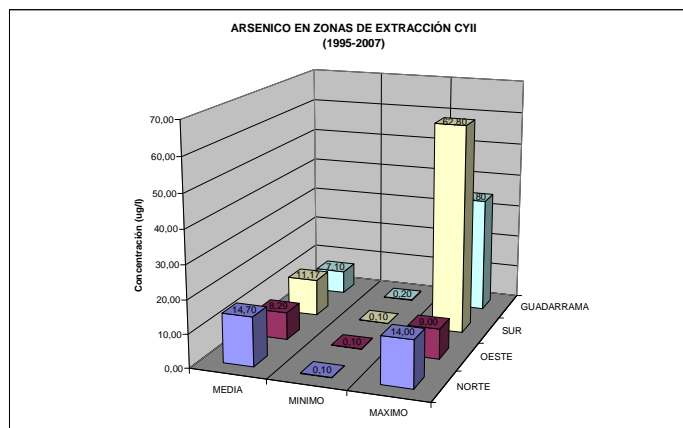
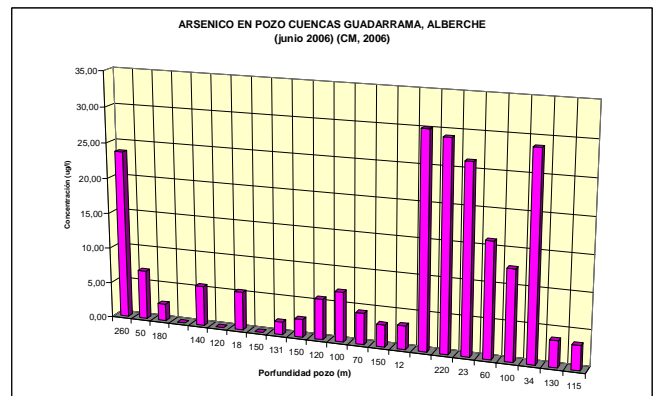
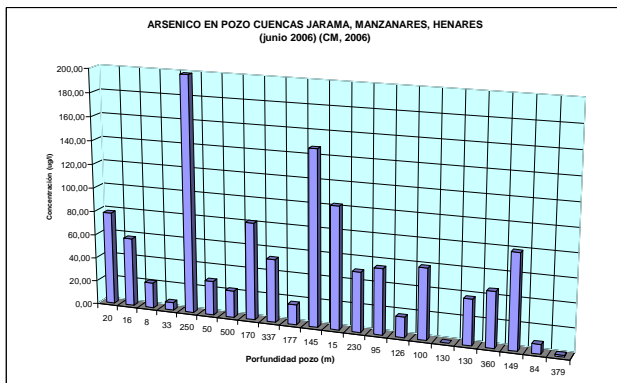
El contenido de arsénico en las aguas subterráneas extraídas en la red de pozos de Canal Gestión aumenta con el tiempo de explotación. Los valores son muy bajos inicialmente, entre 1-3  $\mu\text{g}/\text{l}$ , llegándose a valores de 12-14  $\mu\text{g}/\text{l}$  tras varios períodos de bombeo. La zona con concentraciones más altas, superiores a los 40  $\mu\text{g}/\text{l}$  es la del campo de pozos de Batres, junto al río Guadarrama (gráfico 11).

En las zonas sin explotación o con extracciones muy bajas, caso del área sur del campo de pozos del Guadarrama, en Navalcarnero, el rango de concentraciones de arsénico en agua está entre 0,8 -1,4  $\mu\text{g}/\text{l}$ , con un valor medio de 1,1  $\mu\text{g}/\text{l}$  (Canal de Isabel II-URJC, 2005).

No se observa ninguna correlación entre la concentración de arsénico en las aguas y la profundidad del pozo, como se puede ver en las figuras del gráfico 9, en la que los valores más altos se producen tanto en pozos de 25-35 m de profundidad como en los de 230-280 m.

