



UNIVERSIDAD DE MURCIA

FACULTAD DE BIOLOGÍA

Gestión conjunta de recursos hídricos a escala local.

Aplicación del modelo Simges al caso de Hellín

(Albacete)

D. Julio Pérez Sánchez

2013



UNIVERSIDAD DE MURCIA

**Programa de Doctorado en Tecnología, Administración y
Gestión del Agua**

GESTIÓN CONJUNTA DE RECURSOS HÍDRICOS A ESCALA LOCAL.
APLICACIÓN DEL MODELO SIMGES AL CASO DE HELLÍN (ALBACETE)

Memoria de investigación para optar al
grado de Doctor presentada por Julio Pérez
Sánchez bajo la dirección del Dr. Javier Senent
Aparicio.

Fdo.: Julio Pérez Sánchez

Facultad de Biología
Murcia, 2013



UNIVERSIDAD DE
MURCIA

D. Javier Senent Aparicio, Doctor de Universidad del Área de Hidrología en el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad Católica San Antonio de Murcia, AUTORIZA:

La presentación de la Tesis Doctoral titulada "Gestión conjunta de recursos hídricos a escala local. Aplicación del modelo SIMGES al caso de Hellín (Albacete).", realizada por D. Julio Pérez Sánchez, bajo mi inmediata dirección y supervisión, y que presenta para la obtención del grado de Doctor por la Universidad de Murcia.

En Murcia, a 6 de junio de 2013

Índice de capítulos

Capítulo I Introducción.	1
Capítulo II Gestión conjunta de recursos hídricos a escala local.	9
Capítulo III Modelización de la Gestión de Recursos Hídricos. El modelo SIMGES.	59
Capítulo IV Área de estudio.	96
Capítulo V Análisis del acuífero del Boquerón.	130
Capítulo VI Datos y metodología.	178
Capítulo VII Resultados y discusión.	223
Capítulo VIII Conclusiones y recomendaciones.	251
Referencias bibliográficas.	258
Anejos.	290
Índice de tablas.	333
Índice de figuras.	335
Índice de fotografías.	340
Acrónimos utilizados	341

Índice de contenido.

Capítulo I

Introducción.	1
----------------------	----------

Capítulo II

Gestión conjunta de recursos hídricos a escala local.	9
--	----------

II.1. Regulación y gestión de los recursos hídricos	10
II.2. Capacidad de almacenamiento de los acuíferos	15
II.3. Almacenamiento subterráneo con recuperación (ASR)	17
II.4. La madurez hídrica	20
II.4.1. Reseña histórica del aprovechamiento de las aguas subterráneas	20
II.4.2. El uso de las aguas subterráneas en España	23
II.4.3. La revolución silenciosa	25
II.4.4. El concepto de Sobreexplotación	28
II.5. Uso conjunto de aguas superficiales y aguas subterráneas	33
II.5.1. La necesidad de una política de planificación	33
II.5.2. Diferencias y semejanzas entre aguas superficiales y subterráneas	35
II.5.3. Hidroesquizofrenia e hidromitos	39
II.5.4. Ventajas del Uso Conjunto	41
II.5.5. Análisis de la gestión conjunta de recursos	45
II.6. Gestión local de recursos hídricos	47
II.6.1. Bases legales	47
II.6.2. La Gestión Integral de Recursos Hídricos (GIRH)	50
II.6.3. El factor escala en la Gestión de Recursos Hídricos	54

Capítulo III

Modelización de la gestión de recursos hídricos. El modelo SIMGES.	59
---	-----------

III.1. Modelización Matemática de la gestión de recursos hídricos	59
III.2. Antecedentes	64
III.2.1. Modelos específicos	64
III.2.2. Modelos generales	65
III.3. Modelo SIMGES	69

III.3.1. Interfaz AQUATOOL	73
III.3.2. Elementos del modelo	74
III.3.2.1. Nudo	75
III.3.2.2. Embalse	76
III.3.2.3. Aportación	77
III.3.2.4. Demanda consuntiva o toma	78
III.3.2.5. Retorno Superficial	79
III.3.2.6. Demanda no consuntiva	79
III.3.2.7. Conducción	79
III.3.2.8. Acuífero	81
III.3.2.9. Bombeo adicional y recarga artificial	83
III.3.3. Reglas de operación	83
III.3.4. Función objetivo	83
III.4. Modelo Aquival	90
III.5. Limitaciones del modelo SIMGES	94

Capítulo IV

Área de estudio.	96
IV.1. Marco geográfico	96
IV.2. Demografía	98
IV.3. Sector económico	100
IV.4. Ocupación del suelo	102
IV.5. Redes de Abastecimiento y Saneamiento	110
IV.6. Infraestructuras hidráulicas	111
IV.6.1. Embalse del Talave	112
IV.6.2. Embalse de Camarillas	114
IV.6.3. Embalse del Boquerón	116
IV.6.4. Canal de Hellín	118
IV.6.5. Elevación de Abastecimiento a Hellín	121
IV.6.6. Planta potabilizadora	122
IV.6.7. Estación depuradora	125
IV.7. Hidrología superficial	126
IV.8. Hidrogeología	126

Capítulo V

Análisis del acuífero del Boquerón. 130

V.1. Situación administrativa	130
V.2. Geomorfología	133
V.3. Antecedentes	135
V.4. Hidrometeorología	139
V.4.1. Temperatura	140
V.4.2. Pluviometría	141
V.4.3. Evotranspiración Potencial	142
V.5. Marco Geológico	144
V.5.1. Estratigrafía	145
V.5.2. Tectónica	152
V.6. Marco hidrogeológico	152
V.7. Superficie permeable	161
V.8. Balances y reservas	162
V.9. Explotaciones agrícolas	165
V.10. Características Hidráulicas	169
V.11. Control de la calidad Acuífero de El Boquerón	172
V.12. Experiencias de recarga artificial en el Acuífero de El Boquerón	174

Capítulo VI

Datos y metodología. 178

VI.1. Modelización del Acuífero el Boquerón	180
VI.1.1. Parámetros Hidrogeológicos	182
VI.1.2. Acciones Elementales	190
VI.1.3. Parámetros de Control	191
VI.1.4. Validación del modelo	192
VI.2. Modelo SIMGES	194
VI.2.1. Aportaciones	194
VI.2.1.1. Canal de Hellín	195
VI.2.1.2. Impulsión de Hellín	196
VI.2.1.3. Recarga de lluvia del acuífero del Boquerón	197
VI.2.1.4. Recarga de lluvia del acuífero de Umbría	201
VI.2.1.5. Otras Aportaciones	201

VI.2.2. Demandas	203
VI.2.2.1. Comunidad de Regantes Martínez Parras	204
VI.2.2.2. Comunidad de Regantes Fuente de Isso	206
VI.2.2.3. Sociedad Agraria de Transformación Ojeado	206
VI.2.2.4. Comunidad de Regantes de Peñarrubia	208
VI.2.2.5. Demanda urbana de Hellín	208
VI.2.2.6. Retornos de riego	210
VI.2.2.7. Retornos de consumo urbano	211
VI.2.3. Nudos	211
VI.2.4. Conducciones	212
VI.2.5. Bombeos	213
VI.2.6. Acuífero	214
VI.2.7. Prioridades de elementos	216
VI.2.8. Garantías de suministro	216
VI.3. Escenarios de simulación	217
VI.3.1. Escenario 1: Gestión Actual	218
VI.3.2. Escenario 2: Incorporación de Acuífero del Boquerón como “depósito de regulación” (gestión conjunta).	220
VI.3.3. Escenario 3: Cumplimiento de la Directiva Marco el Agua	221
 Capítulo VII	
Resultados y discusión.	223
VII.1. Validación de la modelización del acuífero del Boquerón	224
VII.2. Análisis de los resultados para gestión actual (Escenario 1)	227
VII.2.1. Demanda Urbana	228
VII.2.2. Comunidad de regantes de Martínez Parras	230
VII.2.3. Comunidad de regantes Fuente de Isso	232
VII.2.4. Sociedad Agraria de Transformación Ojeado	234
VII.2.5. Comunidad de Regantes de Peñarrubia	235
VII.2.6. Acuífero del Boquerón	236
VII.3. Análisis de los resultados para gestión conjunta (Escenario 2)	241
VII.3.1. Demanda Urbana	241
VII.3.2. Comunidad de regantes de Martínez Parras	241
VII.3.3. Comunidad de regantes Fuente de Isso	244

VII.3.4. Sociedad Agraria de Transformación Ojeado	245
VII.3.5. Comunidad de Regantes de Peñarrubia	245
VII.3.6. Acuífero del Boquerón	245
VII.4. Cumplimiento de la DMA	249
 Capítulo VIII	
Conclusiones y recomendaciones.	251
Conclusiones generales	251
Conclusiones específicas	254
Futuras líneas de investigación	256
 Referencias bibliográficas.	258
 Anejos.	290
Anejo 1. Fichas oficiales de los recursos superficiales de Hellín	290
Anejo 2. Concesiones de Confederación Hidrográfica del Segura del aprovechamiento de las aguas subterráneas del acuífero del Boquerón	292
Anejo 3. Parámetros utilizados en AQUIVAL para la validación del modelo del acuífero del Boquerón	305
 Índice de tablas.	333
 Índice de figuras.	335
 Índice de fotografías.	340
 Acrónimos utilizados.	341

Capítulo I

Introducción.

La humanidad se enfrenta a comienzos del siglo XXI a una crisis mundial del agua. Tener un acceso seguro y suficiente al agua potable se reconoce como un derecho humano básico en acuerdos y declaraciones internacionales (ONU, 2000).

España ha alcanzado la madurez hídrica en la década de los 90 (Fernández, 2008), es decir, su demanda total ha sobrepasado la mitad de sus recursos y aparentemente mantiene su tendencia general del último siglo en cuanto a la gestión hídrica. La gestión hídrica del país encara serias dificultades como son los periodos de sequía concurrentes, la sobreexplotación de acuíferos, la intrusión marina en varias zonas del litoral, la contaminación de masas de agua, el permanente “hidrocidio” (Llamas, 2008) de aguas potables, etc., cuya solución pasa por la consideración de recurso único en el agua y de la gestión conjunta del mismo.

El clima en países semiáridos, como es el caso de la España meridional, se caracteriza por la enorme variabilidad interanual de las precipitaciones. La respuesta de las administraciones españolas ante este problema siempre ha sido de carácter improvisado y de emergencia. El único enfoque adoptado para la mitigación de los efectos de las sequías ha sido el fomento de políticas de aumento de los recursos, mediante la construcción de grandes infraestructuras (embalses, trasvases, etc.) con declaración de interés general, financiadas por el Estado, con el consiguiente coste económico, social y medioambiental.

Frente a estas presiones sobre los recursos hídricos y ante un crecimiento de la demanda agraria en torno a un 33% en los próximos 40 años (Singh, 2012a), se hace necesario el planteamiento de una modificación en la independencia del uso de

recursos llevada hasta el momento. Debido a la interrelación que existe entre aguas subterráneas y superficiales, así como de la exigencia lógica de considerar el uso conjunto y/o alternado de ambas, el agua se debe analizar como recurso único (Winter et al 1998).

Se denomina gestión conjunta de recursos hídricos al proceso de combinar la capacidad natural de los embalses subterráneos con la capacidad artificial de los embalses de superficie para que conjuntamente puedan hacer frente a las demandas. Ello implica que se debe determinar cuándo es preciso bombear y en qué cantidad y cuándo es preciso recurrir a los recursos superficiales.

Los embalses superficiales y subterráneos no necesariamente deben estar vecinos físicamente, para poder realizar la regulación conjunta, sino que solamente es preciso que se encuentren conectados dentro de un mismo sistema hídrico, en el que exista la posibilidad de atender a una misma demanda.

Las ventajas que representa el uso conjunto de los embalses superficial y subterráneo consisten fundamentalmente en alcanzar unas garantías de suministro cercanas al 100% con un costo relativamente bajo. Obtener estas garantías con embalses de superficie únicamente tendría un costo excesivamente elevado y la mayor parte de las veces no rentable.

Hay que destacar que desde el punto de vista del rendimiento económico conseguido, al incrementar las garantías frente a las demandas agrícolas, se consigue un aseguramiento de su producción así como un rendimiento de las mismas, con el consiguiente beneficio para el marco socioeconómico de la región donde sea factible su aplicación. Existe, por otra parte, abastecimientos industriales, en los que un corte del suministro de agua puede ser catastrófico. Lo mismo sucede con el abastecimiento urbano en algunos casos.

La regulación conjunta precisa de un conocimiento específico de las relaciones espacio-temporales tanto cualitativas como cuantitativas entre los acuíferos y los cursos o conducciones superficiales. Sólo así es posible llegar a una utilización óptima

de las aportaciones totales, considerando una unidad hidrológica como tal, en que parte de la escorrentía pueda presentarse en forma superficial y parte en forma subterránea.

El conocimiento de las aportaciones, debido a su carácter de discretización tanto espacial como temporal, precisa de un detallado conocimiento del sistema acuífero. Esto se refiere a las características geométricas, hidráulicas y de funcionamiento. Su conocimiento permitirá determinar dónde se encuentra el agua subterránea, cómo se puede obtener y también cuantitativamente, de dónde procede el agua que ingresa en el acuífero, hacia dónde se dirige y la forma de escurrimiento.

El aprovechamiento de los acuíferos, como embalses de regulación, puede enfocarse en dos maneras diferentes, a saber, como regulación natural y como regulación artificial.

La regulación natural se basa en la extracción, dentro de un período de tiempo, de un volumen similar al ingreso en el mismo período. Dicho volumen se recupera, ya sea en un plazo igual o mayor al de extracción, obteniéndose de esa forma la regulación. En la mayoría de los casos, un buen aprovechamiento de los acuíferos, debe tender a una regulación hiperanual, pues de esa forma es posible reutilizar, como volante de seguridad, la enorme capacidad de almacenamiento de estos embalses. En cualquier caso, siempre es necesario tener presente que con la regulación no se puede obtener agua más allá de las entradas naturales y que si aumentan las extracciones, éstas repercutirán tarde o temprano en una disminución de las salidas en cualquiera de sus formas.

La regulación por métodos artificiales guarda relación con los casos en que se aumentan deliberadamente las entradas de agua al acuífero por medio de la recarga artificial. Este sistema permite "regular" aguas que no necesariamente proceden del acuífero y que muchas veces no tendrían otra oportunidad de ser aprovechadas. La recarga artificial emplea la capacidad de embalse del acuífero, rellenando el espacio del acuífero que se ha vaciado, ya sea como producto de un proceso natural o debido a las explotaciones. Las procedencias más usuales del agua para la recarga artificial son las

avenidas de los ríos, excesos de derivación para regadíos y efluentes de aguas depuradas. La gran mayoría de los regadíos, sobre todo en zonas con abundancia relativa de agua, carecen de sistemas de regulación nocturna e invernal, perdiéndose el caudal continuo que escurre por las acequias. Estas aguas son de inestimable valor para su aprovechamiento en recarga artificial debido a la regularidad de su caudal y a que en general carecen de sólidos en suspensión. Los efluentes de los residuos líquidos e industriales, previamente depurados, son asimismo un buen origen de aportaciones a los acuíferos. Muchas veces esto constituye la única posibilidad de empleo de esas aguas, ya que sería muy costosa la construcción de pequeñas presas para la regulación de esos caudales. El hecho de infiltrarlas permite además una última fase de depuración, a la vez que elimina el factor psicológico de rechazo a emplear un agua proveniente de un efluente urbano e industrial. La forma antes expuesta posibilita el empleo del acuífero como embalse regulador, aumentando considerablemente sus aportaciones naturales.

Asociado a la visión de una gestión sostenible y equitativa de los recursos, surge a finales del siglo XX el paradigma de la Gestión Integral de los Recursos Hídricos, cuya base de aplicación parte de considerar la demarcación hidrográfica como unidad de funcionamiento. En esta última década se viene abogando por una abstracción en escala de este enfoque en el que, tanto los límites administrativos como los físicos del recurso proporcionado, puedan considerarse como subunidades de gestión hídrica, aunque siempre dependientes y bajo la supervisión de la confederación hidrográfica a la que pertenezca. La gestión conjunta de los recursos hídricos a escala local no es sino un paso complementario, que no excluyente, en la consecución de las filosofías de eficacia, sostenibilidad y participación auspiciadas y promovidas por los organismos internacionales bajo los principios de la declaración Dublín.

Se ha seleccionado el municipio de Hellín como aplicación de estas consideraciones ya que, prácticamente, la totalidad del mismo se asienta sobre masas de aguas subterráneas (95,94%), hecho que resalta la gran importancia que tienen los acuíferos y sus recursos asociados con el desarrollo y la actividad económica de la zona. En este sentido, se han evaluado las distintas alternativas que ofrece el término en relación con los recursos disponibles, tanto superficiales como subterráneos, así

como las aportaciones y demandas asociadas, la localización geográfica y la posibilidades de interrelación entre recursos superficiales y “embalses” subterráneos. Además, los regadíos que se abastecen con aguas procedentes del río Mundo a través del llamado canal de Hellín son los que tienen mayor importancia en el municipio (38%), seguido por las aguas subterráneas que representan el 34,51% del total de la superficie. Ambas unidades abarcan más del 70% de la superficie de regadío de Hellín, lo que proporciona una idea de los posibles beneficios de la integración y regulación de los recursos utilizados por ambas.

El canal de Hellín, que tiene capacidad para transportar un caudal de 1 m³/s, conduce las aguas desde el río Mundo, a la altura de Liétor, hasta la cabecera de riego de Hellín, pasando, en el último tramo de su recorrido, por el límite sur del llamado acuífero del Boquerón, lo que lo hace idóneo para que funcione como embalse regulador del sistema local, recibiendo los excedentes de los recursos superficiales del citado canal y aportando parte de los volúmenes demandados, participando activamente en la regulación del sistema hídrico asociado.

La aplicación del modelo SIMGES (Andreu et al., 2007), desarrollado por la Universidad Politécnica de Valencia, es una opción rápida y eficaz de modelización de la gestión conjunta de recursos hídricos, ya que permite la incorporación de acuíferos al subsistema de agua superficial como un “depósito” más de regulación, que almacena agua durante épocas de excedentes y la suministra cuando existe déficit. Para los subsistemas superficiales el flujo es calculado simplemente por continuidad o balance, mientras que para los subsistemas subterráneos o acuíferos el flujo es simulado mediante modelos de celda, uni o pluricelulares, o incluso mediante modelos distribuidos de flujo lineal (AQUIVAL, integrado en el paquete AQUATOOL).

Así, en síntesis, los grandes objetivos que se pretenden alcanzar mediante el desarrollo de este trabajo de investigación se pueden sintetizar en los siguientes:

- Analizar el comportamiento de un sistema de gestión de recursos hídricos a escala local, con la incorporación de un acuífero, funcionando como un depósito de regulación en el sistema.

- Comparar las garantías ofrecidas a las demandas existentes en un sistema con una gestión conjunta de los recursos subterráneos y superficiales con el modelo SIMGES frente al funcionamiento de sistemas independientes.
- Evaluar, mediante simulación con el modelo AQUIVAL conjuntamente con el modelo SIMGES, la evolución de los niveles piezométricos en el acuífero a corto y medio plazo bajo distintos escenarios de gestión hídrica, así como los volúmenes almacenados.
- Analizar las posibilidades de cumplir con la Directiva Marco del Agua en lo referente al balance hídrico, el estado ecológico del agua en el Boquerón, la recuperación de sus niveles y fuentes naturales, así como los ecosistemas asociados a las últimas.

Una vez justificada la importancia y el alcance del tema de investigación y explicitados los objetivos perseguidos en la misma cabe, para finalizar esta introducción, presentar la estructura general de esta memoria de investigación, formada por ocho capítulos, la sección de referencias y tres anejos:

- **Capítulo I. Introducción.**

Es el capítulo en que se inscribe este apartado. Pretende introducir al lector en el tema de investigación abordado, haciendo una presentación general del mismo y de sus antecedentes, enumerando sus objetivos y describiendo la configuración del documento que se presenta.

- **Capítulo II. Gestión conjunta de recursos hídricos a escala local.**

En el capítulo II se hace una revisión del estado del conocimiento sobre la gestión conjunta de recursos hídricos, la descentralización de la gestión planteada por algunos autores y organismos internacionales, así como los resultados de las experiencias en

este sentido de otros países y las distintas opciones posibles de aplicación a escala local de estos nuevos paradigmas determinados por criterios físicos y/o administrativos.

- **Capítulo III. Modelización de la gestión de recursos hídricos. El modelo SIMGES.**

Se analizan cuáles son los distintos tipos de modelos existentes relacionados con la gestión de recursos hídricos así como la evolución que se ha producido en este tipo de modelos en los últimos años y se describe de forma detallada el funcionamiento del modelo seleccionado (elementos que componen el sistema, reglas de operación, criterios de restricción, algoritmo de funcionamiento, etc.).

- **Capítulo IV. Descripción del área de estudio.**

Presenta las características principales del área de estudio, centrando el análisis en la importancia del recurso hídrico en la zona desde un punto de vista fundamentalmente económico y social.

- **Capítulo V. Análisis del acuífero del Boquerón.**

Se realiza un análisis exhaustivo del conocimiento de esta formación geológica, valorando las posibilidades que ofrece frente a la interacción aguas superficiales-aguas subterráneas y su incorporación al sistema de gestión hídrica local como “embalse” regulador.

- **Capítulo VI. Metodología y datos.**

En este capítulo se describe de forma detallada la metodología de trabajo llevada a cabo para la aplicación del modelo SIMGES, incluyendo los datos que se han usado para configurar el modelo y la justificación de cada uno de los elementos del diseño utilizados. Asimismo, se justifica la modelización y calibración del acuífero del Boquerón mediante la utilización del programa AQUIVAL, integrado al igual que SIMGES, en el paquete AQUATOOL.

- **Capítulo VII. Resultados y discusión.**

Se presentan los resultados más relevantes obtenidos en el desarrollo de la presente tesis doctoral. Dichos resultados se discuten y analizan con el fin de llegar a unas conclusiones que respondan a los objetivos planteados en este trabajo.

- **Capítulo VIII. Conclusiones y recomendaciones.**

Se presentan, a modo de resumen, las conclusiones obtenidas con el desarrollo de los objetivos planteados en el Capítulo I, así como las opciones propuestas para alcanzar los objetivos definidos por la Directiva Marco del Agua. También se enumeran distintas líneas de investigación futuras que pudieran complementar lo analizado en esta tesis doctoral.

- **Referencias bibliográficas.**

En este apartado se presentan todas las referencias bibliográficas consultadas (libros, artículos, informes, etc.) para la elaboración de este trabajo. Dichas referencias se redactan en el estilo Harvard (Borgoños, 1999).

- **Anejos.**

Un primer anejo de fichas oficiales de los recursos superficiales que abastecen a Hellín. Un segundo anejo en el que se recoge el informe de la Confederación Hidrográfica del Segura donde se realiza la concesión de los volúmenes y caudales del acuífero del Boquerón. Y un tercer anejo de los datos utilizados en las simulaciones realizadas en el trabajo.

Capítulo II

Gestión Conjunta de Recursos Hídricos a escala local.

La coexistencia de grandes asentamientos, tanto permanentes como estacionales, amplias zonas de producción, extensas zonas de regadío y concentraciones significativas de actividad industrial, casi siempre asociadas al sector primario, es una característica común de una gran parte del sureste español.

Este múltiple uso del suelo potencia la necesidad de una alta demanda de agua y, consecuentemente, una creciente competencia por los recursos disponibles, que tradicionalmente han sido escasos.

Además, hay un elemento importante de estacionalidad en la curva de demanda de agua en aquellas zonas donde la influencia de la agricultura y el turismo son particularmente relevantes. En general, a partir de un ratio entre el máximo diario y la media anual de demanda hídrica mayor de 1,5 (Henry y Heinke, 1999) es necesario un concienzudo estudio del tamaño las infraestructuras asociadas a la producción y almacenamiento de agua debido a su gran importancia en los costes asociados. Por consiguiente, la disponibilidad de instalaciones para la regulación interanual de grandes volúmenes de agua es un elemento de vital importancia.

En áreas que son principalmente llanas y muy densificadas el uso de reservas subterráneas, como un sistema de regulación para corregir el desequilibrio entre aportación y demanda, constituye una buena solución que es tanto técnica como económicamente viable en comparación con los tradicionales embalses.

En el presente capítulo se realizará un análisis del estado del conocimiento de la gestión conjunta de recursos hídricos y la regulación de los mismos mediante la utilización de acuíferos. Asimismo, se estudiarán las experiencias realizadas hasta el

momento en torno a estos conceptos, resultados y conclusiones de los mismos, así como su posibilidad de aplicación a escala local.

II.1.- Regulación y gestión de los recursos hídricos.

En este primer apartado se analizará pormenorizadamente todos aquellos conceptos clave sobre los que se planteará la presente tesis, que serán los que finalmente servirán como hilo conductor del desarrollo de la misma.

Existe una amplia variedad de acepciones de lo que se denomina recurso, dependiendo del contexto o finalidad en la que se halle. Según la Real Academia de la Lengua Española recurso es el “Conjunto de elementos disponibles para resolver una necesidad o llevar a cabo una empresa.” Intrínsecamente anidada en esta definición de recurso, se deriva la implicación de un segundo elemento que es la necesidad de ese recurso o demanda asociada.

En el sentido estricto del tema abordado, recurso hídrico es definido por Murillo et al. (2002) como el conjunto de aguas de calidad adecuada que se necesitan para satisfacer los diferentes usos que se requieren del agua. Llegados a este punto, conviene aclarar la diferencia existente entre uso y demanda. Son múltiples y muy variados los usos que el ser humano le da al agua para su desarrollo y subsistencia: consumo como bebida, agricultura, industrial, transporte, centrales hidroeléctricas, ocio, ecológico, etc. Por otro lado, la demanda hace referencia al volumen necesario de agua que requiere un uso determinado de la misma centrándose en la cantidad, calidad, lugar y momento requerido (López y Murillo, 2001). Durante todo el siglo XX, la gestión hídrica de los diferentes gobiernos en el estado español (y en el resto de Europa) han impulsado políticas de aumento de los recursos disponibles frente a un enfoque sobre la demanda del agua. En la actualidad, los países más desarrollados están fomentando medidas para una concienciada y responsable utilización del agua, que está produciendo la estabilización e incluso reducción en la dotación de los usos consuntivos (Lilienfeld y Asmild, 2007). Estas políticas focalizan la gestión desde el punto de vista de la demanda, en lugar de los recursos, como se ha venido haciendo en

España hasta el momento (Moriarty et al., 2004). La gestión de la demanda se basa en el estudio de los diferentes usos consuntivos y la aplicación de objetivos de ahorro de agua en estos usos. Algunos ejemplos de ahorro son:

- Mejoras en las redes y canales de distribución para reducir pérdidas. En España se estima que existen el porcentaje de pérdidas aproximado en redes de abastecimiento es del 15-20%, tal y como se aprecia en la figura 1 (INE, 2012)
- Reforestación en las cabeceras para evitar la erosión.
- Establecer tarifas que consideren la recuperación de costes, de acuerdo a lo recogido por la Directiva Marco del Agua (Gallego-Ayala y Gómez-Limón, 2010).
- Adaptar los cultivos y los sistemas de riegos a cada zona. (Lilienfeld y Asmild, 2007)
- Reutilizar el agua de refrigeración industrial y evitar la contaminación.
- Reutilización de agua para riego. (López, 2001)
- Instalaciones y electrodomésticos de bajo consumo.
- Ahorro de agua en el uso diario utilizando solo lo imprescindible: lavavajillas, lavadoras, duchas, wc, etc.
- Educación ambiental.

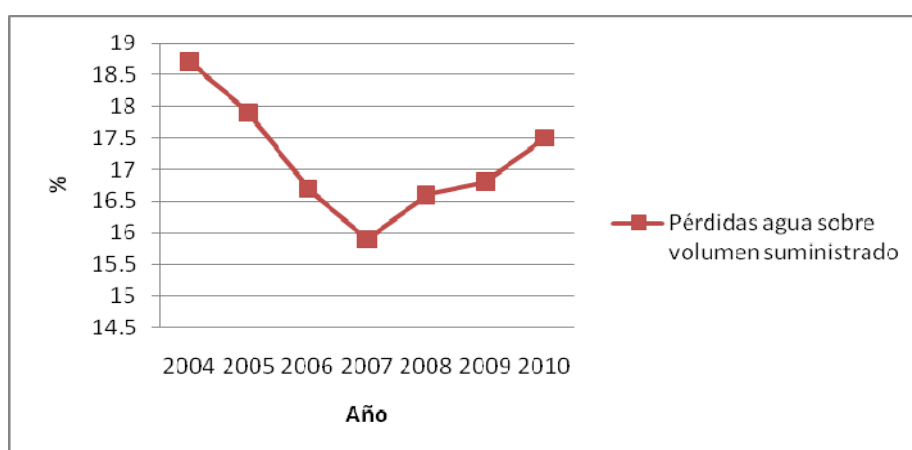


Figura 1. Agua perdida en las redes de distribución en España.

Fuente: Elaboración propia a partir de INE (2012)

Por otro lado, todo proceso de gestión y planificación relacionado con los recursos hídricos, persiguen como objetivo conseguir la máxima garantía adecuando las demandas a los recursos disponibles. Es en este proceso de adecuación donde surge la necesidad de plantear el último concepto, la regulación. Ésta se entiende como el conjunto de medidas dispuestas para la adaptación de los recursos a las demandas en cada momento, en términos de cantidad, calidad, espacio y tiempo (Iglesias et al., 2005). La regulación se puede conseguir de manera natural o artificial. Por un lado, si las aportaciones son mayores que las demandas, es el propio sistema superficial y/o subterráneo el que puede abastecer la demanda requerida en el momento preciso. Si por el contrario, la demanda es superior a la aportación, se requerirá la construcción de infraestructuras de almacenamiento y transporte que permitan el ajuste de una frente a las otra. En este caso, se habla de regulación artificial.

Evidentemente, es lógico pensar que la distribución a lo largo del año de las diferentes demandas de una determinada área no coincidirá, salvo de modo muy excepcional, con la forma natural de presentarse la esorrentía o aportación de un río en el que no exista ninguna obra de regulación. Incluso, hay que pensar que frecuentemente (sobre todo en el sureste español) los máximos valores de las demandas (especialmente de regadíos y abastecimientos estacionales, en verano) aparecen cuando se dan las mínimas aportaciones de los ríos.

En tales casos, para conseguir un ajuste de la adaptación de los recursos a las demandas, será necesario disponer de embalses (naturales o artificiales) en los que almacenar temporalmente los excesos de recursos en épocas de menor demanda (en términos generales se puede suponer que ello sucederá en invierno), para mediante un adecuado programa de desembalses (en el sentido más amplio del término, es decir, incluyendo también los bombeos, cuando de embalses subterráneos se trate) poder complementar las aportaciones naturales del río en épocas en que éstas resulten menores que las demandas. Todo el arte de utilizar el agua estriba en lograrlo de una manera adecuada, técnica y económicamente, ya que en el fondo de casi todos los problemas de escasez de agua hay una falta de regulación de los recursos.

Si, como es más frecuente, una parte de la demanda a atender corresponde a necesidades de riego, la ley de variación de dicha demanda total vendrá representada por una cierta curva tal como la de la figura 2. Durante las estaciones de otoño, invierno y primavera hay unos excedentes con respecto a la demanda de los regadíos, mientras que en los meses de verano la demanda supera ampliamente las aportaciones superficiales disponibles.

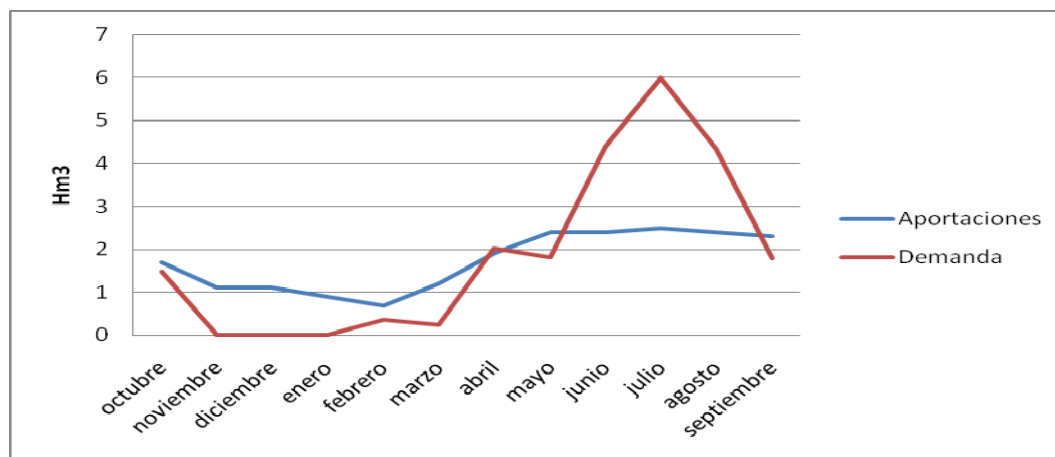


Figura 2. Relación Aportaciones / Demanda hídrica media en los regadíos del canal de Hellín.

Fuente: Elaboración propia.

En tal supuesto, se considera que las aportaciones están totalmente reguladas cuando, mediante uno o más embalses de capacidad adecuada, se puede retener el volumen de los excedentes durante el período de máxima aportación para, en época de déficit, desembalsarlo y suplir el volumen demandado.

De todo ello se deduce que una de las piezas clave para lograrlo es poseer una suficiente capacidad de almacenamiento.

A la luz de la situación y conocimiento actual es evidente la necesidad imperiosa de acometer una gestión apropiada totalmente distinta de los recursos hídricos, en donde, las aguas subterráneas que forman auténticos embalses subterráneos, desempeñen su verdadero papel utilizando adecuadamente sus características propias.

Los embalses subterráneos deben realizar varias funciones en el aprovechamiento de los recursos: suministro, almacenamiento, regulación y transporte. Hasta ahora, el hombre ha utilizado casi exclusiva y aún ahora parcialmente la primera, la de suministro; pese a que ésta es una función altamente importante, no tendría por qué ser la principal. Es en relación con los parámetros tiempo y espacio, binomio regulación - transporte, donde los embalses subterráneos tienen que jugar una misión decisiva e insustituible.

En relación con el parámetro tiempo (regulación), las posibilidades de estas estructuras subterráneas son enormes, dada la magnitud de su capacidad de almacenamiento. La capacidad de almacenamiento natural del subsuelo ofrece, junto a las consecuencias que se derivan de la interacción que existe entre las corrientes superficiales y los embalses subterráneos, unas posibilidades todavía más amplias: la de proporcionar un mecanismo de regulación de los recursos hídricos considerados en su conjunto.

La otra característica de los embalses subterráneos está relacionada con la función transporte-espacio. Dicha característica es su extensión espacial. Frente a la localización forzosamente lineal y puntual de los embalses superficiales, los acuíferos permiten hacer frente a necesidades que no podrían ser satisfechas, en condiciones económicas apropiadas, utilizando la alternativa clásica a partir de regulaciones superficiales.

La utilización de un embalse subterráneo para contribuir a una mejora de la regulación parcial de las infraestructuras de superficie se basa en aprovechar la existencia durante una gran parte del año de unos excedentes no regulados. Para ello, solamente será necesario efectuar bombeos en el período de estiaje cuando tales excedentes son nulos o muy escasos. De esa forma, se consigue reducir el volumen de excedentes no regulados o, lo que es igual, se ha incrementado la regulación.

Si además es posible que por un adecuado mecanismo de recarga natural y/o artificial una parte de los nuevos, y ya menores excedentes utilizados se puedan

devolver al embalse subterráneo, se habrá conseguido prolongar sus posibilidades de utilización.

Simplemente con las consideraciones realizadas hasta el momento, parece razonable la consideración coordinada de ambos tipos de recursos para suplir las demandas de agua de la sociedad actual. La utilización conjunta puede aplicarse a cualquier unidad hidrogeológica en la que existan interrelaciones significativas entre aguas superficiales-aguas subterráneas de forma natural (transferencia río-acuífero) o artificial (recargas, bombeos, etc.). En tanto la necesidad de gestión integral precisa tener en cuenta los efectos que la explotación resultante tiene sobre las disponibilidades de aguas abajo, puede hablarse con propiedad de gestión conjunta o coordinada (Dirección General de Obras Hidráulicas, 1986).

En la actualidad, el uso conjunto no sólo compagina los recursos superficiales y subterráneos, si no que considera además los llamados recursos no convencionales, tales como el agua desalinizada y la reutilización de agua depurada. Estos nuevos planteamientos han sido posibles gracias al abaratamiento de la tecnología en la recuperación y tratamiento de este tipo de aguas. En la figura 3, se puede observar un diagrama complejo de un sistema de gestión conjunta de recursos hídricos.

II.2.- Capacidad de almacenamiento de los acuíferos.

El volumen ofrecido de forma natural por los poros y fracturas interconectados de las formaciones geológicas subterráneas tiene la capacidad de poder ser utilizado como almacenamiento de líquidos. En las proximidades de la superficie, esta porosidad está normalmente ocupada por aire, pero a mayores profundidades estos huecos son rellenos de agua infiltrada a través de niveles superiores.

Esta capacidad de almacenamiento bajo superficie representa un importante recurso subterráneo para el uso humano. Tradicionalmente los acuíferos han sido utilizados exclusivamente como un medio de suministro de agua, y debido a la garantía ofrecida por los mismos, muchos de los problemas de garantía de

abastecimiento agua han podido ser afrontados. Sin embargo, la enorme capacidad de los acuíferos ha sido raramente abordada en España, aunque esta posibilidad podría contribuir de una forma considerable a la regulación de los recursos hídricos.

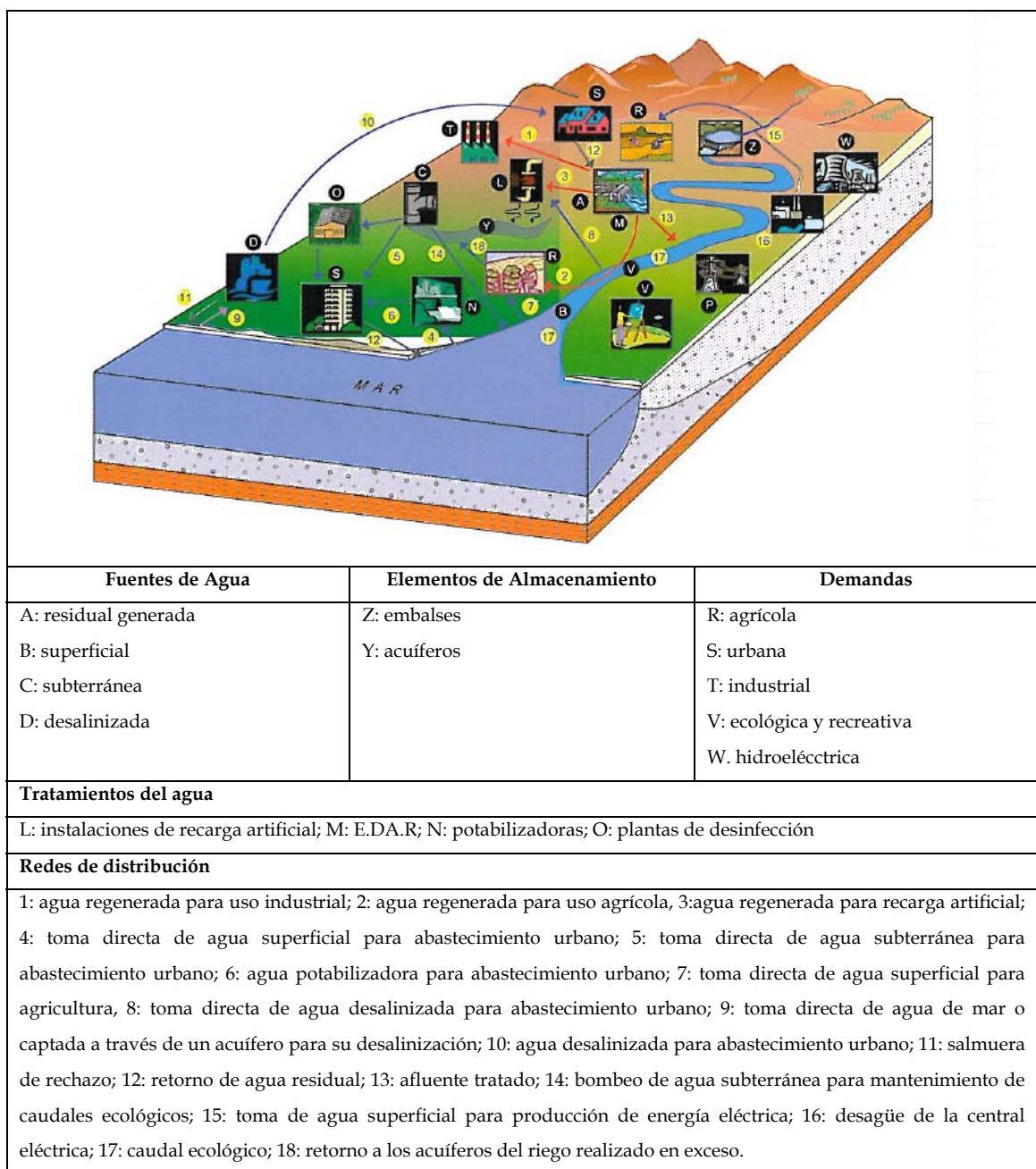


Figura 3. Diagrama complejo de gestión conjunta de recursos hídricos.

Fuente: IGME (2010a)

La integración de los acuíferos en la planificación del agua, haciendo uso de su capacidad de almacenamiento, ha sido una práctica estándar durante décadas en multitud de países.

El uso de este volumen de almacenamiento presenta importantes ventajas sobre los tradicionales métodos de regulación superficiales, tales como la enorme capacidad de los acuíferos, la cual es independiente de si los huecos están o no llenos de agua, ya que la operación de la recarga artificial desplaza el agua inicialmente contenida en esos huecos, creando una clara zona de separación entre ambas.

Tomando como ejemplo el acuífero del Boquerón, que será uno de los elementos centrales de esta tesis, con una capacidad aproximada de 460 hm³ aproximadamente, sería necesaria una superficie de 46 km² para un embalse de 10 m de altura media en el término municipal de Hellín para poder equiparar la capacidad reguladora de dicho acuífero. Son no sólo las limitaciones físicas y los costes del suelo, sino también los condicionantes ambientales, los que imposibilitarían la constitución de una infraestructura de tal envergadura, que de forma natural el subsuelo nos proporciona.

II.3.- Almacenamiento subterráneo con recuperación (ASR).

El concepto de almacenamiento subterráneo con recuperación (en inglés, Aquifer Storage and Recovery, ASR) es relativamente nuevo en la práctica hidrogeológica (Fernández y Cordero, 2006). Consiste, básicamente, en el uso del volumen de almacenamiento dentro de los acuíferos para el almacenaje y liberación de grandes volúmenes de agua introduciendo los excedentes no consumidos por las demandas asociadas, así como el suministro del agua almacenada en caso de demanda punta o en caso de que existan fallos en el sistema.

Originalmente, este tipo de regulación era justificada por motivos económicos debido a los costes asociados a la necesidad de agua de cierta calidad y los tratamientos necesarios. El objetivo de la regulación era, en un principio, incrementar

la eficiencia técnica y económica de estas plantas de tratamiento, aumentando el volumen de almacenamiento para poder asegurar una producción continua, alcanzando de esta forma el volumen de demanda anual requerido.

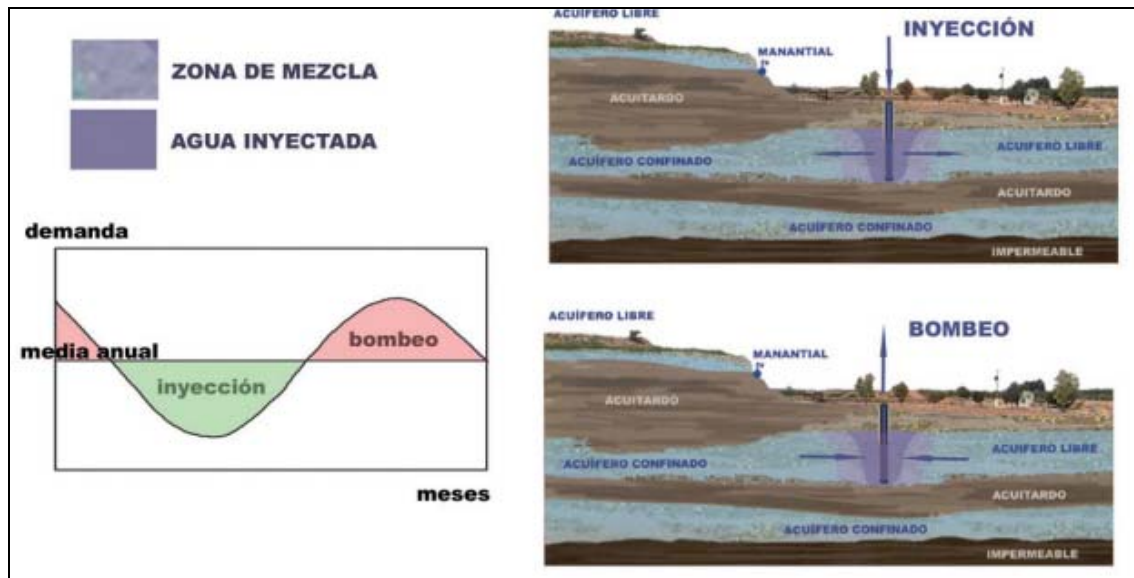


Figura 4. Esquema funcionamiento sistema ASR.

Fuente: IGME (2010c)

Aunque este tipo de operación puede parecerse a la recarga artificial de acuífero (de hecho, ha sido considerada como una variación de la última) hay diferencias fundamentales entre estos dos tipos de regulación hidrogeológica. En primer lugar, en la ASR se crea un embalse subterráneo y éste es controlado independientemente de la dinámica natural del acuífero, y por tanto está estrechamente relacionado con la gestión estática de los recursos, al contrario que la recarga artificial. Por otro lado, la capacidad de almacenamiento es independiente de la calidad del agua originalmente contenida en el acuífero, cuestión que también lo diferencia de la recarga artificial. Además, la perforación realizada para la inyección de agua es igualmente utilizada para la extracción, en caso de necesidad.

Las condiciones técnicas que determinan la viabilidad del método del ASR puede resumirse en los siguientes puntos (Maliva et al., 2006):

- La existencia de una variabilidad estacional en la demanda de agua, suministro o ambas. Tal variabilidad se puede considerar alcanzada cuando el ratio entre el máximo y el medio diario excede 1,3.
- El volumen de regulación que pretenda ser gestionado mediante este método debe ser razonablemente alto, y siempre mayor de 3.500 m³/día. Por encima de este caudal, la relación entre las economías de escala y el coste de un sistema ASR empieza a ser favorable.
- El subsuelo de la localización propuesta debe contener una zona de almacenamiento donde las condiciones sean apropiadas en lo que respecta a su geología, hidrogeología, geometría, hidroquímica, etc.

Además, hay otros factores que son cruciales en el éxito de un sistema ASR como pueden ser la necesidad de un pretratamiento del agua, el diseño y la localización de las perforaciones para la inyección y extracción y la planificación de las operaciones implicadas (ciclos de inyección y producción), teniendo siempre en cuenta las características hidrogeológicas de la zona de almacenamiento.

Un sistema ASR puede ser configurado bajo diversos esquemas, atendiendo a los objetivos del proyecto en cuestión. Los más importantes tipos de sistemas ASR son los siguientes (IGME, 2010a):

- Almacenamiento interanual, con inyección durante épocas húmedas y extracción en los años secos.
- Almacenamiento estacional, con inyección durante períodos de baja demanda o con excedentes y extracción durante períodos de mayor demanda o déficit, a lo largo de un año.
- Almacenamiento y extracción diarias, dependiendo de la demanda y de la capacidad de producción, funcionando como un depósito regulador para el suministro de agua.

II.4.- La madurez hídrica.

II.4.1.- Reseña histórica del aprovechamiento de las aguas subterráneas.

Desde sus comienzos, el hombre aprovecha el agua superficial como primera fuente de abastecimiento, consumo y vía de transporte. Por ello, el valle de los ríos es el lugar escogido para establecer las primeras civilizaciones. Allí el hombre aprende a domesticar los cultivos y con ello encuentra la primera aplicación al agua lluvia; pero no depende directamente de ella para su supervivencia debido a la presencia permanente del agua superficial. Cuando las civilizaciones crecieron demográficamente y algunos pueblos debieron ocupar zonas áridas o semiáridas del planeta comenzó el desarrollo de formas de captación de aguas de lluvia, como alternativa para el riego de cultivos y el consumo doméstico.

Este factor clave para el desarrollo de las civilizaciones provocó la búsqueda de acuerdos, alianzas, disputas, etc., a lo largo de la historia. Así, nacieron las denominadas civilizaciones hidráulicas (Egipto, Mesopotamia, Valle de Indus, río Amarillo en China) que realizaron numerosas infraestructuras (canales, azudes, etc.) dirigidas a un mayor aprovechamiento de los regadíos, de los que dependía su desarrollo y supervivencia.

En cuanto a las aguas subterráneas, pese a no haber alcanzado en España un desarrollo importante hasta mediados del siglo XX (Molina et al., 2009), la utilización de agua de los acuíferos se remonta a la antigüedad. Se tiene constancia de que los chinos utilizaron como sistema de captación tanto los llamados pozos abiertos, con o sin galerías, como los pozos perforados de pequeño diámetro, que hoy se conoce como sondeos llegando hasta los 1200 m con los segundos (Bowman, 1911). Sin embargo, los ejemplos más claros de aprovechamiento de aguas subterráneas en la antigüedad se encuentran en los khanats, que eran grandes sistemas de galerías filtrantes inicialmente desarrollados en Asiria y Persia, y posteriormente en Armenia y Egipto (Tolman, 1937).

No es hasta la Edad Media cuando comienza a difundirse la perforación a percusión en Europa. Para ello fue clave el descubrimiento de los pozos surgentes. La

perforación de este tipo de pozos tuvo un especial desarrollo en la región de Artois, en Francia, de donde proviene la utilización del término pozo artesiano como sinónimo de pozo surgente (Llamas et al., 2000).

La técnica de la perforación a percusión occidental no alcanzó hasta finales del siglo XIX, y debido a la prospección de petróleo, profundidades superiores a 300 metros. (Custodio y Llamas, 1983).

En lo que a España respecta pueden encontrarse pozos excavados de hasta 300 metros de profundidad en Canarias, construidos a finales del siglo XIX o principios del siglo XX (Llamas et al., 2000).

Sin embargo, las aguas subterráneas fueron (y aún lo siguen siendo en muchos países) un tipo de aprovechamiento reducido a utilización individual o de pequeñas comunidades, por lo que no contribuyeron especialmente a la construcción de la sociedad urbana o civil (Llamas, 1998a).

A lo largo del siglo XX, tres son los hechos que han propiciado el aumento exponencial de consumo de agua a escala mundial (Llamas et al., 2000):

- i) el crecimiento de la población, que ha pasado de unos 1.600 millones de personas a principios de siglo XX a unos 6.000 millones en la actualidad;
- ii) el desarrollo industrial;
- iii) la expansión de la agricultura de regadío, que ha pasado de unos 50 millones de ha regadas a principios del siglo pasado a más de 250 millones de ha en la actualidad.

Estos tres acontecimientos del siglo XX han provocado que el uso de agua dulce se haya multiplicado por siete en este tiempo (Gleick, 1998).

Este gran crecimiento de la demanda pudo verse garantizado (al menos en parte) debido al desarrollo de las aguas subterráneas. Es a partir del segundo tercio del siglo XX cuando los acuíferos comienzan a adoptar un papel importante en la

consideración de los recursos disponibles para satisfacer el crecimiento de la demanda. Este protagonismo se debió principalmente a los siguientes factores (Llamas y Custodio, 1999):

- la mejora de las técnicas en la perforación de pozos.
- el invento de la bomba de turbina, que permitía extraer elevados caudales a grandes profundidades
- el desarrollo de la hidrogeología cuantitativa

Hoy en día, el volumen de agua subterránea extraída a escala mundial se estima en torno a los 600-700 km³/año, de los que aproximadamente el 70 % están destinados a usos agrícolas, el 25 % a usos urbanos, y un 5 % a usos industriales (Llamas et al., 2000). Sin embargo, las informaciones acerca del uso y procedencia de las aguas utilizadas son confusas y escasamente precisas, debido a la inexistencia de un control, seguimiento y publicación oficial de datos concretos sobre recursos y explotaciones de los mismos. Esto ha de tenerse en cuenta a la hora de valorar las cifras existentes, que en muchas ocasiones pueden transmitirnos una ilusoria precisión (Gleick, 1993). Contrariamente a esta escasez de datos y de seguimiento de los recursos está el caso en estados Unidos de los acuíferos al oeste de Kansas, donde alrededor de 1.400 pozos son controlados y monitorizados anualmente y cuyos resultados son publicados en una plataforma con acceso a través de internet (Sophocleous, 2011).