En el diseño del campo de pozos del Guadarrama, actualmente en construcción, se ha tenido en cuenta este incremento de la concentración de arsénico en las aguas del acuífero con la explotación, habiéndose construido sendas estaciones de tratamiento en los extremos norte (Majadahonda) y sur (Griñón) del campo, por las que se harán pasar las aguas extraídas previamente a su entrada en la red de distribución.

Gráfico 9. Los valores más altos de arsénico en las aguas subterráneas extraídas en la red de pozos de Canal Gestión se producen en la zona de Batres, al sur del valle del Guadarrama, con valores medios superiores a los 10 µg/l. No hay correlación entre las concentraciones de arsénico y la profundidad del pozo; produciéndose aumentos con mayores grados de extracción.



#### 4.4.- Recarga artificial del acuífero

Entre los años 1992 y 2006, la evolución de las aportaciones recibidas en la red de embalses de Canal Gestión y de los volúmenes derivados no ha permitido seguir la secuencia de alternancia de períodos de bombeo y de recuperación expuesta en el apartado 4.1. Así, frente a una previsión de funcionamiento de los pozos del 25 % del tiempo, han estado en bombeo un 40 % del tiempo. Como consecuencia, no se habían completado la recuperación del período de bombeo anterior, cuando era necesario volver a ponerlos en servicio (gráfico 6).

En los períodos de recursos abundantes en la red de embalses, en los que el sistema de abastecimiento se encuentra en fases A o B del escenario de Normalidad, definido en el apartado 3, se puede disponer de volúmenes de agua considerables, que pueden ser utilizados en mejorar el estado del acuífero, tanto en cantidad como en calidad, así como realizar una regulación adicional de recursos superficiales, aplicando las técnicas de recarga artificial de acuíferos a través de los pozos de bombeo.

Un elevado número de los pozos de Canal Gestión se encuentran en las proximidades de las grandes redes de aducción o de depósitos de regulación, siempre aguas abajo de las plantas potabilizadoras. Esta disposición permite disponer de agua, con un control de su calidad, que cumple los requisitos máximos de calidad al haber pasado por una planta potabilizadora y ser apta para consumo humano; aspecto este último fundamental en la viabilidad de los procesos de recarga artificial, máxime en acuíferos complicados como el detrítico de Madrid.

La aplicación de las técnicas de recarga artificial profunda, por medio de pozos de bombeo recarga (ASR), complementando a la recarga natural, puede contribuir a conseguir un mayor grado de recuperación al comienzo del nuevo período de bombeo; contribuyendo a una gestión más sostenible del acuífero, realizando, al mismo tiempo, una gestión más intensa del mismo, basada en la utilización conjunta de los recursos superficiales y subterráneos. La aplicación de estas técnicas, equivaldría a extraer menores volúmenes en los períodos de bombeo, según han puesto de manifiesto las simulaciones realizadas con el modelo matemático de flujo realizado, expuesto en el apartado 4.2.

Se están realizando experiencias de recarga artificial, con las que perfeccionar los dispositivos de recarga. Si sus resultados son positivos, la aplicación de estas técnicas en la red de pozos de Canal Gestión en este acuífero permitirían:

- Contribuir a la sostenibilidad del acuífero, reduciendo los tiempos de recuperación tras los períodos prolongados de bombeo, contribuyendo a una gestión más equilibrada del mismo.
- Aprovechar caudales no regulados en los embalses superficiales en períodos de vertido, almacenándolos en el acuífero subterráneo para su utilización en períodos de sequía. Con ello se lograría una regulación adicional de los recursos superficiales.

## 5.- CONCLUSIONES

Las aguas del acuífero terciario detrítico de Madrid son un recurso de gran importancia en el abastecimiento de agua de la Comunidad de Madrid, dado el gran volumen almacenado y su buena calidad química, al menos en los primeros centenares de metros. Para conservar dichos recursos, el Plan Hidrológico de la cuenca del Tajo ha definido un Perímetro de Protección de la cantidad dentro del mismo.