Las variaciones en la utilización de aguas subterráneas son, lógicamente, muy grandes de unos países a otros y aunque su utilización es fundamentalmente para regadíos, en algunos países el abastecimiento de agua potable se realiza prácticamente en su totalidad mediante aguas procedentes de acuíferos. Aproximadamente la mitad del agua de uso urbano en el mundo es de origen subterráneo (Shiklomanov, 1997).

Los mayores incrementos en las últimas décadas en la utilización de aguas subterráneas se han producido en países en vías de desarrollo con clima árido o semiárido, como por ejemplo Arabia Saudí, Egipto, Libia o Túnez. En estos países se está recurriendo a la denominada minería del agua subterránea, pues la parte predominante del recurso es de carácter no renovable.

Actualmente, en Europa las experiencias más significativas de utilización de agua subterránea se localizan principalmente en los siguientes países (López y Murillo, 2001):

- En Alemania, el agua subterránea aporta 3.100 hm³/año al abastecimiento de agua potable, lo que representa un 63,5% del total destinado a ese fin.
- En Dinamarca, este porcentaje se eleva hasta el 99%.
- En Ámsterdam (Holanda) el 65% del agua potable abastecida procede de la recarga artificial.
- También son interesantes las experiencias en recarga artificial en Viena y Budapest, donde los volúmenes recargados son de 30 hm³/año y 180 hm³/año respectivamente.

II.4.2.- El uso de las aguas subterráneas en España.

En España, el uso del agua subterránea ha estado habitualmente asociado a actuaciones aisladas en períodos de extrema sequía.

El clima en países semiáridos, como es el caso de la España meridional, se caracteriza por la enorme variabilidad interanual de las precipitaciones. Este hecho, que debería considerarse como un factor más dentro de la planificación hidráulica, es un elemento que suele ser obviado cuando, tras una época de sequía, acontece un período de lluvias “normales”. La falta de garantía del suministro de agua en las épocas de sequía ha dado lugar en las últimas décadas a numerosos enfrentamientos y tensiones sociales, políticas y económicas entre los grupos afectados. Ejemplo representativo de esta situación fue la sequía provocada entre 1991 y 1995. En 1995, 12 millones de españoles tuvieron restricciones en el abastecimiento de agua potable (Martínez y Llamas, 2000). El verano de ese mismo año y con motivo del trasvase Tajo-Segura, se reavivaron las tensiones entre las Comunidades Autónomas de Murcia, Castilla La Mancha y Valencia, e incluso se produjeron problemas con Portugal debido a la escasez de agua en ese período (Correia, 1995).

La respuesta de las administraciones españolas ante este problema siempre ha sido de carácter improvisado y de emergencia. El único enfoque adoptado para la mitigación de los efectos de las sequías ha sido el fomento de políticas de aumento de los recursos, mediante la construcción de grandes infraestructuras (embalses, trasvases, etc.) con declaración de interés general, financiadas por el Estado, con el consiguiente coste económico, social y medioambiental. Por ejemplo, en la sequía de 1995, la cuantía de las infraestructuras realizadas ascendieron a cien mil millones de pesetas (Llamas, 1999). Todas estas medidas en las que no se realiza una gestión sobre la demanda si no sobre la oferta en el volumen de agua dispuesto, conduce a un agravamiento del problema que resulta insostenible. (Foster y Ait-Kadi, 2012). Esta política de grandes infraestructuras tiene su origen en la España de hace un siglo en la que, la expansión de los regadíos fue promovida por la construcción de grandes embalses (Martínez, 1999). Aunque no hay que despreciar el desarrollo económico conseguido en España con estas infraestructuras, la continuidad de estas soluciones tradicionales basadas en el aumento de la oferta a base de la construcción de embalses y con unos precios que no responden a los costes de las mismas, conducen a una espiral del aumento irresponsable del consumo, inasumible a medio plazo. Así, y dependiendo de la zona de España, se estima que la recuperación de costes con respecto al pago que el usuario realiza del agua varía del uso en cuestión, llegando tan sólo a una recuperación del 5% en agricultura frente a un 69% abastecimiento urbano (Castellano et al., 2004)

En este panorama, el agua subterránea ha sido un elemento que no ha sido apenas tenido en cuenta en la planificación y cuyo desarrollo ha sido incontrolado y llevado a cabo de forma individual o por pequeños colectivos de manera desorganizada.

Sin embargo, gracias a las positivas experiencias en Estados Unidos (Arrojo, 1999) en políticas hídricas de gestión conjunta de aguas y aprovechamiento integral de los recursos existentes (aguas superficiales, aguas subterráneas y recursos no convencionales), se está produciendo un cambio en el planteamiento de la política hídrica española y su implantación en diversas cuencas y ciudades españolas es un hecho real con beneficios constatados.

En España, las experiencias en el uso de agua subterránea han sido relegadas ocasionalmente a la utilización en caso de sequías. Es decir, en los años húmedos se utilizan las aguas superficiales y en épocas secas se recurre complementariamente a las aguas subterráneas. En este sentido se puede citar muchos ejemplos del uso conjunto de recursos hídricos en España, tales como Madrid (López-Camacho, 2005), Alto Vinalopó (Murillo et al., 2002), Costa del Sol (Gómez et al., 2001; López et al., 2001), Jaén (Murillo, 2002), Sierra de Baza (Henche et al., 2002), etc.

II.4.3.- La revolución silenciosa.

Como se ha comentado en el epígrafe anterior, la utilización del agua subterránea a lo largo del tiempo ha estado marginada a una explotación de forma aleatoria y desorganizada, siendo utilizada de forma individual o en pequeñas comunidades.

Sin embargo, a mediados del siglo pasado y gracias especialmente a la invención de la bomba de turbina, la utilización de los acuíferos para el riego de cultivos aumentó de forma espectacular (Burke, 2003). Es lo que muchos autores han venido llamando “revolución silenciosa” (Llamas, 2005; Llamas y Martínez-Santos, 2005; Fornés et al. 2005).

Los agricultores de los países pobres (entre ellos España) aprovecharon las ventajas que las aguas subterráneas les proporcionaban para constituir un sector productivo competitivo sin subvenciones estatales ni ayudas del Estado, como ocurre con las aguas superficiales. Entre las ventajas más destacables que los agricultores obtienen del uso de las aguas subterráneas se pueden citar las siguientes (Madramootoo, 2012):

- El agua subterránea supone tan sólo un 10-15% de los costes totales de (Molina, 2009) de los costes de la agricultura de regadío. La rentabilidad del agua subterránea frente al agua superficial es cinco veces superior (Llamas, 1998b). Incluso frente a acuíferos sobreexplotados, donde las

profundidades de extracción aumentan considerablemente, los costos totales resultantes normalmente experimentan una sensible subida asumible en el cómputo total de la producción. En resumen, el agua subterránea es más barata que el agua superficial, aunque esta última al estar fuertemente subvencionada no supone un coste importante para el usuario directo aunque sí para la sociedad en general (Garrido y Llamas, 2007; Hernández-Mora et al. 2001).

- La garantía de suministro que ofrece el uso de acuíferos es otro de los factores determinantes en el uso intensivo de estas aguas. En épocas de sequías, la diferencia entre los recursos disponibles superficialmente y las demandas obligan a priorizar la distribución de los mismos, siendo la agricultura el sector más perjudicado por su elevada dependencia de este recurso. El acuífero ofrece una seguridad incontestable debido a su función de almacenamiento, siendo poco vulnerable a los efectos de las sequías y su explotación puede mantenerse e incluso aumentar en algunos casos en períodos secos (Deb Roy y Shah, 2003; Shah, 2005). Todo esto, por otro lado, ha producido un aumento incontrolado (y sin cuantificar) del número de bombeos privados y una merma (a veces insostenible) de los recursos subterráneos disponibles.
- Por último, las aguas subterráneas son fácilmente accesibles. Su localización en el subsuelo, bajo la superficie de regadío, proporciona un caudal instantáneo y asegurado en cualquier momento, independiente de infraestructuras de transporte, restricciones y demandas aguas arriba de la superficie de cultivo, que condicionan la cosecha, tanto en cantidad como en calidad. Con el uso de las aguas subterráneas, el agricultor no depende de factores ni infraestructuras externas para llevar a cabo su producción y él es el único gestor de los medios y recursos necesarios para asegurar la productividad del cultivo.

Todas estas características de las aguas subterráneas en lo concerniente a la transformación de tierras en regadíos han desencadenado un aumento exponencial del número de perforaciones y bombeos asociados, con el consiguiente riesgo para la

continuidad de las extracciones, así como para calidad de dichas aguas. Además, el carácter privativo que las aguas subterráneas tenían hasta la Ley de Aguas de 1985, no hizo sino empeorar la situación existente. Hasta la entrada en vigor de dicha ley, las aguas subterráneas eran propiedad de aquél que las descubría o alumbraba. Esta ley trató de poner orden en esta caótica situación mediante la demanialización de las mismas (Artículos 1 y 2, Ley 29/1985), otorgando a las Confederaciones la posibilidad de la declaración de sobreexplotación y la consiguiente regulación de explotaciones (Artículos 54, Ley 29/1985).

Como consecuencia del nuevo régimen jurídico, todos los pozos existentes previos a la aprobación de la ley deberían registrarse en la Confederación Hidrográfica correspondiente. Sin embargo, esta regularización no se ha conseguido. Según el Libro Blanco del Agua (MIMAM, 2000) describe la situación como “muy desalentadora” ya que menos de 250.000 pozos habían sido hasta el momento declarados mientras que el número total de pozos podría estar por encima del millón dando una idea de la importancia de los recursos subterráneos (MIMAM, 2000). Además, esta ley no ha impedido la construcción de nuevos y numerosos pozos ilegales. El presidente de la Cuenca Hidrográfica del Guadiana reconoce la existencia de 25.000 pozos ilegales en tan sólo 16.000 km² de su jurisdicción (Rodríguez de Liébana, 2002).

El World Bank (2006) distingue hasta cuatro niveles en el desarrollo del agua subterránea (figura 5):

- Etapa 0: Régimen natural, sin déficit de recursos.
- Etapa 1: Déficit incipiente
- Etapa 2: Déficit importante
- Etapa 3, que a su vez puede dividirse en dos subetapas:
 - 3a: desarrollo intenso pero estable.
 - 3b: desarrollo intenso pero inestable.

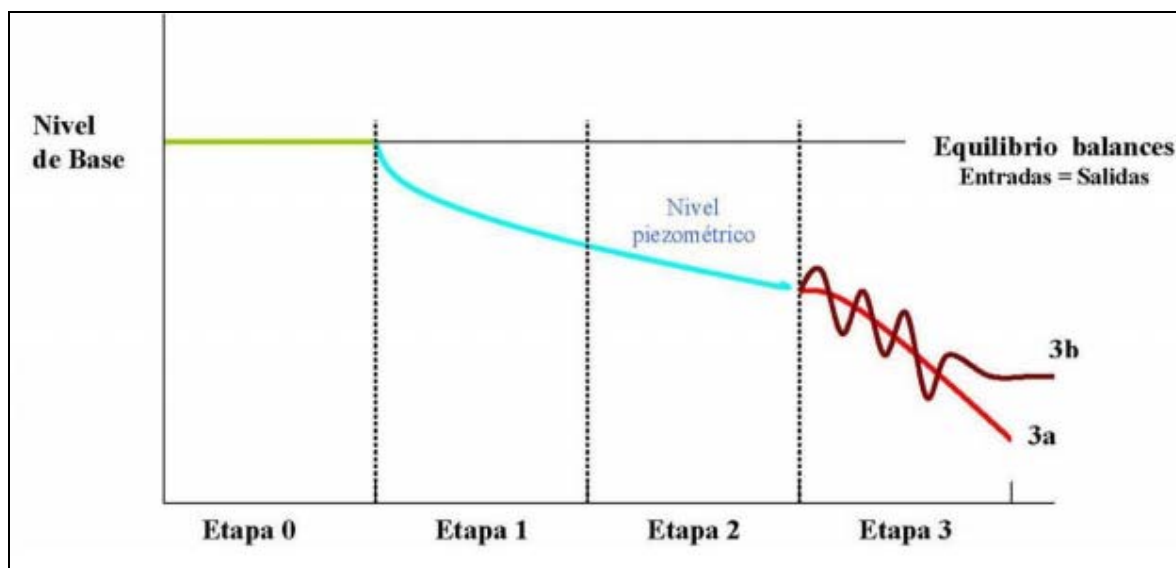


Figura 5. Niveles de desarrollo del agua subterránea.

Fuente: Molina (2009)

En la mayoría de las zonas áridas y semiáridas de España la situación en la que se encuentran los acuíferos es la etapa 3, debido a la ausencia de planificación y gestión que se ha llevado en la explotación de los mismos (Molina, 2009).

España ha alcanzado la madurez hídrica (Fernández, 2008) en la década de los 90 (su demanda total ha sobrepasado la mitad de sus recursos), y aparentemente mantiene su tendencia general del último siglo en cuanto a la gestión hídrica. La gestión hídrica del país encara serias dificultades, como son los periodos de sequía concurrentes, la sobreexplotación de acuíferos, la intrusión marina en varias zonas del litoral, la contaminación de masas de agua, el permanente “hidrocidio” (Llamas, 2008) de aguas potables, etc., cuya solución pasa por la consideración de recurso único en el agua y de la gestión conjunta del mismo.

II.4.4.- El concepto de Sobreexplotación.

En este escenario, la frecuente situación de sobreexplotación en los acuíferos en España ha sido puesta de manifiesto por numerosos estudios e instituciones. En 1995 el Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, en un intento de regularizar la situación, presentó el proyecto de Actualización de Registros y Catálogos

de Aprovechamientos (ARYCA). Según el Libro Blanco del Agua en España (MIMAM, 2000) el resultado fue el siguiente: “458.966 pozos estimados; 244.703 declarados; y 109.021 inscritos”. Más recientemente se ha realizado un segundo intento mediante el proyecto de Actualización de Libros de Registro y Catálogo (ALBERCA) presentado por el Ministerio de Medio Ambiente en 2001 aunque según Fornés et al. (2004) todavía es muy pronto para hacer una valoración objetiva de los resultados del proyecto.

Una publicación del Ministerio de Medio Ambiente (MIMAM, 1998) estimaba una inversión del orden de 12 millones de euros para la inscripción de las captaciones y la evaluación de los caudales extraídos. Aunque, esta cifra se antoja escasa después de que en 1998 el Ministerio de Medio Ambiente contratara una asistencia técnica para la clarificación jurídica de las sobreexplotaciones del Alto Guadiana por valor de 6 millones de euros.

En la cuenca Hidrográfica del Segura la situación de sobreexplotación es reconocida en el Plan de Cuenca, tal y como aparece en la tabla 1:

ENTRADAS	
Recarga	820 hm ³ /año
SALIDAS	
Drenaje ríos y manantiales	554 hm ³ /año
Descarga subterránea (mar)	12 hm ³ /año
Bombeos	485 hm ³ /año
DÉFICIT	215 hm³/año
Recursos subterráneos renovables	254 hm ³ /año
Recursos no renovables	231 hm ³ /año
Sobreexplotación	231 hm³/año

Tabla 1. Balance de aguas subterráneas en la Cuenca del Segura.

Fuente: Elaboración propia a partir del Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura (1998)

En este sentido, los efectos negativos de la sobreexplotación evidente en los acuíferos del sureste español, son resumidos según Llamas (1998a) en los siguientes:

- **Descenso de los niveles piezométricos** en los acuíferos. La ausencia de control sobre el número de perforaciones sobre un acuífero y los caudales extraídos producen un descenso continuado de las reservas del acuífero que en el caso de Murcia han llegado a registrarse bajadas de de 10 m/año (Molina et al, 2009). Los efectos inmediatos de estos descensos son el aumento de los costes de extracción y el consecuente abandono del acuífero en el caso extremo en el que no sea asumible la operación de bombeo. Asimismo, muchos de los manantiales relacionados con los acuíferos terminan por secarse (caso de la mayoría de los asociados al acuífero del Boquerón), y este hecho conlleva la pérdida económica de la utilización del agua en estos puntos, así como la pérdida ecológica de los sistemas asociados en los mismos.
- **Degradación en la calidad de las aguas subterráneas.** La contaminación de las aguas de un acuífero no están relacionadas con la cantidad de agua extraída, sino con la aplicación de productos químicos en la agricultura o vertidos incontrolados en superficies permeables que terminan por filtrarse y llegar al nivel saturado. Hay que señalar que los efectos de la contaminación en el acuífero son detectados con una importante diferencia temporal con respecto al origen de dicha contaminación y suele ser muy difícil o imposible restituir al acuífero a su estado original. En otros casos, la inadecuada ubicación de los pozos en las proximidades de la costa puede provocar la intrusión marina y la salinización de las aguas.
- **Problemas de subsidencia.** El descenso de nivel piezométrico provoca el cambio del estado tensional del terreno (LaMoreaux, 1991; Sharp, 1991), pudiendo producir colapsos del terreno. Estos descensos del terreno que son impredecibles provocaron la bajada de grandes superficies en Florida de hasta 7 m (Llamas, 1992). En el caso de España los efectos de subsidencia, aunque no hayan sido tan graves, se han apreciado en zonas de Castilla la Mancha (García y Llamas, 1992) y en la ciudad de Murcia (Tomás et al., 2009)
- **Afección al caudal de ríos.** El descenso de los niveles piezométricos de algunos acuíferos ha provocado que en los ríos que pudieran estar conectados a los mismos, hayan pasado a una situación inversa a la natural,

y ser ríos perdedores del caudal que transportan. Un ejemplo de esta situación se produce en la cuenca alta del río Guadiana (Llamas et al., 2000)

- **Impactos ecológicos.** Tal y como se ha comentado con el caso de los manantiales, existen otros ecosistemas asociados a los niveles piezométricos de los acuíferos que pueden verse afectados o anulados por el descenso de los mismos. Entre éstos son destacables los humedales, la vegetación freatofítica asociada a suelos saturados o los mencionados manantiales.

Sin embargo y teniendo en cuenta el peso de todos los efectos descritos, la consideración sobre la sostenibilidad en el uso de los recursos subterráneos conlleva necesariamente al análisis del concepto de sobreexplotación. Muchos son los autores que consideran controvertido este término (Bredehoeft, 1997; Foster, 1992; Sophocleous, 1997) ya que un descenso de los niveles piezométricos no implica necesariamente una extracción superior a los recursos renovables debido a la irregularidad de las recargas y a la posibilidad de establecimientos de nuevos regímenes transitorios en el propio acuífero. Es por ello, que es necesario un conocimiento exhaustivo de las características y el comportamiento del acuífero que implique un número considerable de años para poder analizar la variación interanual de los niveles piezométricos.

En relación con el binomio explotación-recursos renovables, existen ciertos sectores que tienden a considerar como sobreexplotación la extracción por encima de los recursos renovables, sin ninguna otra consideración con respecto a los beneficios obtenidos con el uso de los mismos. Por esta razón, parece más razonable la adopción de otros conceptos más precisos como los acuñados por Custodio (2002) como minería del agua (Mining Yield) para describir la situación en la que la extracción de agua supera enormemente la recarga del sistema y provoca una disminución considerable en sus reservas, "Safe Yield" (Custodio, 2002) o "One Time Reserve" (Sahuquillo, 1985) para designar las reservas que pueden ser extraídas temporalmente sin producir resultados indeseables. Incluso hay algunos autores (Llamas et al., 2000) que abogan por una consideración de la minería del agua bajo ciertas reglas:

- Consideración de una vida útil del acuífero, desde el punto de vista del suministro rentable, entre 50 y 200 años, idéntica a la de la mayoría de embalses.
- Análisis del impacto ecológico y la viabilidad económica del proyecto.
- Información a los beneficiarios de las extracciones del agua del agotamiento del recurso y de la vida útil del mismo.
- Planificación global en la que se consideren nuevos sistemas de suministro, alternativos o complementarios con el uso de las aguas subterráneas.

La situación de la minería del agua es la que se lleva realizando en la Cuenca del Segura desde hace bastante tiempo en muchos de sus acuíferos. Así, si se consideran válidos los datos que aparecen en el Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura (CHS, 1998) sobre Recursos y Demandas (Tabla 2), se comprueba que la situación prevista a medio y largo plazo (10 y 20 años) estima un déficit de 460 hm³, que en la actualidad proceden en su mayor porcentaje de recursos subterráneos no renovables.

		Actual	Horizonte 10 años	Horizonte 20 años
RECURSOS (hm ³)	Agua superficial	640	640	640
	Agua subterránea	220	220	220
	Reutilización	100	113	118
	Trasvase tajo Segura	540	540	540
	Desalación	0	40	40
TOTAL RECURSOS		1500	1553	1558
DEMANDAS (hm ³)	Urbana	217	255	260
	Industrial	23	38	38
	Regadíos	1660	1660	1660
	Medio Ambiental	60	60	60
TOTAL DEMANDAS		1960	2013	2018
DÉFICIT		460	460	460

Tabla 2. Balance de agua en la Cuenca del Segura.

Fuente: Elaboración propia a partir del Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura (1998)

Pese a ello, parece más razonable el planteamiento que se lleva realizando con éxito en otros países en los que se establece unas limitaciones de aprovechamiento de los recursos no renovables de un acuífero estableciendo ciertos límites en las extracciones y en los niveles a largo plazo. Un claro ejemplo se encuentra en Kansas, donde existen las llamadas políticas de “descensos planeados” en las cuales se establece un descenso máximo del 40% del espesor saturado en un período de 20-25 años (Sophocleous, 2011). En España, en la Comunidad de Madrid, la estrategia seguida para la utilización de los acuíferos pasa por el uso de los mismos un año de cada cuatro, dejando recuperar los niveles piezométricos durante tres años debido a la reducida recarga natural (López-Camacho, 2005).

II.5.- Uso conjunto de aguas superficiales y aguas subterráneas.

II.5.1.- La necesidad de una política de planificación.

Tradicionalmente la demanda de agua en España ha estado vinculada estrechamente al uso de las infraestructuras superficiales, recurriendo a las aguas subterráneas sólo en momentos puntuales y de una forma espontánea y sin planificar. Sin embargo, el aprovechamiento de los acuíferos ha demostrado su rentabilidad en los regadíos de gran parte de España y el mundo, posibilitando lo que se ha llamado “revolución silenciosa” que, desafortunadamente, también se ha desarrollado al margen de una planificación integrada de los recursos y por tanto bajo un futuro incierto.

Se espera que la población mundial ascienda de 7 billones de habitantes contabilizados en 2013 a 9,3 billones de habitantes en 2050 según la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2010). Este crecimiento de población irá aparejado con las consiguientes necesidades de recursos, estimándose que la producción agrícola deberá verse incrementada en un 33% (Singh, 2012a). La demanda de los recursos hídricos que este futuro horizonte plantea obliga a la consideración de una modificación en la independencia del uso de recursos llevada hasta el momento. Debido a la interrelación

que existe entre aguas subterráneas y superficiales, así como de la exigencia lógica de considerar el uso conjunto y/o alternado de ambas, se debe considerar y analizar como un recurso único (Winter et al 1998).

La enorme importancia que la planificación de los recursos hídricos tiene en la sociedad actual ha llevado a que numerosos científicos y expertos en la materia hayan propuesto diversas definiciones del concepto de uso conjunto. Se exponen a continuación las que se han considerado más significativas para el desarrollo y objetivo de la presente tesis.

Por su parte, Sahuquillo (1985) llama uso conjunto a la inclusión de las aguas subterráneas en un sistema de recursos hídricos para conseguir mejores resultados al poder aprovechar las diferentes características de las aguas superficiales y de los acuíferos.

Morel-Seytoux (1985) relaciona este concepto con un esquema de gestión hídrica que aprovecha la complementariedad existente entre aguas superficiales y subterráneas para conseguir, mediante la operación de ambas componentes, un beneficio mayor que el obtenido cuando se actúa por separado.

El Libro Blanco del Agua (MIMAM, 2000) describe como utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas “el uso planeado y coordinado de ambas fuentes, para la mejor satisfacción de la demanda”.

Por último, se hace referencia a la definición que hace Llamas et al. (2001) que establece el uso conjunto como el aprovechamiento de las características diferentes y complementarias de las aguas superficiales y subterráneas mediante una gestión hídrica que considere ambas componentes, ya que su empleo conjunto puede proporcionar una mayor disponibilidad de agua, así como ventajas funcionales y económicas.

Según Flores (2000) la utilización conjunta es “una forma eficiente de satisfacer las demandas de agua del hombre, que se basa en aprovechar los recursos hídricos,

superficiales y subterráneos, de forma coordinada, incrementando la disponibilidad, economizando su empleo en base a una racional modificación del ciclo hidrológico, en armonía y respeto a las demandas del medio natural.”

Como se puede comprobar, aunque todas las definiciones de uso conjunto de ambas aguas tengan en común el aprovechamiento de los recursos hídricos como recurso único, últimamente suele ser común la incorporación del componente medioambiental en consonancia con la Directiva Marco del Agua (DMA, 2000). Incluso, es habitual que aparezca la incorporación de recursos no convencionales (desalación, reutilización, etc.) en las últimas acepciones de ese término (Murillo, 2002).

II.5.2.- Diferencias y semejanzas entre aguas superficiales y subterráneas.

Para poder realizar el aprovechamiento de ambos recursos de manera conjunta es necesario conocer las características de ambos medios para, de esta forma, poder plantear las medidas y los medios necesarios para la integración y uso de aguas superficiales y subterráneas.

El agua subterránea y el agua superficial están íntimamente relacionadas ya que son parte del mismo ciclo hidrológico. Los acuíferos descargan a cuerpos de agua superficiales o pueden ser recargados por éstos, dependiendo de las condiciones locales. Sin embargo, es totalmente errónea la consideración de la gestión de las aguas subterráneas de forma idéntica a las aguas subterráneas ya que existen importantes diferencias entre ambas. Según Llamas (1998b) es lo que ha ocurrido con las Leyes de Aguas en España, realizada desde una “óptica superficial”, cuya declaración de dominio público está teniendo numerosos problemas.

Así, llegado a este punto, es preciso hacer un análisis de las diferencias entre ambos recursos para conseguir una gestión eficaz de su uso combinado.

1. En las aguas superficiales el factor dominante es el flujo. La velocidad del agua en los cauces de los ríos es del orden 100 km/día, mientras que por el contrario, en los acuíferos esta velocidad se reduce unas 100.000 veces, dependiendo de las características intrínsecas del mismo, alcanzando un valor medio de 1 m/día. No obstante, también hay que resaltar que esta diferencia de velocidad es compensada por las mayores secciones saturadas que existen en un acuífero frente al cauce de los ríos.
2. Por otro el factor dominante en los acuíferos es el almacenamiento. El agua embalsada superficialmente es muy pequeña en comparación con la retenida por los acuíferos en los dos ó tres primeros kilómetros de la superficie terrestre. Se estima por ejemplo que, en el caso de California, con un importante recorrido en utilización de agua conjunta de aguas, el agua extraíble almacenada en sus acuíferos es del orden de veinte veces del agua máxima que puede ser almacenada superficialmente (WEF, 1998). Este hecho posibilita a los acuíferos una gran capacidad para amortiguar la variabilidad del agua superficial y los ciclos de sequía ya que, por el contrario, la elevada irregularidad en la distribución de las entradas en los embalses superficiales, tanto estacional como anual, sin otra limitación para almacenarlas que el volumen disponible en cada momento, los hace especialmente sensibles frente a las aportaciones.
3. Una diferencia importante en la regulación de los recursos hídricos son las pérdidas existentes en el sistema. Como se ha comentado en epígrafes anteriores, en abastecimientos urbanos se encuentran en torno al 15-20% (INE, 2012), aunque estos datos, de difícil comprobación, pueden alcanzar valores superiores dependiendo de la inversión en renovación de infraestructuras. Asimismo, en los embalses superficiales el efecto de la evaporación del agua puede llegar a ser un factor importante en la evaluación de las pérdidas globales del sistema, especialmente en zonas semiáridas. Shiklomanov (1998) estima que estas pérdidas por evaporación en los embalses son mayores que los usos mundiales para abastecimiento e industria.
4. La construcción de nuevos embalses para aumentar la regulación de los recursos hídricos puede llegar a ser inviable por motivos económicos, sociales, ecológicos.

5. Las aguas superficiales son más vulnerables a la contaminación que las aguas subterráneas y sus efectos y consecuencias se hacen notar en un período de tiempo mucho más corto facilitado por la velocidad del flujo de los ríos. Así, mientras que como ya se ha dicho, la velocidad media de un río está en torno a 100 km/día y es inmediato el cálculo de la repercusión aguas abajo debido a la contaminación en un punto del mismo, se estima que para que una fuga de gasolina de un tanque pudiera afectar a un acuífero por filtración en el subsuelo podrían pasar varios años. (Llamas, 1998b). Sin embargo, la descontaminación en un acuífero es un problema de difícil o imposible solución, además de ser un proceso largo y costoso, en el que, debido a su retardo en el tiempo, es problemática a su vez, el reconocimiento del contaminador.
6. La característica intrínseca del acuífero como elemento almacenador, hace que las interacciones 'aguas arriba - aguas-abajo' ni predominan ni son necesariamente fijas.
7. La mayor parte de los proyectos de infraestructuras superficiales han sido subvencionados por el Estado o por alguna otra administración pública, mientras que el desarrollo de las aguas subterráneas ha estado siempre vinculada a la explotación privada y sin concesiones (con la excepción de acuerdos con compañías suministradoras de energía eléctrica). Pese a ello, está demostrada (Arrojo, 1999) la mayor rentabilidad de los regadíos con aguas procedente de acuíferos frente a los que utilizan aguas superficiales de embalses. Esto guarda relación con la política de la subvención de precios del agua, en la que el precio que se paga por el agua procedente de embalses es inferior a los costes reales y, por consiguiente, no hay una preocupación real por la eficacia de los riegos (Klohn et al., 1998), cuestión que intenta ser erradicada con la Directiva Marco del Agua (DMA, 2000).
8. La captación de recursos superficiales requiere normalmente escasa energía pero es preciso realizar grandes inversiones iniciales en obras de regulación, derivación y conducción. La captación de recursos subterráneos necesita normalmente de inversiones iniciales menos costosas, tanto para infraestructuras de captación como de transporte y distribución en algunos casos, pero requiere más energía para la extracción. Así, los costes medios de extracción de agua subterránea varían entre 0,12 €/m³ (abastecimiento) a 0,21

€/m³ (riego) en la Cuenca del Segura (MAGRAMA, 2012), mientras que los costes de mantenimiento y explotación de las infraestructuras de agua superficial están en torno a 0,03 €/m³ en algunas zonas de Andalucía (Vives, 2003). Sin embargo, en lo concerniente a los costes de inversión se arrojan valores de 1,25 €/m³ de agua embalsada, en el caso de presas (Fernández, 2008), frente a la escasa inversión que necesita la ejecución de un bombeo de extracción de aguas subterráneas.

Esta contraposición de ambos elementos mejora la aptitud del conjunto. En situación natural, las relaciones entre las aguas superficiales y subterráneas son importantes en las cuencas mediterráneas españolas pues es muy frecuente que una parte importante de las aguas superficiales provengan de drenaje de aguas subterráneas (acuíferos de cabecera e intermedios), constituyendo una regulación natural que se da en menor medida que en otras cuencas. También es frecuente que en las llanuras litorales sobre las que discurren las partes finales de los cauces, las aguas de los ríos se infiltren contribuyendo a alimentar al acuífero costero subyacente si bien estas relaciones pueden ser más complejas y dependen de la posición relativa del cauce y del nivel piezométrico de los acuíferos, de forma que dependiendo del tramo, el río puede ganar o perder agua. En muchos cauces efímeros la relación es prácticamente siempre de río perdedor, con lo que una fracción importante de los caudales acaba infiltrándose al acuífero. Esta complementariedad se intensifica mediante la recarga artificial o inducida del río: el agua recargada libera capacidad en el embalse para almacenar otras avenidas eventuales

Pese a todo ello, no hay que olvidar las desventajas que en la actualidad aún presentan las aguas subterráneas, debidas básicamente al escaso conocimiento y monitoreo de las mismas. Sahuquillo (1985) señala las principales:

- Conocimientos y experiencia insuficiente de los ingenieros hidráulicos. Pese a haberse alcanzado un enorme desarrollo de la hidrogeología durante el siglo XX, son aún reducidas las escuelas técnicas que imparten y profundizan en el estudio de los modelos físico-matemáticos relacionados con las aguas subterráneas.

- Las aguas subterráneas tienen la dificultad añadida de no poder medirse directamente, al igual que las aguas superficiales. Pese a ello, existen técnicas y métodos suficientes para su control, con un grado de fiabilidad semejante a los del análisis de las aguas superficiales.
- Políticas estatales focalizadas en la promoción de las grandes infraestructuras superficiales.
- Debido al aumento descontrolado del número de pozos la gestión del agua subterránea se complica especialmente por la necesidad de personal que se requiere para su supervisión, además de la especialización de estos equipos.
- Finalmente, son necesarias la toma de medidas legales para el control de estas aguas, que no pasan por el intervencionismo y el control administrativo de las mismas.

II.5.3.- Hidroesquizofrenia e hidromitos.

Pese a la evidente necesidad de una planificación conjunta de los recursos hídricos, muchos han sido los inconvenientes que han frenado una lógica incorporación de las aguas subterráneas al sistema general. Es lo que Nace (1973) ha llamado “hidroesquizofrenia” basada en los siguientes hidromitos (Custodio y Llamas, 1997), o concepciones erróneas sobre las aguas subterráneas:

1. Es difícil precisar las características del agua subterránea y la respuesta del acuífero tanto cuantitativa como cualitativamente tras una extracción.
2. La explotación del agua subterránea reduce el caudal de los ríos.
3. La explotación de los acuíferos es costosa.
4. En los países áridos existe el riesgo de sobreexplotación y de degradación de la calidad de los acuíferos.
5. La gestión de un acuífero es mucho más complicada debido al habitual elevado número de pozos y requiere personal especializado para su control.

6. La gestión del agua subterránea es imposible de incluirla en la planificación hidráulica, salvo que se declare pública.

Aunque parte de los enunciados anteriores pueden ser ciertos, es un grave error su generalización y se debería estudiar particularmente cada caso en cuestión para proceder a la subsanación del fallo o debilidad del sistema, si lo hubiera.

Llamas (1998a) hace un análisis exhaustivo de las causas de esta “esquizofrenia” o “enfermedad” relacionada con la separación entre análisis y gestión de aguas superficiales y subterráneas, concluyendo que los principales motivos que han llevado a los “hidromitos” anteriores son los siguientes:

1. **Subvenciones perversas.** Como se ha mencionado en apartados anteriores, las infraestructuras para la regulación de las aguas superficiales han sido pagadas en su práctica totalidad por el Estado o alguna de las administraciones públicas del país. Asimismo, parte de los costes de mantenimiento y explotación han sido transferidos al erario público, por lo que el precio pagado por consumidor final difería en gran medida de los costes para la obtención de ese volumen de agua demandado. Éste ha sido el principal motivo de la “esquizofrenia” referida ya que, como también se ha visto, está demostrada la mayor eficiencia y rentabilidad del uso de aguas subterráneas en los regadíos españoles. Llamas (1998b) hace también referencia a los intereses generados en las grandes infraestructuras favorecidas por políticos corruptos e ingenierías consultoras y constructoras en general.
2. **Educación Hidrogeológica.** La falta de conocimiento sobre la existencia y comportamiento del agua subterráneas por parte de los técnicos españoles, especialmente los Ingenieros Civiles responsables de la planificación hidráulica, ha sido una de las principales causas por las que se ha menospreciado e incluso ignorado la importancia de los acuíferos como recurso hídrico. Además, para la sociedad en general el acuífero es un elemento desconocido. Raramente se han promulgado medidas educativas por parte de las administraciones para paliar una

ignorancia generalizada alrededor de este medio. Como ejemplo de ello, cabe tan sólo mencionar la sentencia en 1861 de un juez en el Estado de Ohio en la que la Audiencia, en relación con el agua subterránea en el caso de “Frazier versus Brown”, sentenció lo siguiente: “Debido a que la existencia, origen, movimiento y curso de tales aguas, así como de las causas que gobiernan y dirigen su movimiento son tan secretos, ocultos y escondidos, un intento de establecer cualquier tipo de normas legales con respecto a estas aguas, sería prácticamente imposible” (Fetter, 1994).

3. **Organización legal.** Una razón, aunque no quizás la más importante por diferencia de criterios entre los estudiosos de la materia, es el régimen de propiedad (pública/privada) de las aguas, así como la multiplicidad y, a veces, duplicidad de administraciones con competencias sobre los recursos subterráneos. Según Llamas (1998b) “La idea de que una Administración única del agua puede resolver todos los problemas y que el agua debe ser de dominio público suele ser una aproximación simplista cuya aplicación puede ser incluso contraproducente”. En California, la gran mayoría de los acuíferos están gestionados privadamente y corresponden a asociaciones privadas velar por la recuperación de los acuíferos que se detectan como sobreexplotados.
4. **Falta de valor estético.** Otro de los mayores inconvenientes de las aguas subterráneas es su invisibilidad. Las aguas superficiales cuentan con el beneplácito y defensa por su valores ecológicos y sociales porque es un bien palpable, comprobable en cualquier momento. Sin embargo, el acuífero no cuenta con esa cualidad subjetiva de belleza plástica que lo convierte en un elemento de menor importancia en comparación con las masas de agua superficial.

II.5.4.- Ventajas del Uso Conjunto.

Parece que, por lo visto hasta el momento, el problema de regulación, que afecta a numerosos sistemas de explotación, podría ajustarse mediante la integración

de los acuíferos en el sistema de modulación, esquema de gestión que conlleva las siguientes ventajas:

1. Mayor diversificación de las fuentes de suministro y por consiguiente el aumento de las alternativas de gestión
2. Mejora en las garantías de satisfacción de las demandas. La gestión conjunta permite utilizar los recursos subterráneos en épocas de sequías y recargarlos épocas húmedas (uso alterno). De esta forma, los fallos del suministro se reducen al incorporar en el sistema un depósito subterráneo con capacidad y reservas superiores a los embalses superficiales.
3. Alternativa o escalonamiento de inversiones en infraestructuras superficiales.
4. Posibilidad de utilización del acuífero como elemento de transporte del área que queda afectada por el mismo.
5. Mediante la recarga artificial el acuífero puede utilizarse como elemento de almacenamiento, reduciendo además los costes de extracción.
6. Aumento de la garantía de calidad de las aguas gracias a la menor vulnerabilidad de las aguas subterráneas frente a la contaminación.
7. La integración efectiva de los acuíferos pueden resolver los problemas de sobreexplotación que presentan algunas unidades hidrogeológicas, restituyendo su régimen.
8. Resolver problemas de subsidencia.
9. Solucionar problemas de intrusión salina.
10. Resolver problemas de drenaje inducido como consecuencia de la filtración de excedentes.
11. Asimismo, los acuíferos también pueden utilizarse como elemento de filtración, mezclando aguas de diferente calidad.
12. La utilización de los acuíferos proporciona al planificador de una serie de herramientas de gran interés para la optimización técnico-económica de grandes infraestructuras hidráulicas y para el aprovechamiento integral de recursos hídricos no convencionales,

tales como aguas residuales depuradas, aguas desaladas y aguas de tormenta.

La posibilidad de utilizar los acuíferos como elementos de regulación de recursos hídricos se fundamenta en las propiedades que éstos presentan, en particular:

1. Capacidad de almacenamiento o Función Capacitiva. Aptitud natural que presentan los acuíferos, para almacenar en su interior significativos volúmenes de agua.
2. Capacidad de regulación o Función Transmisiva. Aptitud que presentan los acuíferos en función de que permiten almacenar el agua en unas épocas y proceder a su extracción en otras.

Aunque la capacidad de almacenamiento es difícilmente modificable, la capacidad natural de regulación puede ser aumentada mediante la adopción de determinadas actuaciones en la explotación de los acuíferos (Andreu et al., 2010). Así, en la mayor parte de las aplicaciones reales de utilización conjunta, los mayores beneficios se derivan de aprovechar la capacidad de almacenamiento de los acuíferos, las interconexiones entre aguas superficiales y subterráneas y las diferentes dinámicas de circulación del agua superficial y subterránea. Para ello, pueden distinguirse tres tipos o esquemas básicos de utilización conjunta:

1. **Recarga artificial**, consistente básicamente en introducir agua excedente en acuíferos. Esta técnica es considerada una “Driving Force” (Armenter, 2006), es decir una actividad capacitada para provocar un impacto sobre la cantidad y calidad de las masas de agua. Existen numerosas técnicas para la introducción de agua: inyección en pozos, infiltración en balsas ad-hoc, infiltración en canales, o en cauces permeables de ríos. A su vez, dentro de la recarga artificial, se pueden distinguir dos tipos de Gestiones del uso del acuífero (López y López, 2006):

- o Gestión Estática, en la que se realiza la recarga en épocas de excedentes y se extrae en época de déficit (ASR) (figura 6).
- o Gestión Dinámica, en la que el agua recargada es aprovechada en las zonas alejadas de la recarga donde, por el trasiego de las aguas dentro del acuífero, es captada.

Los numerosos países donde este sistema lleva años implantado (Australia, Holanda, USA, Israel, Reino Unido, Canadá, Alemania, etc.) (Fernández, 2008; Andreu et al., 2010) y con excelentes resultados de funcionamiento avalan la utilización del mismo. En España, son relevantes las experiencias llevadas a cabo en el Bajo Llobregat, Segovia, Valladolid, Madrid, Castellón, Alicante, Mallorca, Jaén (Fernández, 2008; López et al., 2001, López-Camacho, 2005).

No obstante, se requieren previamente una serie de estudios de las características del acuífero y de su contexto hidrogeológico para garantizar el éxito de la recarga. Además, las instalaciones necesitan de supervisión y mantenimiento, como de una calidad mínima en las aguas a infiltrar, por lo que será el análisis pormenorizado de cada caso lo que llevará a aconsejar o desestimar esta opción.

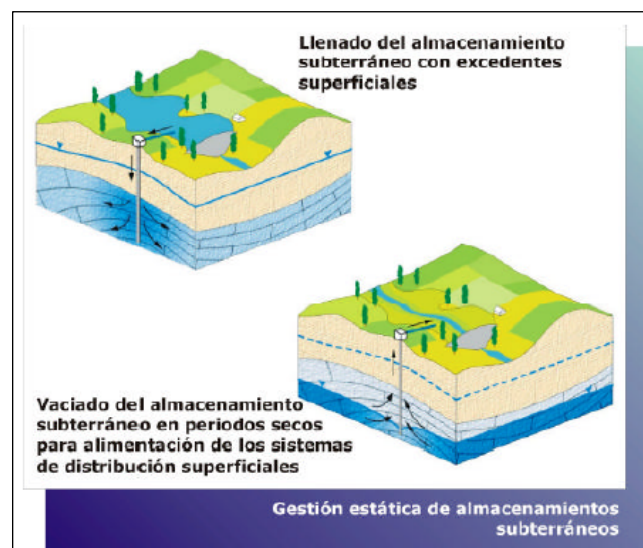


Figura 6. Tipos de gestión en acuíferos.

Fuente: López y López. (2006)

2. **Uso Alternativo.** Consiste en la utilización de aguas superficiales en épocas húmedas fundamentalmente y un uso mayor de las aguas subterráneas en las épocas secas, cuando el volumen de aguas superficiales no es suficiente para atender la demanda total. En esta modalidad de uso conjunto el acuífero se integra dentro del sistema de recursos hídricos como un depósito de enorme capacidad. De esta forma el acuífero reduce sus aportaciones en épocas secas y recupera sus niveles piezométricos en épocas húmedas cuando apenas es utilizado. Este es el sistema más simple de utilización conjunta, que además se ha venido utilizando en España, incluso a nivel particular, desde los años sesenta. En la actualidad este método dual de recursos se utiliza en Madrid, en la cuenca del Segura, en la comarca de Adra-Campo de Dalías, el Bajo Guadalhorce, en el Alto Vinalopó, etc. (Andreu et al., 2010).
3. El tercer tipo de uso aprovecha las **relaciones del acuífero-río o acuífero manantial**. Se trata de aprovechar la cercanía de la transmisión de agua del acuífero a estos elementos para extraer mayores caudales de los que se podrían obtener a una distancia mayor. Cabe destacar la experiencia en Estados Unidos en la cuenca del río South Platte (Sophocleous, 2011) y su relación con el acuífero Ogallala. En España, es frecuente este tipo de extracciones en la Vega Alta y Media del Segura (Andreu et al., 2010).

II.5.5.- *Análisis de la gestión conjunta de recursos.*

Como se puede intuir, las primeras etapas del uso conjunto de recursos, basado en el uso alternativo de los mismos, pueden desarrollarse y producir beneficios sin requerir muchos estudios ni análisis profundos. Es más, este tipo de usos alternos se ha desarrollado en numerosas zonas españolas de forma intuitiva a lo largo del tiempo. Pero como está comprobado, en aquellas zonas semiáridas (como las cuencas mediterráneas), donde las explotaciones se han realizado sin control, por parte de los usuarios, ni planificación, por parte de las administraciones, la experiencia demuestra

que aparecen numerosos problemas de toda índole (técnica, social, económica, política), cuya solución requiere de estudios y análisis más profundos.

Para realizar dicho análisis y realizar una planificación y gestión coherente y organizada son necesarias una serie de herramientas y metodologías para el apoyo en la toma de decisiones. El gran avance de la informática ha permitido la integración de modelos matemáticos complejos que permitieran la modelación de la interacción de aguas superficiales y subterráneas de forma rápida y sencilla.

A este respecto, Andreu et al. (2010) expone las siguientes características a tener en cuenta en la evaluación de la gestión conjunta de recursos:

- Integración e interrelación entre los estudios y análisis de las aguas superficiales y las aguas subterráneas. Pese a que en una primera fase se desarrollen los estudios hidrológicos y los estudios hidrogeológicos por separado, serán necesarios modelos que identifiquen las relaciones río-acuífero y las transferencias entre ambos sistemas.
- En estos modelos, no sólo se simularán ambos componentes del ciclo hidrológico, sino que habrá de integrar a su vez aquellos elementos de conexión naturales o artificiales (cauces, canales), los actores que intervienen en el proceso de demanda, las fuentes alternativas de recursos (desalación, reutilización) y contemplar de forma adecuada las interacciones entre todos estos elementos.
- El modelo utilizado debe albergar la posibilidad de incorporar prioridades y reglas de gestión, en consonancia con las alternativas planteables en una gestión compleja.
- Además, las hipótesis de funcionamiento de cada elemento, así como la variabilidad en las aportaciones y los recursos demandarán un gran número de simulaciones, que dependiendo de la complejidad y extensión del sistema pueden llegar al orden del millar. De ahí la necesidad de herramientas eficaces para facilitar el desarrollo del estudio en un tiempo razonable.

II.6.- Gestión local de recursos hídricos.

II.6.1.- Bases legales.

La gestión conjunta de los recursos superficiales y subterráneos es una de las ideas básicas que preside el Texto Refundido de la Ley de Aguas (España, 2001) y de la nueva política de aguas de la Unión Europea. Pese a que la nueva titularidad de las aguas subterráneas desde la Ley de Aguas de 1985 (España, 1985) ha intentado modificar el concepto de su explotación, la condición transitoria de igual régimen de aprovechamiento durante un período de 75 años, no hace sino postergar el problema de la integración de los acuíferos en el sistema de gestión de recursos hídricos. Los principios referentes a la gestión en materia de agua se encuentran recogidos en el art. 14 del TRLA y pueden resumirse en los siguientes conceptos:

- Unidad de gestión, tratamiento integral, economía del agua, desconcentración, descentralización, coordinación, eficacia y participación de los usuarios.
- Respeto a la unidad de cuenca hidrográfica, de los sistemas hidráulicos y del ciclo hidrológico.
- Compatibilidad de la gestión pública del agua con la ordenación del territorio, la conservación y protección del medio ambiente y la restauración de la naturaleza.

Tal y como se puede comprobar, la utilización conjunta de los recursos hídricos superficiales y subterráneos está claramente amparada y fomentada por el TRLA. Así, según el art. 14 de dicho texto, uno de los principios rectores de la gestión en materia de aguas es el respeto a la unicidad del ciclo hídrico, lo cual implica la no separación entre aguas superficiales y subterráneas, propiciando la utilización conjunta de ambos recursos. La Planificación Hidrológica se realizará mediante los Planes de Cuenca. Cada Plan Hidrológico de cuenca debe contener una serie de puntos a que obliga el TRLA, alguno de los cuales, como los que enumera el art. 42 letras b (usos y demandas), c (criterios de prioridad de usos), g (perímetros de protección y medidas de conservación), i (recarga artificial) están íntimamente relacionado con el uso

conjunto y a veces son los objetivos que se persiguen con la implantación de esquemas de uso conjunto.

El Plan Hidrológico Nacional (Ley 10/2001 de 5 de julio, modificada por la Ley 53/2002, de 30 de diciembre, la Ley 62/2003, de 30 de diciembre, el Real Decreto-Ley 2/2004, de 18 de junio, y la Ley 11/2005, de 22 de junio.) en su artículo 27, obliga a los distintos Organismos de cuenca a elaborar planes de gestión de las sequías, que en la práctica son planes de utilización conjunta de los recursos superficiales y subterráneos.

Así, el Plan especial ante situaciones de alerta y eventual sequía (P.E.S) de la Cuenca del Segura (CHS, 2007) fue aprobado por la Orden MAM/698/2007, de 21 de marzo, por la que se aprobaron los planes especiales de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía en los ámbitos de los planes hidrológicos de cuencas intercomunitarias. En su capítulo 9, indica expresamente el uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas dentro de las medidas tácticas encaminadas a la limitación de estados de sequía.

Además, el Plan Hidrológico de la cuenca del Segura (CHS, 1998) (aprobado por Real Decreto 1664/1998 de 24 de julio) establece, en su art. 8 que para establecer la prioridad entre aprovechamientos se atenderá a la secuencia óptima del aprovechamiento, determinada ésta mediante el modelo de simulación de gestión de los recursos, lo cual implica la elaboración de modelos de optimización de la gestión, o de uso conjunto.

Por otra parte, el Texto Refundido de la Ley de Aguas (España, 2001) recoge el testigo del Libro Blanco del Agua (MIMAM, 2000), creado con el objetivo de conseguir una visión amplia del conocimiento de los problemas del uso del agua en España y tras ello, estimar la evolución previsible, el establecimiento de opciones y prioridades en el uso de la misma y servir de apoyo a la redacción de los planes hidrológicos de cuenca. En este documento ya se recogía la utilización conjunta de las aguas subterráneas y superficiales de los tres tipos vistos anteriormente: uso alternativo, relación agua-acuífero y manantiales kársticos.

A nivel europeo, la aprobación de la Directiva Marco del Agua (DMA, 2000) y de la “directiva hija” de Aguas Subterráneas (DAS, 2006) se espera que supongan un impulso muy importante y beneficioso para la gestión y protección de los acuíferos en España. El objetivo fundamental de la DMA, expuesto en su artículo 1, es conseguir un buen estado ecológico de las aguas superficiales continentales, las aguas de transición, las aguas costeras y las aguas subterráneas para 2015, estableciendo dos prórrogas para cumplir con estos objetivos: 2021 y 2027. En el artículo 4 se definen los objetivos medioambientales en relación con las aguas subterráneas. Se establece que los Estados miembros habrán de aplicar las medidas necesarias para evitar o limitar la entrada de contaminantes y evitar el deterioro del estado de todas las masas de agua. Obliga a los estados miembros a diseñar Planes de Cuenca para finales del 2009, de acuerdo con los principios de gestión integrada del agua y de la participación pública activa en el proceso de planeamiento. Las fases que la DMA establece en la planificación hidrológica son las siguientes:

1. Caracterización de la demarcación hidrográfica, que incluye la descripción general de la cuenca, identificación de las áreas de especial protección, identificación de presiones sobre las aguas y la evaluación de sus impactos y, análisis económico de los usos del agua.
2. Establecimiento de los Objetivos medioambientales (art. 4). Los objetivos para las aguas superficiales son la prevención del deterioro de su estatus, restaurar su buen estado para el año 2015 e implementar las medidas necesarias con el ánimo de reducir progresivamente la contaminación de sustancias prioritarias y cesando la emisión, descarga o pérdidas de sustancias peligrosas. Para las aguas subterráneas, los objetivos son la implementación de las medidas necesarias para prevenir o limitar la entrada de contaminantes en los acuíferos, la protección y restauración de todos los acuíferos asegurando un equilibrio en el balance entre extracción y recarga (año 2015) e implementación de medidas para prevenir la tendencia negativa en la concentración de cualquier contaminante.
3. Programas de Control mediante vigilancia, control operativo y control para investigación.