Canal de Isabel II Gestión, S.A. también da esta misma importancia a estos recursos, por lo que ha integrado su gestión junto con la de los demás recursos de los que dispone, lo que le permite reservar su uso para los momentos de sequía o en escenarios previos a la misma. Ello permite alternar los períodos de bombeo con los de recuperación, durante los cuales lograr el mayor grado de recuperación del nivel piezométrico, de tal manera que se reduzcan al máximo las afecciones causadas a los ecosistemas hidrosdependientes del acuífero; contribuyendo a un uso sostenible del mismo, de acuerdo con los objetivos marcados en la Directiva 2000/60/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo.

Los descensos que se pueden provocar de los niveles piezométricos a medio plazo, ciclos de 20 años, con los ritmos y volúmenes de extracción realizados tanto por Canal Gestión como por el resto de usuarios del acuífero, semejantes a los que se hacen actualmente, estarían en el rango entre 10 y 60 m en las zonas de extracción del Canal Gestión. Estos

valores son bastante razonables, teniendo en cuenta el gran espesor del acuífero, lo que pone de manifiesto la sostenibilidad del aprovechamiento que se realiza del mismo.

Las aguas extraídas se pueden considerar de buena calidad, con una baja mineralización. La concentración de arsénico ha ido aumentando con el tiempo en las principales zonas de extracción, habiéndose llegado a valores, generalmente, superiores al valor paramétrico fijado por la reglamentación de aguas de abastecimiento humano vigente (10 µg/l); por tanto, se hace necesario el tratamiento de estas aguas, para eliminar dicho elemento. Canal Gestión ha tenido esto en cuenta en el diseño del campo de pozos del Guadarrama, habiendo conectado la arteria colectora de todas las aguas bombeadas a sendas estaciones de tratamiento (en Majadahonda al norte y en Griñón al sur).

La aplicación de las técnicas de recarga artificial de acuíferos, a través de los pozos de bombeo, utilizando aguas de máxima calidad, aptas para consumo humano, pueden ser de gran interés, contribuyendo a lograr un mejor estado del acuífero, al ser equivalentes a la extracción de un mejor volumen de agua durante los períodos de bombeo.

(Basado en el texto de la comunicación presentada conjuntamente con Bernardo López-Camacho en Ciclos Complutenses Ciencia y Sociedad “Madrid del Agua. Problemas Hídricos” (2006).

#### BIBLIOGRAFIA:

Conocimiento geológico del subsuelo productivo de la cuenca Miocena de Madrid. Estudio interno. Canal de Isabel II - E.T.S. I. de Minas de Madrid (1994).

Desarrollo de un modelo de flujo del acuífero detrítico explotado por el Canal de Isabel II. Informe interno. Canal de Isabel II (1997).

Manual de abastecimiento del Canal de Isabel II. Canal de Isabel II (2003).

Revisión del modelo de flujo del acuífero detrítico terciario de Madrid explotado por el Canal de Isabel II. Informe interno. Canal de Isabel II (2004).

Estudio del origen y movilización del arsénico presente en las aguas subterráneas de la cuenca de Madrid. Canal de Isabel II - Universidad Rey Juan Carlos (2005).

Control y seguimiento ambiental del acuífero detrítico terciario de la Comunidad de Madrid. Informe de divulgación del estudio. Comunidad de Madrid. Consejería de Medio Ambiente (2002).

Directiva 2000/60/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de acción en el ámbito de la política de aguas.

Gestión del abastecimiento y de las sequías. González Igualada, Ricardo (2007).Apuntes Máster en Hidrología y Gestión de Recursos Hídricos.

Estrategias de gestión y uso eficiente del agua en los abastecimientos urbanos. Caso de la Comunidad de Madrid. López-Camacho y Camacho, Bernardo (2004). II Congreso Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente.

Problemática y gestión de un acuífero con arsénico. Moreno Velasco, Carlos y Sarmiento González, Manuel (2002).XXII Jornadas técnicas AEAS.

Plan Hidrológico de la cuenca del Tajo (O. de 13 de agosto de 1999).

Esquema de Temas Importantes de la demarcación hidrográfica de la cuenca del Tajo (2010).