4. Análisis de resultados de primera fase y comparación con los objetivos medioambientales (segunda fase).
5. Implementación de programas de medidas especificados en el artículo 11.
6. Elaboración del Plan Hidrológico de Cuenca, guía para conseguir los objetivos definidos.
7. Implementación de medidas de evaluación.
8. Información y consulta pública.

II.6.2.- La Gestión Integral de Recursos Hídricos (GIRH).

La gestión de los recursos hídricos se enfrenta a enormes retos en el siglo XXI debido a las enormes presiones a la que es sometida como consecuencia de su valor económico, político y social. Desde que el concepto de sostenibilidad fuera el principio que abanderara la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo en 1987 en el informe Brundtland, el agua ha sido reconocida como uno de los componentes básicos para el desarrollo de la humanidad. En Europa, la Directiva Marco del Agua adopta esta misma filosofía y en la obligación a la redacción de los Planes de Cuenca de todos sus estados miembros, impulsa los principios del paradigma de la Gestión Integral de Recursos Hídricos, con el expreso requerimiento de una participación generalizada y veraz de todos los actores integrantes en el proceso.

El concepto de GIRH surge en el marco de las nuevas tendencias que consideran la necesidad de incluir la sostenibilidad de los recursos hídricos y establece un tipo de enfoque holístico a incluir en los estudios técnicos que tengan alguna relación con la gestión del agua. Dicho paradigma nace de los principios de correcta gestión del agua que venía siendo abordada desde mediados del siglo pasado. Especial repercusión han tenido las numerosas conferencias internacionales realizadas a tal efecto. Son de destacar por la su relevancia e influencia la Conferencia de las Naciones Unidas en el mar de Plata en 1977, la Cumbre Mundial en Río de Janeiro en 1992 y, especialmente, la Conferencia de Dublín de 1992. A los principios rectores de la Declaración de esa cumbre (Tabla 3), se le atribuye básicamente el germen del desarrollo de este concepto (Moriarty et al., 2004). La Gestión Integral de Recursos

Hídricos (GIRH) es “simplemente” el proceso de implementación de los principios de Dublín, en el sentido de establecer el marco donde profesionales, usuarios y políticos logren una gestión eficaz, equitativa y sostenible de los recursos hídricos, desde un enfoque informativo y participativo (GWP, 2000).

No obstante, el concepto de GIRH no es nuevo. Por ejemplo, en 1907 en Estados Unidos el presidente Theodore Roosevelt encargó a la Comisión de Ríos Interiores que diseñara un plan para que se combinaran, en la medida de lo posible, proyectos y usos de las aguas de estos ríos, teniendo en cuenta todos los puntos de vista de los usuarios de estas aguas (The New York Times, 17 de marzo, 1907, p. 5).

Principio N°. 1 El agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente. Dado que el agua es indispensable para la vida y los medios de vida, la gestión eficaz de los recursos hídricos requiere un enfoque holístico que concilie el desarrollo económico y social y la protección de los ecosistemas naturales. La gestión eficaz establece una relación entre el uso del suelo y el agua a lo largo de una cuenca hidrológica o un acuífero. Principio N°. 2 El desarrollo y la gestión del agua debe basarse en un enfoque participativo, involucrando a los usuarios, los planificadores y los responsables de las decisiones a todos los niveles. El enfoque participativo implica que los responsables de las políticas y el público en general adquieran mayor conciencia de la importancia del agua. Significa que las decisiones se adopten en el nivel más bajo apropiado, con la plena realización de consultas públicas y la participación de los usuarios en la planificación e implementación de los proyectos de agua. Principio No. 3 La mujer desempeña un papel fundamental en el abastecimiento, la gestión y la protección del agua. Este papel primordial de la mujer como proveedora y consumidora de agua y defensora del medio ambiente viviente rara vez se ha reflejado en disposiciones institucionales para el desarrollo y la gestión de los recursos hídricos. La aceptación e implementación de este principio requiere políticas positivas que aborden las necesidades específicas de la mujer y que la preparen y empoderen para que participe en todos los niveles de los programas de recursos hídricos, incluyendo la toma de decisiones y la implementación, en las formas que ellas determinen. Principio N°. 4 El agua tiene un valor económico en todos sus diversos usos en competencia y debería reconocérsele como un bien económico. En virtud de este principio, es esencial reconocer ante todo el derecho fundamental de todo ser humano a tener acceso al agua pura y al saneamiento por un precio asequible. En el pasado, la ignorancia del valor económico del agua condujo al desperdicio y a la utilización de este recurso con efectos perjudiciales para el medio ambiente. La gestión del agua, en su condición de bien económico, es un medio importante para lograr el uso eficaz y equitativo del agua, y de alentar la conservación y protección de los recursos hídricos.

Tabla 3. Principios de la Declaración de Dublín.

Fuente: WMO (1992)

El desarrollo de la GIRH implica la necesidad de promover una serie de estudios multidisciplinarios para considerar todos los aspectos relacionados con la cuestión de la gestión del agua, con el principal objetivo de reconducir esta gestión hacia la sostenibilidad (Molina et al., 2009).

En la actualidad, se considera que la mejor forma de realizar una gestión sostenible, equitativa y eficiente de los recursos de agua, particularmente a escala de cuenca, debe ser desde un enfoque integrado (Mariño y Simonavic, 2001).

Lo que se debe tener claro es que la GIRH es un proceso en sí, no una meta (Jonch- Clausen, 2004). Las metas a alcanzar utilizando la GIRH son la sostenibilidad, tanto económica como ambiental y social, la eficiencia económica en el uso del agua y la equidad social. El reto es, entonces, encontrar un equilibrio entre la protección del recurso en sí y la satisfacción de las necesidades sociales y ecológicas asociadas al proceso de desarrollo económico (Odendaal, 2002).

Pero no toda la comunidad científica respalda las ideas de la GIRH. Biswas (2004, 2008) es especialmente crítico con este concepto de solución universal al problema del agua. En primer lugar, no existe una definición consensuada ni compartida del paradigma de GIRH. Considera además que las definiciones que diversos autores y organismos han realizado sobre el mismo son “vagas, indefinidas e inaplicables” (Biswas, 2008). Además, recuerda que en ninguna de estas definiciones se hace referencia a los parámetros a controlar o monitorizar, dando una lista de hasta cuarenta y dos tareas que diversos autores han considerado necesarias incorporar a la gestión integral e integrada de recursos hídricos, lo cual resultaría imposible por la complejidad y por la falta de información que, incluso en países desarrollados, no poseen (Mc Donnell, 2008). Y afirma que es en esa falta de concreción donde radica su éxito, en una sociedad contemporánea globalizada en la que un concepto vacío, construido en un discurso simplemente retórico alcanza un auge desorbitado. Una simple guía metodológica no puede resolver el problema del agua en cualquier lugar del mundo, ya que éste varía y depende enormemente de casos concretos regionales, institucionales y económicos, en absoluto generalizables. Tampoco considera adecuada la integración de administraciones en la gestión del agua porque considera que muchas

de las instituciones que se pretende integrar tienen diferentes usuarios, y por ende, distintos intereses. Una integración puede suponer una pérdida de representatividad de esos intereses y usuarios, una concentración de poder y una reducción en la transparencia y control de sus funciones (Biswas, 2004).

Esta pérdida de representatividad y acumulación de funciones en unas pocas instituciones, está intentando ser solventada a través de otro de los elementos clave en la GIRH, el incremento de la participación de usuarios implicados y la descentralización en la toma de decisiones hacia menores niveles de gobierno.

Asimismo, autores como Foster y Ait-Kadi (2012), defensores de la GIRH, más como un proceso que como un concepto reconocen la dificultad de países en la implementación de los principios regidores de su filosofía, especialmente relacionados con los siguientes aspectos:

- Insuficiente coordinación entre administraciones y enorme complejidad de organización burocrática del sector del agua.
- Gran resistencia al cambio de la política de recursos frente a una política de demandas y los objetivos marcados en una gestión integrada.
- Financiación.
- Débiles mecanismos de participación

De todo ello se deduce que el uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas y su transposición mayor, que es la gestión integral de recursos hídricos, no son posibles sin el apoyo y participación de las Comunidades de Usuarios y Administraciones Locales, por lo que éstas deben incorporarse a la gestión del agua lo más rápidamente posible. En este sentido es preciso explicar y concienciar a los usuarios del agua que este tipo de asociación y lo que ello apareja beneficiará ampliamente a todos pues permitirá poner en juego herramientas de gestión difíciles de implementar de otra forma.

En resumen, la GIRH ha surgido en los últimos años como una respuesta de la llamada “crisis del agua” para, en primer lugar, determinar las causas de esta crisis

(descoordinación entre administraciones, falta de control sobre el uso y gestión de los recursos) y en segundo lugar, suponer un cambio de escenario de gestión, trasladándose desde el tradicional enfoque basado en la entidad del recurso y su cuestión cuantitativa, hasta un contexto más holístico en relación con todos los actores participantes en este proceso.

II.6.3.- El factor escala en la Gestión de Recursos Hídricos.

Uno de los participantes con peso en este enfoque de la planificación hídrica son las administraciones locales, lo que implica la abstracción del nivel de cuenca del río a un nivel o escala más reducida en función del elemento o acción a considerar. Gonsalves (2000) define como “ir a escala” (going to scale) al método de “conseguir más beneficios de calidad a más personas en un área determinada, de forma más rápida, más equitativa y más perdurable”. Lovell et al. (2002) ahonda en este concepto diferenciando a su vez tres tipos de escala para conseguir los beneficios que proporcionan la escala adecuada:

- Escala temporal, argumentando que los planteamientos en cuanto a recursos naturales, dependen de la perspectiva de plazo y los cambios que sobre estos recursos van modificando las características de los mismos.
- Escala Biofísica, relacionada con las características intrínsecas del medio estudiado.
- Escala institucional, diferenciando entre las posiciones extremas de la centralización (Hoekstra, 2006), como opción de coordinación o “lo pequeño es bello” (Murphree, 2000) como opción de transparencia, conocimiento y eficacia.

Además, uno de los principales motores de la GIRH es la participación y consideración de todos los usuarios relacionados con los recursos hídricos en la planificación y gestión de los mismos (GWP, 2004). En este sentido, las administraciones locales tienen un papel claramente relevante en el proceso, al ser los componentes de gobierno más próximos a la escala de determinados acuíferos de

pequeñas dimensiones. Asimismo estas administraciones son con frecuencia las responsables últimas de algunos de los llamados recursos alternativos (reutilización) y están en contacto directo con las demandas, necesidades y problemas de suministro de su área de influencia. En este sentido, se pueden establecer dos corrientes para implementar los principios del GIRH a escala local (Moriarty et al., 2004):

1. Mediante la incorporación de la administración local a nuevas instituciones creadas a tal efecto. Es la que viene a llamarse “planteamiento completo” (full).
2. Mediante la realización de acciones locales de implementación de la GIRH, que se denomina “planteamiento ligero” (light)

Idéntica percepción es percibida por el ICLEI (2005), en la que se plantea la implementación de los principios de la GIRH a través de dos marcos: **macro-nivel**, en el que se alienta a una coordinación a nivel de cuenca con otras administraciones locales y el resto de interesados y **micro-nivel**, a través de acciones coordinadas en la administración local que no interfieran con el objetivo común a nivel de cuenca.

Mientras que, como se ha visto, el principio nº 1 de la declaración de Dublín sostiene que la escala adecuada para la gestión de los recursos hídricos debe ser la cuenca del río, en el segundo de los principios, hace una llamada de reducción hasta la escala más baja apropiada, para una participación real de todos los estamentos de la sociedad. Jouralev (2003) realiza varias proposiciones para llevar a cabo el primero de los principios para la implementación de la GIRH a escala local (full):

- Desconcentración administrativa, delegando responsabilidades de la cuenca a entidades locales que sean dependientes de la entidad global de cuenca, tales como monitoreo, control, seguimiento, otorgamiento de licencias, etc.
- Coordinación de cuenca, en la que se formarían asociaciones con representantes de cada uno de los grupos con interés en

la gestión hídrica, incluidos representantes de todas las escalas de la administración (estatal, cuenca, local).

- Descentralización en entidades autónomas. La diferencia con la primera opción es que en ésta la entidad no depende directamente del organismo nacional sino que actúa independientemente de él aunque dentro de las limitaciones impuestas por el mismo.
- Descentralización en administraciones locales, en la que existe una total independencia de la entidad nacional o cuenca administrativa.

A este tipo de planteamiento completo (full) sobre la gestión del agua existen numerosas críticas debido a que de esta forma la GIRH termina básicamente en un proceso administrativo alejado de donde verdaderamente se necesita crear el golpe de efecto, que es a la escala local (Biswas, 2004, 2008). Sin embargo, no pocas son las experiencias en el mundo (Bolivia, India, Holanda) que, con mayor o menor éxito, han conseguido implementar los principios del GIRH mediante esta descentralización coordinada (Bustamante et al., 2004; Brannstrom, 2004, Faguet, 2003; Lockwood, 2004).

Ya que el anterior planteamiento se puede ver como una tarea de dimensiones descomunales para ser llevadas a cabo por una administración local, se plantea la opción del planteamiento ligero ("light"). Esta forma de proceder no es excluyente ni alternativa de la anterior, sino justo lo contrario. Puede incluso considerarse como el paso previo al planteamiento completo de gestión, la fase inicial. Además, si todos los actores a nivel local toman medidas y acometen planes y acciones que puedan desarrollarse en su ámbito, ello contribuirá a una progresiva implantación de la GIRH a escala global. Dos ejemplos útiles sobre el uso de directrices basadas en los principios de Dublín para implementar la gestión parcial de los recursos hídricos a escalas locales son los principios de trabajo para la GIRH en agua y saneamiento desarrollados por Visscher et al. (1999).

Por otro lado, la gestión a nivel local no sólo está condicionada por el tamaño de las instituciones administrativas, sino también por la dimensión física o extensión del

medio que proporciona el recurso. Los acuíferos, definidos por criterios hidrogeológicos, tienen la capacidad de ser la estructura apropiada en la cual centralizar la gestión y protección de sus recursos (Garduño et al., 2006). Así, por ejemplo, se pueden establecer los siguientes tipos de enfoque de acuerdo a la situación concreta que se estudie:

- **Acuíferos grandes pero de menor extensión que la cuenca** En este caso, cada unidad específica del acuífero o cuerpo de agua subterránea requiere un plan local de gestión independiente, el cual debe tener en cuenta que la recarga de agua subterránea puede depender del flujo aguas arriba de los ríos y que el flujo de los ríos aguas abajo puede depender, a su vez, de la descarga del acuífero.
- **Acuífero cuaternario somero que subyace en grandes extensiones de una cuenca.** En este caso, la relación agua superficial-agua subterránea (y su gestión) son críticas para evitar problemas tales como la movilización de sales si se elimina la vegetación del suelo o el anegamiento y ensalitramiento del suelo ocasionados por el riego agrícola, por lo que es imperativo efectuar la planificación y gestión de los recursos hídricos superficiales y subterráneos.
- **Sistemas acuíferos profundos y extensos en regiones más áridas.** En este caso domina el flujo de agua subterránea. El flujo permanente de agua superficial es escaso y por tanto no tiene sentido establecer “organismos de cuenca” y es más útil definir un plan de gestión sólo para el recurso de agua subterránea y efectuar su gestión a “nivel de acuífero”.
- **Zonas en donde predominan acuíferos menores,** caracterizados por niveles someros, distribución espacial discontinua y potencial bajo. En esta situación, el agua subterránea tiene poca interacción con la cuenca suprayacente y carece de suficiente almacenamiento como para justificar una planificación y administración completa del agua subterránea. Sin embargo, dada su importancia social como fuente de abastecimiento rural, se justifica poner un mayor esfuerzo tanto en el diseño óptimo de los pozos (con objeto de maximizar su rendimiento y confiabilidad durante las

sequías), como en identificar las restricciones que posibles problemas de calidad del agua de origen natural puedan imponer.

Como conclusión a este capítulo se puede extraer que, en situaciones en que no existen o no surten efecto la clase de marcos legales e institucionales para la planificación y asignación de los recursos hídricos de una forma eficiente, equitativa y respetuosa con el medio ambiente, una gestión “parcial” de los recursos hídricos parece ser una solución factible y conciliadora que frene los desajustes y los déficits existentes en muchas poblaciones, especialmente en el sur y levante español. La idea en que se basa el enfoque “parcial” es que si todos los actores del subsector aplican buenas prácticas de GIRH en sus propios trabajos y niveles, esto a su vez ayudará a que resulte una mejor gestión del recurso hídrico en el nivel global, lo cual supondrá un primer paso en el proceso de la GIRH. Sin embargo, es muy importante ser consciente de que es poco probable que la gestión parcial de los recursos hídricos en el subsector, pueda tomar todas las decisiones difíciles sobre la gestión “integral” de los recursos hídricos, por lo que se deberá contar a su vez con el consenso y comunicación del organismo de cuenca del que se dependa en cada caso.

Y es a escala local, en aquellas zonas donde existan acuíferos con suficiente entidad, donde la aplicación de medidas gestión conjunta de recursos hídricos puede paliar el problema de la regulación de los mismos mediante la integración del acuífero como embalse subterráneo que funcione como almacenamiento con recuperación (ASR), como se describe en el epígrafe II.3.

Capítulo III

Modelización de la gestión de Recursos Hídricos. El modelo SIMGES.

III.1.- Modelización matemática de la gestión de recursos hídricos.

Un sistema de recursos hídricos se entiende, desde el punto de vista de la gestión, como una representación conceptual y simplificada del mismo que recoge las principales características del sistema real que se quiere modelizar.

La elección del modelo ha de hacerse teniendo presentes los objetivos de la modelación y eligiendo, entre los que cumplan esta condición, aquéllos que tengan un planteamiento lo más sencillo posible. Son los modelos matemáticos los que, gracias al espectacular avance de la informática en estas últimas décadas, han ganado en difusión y popularidad tanto entre la comunidad científica, como entre los responsables directos de la gestión de recursos hídricos.

Según Loucks et al. (1981) el uso de modelos matemáticos en la gestión de recursos hídricos es de utilidad cuando:

1. Los objetivos del sistema están razonablemente bien definidos, y hay individuos u organizaciones con capacidad de implementar las decisiones.
2. Hay muchas decisiones alternativas que satisfacen los objetivos planteados y la solución no es obvia.
3. Las soluciones alternativas y los objetivos pueden ser representados matemáticamente.
4. Los parámetros del modelo pueden estimarse con razonable precisión a partir de datos y estudios.

Todos los modelos matemáticos vienen determinados por los siguientes componentes (Collazos, 2004):

- i) parámetros: aquellos datos numéricos que caracterizan los elementos del sistema a estudiar.
- ii) variables: valores numéricos del sistema que son posible conocer con la aplicación del modelo y que, permiten evaluar la respuesta del mismo.
- iii) restricciones: reglas que relacionan las dos componentes anteriores entre sí y que describen el funcionamiento del sistema.

El tratamiento de la implementación matemática de la gestión de recursos hídricos tiene su origen en 1962 con Maass y Hufschmidt, cuando un equipo de investigación de la Universidad de Harvard inició el desarrollo de una metodología para el planteamiento y diseño de sistemas complejos de recursos hídricos (Maass et al., 1962).

Desde entonces, varios enfoques han sido propuestos a lo largo de los años para la optimización de los recursos hídricos y la definición de sus reglas de operación. Por ejemplo, Wurbs (1994, 2005) presenta una variedad de métodos para solucionar problemas relacionados con sistemas de recursos hídricos. Por otro parte, Labadie (2004) y Rani y Moreira (2010) presentan revisiones detalladas del estado del arte en modelos de operación de embalses. En base a esta literatura, se distinguen los siguientes modelos:

1. **Métodos de simulación**, cuyo objetivo es reflejar el funcionamiento del sistema en base a unas reglas dadas. Las reglas de operación están completamente establecidas a priori. Las conclusiones útiles se obtienen al comparar resultados, mediante ensayos de prueba y error (de las entradas o los parámetros). En este tipo de métodos el peso de la modelación cae sobre la correcta representación de los procesos (Collazos, 2004). Según Ramos et al. (2010), las fases de todo planteamiento en un método de simulación son las siguientes:

- i. Definición del subsistema de suministro.

- ii. Definición del subsistema de demanda y las relaciones existentes entre suministro y demanda.
- iii. Establecimiento de las reglas de operación.
- iv. Comprobación de la idoneidad de los planteamientos y criterios adoptados tras el proceso de simulación.
- v. Repetición de la secuencia para otros escenarios de simulación, hasta hallar la más satisfactoria.

Es pues por tanto, un procedimiento de tanteo que no siempre suministra la mejor solución de entre todas las teóricamente diseñadas por el planificador (Ramos et al., 2010).

2. **Métodos de optimización**, que consisten en encontrar el valor que deben tomar las variables para hacer óptima una función objetivo, satisfaciendo a su vez las restricciones impuestas. (Ramos et al., 2010). Normalmente, los problemas de gestión hídrica involucran diversos objetivos en conflicto tales como el abastecimiento a poblaciones, el riego para el sector agrícola, el control de las inundaciones o la preservación del medio ambiente. Para solucionar dichos problemas, se utilizan los métodos de optimización multiobjetivo, entre los que destacan, entre otros, las técnicas de ponderaciones, la de programación por metas y los algoritmos evolutivos multiobjetivo.

Las técnicas de optimización han sido utilizadas para múltiples esquemas en la gestión de recursos hídricos tales como regadíos (Li et al., 2011; Reca et al., 2001; Saruwatari y Yomota, 1995; Yang et al., 2009), aguas subterráneas (Andricevic, 1990; Ayvaz, 2009; Gaur et al., 2011; Mantoglou, 2003; Tan et al., 2011), intrusiones de agua salada (Cheng y Ouazar, 2004; Katsifarakis y Petala, 2006; Mayer et al., 2002; Sreekanth y Datta, 2010), gestiones entre embalses (Alemu et al., 2011; El-Shafie et al., 2007; Fontane et al., 1997; Mouatasim, 2012; Wang et al., 2005; Yang et al., 2007), etc.

Dentro de los modelos de optimización se destacan los siguientes por su popularidad y uso:

o Programación lineal (LP)

Es el método de optimización más popular y de mayor recorrido matemático. Por ejemplo, el método simplex de Dantzig que data de 1947. La programación lineal resuelve aquellos problemas en los que todas las relaciones entre las variables son lineales, tanto en las restricciones como en la función objetivo. Tiene la capacidad de resolver problemas multidimensionales, proporciona facilidad de convergencia a soluciones óptimas globales y no requiere soluciones iniciales por parte del usuario. En el caso de los recursos hídricos, estos modelos realizan una comparativa de la utilización de los distintos recursos existentes (superficiales y subterráneos) y seleccionan aquel cuyo objetivo esté basado en una combinación de criterios económicos, hidrogeológicos y de asignación (Castle y Lindeborg, 1960; Duckstein y Kisiel, 1968; Gorelick et al., 1984; Lingen y Buras, 1987; Maknoon y Burges, 1978; O'Mara, 1988; Philbrick y Kitanidis, 1999; Senapati, 1988; Shrestha, 1991; Vincent y Dempsey, 1993)

o Programación no lineal (NLP)

La Programación no lineal no es una técnica popular en el análisis de sistemas de recursos hídricos, ya que no facilita la incorporación de la naturaleza estocástica de las variables hidrológicas. En la NLP no existe un único algoritmo que pueda resolver todos los problemas de este tipo; sino que hay algoritmos especializados que explotan las particularidades de cada tipo de problema para conseguir mejores resultados. Este tipo de programación no ha sido ampliamente utilizada debido a los rigurosos procesos matemáticos que lleva implícito su desarrollo, así como el elevado tiempo de procesamiento y memoria requerida (Singh, 2012a). No obstante, algunos de los modelos no lineales que se han realizado dentro de la gestión de recursos hídricos, han sido los de Gupta et al. (1987) para recarga de acuíferos con aguas de baja calidad, Ahlfeld et al. (1988), Emch y Yeh (1998), Finney et al. (1992), Gorelick et al. (1979, 1984), Mantoglou y Papantoniou (2008), Shamir et al. (1984), Willis y

Newman (1977) para la utilización conjunta y Khan (1982) para la gestión de cultivos de regadío.

o Programación dinámica (DP)

La programación dinámica es un procedimiento aplicable en el estudio de problemas de decisión secuencia: “En una secuencia de decisiones óptima toda subsecuencia ha de ser también óptima” (Bellman, 1966). Para que un problema pueda ser abordado por este tipo de programación, la solución al mismo ha de ser alcanzada a través de una secuencia de decisiones, una en cada etapa. La programación dinámica presenta varias ventajas, incluyendo su capacidad de optimizar procesos dinámicos y manejar problemas de optimización con objetivos no lineales, permitiendo representar el comportamiento real del sistema sin recurrir a aproximaciones. Este método no ha sido profusamente desarrollado ni utilizado en la gestión de recursos hídricos debido a que ha estado limitado a problemas con pocos periodos y no más de dos o tres variables de estado (Singh, 2012b).

A pesar de constituir dos enfoques con características diferentes en la modelización de un sistema hídrico, los métodos de simulación y optimización pueden ser utilizados de forma combinada para lograr buenas políticas de operación de un sistema de recursos hídricos. Además, existen algoritmos de optimización que están acoplados con modelos de simulación para determinar reglas de operación de un sistema hídrico. Sin embargo, debido a que las técnicas de simulación son poco útiles cuando en el sistema existen condiciones o restricciones complicadas, además de la necesidad de un veraz y minucioso análisis de todos los elementos que constituyen el sistema y, dado el objetivo final de esta tesis, es necesario centrarse en los métodos de optimización.

De los métodos de optimización, el más utilizado es la programación lineal por ser un método bien definido y fácil de entender, y por disponer de algoritmos de solución bien establecidos y de software de apoyo para su integración.

III.2.- Antecedentes.

Los modelos actuales son el resultado de una evolución que comienza en la década de 1950 y que progresivamente amplían la cantidad de fenómenos representados y la complejidad de los cálculos, al tiempo que simplifican la interacción con el usuario.

Tal y como recoge Collazos (2004), inicialmente se desarrollaron modelos de una cierta porción del ciclo hidrológico: modelos lluvia-escorrentía, modelos de tránsito de crecidas, modelos de flujo subterráneo, etc. Posteriormente, surgieron modelos que permitían simular la totalidad del sistema superficial, con múltiples ríos y embalses, incorporando la forma de operar estas infraestructuras para conseguir el abastecimiento a los distintos usos. Un paso posterior son los modelos que incorporan la simulación simultánea de los distintos procesos hidrológicos, en particular los procesos superficiales y subterráneos. Los avances en la hidrología estocástica y la simulación sintética permitieron incorporar el concepto de riesgo en la gestión. De unos pocos años a esta parte se están realizando interesantes aportes a la modelación: modelos que incorporan la modelación de la calidad.

A continuación se describen distintos tipos de modelos de gestión hídrica: modelos específicos, modelos generales y modelos basados en redes de flujo.

III.2.1.- Modelos específicos.

Fueron los que surgieron primero, en la década de los 70. Tienen la ventaja de representar adecuadamente las peculiaridades del sistema a modelar, pero a su vez, esto le confiere su mayor debilidad, por no poder adaptarse y aprovecharse a otros sistemas. Por esto con el paso del tiempo estos modelos se han transformado en modelos generales o han quedado caducos. Algunos de los pertenecientes a esta categoría son:

- CRSS (Colorado River Simulation System) (Schuster, 1987), de paso temporal mensual simula el comportamiento de la cuenca del río Colorado (USA) con fines de abastecimiento, generación hidroeléctrica y prevención de avenidas.
- PRISM (Potomac River Interactive Simulation Model) (Palmer et al., 1980), simula el suministro para distintos usos con el objeto de realizar planes para enfrentar sequías.
- TVA (Tennessee Valley Authority) (Shelton, 1979) de paso temporal semanal o diario simula la gestión multipropósito (navegación, generación de energía y control de crecidas) de los embalses de dicha cuenca.

III.2.2.- Modelos generales.

Estos modelos dan la posibilidad de la aplicación a distintos sistemas, consiguiendo, por tanto, el uso por parte de un mayor número de usuarios. Se pueden clasificar a su vez en dos subcategorías: los modelos clásicos y los basados en redes de flujo. Los basados en redes de flujo presentan como ventaja el menor tiempo de cálculo, que se manifiesta sobre todo al modelar sistemas grandes y/o complejos (Yeh, 1985); sin embargo, tienen la desventaja que la formulación del problema ha de ceñirse a la estructura de una red de flujo y esto impone algunas limitaciones en las relaciones que pueden representarse.

Modelos clásicos

Los modelos más conocidos de este grupo (Yeh, 1985, Wurbs, 1993, Ochoa, 2002) son los siguientes:

- HEC-ResSim (HEC, 2007). Es el heredero de los conocidos HEC-3 y HEC-5. Es probablemente el modelo de simulación más difundido, en el que el usuario define tanto la conectividad como las propiedades de los elementos y el modelo simula el transito del agua por la cuenca manteniendo el balance hídrico y respetando las condiciones de operación de los embalses. Los embalses admiten

múltiples finalidades: abastecimiento, generación de energía, control de avenidas, etc.

- HYSSR (Hydro System Seasonal Regulation). Modelo de escala mensual para simular la expansión y operación de sistemas de embalses multipropósito (energía y control de avenidas).
- IRAS (Interactive River-Aquifer Simulation) (Loucks et al., 1993). Modelo para simular el tránsito de agua que cuenta con un modelo lluvia-escorrentía, interacciones río acuífero y características de tránsito de ondas en cauces. Utilizado para evaluar las consecuencias ecológicas, económica e hidrológicas de cambios en el uso del suelo o la gestión del agua.
- IRIS (Interactive River System Simulation Program). Modelo emparentado con el modelo IRAS, pero enfocado a la simulación de sistemas de recursos hídricos con propósitos de abastecimiento y producción hidroeléctrica; inicialmente concebido como modelo, ha empezado a migrar hacia un sistema soporte a la decisión.
- MIKE-BASIN. Este conjunto de modelos en entorno ArcView realiza una descripción nivel de cuenca de la disponibilidad de recurso hídrico, los requerimientos sectoriales, la operación multipropósito de embalses, los sistemas de transferencia o extracción de agua y las restricciones medioambientales. Se representa la red de flujo mediante ramas y nodos.
- RIBASIM (River BASin SIMulation) o RIBSIM (Delft Hydraulics, 1991). Es parte del SSD Delft (en entorno Windows) que bajo un entorno SIG permite operar diversos módulos (calidad del agua, estratificación de embalses, simulación de la evolución temporal de cuencas complejas, etc). Permite generar y evaluar distintas alternativas hidrológicas o de medidas operativas o institucionales de la gestión del agua.
- RiverWare (Zagona et al., 1998) es un modelo desarrollado por TVA, el USBR y el CADSWES (Universidad de Colorado). Está diseñado especialmente para optimizar varios objetivos según un orden de preferencia. El programa permite usar distintos algoritmos: simulación pura, simulación basada en reglas, u optimización (algoritmo lineal CPLEX); y también permite elegir alguno de los distintos métodos de linealización para las condiciones no-lineales del problema. El paso temporal es adaptable a los fines de la modelación (el TVA

usa un paso temporal seis horas mientras que el USBR usa un paso temporal mensual).

- SWATMOD (Sophocleous et al., 1999). Se ha construido a partir de subrutinas de los modelos MODFLOW y SWAT debidamente modificadas y vinculadas con interfaces gráficas, para simular procesos de aguas subterráneas, superficiales e interacciones río-acuífero a escala de cuenca. El modelo permite evaluar escenarios en los que se desee determinar el efecto de los usos del agua y de la tierra sobre el sistema río-acuífero.
- WATERWARE (Jamieson y Fedra, 1996, Fedra y Jamieson, 1996) es un sistema de soporte de decisiones (SSD) sofisticado, desarrollado por varias universidades y empresas comerciales, y que tiene múltiples módulos de análisis hidrológico, estadístico, climático, de calidad del agua, de hidrogeología, de evidentemente de gestión de recursos hídricos.

Modelos basados en redes de flujo

En ellos el usuario establece unas prioridades relativas de los elementos del sistema mientras que el algoritmo de optimización se encarga de asignar el agua cumpliendo con dichas prioridades. Cada uno de los modelos tiene un uso predominantemente local, usándose cerca de la Universidad o Instituto que lo desarrolló. La mayoría de los modelos basados en redes de flujo optimizan una función objetivo lineal, y el algoritmo más empleado para ello es el out-of-kilter (Ford y Fulkerson, 1962) (en castellano: algoritmo de las desviaciones).

Algunos de los modelos de esta categoría son:

- ARSP (Acres Reservoir Simulation Program) (Sigvaldason, 1976, ACRES, 1998). Es un modelo general para simular el comportamiento de múltiples embalses multipropósito basado en redes de flujo. Permite representar los elementos comunes, y además el almacenamiento y las pérdidas de energía en cauces. Tiene rutinas simples para representar el tránsito hidrológico del agua en los cauces. El reparto de agua en cada período se realiza mediante la minimización

de una función objetivo lineal, con el algoritmo out-of-kilter. Las relaciones no lineales las convierte en lineales por tramos. El modelo puede usar un paso de tiempo mensual, semanal o diario. No dispone de interfaz amigable.

- DWRSIM (Chung et al., 1989). Fue concebido originalmente como un modelo de simulación convencional al que luego se le agregó un algoritmo de programación de redes de flujo, con el fin de simular la operación de distintos escenarios; el modelo, al igual que algunos de los anteriores, satisface las demandas de acuerdo con un sistema de prioridades previamente especificadas por el modelador.
- MODSIM (Labadie, 1994, Labadie et al., 1984, Region, 2000, Fredericks et al., 1998). Es un SSD con múltiples módulos, basado en un modelo de simulación a escala mensual o semanal. La función objetivo está dada en términos de costos, y los repartos y almacenamientos de agua se hacen según una escala de prioridades dada por el modelador.
- REALM (REsource ALlocation Model) (VUT, 2001). Es un modelo de simulación muy completo, aunque la interfaz de usuario no es agradable. Además de los elementos clásicos incluye la modelación de acuíferos y de calidad del agua. El acuífero se modela como un depósito: tiene asociada una curva V-profundidad, capacidad de comportarse como manantial (con vertidos), volumen máximo y mínimo y costo de extracción del agua.
- SIMGES (Simulación y Gestión) (Andreu et al., 2007). Desarrollado por la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) y actualmente insertado, como un módulo más en el Sistema de Soporte de Decisiones (SSD) Aquatool (Andreu et al., 1996). SimGes permite modelar el uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas, para lo cual dispone de distintas formas de representar a los acuíferos. Asimismo, también integra un módulo (Aquivál) para la modelación de los mismos basado en el método de los autovalores (Sahuquillo, 1983a). El modelo realiza la simulación del sistema de recursos hídricos a escala mensual, utilizando una red de flujo interna, la cual se construye a partir de un esquema previamente definido por el usuario. El modelo optimiza los flujos por la red interna mes a mes con el algoritmo out-of-kilter, asignando el agua para los distintos usos, según un orden de prioridades de las demandas previamente establecido. El modelo también puede incluir dentro de la simulación procesos

no lineales como la evaporación, y las pérdidas por infiltración en embalses y tramos de ríos.

- SIMYLD-II (TWDB, 1972). Modelo de paso mensual en el que el modelador que simula el almacenamiento y la transferencia de agua entre los embalses, ríos y conducciones de un sistema, con el fin de satisfacer un conjunto de usos priorizados y unas reglas de operación dadas. Realiza la simulación basándose en una representación numérica de la red de embalses y conducciones, la cual es modelizada mediante una red ficticia compuesta por arcos y nudos. Las asignaciones del suministro a las demandas son el resultado de aplicar un algoritmo de programación lineal para minimizar la función objetivo dada en términos de costos y caudales circulantes por la red.
- SIM-V, derivado del anterior, y enfocado a la simulación de la operación de un sistema interconectado de embalses, plantas de generación hidroeléctrica, canales de bombeo, tuberías y tramos de ríos (Martin, 1983); su estructura de trabajo es similar a la del modelo
- SIMYLD-II, disponiendo adicionalmente del algoritmo de optimización out-of-kilter, con el que se realiza la simulación. El modelo suele emplearse en análisis de operación de embalses a corto plazo. Los beneficios asociados a la producción hidroeléctrica, que resultan complejos de simular debido a sus no linealidades, se incorporan mediante la solución sucesiva de redes de flujo.
- WEAP (Sieber et al., 2005) enfocado a la evaluación y planificación hidrológica de cuencas. (Grigg, 1996) reseña el modelo, que trabaja con algoritmos de balance hídrico mediante redes de flujo, en las que tiene la posibilidad de considerar como elementos físicos del sistema, embalses, canales, tramos de ríos, tuberías y demandas, esencialmente. El modelo tiene la opción de simular procesos de flujo subterráneo.

III.3.- El modelo SIMGES.

Los orígenes de este modelo se remontan a la década de los 1980, cuando la Dirección de Obras Hidráulicas (DGOH), a través del Servicio Geológico de Obras Públicas, la Universidad Politécnica de Valencia y el Instituto Geológico y Minero de

España (IGME), junto con la Escuela de Ingenieros de Minas de Madrid, desarrollaron sus propios modelos matemáticos de gestión de recursos hídricos, que se denominaron USOCON y COGERE, en el caso de DGOH y, COMBI y GESTO, en el caso del IGME (Murillo et al., 2002). Pese a que el IGME y la Dirección General de Obras Hidráulicas abandonaron sus respectivos proyectos, la Universidad Politécnica de Valencia continuó la investigación y diseñó un paquete informático denominado AQUATOOL, en el que se incluye el modelo SIMGES.

El modelo SIMGES es un modelo general para la simulación de la gestión de recursos hídricos complejos, en los que se dispone de elementos de regulación o almacenamiento tanto superficiales como subterráneos, de captación, de transporte, de utilización o consumo y de dispositivos de recarga artificial.

La simulación se efectúa a nivel mensual y reproduce a la escala de detalle espacial que el usuario desee, el flujo de agua a través del sistema. Para los subsistemas superficiales, el flujo es calculado simplemente por continuidad o balance, mientras que para los subsistemas subterráneos o acuíferos, el flujo es simulado mediante modelos de celda, uní o pluricelulares, según convenga, o incluso mediante modelos distribuidos de flujo lineal. Se tiene asimismo en cuenta en la simulación, las pérdidas por evaporación y filtración en embalses y cauces, así como las relaciones entre aguas superficiales y aguas subterráneas.

La gestión de los recursos hídricos se efectúa mediante reglas de operación tendentes a mantener un nivel similar de llenado en los embalses a partir de unas curvas de zonado de embalse.

Se admite la definición de caudales mínimos ecológicos, así como de diferentes prioridades de los usuarios para el aprovechamiento del agua.

La simulación y gestión del sistema superficial se efectúan a un tiempo mediante el uso de un algoritmo de optimización de redes de flujo conservativo. Dicho algoritmo se encarga de determinar el flujo en el sistema tratando de satisfacer al

máximo los objetivos múltiples de minimización de déficits, máxima adaptación a las curvas de volúmenes objetivos de embalse y de producción hidroeléctrica.

Los resultados del modelo incluyen la evolución de todas las variables de interés a nivel mensual, a nivel anual, valores medios del período de simulación, así como garantías. Todo ello permite que el modelo pueda ser utilizado, entre otras finalidades para:

- Determinar las garantías que se obtienen para distintas hipótesis de infraestructura y de evolución de demandas, así como para distintas reglas de explotación de la cuenca.
- Determinación de las reglas de explotación más adecuadas para unos niveles exigidos de garantías.
- Determinación de beneficios o perjuicios derivados de la alteración de prioridades de usos de aguas.
- Determinación de capacidades de embalse, conducciones e instalaciones de bombeo para unos niveles de demanda y garantía dados.

Las fases que definen la estructura de este modelo se resumen a continuación:

1. Definición de los nudos del sistema hídrico (embalses, puntos de unión de dos o más cauces, derivaciones, tomas y retornos, etc).
2. Establecimiento de las conexiones entre los nudos (conducciones).
3. Introducción de las aportaciones intermedias.
4. Definición de las demandas, indicando nudo de toma y retorno, así como los acuíferos de los que es posible bombear y los que reciben retornos por infiltración.
5. Indicación de los nudos de donde parten los flujos destinados a recarga artificial y aquellos donde se incorporan los bombeos adicionales.
6. Descripción de los criterios de restricción para las situaciones de alarma del sistema.

En la figura 7 se representa el esquema del usuario para la Cuenca del Segura.

La simulación y gestión del subsistema superficial se van a resolver simultáneamente mediante el uso de un algoritmo de optimización de redes de flujo conservativo. El esquema definido constituye una red de flujo, pero dicha red no cumple el requisito de ser conservativa, pues no es cerrada y hay nudos en los que hay almacenamiento (los correspondientes a los embalses). Por tanto, la primera tarea del modelo después de la lectura de datos es la adaptación del esquema como una red de flujo conservativo.

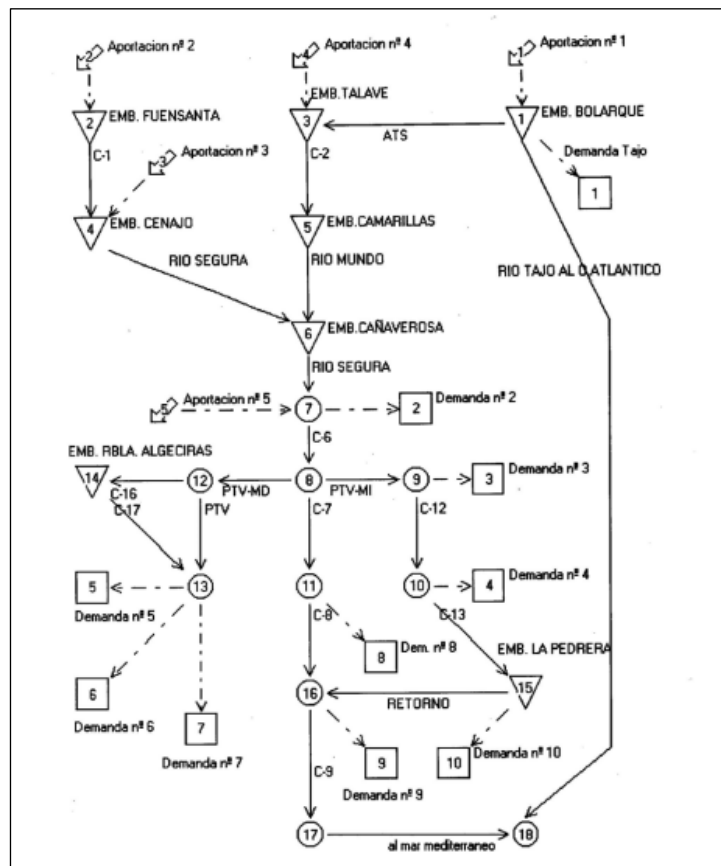


Figura 7. Esquema SIMGES para la Cuenca del Segura.

Fuente: Andreu et al. (1994)

Para ello es necesario, por una parte, el establecimiento de unos nudos de "cierre" de la red, y por otra, el desdoblamiento de cada elemento tipo en un subesquema de arcos y nudos tal que aseguren que la simulación del comportamiento hidráulico y de gestión del elemento es adecuada. El resultado es una "red de flujo interna", mucho más compleja que la introducida, que ya es conservativa y que es la que manejará el modelo. Matemáticamente, el modelo de simulación está basado en la

resolución, para cada mes, de la red de flujo definido. Así, queda definido un problema de optimización que puede ser expresado a través de una función objetivo y un conjunto de limitaciones (Paredes et al., 2010):

$$\begin{aligned} & \text{Min} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \\ & \sum_{i=1}^m x_{ij} - \sum_{k=1}^m x_{ki} = 0 \quad \forall i = 1, \dots, m \\ & x_{ij} \geq l_{ij} \quad \forall i = 1, \dots, n \quad \forall j = 1, \dots, m \\ & x_{ij} \geq u_{ij} \quad \forall i = 1, \dots, n \quad \forall j = 1, \dots, m \end{aligned}$$

Donde x_{ij} es el flujo del nodo “i” al “j”; c_{ij} es el “coste virtual” que se le supone al flujo, l_{ij} y u_{ij} son los límites superior e inferior de caudal asociados a elemento que va del nodo “i” al “j”. Este problema es resuelto mediante el algoritmo de Out-of-Kilter (Ford y Fulkerson, 1962). Los elementos no lineales son tenidos en cuenta mediante una aproximación por tramos o por una iteración sucesiva hasta la convergencia.

Una vez confeccionada dicha red interna, se entra en la dinámica de la simulación, en la que para cada mes del período de simulación se resuelve la red de flujo con los valores de aportaciones, demandas y parámetros de gestión correspondientes a ese mes, se simulan los acuíferos, se itera entre estos dos últimos pasos (debido a las no linealidades y a las relaciones río-acuífero) y se almacenan valores para su escritura anual y estadísticas. Finalmente, una vez terminado el periodo de simulación, se procede a la confección de estadísticas y cálculos de garantías.

III.3.1.- *Interfaz AQUATOOL.*

AQUATOOL es un interfaz de usuario para la edición de modelos de simulación de la gestión de cuencas mediante el programa SIMGES (Andreu et al. 2007) y modelos de simulación de la calidad de aguas asociada a la gestión mediante el programa GESCAL (Paredes et al., 2007).

El interfaz de AQUATOOL permite:

- a) Generar esquemas hidráulicos de forma gráfica.
- b) Almacenar los datos de un archivo con formato de base de datos.
- c) Simular distintas alternativas o escenarios.

Todas las simulaciones/escenarios de un mismo modelo pueden mantenerse en un único archivo de datos. Esto permitirá el manejo en paralelo de los distintos escenarios que se estudian sobre un mismo sistema. Los datos se guardan en un archivo de base de datos con el que interactúa el programa, y los archivos de datos y resultados de las simulaciones se incluyen en una subcarpeta de la que contiene al archivo principal.

III.3.2.- Elementos del modelo

La definición de unos elementos tipo permite la adaptación del modelo a cualquier esquema. Los elementos considerados son:

- **Embalses** (superficiales). Quedan definidos mediante sus parámetros físicos, sus parámetros de gestión (volúmenes máximos, volúmenes objetivos y prioridad de almacenamientos con respecto a otros embalses).
- **Aportaciones intermedias**. Se consideran como tales aquellas que no puedan ser consideradas o no convenga sean consideradas directamente como entradas de embalse.
- **Conducciones**. Se contempla bajo esta misma denominación a los tramos de río, canales y cualquier otra conexión que convenga establecer. Quedan definidas por sus parámetros físicos (incluyendo capacidades máximas) y por sus posibles caudales mínimos (normalmente ecológicos).
- **Demandas consuntivas**. Son aquellos elementos que utilizan el agua y en los que parte de ella es consumida, por lo que se pierde para el sistema. Se definen por su curva de demanda, sus parámetros de consumo, sus tomas y su conexión con algún

elemento de retorno. Se admite el suministro a una misma demanda desde distintas fuentes.

- **Elementos de retorno.** Son simplemente definiciones de puntos de reintegro de agua al sistema provenientes de demandas consuntivas.
- **Demandas no consuntivas** (centrales hidroeléctricas). Son aquellos elementos que utilizan el agua sin consumirla.
- **Recarga artificial.** Son elementos cuyo flujo va a recargar acuíferos, utilizándose para tal fin los sobrantes. Se definen por sus características físicas.
- **Bombeos adicionales.** Son elementos de captación de agua procedente de acuíferos que es incorporada al sistema superficial para su utilización en un lugar distinto de la zona donde se efectúa el bombeo.
- **Acuíferos.** Quedan definidos mediante sus parámetros físicos y mediante unos parámetros de explotación, que una vez rebasados anulan las extracciones.

III.3.2.1.- Nudo

El Nudo no es considerado como un elemento propiamente dicho, ya que son representaciones meramente gráficas del diagrama que define el sistema. El concepto de nudo se corresponde con el de un punto significativo que conviene localizar dentro del esquema. Éste será necesario en las siguientes situaciones:

- que confluyan y/o partan de él distintos tramos de río o conducciones,
- que exista un embalse,
- que se incorpore en ese punto una aportación, un retorno o un bombeo adicional,
- que salga de ese punto un flujo destinado a recarga artificial o exista una toma para alguna demanda,
- que sea un punto de cambio de las características de un río o de una conducción.
- elemento final de donde terminan los flujos que salen del sistema (Nudo 0).

III.3.2.2.- Embalse

Los embalses son aquellos elementos que tienen la capacidad de almacenar agua superficial. La simulación se efectúa simplemente por balance de masas, con lo que el volumen a final de mes, V_f , viene dado por la expresión siguiente:

$$V_f = V_i + A_e + A_a - P_f - E - S_c - S_v$$

donde:

V_i es el volumen a principio de mes,

A_e es la denominada aportación a embalse,

A_a son las aportaciones de la parte del esquema aguas arriba del embalse,

P_f son las pérdidas por filtración,

E son las pérdidas por evaporación,

S_c son las sueltas controladas, o sea aquellas que no sobrepasan la capacidad de desagüe del embalse, incluidas tomas dentro del vaso,

S_v son los vertidos, o sea los desembalses producidos por superarse la capacidad máxima, y no caber por los dispositivos de desagüe controlables.

Previo al inicio de la simulación, se deberá definir un volumen de partida del embalse.

Para el cálculo de las pérdidas por filtración se considera una ley del tipo:

$$P = a + b V^c$$

donde P y V son las pérdidas y volumen instantáneos, y a , b y c son parámetros suministrados por el usuario.

Para el cálculo de las pérdidas por evaporación se aplica la fórmula:

$$E = \frac{S_f - S_i}{2} e^{10^{-5}}$$

donde S_f y S_i son las superficies, en Ha, de la lámina de embalse correspondientes al volumen final e inicial, respectivamente y e es el dato de evaporación en mm.

En un embalse se producirá vertido solamente en el caso en el que se supere el volumen máximo ($V_{\text{máx}}$) definido y que dicho caudal no quepa por los dispositivos de desagüe controlables. Por otro lado, se le asignará un caudal máximo de sueltas (S_c),

valor que se considerará como límite para abastecer los caudales demandados aguas abajo.

La gestión de un embalse se realiza en función de unos niveles, que se consideran óptimos. Para la definición de esas zonas de llenado se recurre a la definición de un "Volumen objetivo mensual", V_{obj} , y de un "Volumen mínimo mensual", V_{min} , quedando las zonas definidas de la siguiente manera:

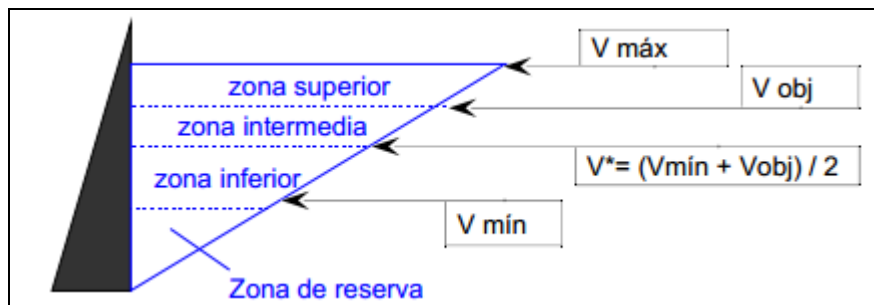


Figura 8. Esquema de definición de un embalse en SIMGES.

Fuente: Andreu et al. (2007)

De esta forma, el modelo no utilizará agua de la zona intermedia de un embalse hasta que no haya agotado el agua de la zona superior de todos los demás. Y entre dos embalses en la misma zona tomará agua primero de aquel que tenga el valor del número de prioridad de almacenamiento más alto (Flores, 2000).

III.3.2.3.- Aportación

Se considera aportación a aquéllos flujos de agua que se incorporan al sistema. Para ello, primeramente se deberá haber definido un nudo sobre el que se realizará la asignación de dicha aportación. Se distinguen los siguientes tipos de aportaciones:

- **Aportaciones a embalse**, se considera directamente la aportación sobre el embalse. Los datos de aportaciones de este tipo estarán integrados en un fichero, en el cual se recogerán todas las aportaciones mensuales ordenadas por columnas.

- **Aportaciones intermedias**, que podrán localizarse en cualquier otro punto, aunque se admite igualmente también un embalse. Este tipo de aportaciones podrán definirse, al igual que las aportaciones a embalse, mediante fichero de datos o manualmente mediante introducción de los mismos.

III.3.2.4.- *Demanda Consuntiva o Toma*

Se denomina demanda consuntiva aquélla que no retorna agua al sistema una vez ha sido utilizada. Por tanto, representa una pérdida del mismo. Quedan englobados los abastecimientos de agua a poblaciones, zonas industriales y riegos de cultivos.

Se indicará la demanda mensual para cada consumo, que se realizará a través de varias tomas del sistema, a las cuales se les asignará un número de prioridad que determinará la secuencia a utilizar en función de las posibilidades y reglas de cada una de ellas.

El modelo también ofrece la posibilidad de considerar un posible retorno del agua consumida al sistema mediante dos coeficientes: α , coeficiente de retorno y β , coeficiente de consumo. Por tanto, el agua de retorno (R), cuyo nudo de destino que habría que identificar, vendría dada por la siguiente expresión:

$$R = \alpha \cdot S_{\text{sup}}$$

Siendo S_{sup} el suministro superficial de la toma.

El agua, que no es consumida ni devuelta superficialmente, constituye la infiltración profunda al acuífero subyacente, que habrá que identificar, cuyo volumen (I) se obtiene mediante la ecuación que sigue:

$$I = (1 - \alpha - \beta) \cdot S_{\text{sup}}$$

En el caso de que el suministro superficial no sea suficiente, se podrá optar por el bombeo del acuífero directamente en la definición de la demanda. En este caso, no se podrá considerar un retorno superficial y/o subterráneo. Para realizar esta

consideración, se deberá recurrir al elemento “Bombeo adicional” asociado a una toma superficial.

III.3.2.5.- Retorno Superficial

Sirve para indicar por donde se reintegra al río el retorno superficial calculado en los elementos tipo toma. Un retorno puede ser usado por una o más tomas. Para poder incluir en retorno en el esquema es necesario que previamente esté definido el nudo (o embalse) al que se conecta.

III.3.2.6.- Demanda no consuntiva

Este elemento simula una central hidroeléctrica y, por tanto, utiliza el agua y la reintegra durante el mismo período de tiempo, sin consumir ninguna cantidad. Para definirlo es necesario que estén definidos el nudo de toma y el nudo de reintegro. Este tipo de elemento requiere los datos necesarios para el cálculo de la producción hidroeléctrica, y las reglas de gestión.

III.3.2.7.- Conducción

Las conducciones o conexiones son los elementos que unen los distintos nudos que integran el sistema, por lo tanto son elementos direccionales que señalan la dirección del flujo del agua marcada por el "nudo inicial" al "nudo final".

El modelo contempla los siguientes cinco tipos de conducciones:

- **Conducción Tipo 1** (Conducción Simple): En este tipo de conexiones se define un caudal máximo, que reflejaría la capacidad del mismo, y un caudal mínimo que podría representar el caudal ecológico del río (si lo hubiera). El programa no permite dos conducciones de este tipo con los mismos nudos inicial y final. Por otro lado, en estos nudos se pueden definir un coste virtual del flujo, llamado “coste de usuario” que indica al modelo la selección óptima de tuberías con el fin de conseguir una

minimización en la función objetivo. Todo ellos se explicará con mayor profundidad en el apartado III.3.4.

- **Conducción Tipo 2** (Conducción con filtraciones): Responde a conducciones idénticas a las anteriores con la diferencia de la consideración de pérdidas en las mismas. Estas pérdidas, P , vienen determinadas por la siguiente ley:

$$P=a+b Q^c$$

donde, Q es el caudal a la entrada del tramo y a , b y c son parámetros suministrados por el usuario. Asimismo, también se pueden asignar en qué cuantía parte de estas pérdidas serán asignadas a las filtraciones de acuíferos (en el caso de que los haya).

- **Conducción Tipo 3** (Conducción conectada hidráulicamente con el acuífero): Son conexiones cuyo lecho atraviesa un acuífero, existiendo conexión hidráulica entre ambos elementos y, por tanto, filtraciones hacia el mismo. Se deberá definir el acuífero que está conectado con esta conducción.
- **Conducción tipo 4** (Conducción limitada hidráulicamente por la diferencia de cotas de agua entre sus extremos): Corresponde a conducciones del mismo tipo que las Conducciones tipo 1, con la limitación que el caudal máximo que puede transportar entre sus nudos está condicionado por la diferencia de cotas entre sus extremos, estando esté regulado por una función caudal máximo-diferencia de cota.
- **Conducción Tipo 5** (Conexión hidráulica entre nudos y/o embalses): La modelación de este tipo de conducciones es la misma que la anterior, con la salvedad de que el agua puede circular en ambos sentidos dependiendo de la diferencia de nivel que haya entre ambos embalses. Igualmente, el caudal máximo vendrá dado por una función que limite el caudal máximo en función de la diferencia de cotas entre los nudos conectados.

III.3.2.8.- Acuífero

Los acuíferos son elementos del sistema, que están conectados con el resto del mismo mediante las acciones que este pueda ejercer sobre ellos (filtraciones de embalses y tramos de río, conexión río-acuífero, infiltración profunda de zonas de riego, bombeos de las mismas, recarga artificial y bombeos adicionales).

En el modelo SIMGES, los acuíferos vendrán definidos principalmente por los siguientes conceptos:

- **Acción elemental**, referida a cualquier acción que se ejerza sobre el acuífero y cuya intensidad pueda variar a lo largo del tiempo (bombeo, recarga, filtraciones, etc).
- **Parámetro de control**, que es toda la respuesta procedente del acuífero que interese conocer (nivel en un punto, volumen, etc.). Los parámetros de control se utilizan como criterio para la definición de las reglas de operación para la explotación de acuíferos.

Se describe a continuación los distintos modelos de acuífero que admite el programa SIMGES:

- **Acuífero Depósito**, donde el acuífero no está conectado hidráulicamente con el sistema superficial y únicamente interesa conocer un parámetro de indicación de su estado de llenado y vaciado.
- **Acuífero Unicelular**, corresponde al caso de un acuífero conectado hidráulicamente con el sistema superficial, con un coeficiente de desagüe α . Este modelo de acuífero sólo admite una acción elemental, que es la recarga neta y proporciona dos parámetros de control: volumen y caudal de relación con el río.
- **Acuífero con manantial**, este modelo de acuífero es similar al anterior, con la diferencia de que este se modela por superposición. La relación con el sistema superficial es tal que este último recoge el drenaje del primero, normalmente por manantiales. Para esto requiere de doce

valores de salida media del acuífero por manantial en régimen natural que se utilizarán como límite máximo a la detracción que el acuífero puede ejercer sobre el río. Al igual que en el caso del acuífero unicelular se tienen dos parámetros de control.

- **Acuífero pluricelular**, en este tipo de acuífero la relación con el sistema superficial se realiza mediante una ley representada por varios coeficientes de descarga identificados como celdas. Este modelo es una extensión del modelo unicelular a un número arbitrario de celdas. De esta forma permite definir diferentes velocidades de descarga a río y diferentes repartos de las acciones exteriores de forma arbitraria.
- **Acuífero conectado con río con modelación mediante el método de los autovalores**. Se trata de un modelo distribuido general para la simulación de acuíferos. Por lo tanto no tiene limitación en cuanto a sus condiciones de contorno ni parámetros hidrodinámicos. Para la formulación de un modelo de acuífero por el método de los autovalores es necesaria una calibración previa, que puede realizarse con el modelo AQUIVAL (Andreu et al., 1997). Los pasos a seguir para la modelización del acuífero según el sistema de los autovalores se verá en el apartado III.4. Este modelo será el utilizado en la presente tesis para simular el comportamiento del acuífero del Boquerón.
- **Acuífero rectangular homogéneo conectado por uno de sus lados con un río totalmente penetrante**. Este modelo considera al acuífero homogéneo, rectangular, y perfectamente conectado con el río. Permite considerar distintas localizaciones espaciales de las acciones sobre el acuífero, con ello se tiene en cuenta los efectos diferidos en la relación río-acuífero de forma más precisa que el modelo unicelular
- **Acuífero rectangular homogéneo conectado por dos de sus lados contiguos con ríos totalmente penetrantes**. Es un modelo análogo al anterior, pero conectado a 2 ríos en forma completamente penetrante.
- **Acuífero de tres niveles**, en este modelo se presenta la posibilidad de evaporación a partir del acuífero (por su proximidad con la superficie),

el drenaje intermedio por azarbes y la conexión hidráulica con el acuífero.

III.3.2.9.- Bombeo adicional y recarga artificial

Estos elementos permiten la conexión del sistema superficial con el subterráneo.

Con el bombeo adicional se representan las extracciones de agua para incorporarlas aguas abajo mediante su incorporación al sistema superficial, en el caso de que los recursos superficiales sean insuficientes.

Para que se produzca recarga artificial del acuífero deberán existir excedentes en el sistema superficial y serán simuladas mediante pérdidas en las conducciones.

III.3.3.- Reglas de operación.

Se trata de criterios de gestión cuya función es reducir el consumo de agua cuando la reserva hidráulica del sistema, o de una parte de éste, está por debajo de límites especificados por el usuario. Cada indicador viene definido por las variables de estado del sistema y una función por la que se deduce la regla de operación. Va asociado a un grupo de embalses (o aportaciones) y una tabla de volumen - coeficiente de restricción.

III.3.4.- Función objetivo

Tal y como se ha comentado en los apartados anteriores, el modelo SIMGES construye una red de flujo conservativa que se resuelve mediante optimización. El programa realiza un proceso iterativo sobre el algoritmo de optimización para resolver flujos no lineales como la evaporación de embalses, y reglas de operación como los indicadores de alarma y el reparto del déficit entre “grupos isoprioritarios”

La función objetivo mensual que utiliza el modelo viene dada por la siguiente expresión:

$$TE + TR1 + TR2 + TR3 + TR4 + TR5 + TDC + TDN + TRA + TBA$$

donde:

TE es un término debido a los embalses

TR1 es un término debido a los tramos de río tipo 1

TR2 es un término debido a los tramos de río tipo 2

TR3 es un término debido a los tramos de río tipo 3

TR4 es un término debido a los tramos de río tipo 4

TR5 es un término debido a los tramos de río tipo 5

TDC es un término debido a las demandas consuntivas

TDN es un término debido a las demandas no consuntivas

TRA es un término debido a las recargas artificiales

TBA es un término debido a los bombeos adicionales

El programa minimizará la siguiente expresión teniendo en cuenta la descripción de los elementos anteriormente descritos, siempre sujeto a las restricciones de conservación de masa (continuidad) y a las de los límites físicos de transporte de conducciones y capacidades de embalses y otros elementos.

Se explica seguidamente la contribución de cada uno de los términos anteriores en la función dada.

Elemento Embalse

La contribución de los embalses a la función objetivo viene dada por la siguiente expresión:

$$T_E = \sum_{i=1}^{nemb} \left(\left(\sum_{j=1}^4 V_{ij} CE_{ij} \right) + P_i CV \right)$$

donde

nemb es el número de embalses

V_i es el volumen a final de mes en cada zona j , $j=1,2,3$ y 4 , del embalse i . La zona 1 es la zona de reserva, la 2 es la zona inferior, la 3 es la zona intermedia, y la 4 es la zona superior,

P_i son los vertidos (sueitas no controladas) del embalse i

CV es el costo ficticio asociado al vertido (por defecto $CV=2000$)

CE_{ij} es el costo ficticio asociado al volumen embalsado en la zona j , y viene dado por:

$$CE_{ij} = k_j + NP_i$$

donde:

k_j son valores preestablecidos (por defecto son: $k_1=-1700$; $k_2=-1100$; $k_3=-1000$; $k_4=-700$), correspondientes a los niveles del embalse para cada zona j definidos en la figura 8

NP_i es el número de prioridad asignado al embalse

Conducción Tipo 1

La expresión para este tipo de conducciones es la siguiente:

$$T_{R1} = \sum_{i=1}^{ntr1} (D_i C D_i + (Q_i - Q_i^{\min}) C Q_i)$$

donde:

ntr1 es el número de tramos de río tipo 1

Q_i es el caudal que circula por el tramo de río i . Si se ha definido un caudal mínimo en el tramo de río, el valor de Q_i será el máximo entre el caudal que circula y el caudal mínimo definido. En consecuencia un coste ficticio en un tramo de río no se suma al coste asociado al déficit sobre caudal mínimo.

D_i es el déficit con respecto al caudal mínimo declarado:

$$D_i = \begin{cases} Q_i^{\min} - Q_i & \text{si } Q_i^{\min} > Q_i \\ 0 & \text{si } Q_i^{\min} \leq Q_i \end{cases}$$

CD_i es el costo ficticio asociado al déficit de caudal mínimo y viene dado por:

$$CD_i = KD - NP_i$$

donde:

KD es un valor constante (por defecto $KD = 1700$) y

NP_i es el número de prioridad asignado al caudal mínimo en el tramo de río i .

CQ_i es el costo ficticio asociado al caudal que circula por el tramo de río i . Sólo afecta al caudal por encima del caudal mínimo. Por defecto $CQ_i=0$. Si se declara de otra forma puede valer $CQ_i=1$ (by-pass) o puede ser definido por el usuario.

Conducción Tipo 2

De forma análoga, la expresión sería la siguiente:

$$T_{R2} = \sum_{i=1}^{ntr2} (D_i C D_i + D F_i C F_i + 1)$$

donde,

$ntr2$ es el número de tramos de río tipo 2

D_i y $C D_i$ con el mismo significado que para conducciones del tipo 1.

$D F_i$ es el déficit por filtraciones, característico de este tipo de elementos y tomará los siguientes valores

$$D F_i = \begin{cases} FILC - QENT & \text{si } FILC > QENT \\ 0 & \text{si } FILC \leq QENT \end{cases}$$

$FILC$ son las filtraciones calculadas según la ecuación vista anteriormente $P=a+b Q^c$

$QENT$ es el caudal de entrada al tramo de río.

$C F_i$ es el costo asociado a $D F_i$ (por defecto $C F_i=2100$)

Conducción Tipo 3

La formulación para este tipo de conexiones es idéntica a la conducción anterior:

$$T_{R2} = \sum_{i=1}^{ntr3} (D_i C D_i + D F_i C F_i + 1)$$

La única diferencia en este caso es las filtraciones debido a la conexión con el acuífero, $D F_i$, que vienen dada por:

$$D F_i = \begin{cases} DET - QENT & \text{si } DET > QENT \\ 0 & \text{si } DET \leq QENT \end{cases}$$

Conducción Tipo 4

La expresión para este tipo de conducciones es:

$$T_{R4} = \sum_{i=1}^{ntr4} (D_i C D_i + Q_i C Q_i)$$

con el mismo significado de las componentes que en los casos anteriores.

Conducción Tipo 5

Su ecuación se adjunta seguidamente:

$$T_{R5} = \sum_{i=1}^{ntr5} D F_i C F_{5_i}$$

DF_i es el posible déficit sobre el máximo caudal que puede circular por la conducción dado por,

$$DF_i = |QINT - QENT|$$

donde:

QINT es el caudal que debe circular por la conducción obtenido a partir de la integración, en el mes dado, de los caudales instantáneos como función de la diferencia de cota entre los extremos de la conducción.

QENT es el caudal de entrada en la conducción

CF_{5_i} es el costo asociado a DF_i (por defecto $CF_i=1800$)

Demandas de Uso Consuntivo

$$T_{DC} = \sum_{i=1}^{ndc} \left(D_i C K + \sum_{t=1}^{nto} (S_{ti} (C T_{ti} + 1) - D S_{ti} C T_{ti}) \right)$$

donde:

ndc es el número de demandas consuntivas

D_i es el déficit sobre la demanda total de la zona i en el mes en cuestión

CK es un costo ficticio constante asociado a los déficits de las zonas de demanda ($CK=750$ por defecto)

nto_i es el número de tomas de la demanda i

S_{ti} es el suministro bruto a la toma t de la demanda i.

DS_{ti} es el déficit al suministro bruto mínimo calculado por el modelo.

De forma que el suministro neto a la toma es:

$$SN_{ti} = S_{ti} - DS_{ti}$$

Demandas No Consuntivas

Viene dada por la expresión:

$$T_{DN} = \sum_{i=1}^{ndnc} (DO_i CN_i + SO_i CS)$$

donde:

ndnc es el número de demandas no consuntivas

DO_i es el déficit con respecto al caudal objetivo QO_i

SO_i es el superávit con respecto al caudal objetivo

No se hará más hincapié en esta expresión ya que este elemento no se encuentra en el sistema analizado.

Recargas

La expresión es la siguiente:

$$T_{RA} = \sum_{i=1}^{nra} (QR_i CR)$$

nra es el número de recargas artificiales

QR_i es el caudal recargado por la instalación i

CR es un costo ficticio asociado a la recarga artificial (CR=-5.)

Bombesos adicionales

La contribución de este elemento a la función de minimización viene dada por la siguiente ecuación:

$$T_{BA} = \sum_{i=1}^{nba} (QB_i CB_i)$$

donde

nba es el número de bombesos adicionales

QB_i es el caudal bombeado por la instalación i

CB_i es el costo ficticio asociado a la instalación i.

$$CB_i = CTC + CK - (NP_i - 0,5) \times CDC$$

donde:

CTC, CK y CDC son los mismos valores dados en demandas consuntivas

NP_i es el número de prioridad correspondiente al grupo isoprioritario hasta el cual se quiere suministrar.

Hasta aquí, se ha visto cómo contribuye cada uno de los elementos integrantes del sistema creado a la función objetivo. Al ser ésta del tipo de minimización, y al ser las contribuciones a la misma costes correspondientes a las variables de todas las ecuaciones vistas hasta ahora, el algoritmo procurará aumentar el valor de las variables cuyo coste sea menor. Por otro lado, además de las condiciones lineales recogidas en estas expresiones, el programa también resolverá otras condiciones que no se acogen a ese comportamiento no lineal como la evaporación de embalses, filtraciones, simulación de acuíferos, retornos, etc. Para resolver estas condiciones el programa seguirá un proceso iterativo modificando la función objetivo para adaptarla a estas condiciones. Una vez que el programa llega en una iteración a una solución muy próxima a la anterior o alcanza el máximo fijado, se da como buena esa iteración.

Con estas premisas, se deduce que si una demanda i deja de suministrarse a través de la toma, la función objetivo aumentará de la siguiente forma:

$$F = CK + CTC - NP_{ti} \cdot CDC + CDC - 1$$

y, dados los valores por defecto de CK, CTC y CDC de 750, 750 y 5, respectivamente, suponen que $F = 1504 - 5 NP_{ti}$ lo que supone que un déficit unidad en una zona con prioridad $NP_{ti}=1$ aumenta la función objetivo en 1499 unidades de coste, y una con prioridad 2 lo hace en 1494 y así sucesivamente. De esta forma se ve que el modelo tratará de satisfacer en primer lugar las zonas con número de prioridad menor. Para usos no consuntivos, operando de igual forma, al mismo nivel de prioridad, el coste sobre la función objetivo es prácticamente idéntica.

En el caso del caudal mínimo, si un caudal mínimo deja de circular por alguna conducción, el coste virtual que representaría este hecho vendría dado por la siguiente expresión $F = CD_i = KD - NP_i$, con lo que, un déficit unidad en un caudal mínimo de una conducción con prioridad 1 supone un aumento en la función objetivo de 1999 unidades, y uno de prioridad 2 de 1998, y así sucesivamente, de lo que se concluye que el modelo dará prioridad a los caudales ecológicos antes que a las demandas consuntivas. Para modificar este comportamiento, se asignaría un número de prioridad

mayor a los caudales mínimos para que el coste virtual fuera, por tanto, mayor. También existe la posibilidad de dar prioridad 0 a los caudales ecológicos (Gómez et al., 2001), por lo que el coste asociado se reduciría a 1504.

Para la recarga artificial, el valor de la función objetivo es de $F = CR$ que con el valor por defecto de CR es $F = -5$ y en un bombeo adicional, aumenta $F = CB_i = CTC + CK - (NP_i - 0,5)$, que resultaría finalmente (con los valores por defecto que asigna el programa), $F = 1500 - 5 (NP_i - 0,5)$ con lo que un bombeo adicional de prioridad resultaría un coste para la función objetivo de 1497,5.

En el caso del embalse dado que el coste virtual viene determinado por $CE_{ij} = k_j + NP_i$, y los valores k_j ser negativos, la contribución a la función objetivo será mayor cuanto mayor sea el número de prioridad (NP_i). Por tanto, se intentará mantener los embalses en la misma zona de llenado, y ya dentro de ella desembalsando antes de un embalse con mayor NP_i . Con los valores por defecto de k_j ($k_1=-1700$, $k_2=-1100$, $k_3=-1000$, $k_4=-700$), se comprueba que desembalsará agua de cualquier zona para satisfacer demandas, excepto de la zona de reserva, que no será tocada, pues está en un nivel 1700, mientras que las demandas estaban en un nivel 1500.

III.4.- Modelo Aquival.

La dificultad para el análisis del uso conjunto de aguas superficiales y aguas subterráneas se debe principalmente a la complejidad de los modelos matemáticos que simulan ambos tipos de recursos, así como por la integración e interacción de los mismos y el uso de las herramientas para proporcionar los datos necesarios para dotar al modelo de los elementos requeridos para procesar la simulación.

Para estudiar las distintas alternativas de utilización de un acuífero, es necesario simular el modelo para cada una de ellas en las que varíen las acciones exteriores. En algunos casos, es posible la utilización de la teoría de los sistemas lineales, en los que se puede aplicar los principios de proporcionalidad y superposición. (Chun et al., 1964, Schwarz, 1973, Maddock, 1972, Morel-Seytoux et al.

1973, Sahuquillo et al., 1979). Sin embargo, y aún bajo estas condiciones, la utilización de un sistema distribuido en el que intervengan un número elevado de acciones, con un gran número de puntos, en diferentes momentos de tiempo es aún reducida debido a la necesidad de importante memoria y tiempo en el procesamiento.

Por ello, es mucho más frecuente la utilización de métodos agregados, en los que unos pocos parámetros integran las propiedades del comportamiento del flujo en un acuífero (Sahuquillo, 1983b)

Aquival es una interfaz que pertenece al paquete informático Aquatool (Andreu y Capilla, 1993) desarrollado por la Universidad Politécnica de Valencia, que permite la modelización de acuíferos previamente calibrados, mediante elementos finitos o diferencias finitas, en un sistema de recursos hídricos y su integración posterior en el módulo de gestión conjunta (SIMGES). Esta modelización es llevada a cabo mediante el método de los autovalores (Sahuquillo, 1983 a y b).

El método de los autovalores se aplica a acuíferos lineales (confinados) y da la solución de forma explícita y continua en el tiempo. Bajo estas condiciones, la ecuación que describe el flujo del agua puede expresarse mediante la siguiente ecuación matricial:

$$T \cdot H + Q = SF \frac{\Delta H}{\Delta t}$$

donde,

$T(n,m)$, es la matriz simétrica en banda, que depende de la transmisividad, las condiciones de contorno y la discretización espacial ($m^2/\text{día}$).

$H(n)$, es el vector de alturas piezométricas (m).

$Q(n)$, es el vector de flujos externos ($m^3/\text{día}$).

$SF(n,m)$, es la matriz diagonal que depende de la discretización espacial y del coeficiente de almacenamiento de cada celda (m^2).

Si las matrices T y SF son independientes de H y constantes en el tiempo, la ecuación anterior es lineal, y por ello, aplicable el principio de superposición. Esta condición se cumple en acuíferos confinados siempre que permanezcan completamente saturados y en acuíferos libres en los cuales los descensos

piezométricos son despreciables respecto al espesor saturado (Collazos, 2002). De esta forma, según Sahuquillo (1983a) la solución de la ecuación anterior puede expresarse, para Q constante en el tiempo, de la siguiente forma:

$$H_k = A \cdot E \cdot A^T \cdot SF \cdot H_{k-1} + A \cdot |I - E| \cdot |\alpha|^{-1} \cdot A^T \cdot Q$$

donde:

k, es el número del período de tiempo a evaluar

n, es el número de celdas en el que discretizo el acuífero

A(n,n), es la matriz de autovectores del problema $T \cdot A = SF \cdot A \cdot |\alpha|$ (m⁻¹)

|\alpha| es el vector de autovalores del problema $T \cdot A = SF \cdot A \cdot |\alpha|$ (día⁻¹)

E(n,n), es una matriz diagonal, donde cada elemento vale $e_{ii} = \exp^{-\alpha_i \Delta t}$

Por otro lado, si definimos un vector L, tal que $H_k = A \cdot L_k$ la ecuación queda así:

$$L_k = E \cdot L_{k-1} + X \cdot Q_k$$

donde

L(n) es un vector auxiliar denominado vector de estado (m²)

X(n,n), es igual a $X = |I - E| \cdot |\alpha|^{-1} \cdot A^T$ (día/m)

Estas ecuaciones pueden simplificarse, aplicando los conceptos de parámetros de control y acciones elementales.

Las acciones elementales son un conjunto de acciones unitarias (la suma de sus componentes es igual a 1) que reflejan en el vector base el cambio de las acciones externas de un período a otro k. Por ejemplo, pueden referirse a la infiltraciones, bombeos, recargas, retornos, etc. Así, si estos vectores son ordenados como columnas de una matriz nxn Q^b , entonces Q_k se puede expresar de la siguiente forma $Q_k = Q^b \cdot B_k$, donde B_k es el vector de intensidades de las acciones elementales. Finalmente, y llamando a $\Psi = X \cdot Q^b$ (día/m) la ecuación anterior quedaría de la siguiente forma:

$$L_k = E \cdot L_{k-1} + \Psi \cdot B_k$$

Por otro lado, si se denominan parámetros de control a los valores indicadores del estado del acuífero simulado (altura piezométrica, flujo de salida, volumen almacenado, etc.) y en lugar de usar la definición de $H_k = A \cdot L_k$ se utiliza la siguiente expresión:

$$C_k = A_R \cdot L_k$$

donde

C_k , es el vector de parámetros de control del acuífero (m)

A_R , es la matriz A reducida y tiene una fila por cada parámetro de control, es decir, si los parámetros de control son alturas piezométricas, A_R contiene las filas de A de las celdas cuya altura es parámetro de control (m^{-1}).

Una vez realizadas estas simplificaciones del problema, el método de los autovalores sigue los siguientes pasos en la resolución del problema (Collazos, 2002):

1. Se realiza la discretización del acuífero definiendo las dimensiones de la celda (en el caso de diferencias finitas), las condiciones de contorno de dichos acuífero y las propiedades de transmisividad y almacenamiento de cada una de las celdas definidas.
2. Obtención de las matrices T y S_f

Cada elemento de la matriz S_f , $sf(ii) = \text{almacaneamiento} \cdot \Delta x \cdot \Delta y$

Para cada celda analizada, j toma los números de celdas de arriba, abajo, derecha e izquierda de la celda analizada, siempre que sean celdas activas

$$t_{ii} = \sum_{j=1}^4 \frac{1}{\frac{1}{\text{transmisividad}_i} + \frac{1}{\text{transmisividad}_j}}$$

$$t_{ij} = \frac{-1}{\frac{1}{transmisividad_i} + \frac{1}{transmisividad_j}}$$

3. Construcción de la matriz C (simétrica): $c_{ij} = sf_{ii} \cdot t_{ij} \cdot sf_{jj}$
4. Obtención de los n autovalores α y autovectores Y de C.
5. Obtención los autovectores A que cumplen $T \cdot A = \alpha \cdot SF \cdot A$
6. Asignación de los datos a las matrices H_0 , Q y B
7. Cálculo de las matrices fijas.
8. Cálculo de los valores L o H para los diversos pasos de tiempo
9. El cálculo de caudal transferido entre celdas contiguas se obtiene mediante el

empleo de la fórmula de Darcy en medios discretizados: $q_{1-2} = T_{1-2} \cdot \frac{\Delta x}{\Delta y} \Delta h$

III.5.- Limitaciones del Modelo SIMGES

Las desventajas del Modelo SIMGES, como cualquier otro modelo basado en redes de flujo lineales en la modelación de la gestión de recursos hídricos son las siguientes (Simonovic, 2000):

- no permiten considerar pérdidas de agua en un canal, sino que hay que introducir un proceso iterativo para considerar esto, lo que puede introducir errores en el resultado.
- se asume una disponibilidad instantánea de agua para cualquier elemento de la red (no interviene el tiempo que pasa desde que se produce una suelta de agua hasta que el usuario dispone de ella).
- las no linealidades asociadas a las restricciones se manejan mediante un procedimiento iterativo. En cada iteración se modifican ciertas restricciones, y se envía el nuevo problema al algoritmo lineal. En sentido estricto, no está

garantizado que el proceso converja al óptimo del problema no lineal que debería ser resuelto.

- la función objetivo es predefinida y por tanto no puede ser libremente especificada por el usuario.

Pese a estas observaciones y dado que los errores que en nuestro modelo resultantes de estas limitaciones son de escasa importancia, se concluye que el modelo SIMGES es apto para el propósito que se persigue en esta tesis doctoral.

Capítulo IV

Área de Estudio.

IV.1.- Marco Geográfico.

Hellín es una localidad de la provincia de Albacete, en la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha. Cuenta con 780,81 kilómetros cuadrados, está limitado al Norte por el término de Tobarra, Pozohondo y Albatana; al Sur por Calasparra (Murcia), Cieza (Murcia), Moratalla (Murcia), al Oeste por Liétor, Férez y Socovos y al Este por Jumilla (Murcia) y Albatana (figura 9). La ciudad tiene 31.262 habitantes (INE, 2012) con una densidad resultante de 40,04 hab/km².

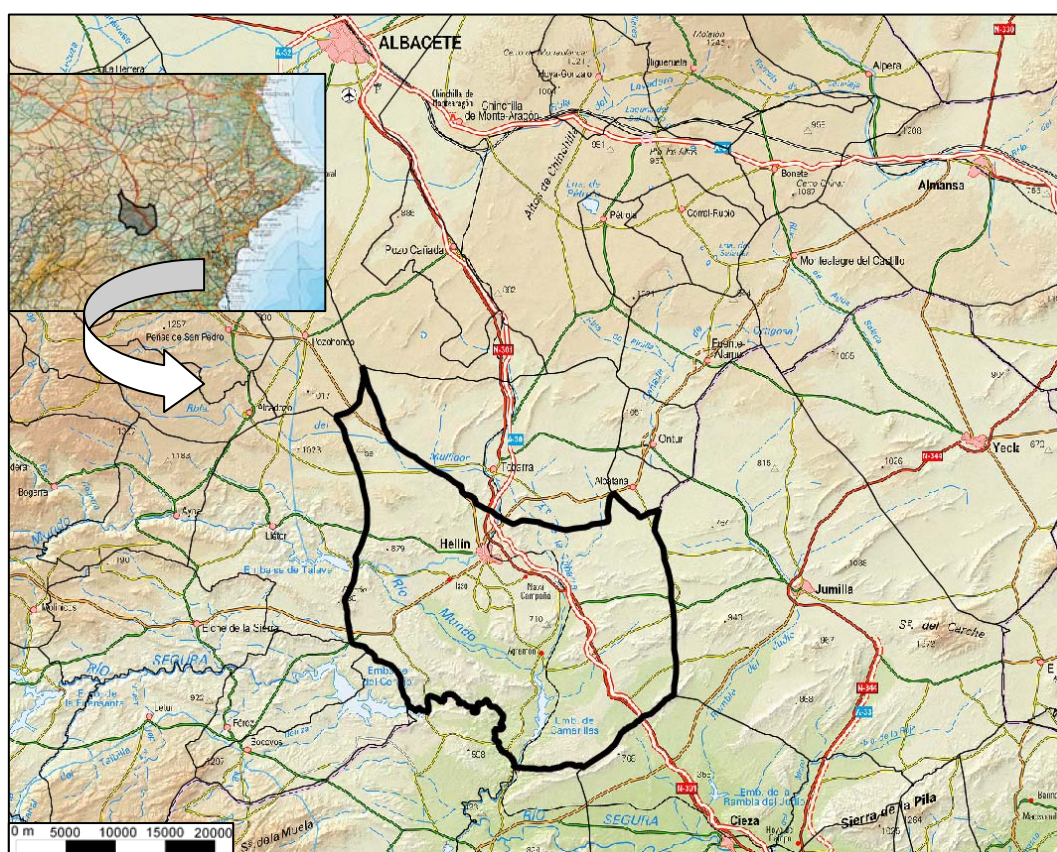


Figura 9. Ubicación y límites del municipio de Hellín.

Fuente: Elaboración propia

En términos de población, Hellín es el segundo municipio de la provincia de Albacete después de la capital, mientras que en cuanto a superficie, es el cuarto después de Albacete, Villarobledo y Almansa. Este hecho se explica en función del tipo de poblamiento: Hellín presenta una población dispersa en núcleos de pequeña y mediana entidad, alguno de los cuales posee una población superior a muchos pueblos de la provincia, como por ejemplo Isso y Agramón.

El término municipal de Hellín se distribuye en 13 cascos urbanos, suponiendo Hellín un 84% del total de habitantes. Las otras doce pedanías son: Isso, Agramón, Cañada de Agra, Mingogil, Agra, Nava de Campaña, Cancarix, Minateda, Las Minas, La Horca, Torre Huchea y El Rincón del Moro (figura 10).

La economía de Hellín se sustenta sobre los tres sectores básicos: agricultura, industria y servicios.

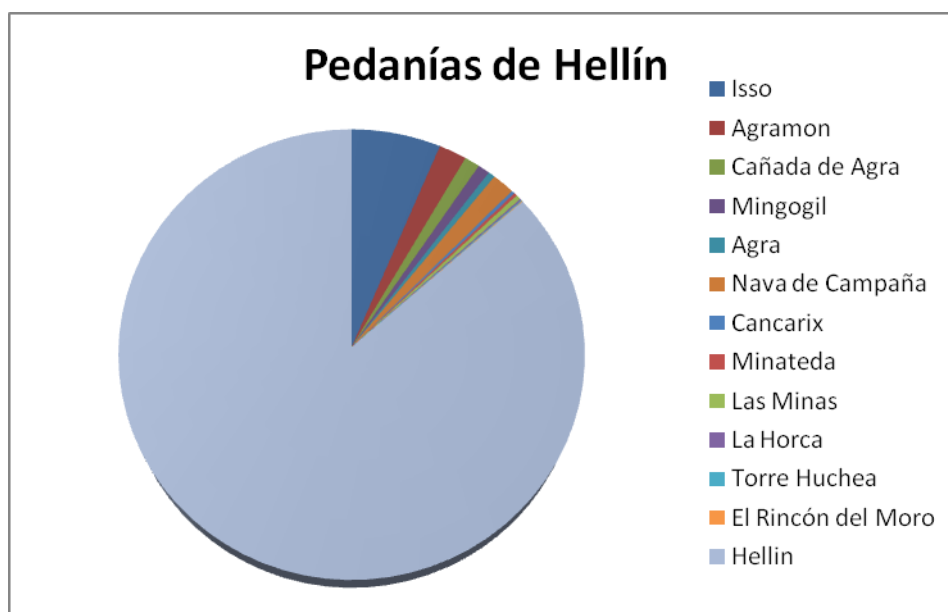


Figura 10. Distribución de población en Hellín.

Fuente: Elaboración propia

IV.2.- Demografía.

La evolución poblacional de Hellín durante la segunda mitad del siglo XX presenta una tendencia constante, sin fluctuaciones considerables. Sin embargo, cabe destacar como primera característica de la población de la zona de estudio que, según datos del Padrón Municipal de Habitantes (figura 11), en Hellín se produjo un constante incremento de la población hasta la década de los 60, momento en que se inició un periodo de pérdida de efectivos hasta la última década del siglo XX. A partir de entonces, se ha iniciado un incremento mantenido de las cifras hasta la actualidad. Así pues, desde los 27.242 habitantes contabilizados en 1960, se descendió hasta 22.651 en el año 1981 y, posteriormente, se ha invertido la tendencia, con una progresión últimamente suavizada aunque aún ascendente, alcanzándose los 31.262 habitantes según la revisión del Padrón municipal del (INE,1012).

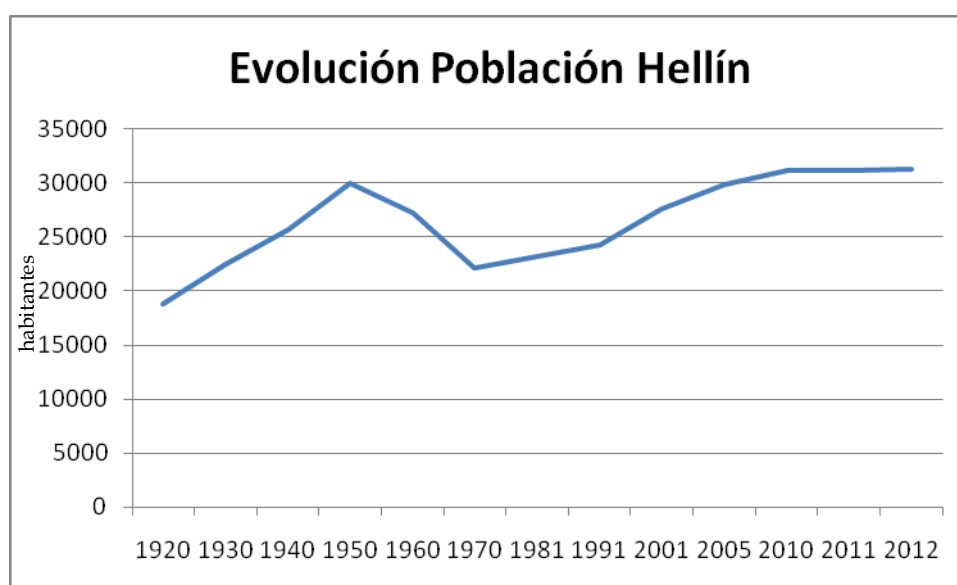


Figura 11. Evolución de población en Hellín.

Fuente: Elaboración propia a partir de INE (2012)

Hellín muestra unos parámetros de evolución de la población acordes con sus entornos comarcal y regional. Hellín ha registrado en la primera década del siglo XXI un crecimiento poblacional del 13,23% en el período intercensal. La densidad de población es, en Hellín, bastante superior a la provincial y regional, lo que implica que

con sólo el 5,23% de la superficie provincial y el 1,0% de la regional, concentre el 7,76% de la población provincial y el 1,47% de la regional.

Otra característica de la evolución y estructura demográfica del municipio la proporciona el estudio de la pirámide de edad (figura 12), que en Hellín ofrece unos parámetros sociodemográficos regresivos, acordes con las tendencias observadas en el conjunto de la población española, esto es: disminución del tamaño de las nuevas generaciones, aumento de la población de más de 65 años debido al descenso de la mortalidad, con el consecuente envejecimiento de la población; además, un aumento de la población potencialmente activa (entre 16 y 64 años). Así, el 18,17% de los residentes en Hellín en 2012 tenían 65 años o más, mientras que en 1981 eran el 10,40%. Además, la infancia tiene cada vez menos presencia en la pirámide de población. Los menores de 16 años han pasado de ser un 30,70% en 1981 a un 18,68% en el año 2012. Las personas que tienen entre 16 y 64 años eran un 58,90% del total de la población en 1981, y han pasado al 64,22% en 2012. Es por tanto, una pirámide de tipo regresiva, lo que indica la existencia de un proceso de envejecimiento en el conjunto de la población.

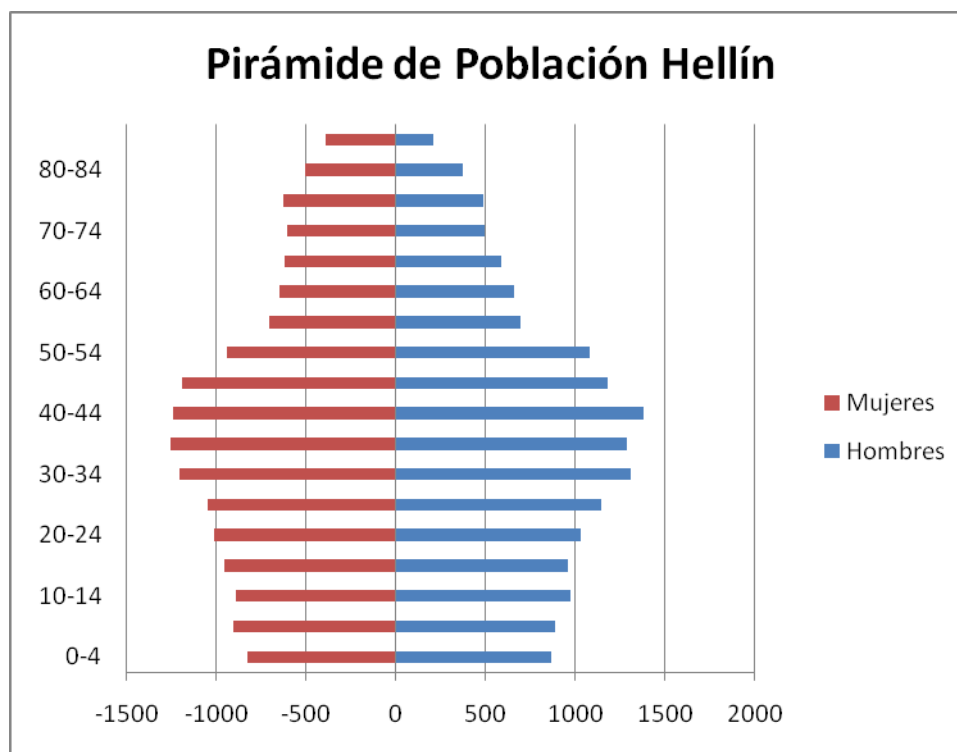


Figura 12. Pirámide de población de Hellín.

Fuente: Elaboración propia a partir de INE (2012)

Por otro lado, en lo que respecta a la población activa, y según el INE, la tasa de paro en Hellín (número de personas paradas por cada cien personas activas) alcanzaba el 16,13% en el cuarto trimestre de 2012, muy alejada de la cifra de la provincia (41,49%) y de la región (35,20%), incluso inferior a la registrada para el conjunto de la población española (26,02%), lo que indica la adecuación de la población hacia el mercado laboral en época de crisis.

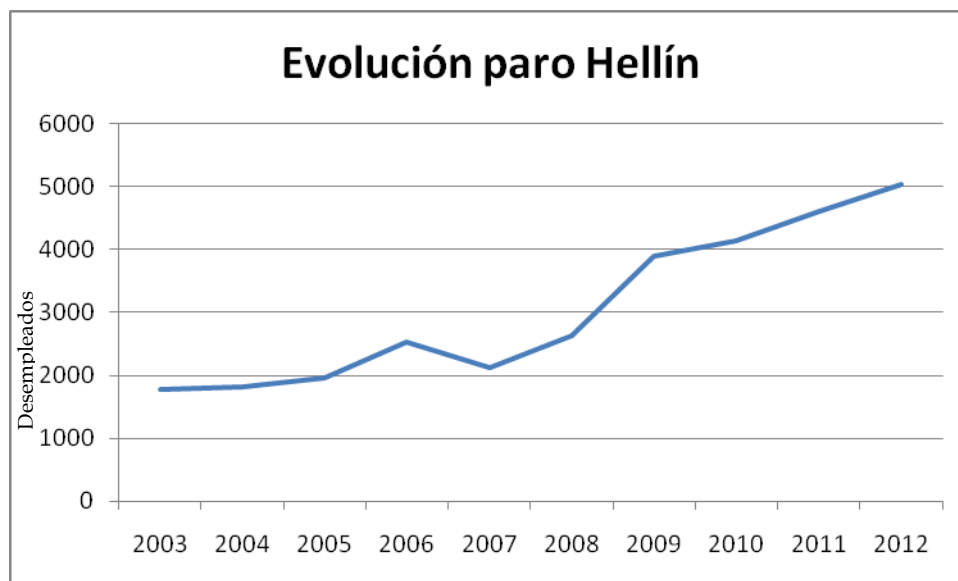


Figura 13. Evolución del paro en Hellín.

Fuente: Elaboración propia a partir de INE (2012)

IV.3.- Sector Económico.

La economía de Hellín se sustentó durante mucho tiempo sobre la recolección e industria del esparto, hasta que los productos confeccionados con esta fibra fueron sustituidos por sintéticos. También tuvo importancia la minería del azufre, la extracción de caliza, la confección y los productos derivados de la madera y la cerámica. Todas estas actividades alumbraron un foco de actividad industrial junto a la Estación de ferrocarril, en épocas en las que el tren era el medio predominante de transporte. Sin embargo, ya hace muchos años que esas actividades económicas no existen o están en regresión.

Actualmente, por sectores económicos, la población ocupada en la agricultura ha visto reducir sus efectivos en 380 trabajadores en el período 1981-1991 en valores absolutos, y en casi 10 puntos en términos relativos: a principios de los 80 se censaron 1.026 residentes que afirmaban dedicarse al sector primario como principal ocupación (19% del total de ocupados), mientras que diez años después sólo declaraban hacerlo 646 residentes (9,7% de los ocupados). Sin embargo, esta tendencia se ha invertido en la última década, volviendo a situarse en valores cercanos al 20% en el 2009, debido principalmente a la crisis económica que azota el país. En el período de 2001-2009, con el aumento del paro, la sociedad ha vuelto a incorporarse a los campos de cultivo abandonando, por falta de oportunidades, tanto la industria, como el sector construcción que ha tocado fondo en los últimos años (inferior al 10% de la población activa), suponiendo a medio plazo un importante sector económico, no sólo a escala municipal sino también a escala provincial por el peso del municipio en Albacete e incluso en la región, hecho que viene además respaldado por la reciente construcción de pozos sobre acuíferos de la zona para garantizar la demanda de las nuevas superficies dispuestas para producción .

	Agricultura	Industria	Construcción	Servicios	TOTAL
1981	1.026	1.785	499	2.235	5.545
	18.50 %	32.20%	9.00%	40.30%	100.00%
1991	646	1.807	950	3.257	6.660
	9.70%	27.14%	14.26%	48.90%	100.00%
2001	1.039	2.070	1.570	4.981	9.660
	10.76%	21.43%	16.25%	51.56%	100.00%
2009	1.660	1.178	742	5.035	8.615
	19.30%	13.70%	8.60%	58.40%	100.00%

Tabla 4. Evolución de la población en Hellín por sectores económicos.

Fuente: Elaboración propia a partir de INE (2012)

La población ocupada en la industria se cifraba en 1991 en 1.807 trabajadores (27,14% de la población ocupada total). Diez años antes había censados prácticamente los mismos efectivos, lo que significaría que la industria apenas logró en ese período incorporar nuevos trabajadores al sector. Sin embargo, el importante crecimiento demográfico de la última década permitió que en 2001 el número de ocupados creciera,

desplomándose diez años después y reduciendo el número de efectivos dedicados a este sector (828 personas menos), así como su porcentaje en términos absolutos dentro de la economía del municipio (casi el 50% menor).

Con la población ocupada en la construcción las variaciones han sido más bruscas aún, reflejo de la situación nacional. Mientras que entre 1981 y 2001 el crecimiento fue importante y constante, en los últimos 4 años el descenso ha sido tan brusco que el porcentaje en la actualidad es inferior al de hace dos décadas (tan sólo un 8,60% en 2009).

La población ocupada en el sector servicios es la que más ha crecido. Según el Censo de 2009, 5.035 residentes se encontraban ocupados en actividades entre las que se incluyen el comercio, el transporte, los servicios públicos y los privados. En 1981, se censaron 2.235 ocupados en los servicios, lo que supone que en veinte años se ha incrementado en 2.800 activos los ocupados en el sector (más de un 100% de incremento), y 18 puntos su peso relativo (del 40% al 58%). La progresiva terciarización de la sociedad española hace prever el mantenimiento del proceso, con el consiguiente incremento, año tras año, de la importancia relativa de la población ocupada en este sector.

IV.4.- Ocupación del Suelo.

Aunque por valor de la producción, la agricultura no es el sector predominante en Hellín, su importancia en el conjunto del municipio es bien notoria, como lo refleja el hecho de mantener cultivadas casi treinta mil hectáreas (el 40% de la extensión municipal), hecho que, según los datos del censo agrario, ha disminuido en los últimos 10 años. (Tabla 5).

Año	Superficie Término	Número de explotaciones	Superficie Total Cultivo (ha)	Superficie Agraria Útil (SAU) (ha)	SAU/ST (%)
1999	71482	1663	44.922,98	37.331,00	83,10
2009	71482	887	40.665,02	29.507,05	72,56

Tabla 5. Evolución del suelo útil en Hellín.

Fuente: Elaboración propia partir del INE (2012)

Pese a que la población activa dedicada a la agricultura en el mismo período de tiempo ha duplicado su número, las superficies dedicadas al cultivo han disminuido en un 10%, mientras que este valor llega hasta el 20% si se habla de superficie agraria útil, entendiendo ésta como la tierra realmente labrada (sin tener en cuenta la superficie para pastos).

Sin embargo, en cuanto a la diferenciación entre secano y regadío, las cifras se han mantenido en la última década bastante estables tal y como se puede comprobar en la figura 14.

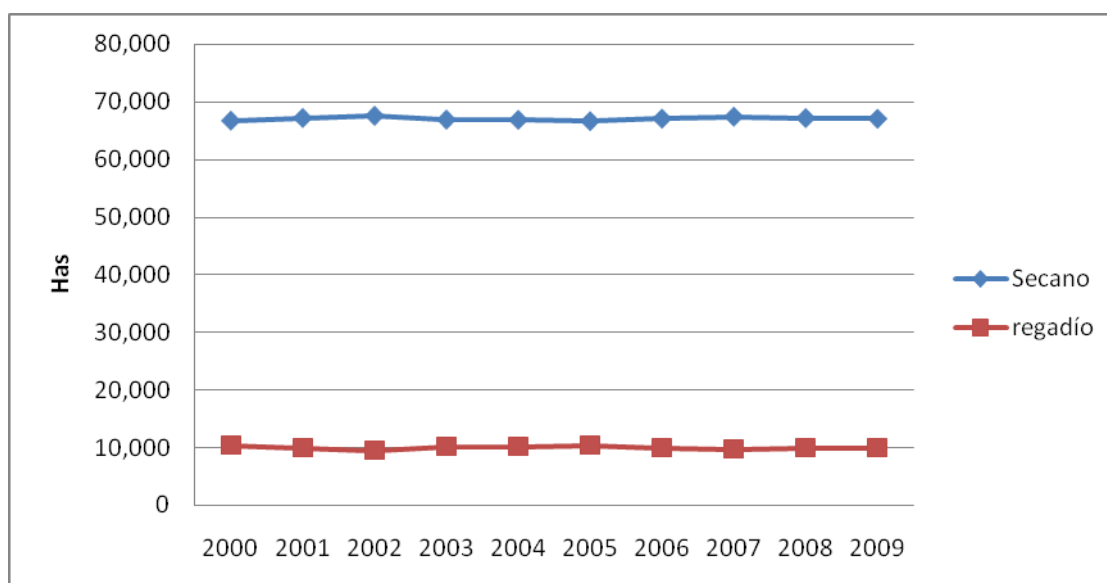


Figura 14. Evolución del suelo en Hellín.

Fuente: Elaboración propia a partir de Consejería de Agricultura de la Junta de Castilla la Mancha (2013)

Centrándose en el último año del que se dispone de datos sobre el uso pormenorizado del suelo, se aprecia que las tierras utilizadas para el regadío suponen

tan sólo un 13% de la superficie total de Hellín, frente al 61% de superficie dedicada a cultivos en secano, especialmente por la tradición espartera de la comarca (Tabla 6).

En lo que respecta a los recursos utilizados para el riego de estos campos, la Confederación Hidrográfica del Segura diferencia las zonas dentro de su demarcación, dependiendo de la procedencia del agua en diferentes Unidades de Demanda Agrarias (UDA). En Hellín se puede contar hasta seis dentro de su límite municipal, tal y como se aprecia en la figura 15.

	Secano	Regadío
TIERRAS OCUPADAS POR CULT. HERBACEOS	3718	3969
BARBECHO Y OTRAS TIERRAS NO OCUPAD.	3233	820
TIERRAS OCUPADAS POR CULT. LEÑOSOS	6019	5208
PASTIZALES	2900	0
MONTE MADERABLE	6300	25
MONTE ABIERTO	500	0
MONTE LEÑOSO	480	0
ERIAL A PASTOS	6127	0
ESPARTIZAL	34382	0
TERRENO IMPRODUCTIVO	420	0
SUPERFICIE NO AGRICOLA	1780	0
RIOS Y LAGOS	1140	0
TOTAL (has)	66999	10022

Tabla 6. Usos del suelo en el municipio de Hellín (Has).

Fuente: Elaboración propia a partir de Consejería de Agricultura de la Junta de Castilla la Mancha (2013)

Según el Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura (CHS, 1998), cada una de las Unidades de Demanda Agraria, fueron estructuradas basándose en los siguientes criterios:

- resumen de la definición de la unidad
- ubicación geográfica
- antecedentes históricos
- alternativa general de cultivos en el momento

- distribución de sus superficies de riego
- organización productiva y asociativa
- infraestructuras de riegos
- caracterización socioeconómica básica (situación productiva del regadío): a partir de la Estadística Agraria regional
- perspectivas de sostenimiento futuro

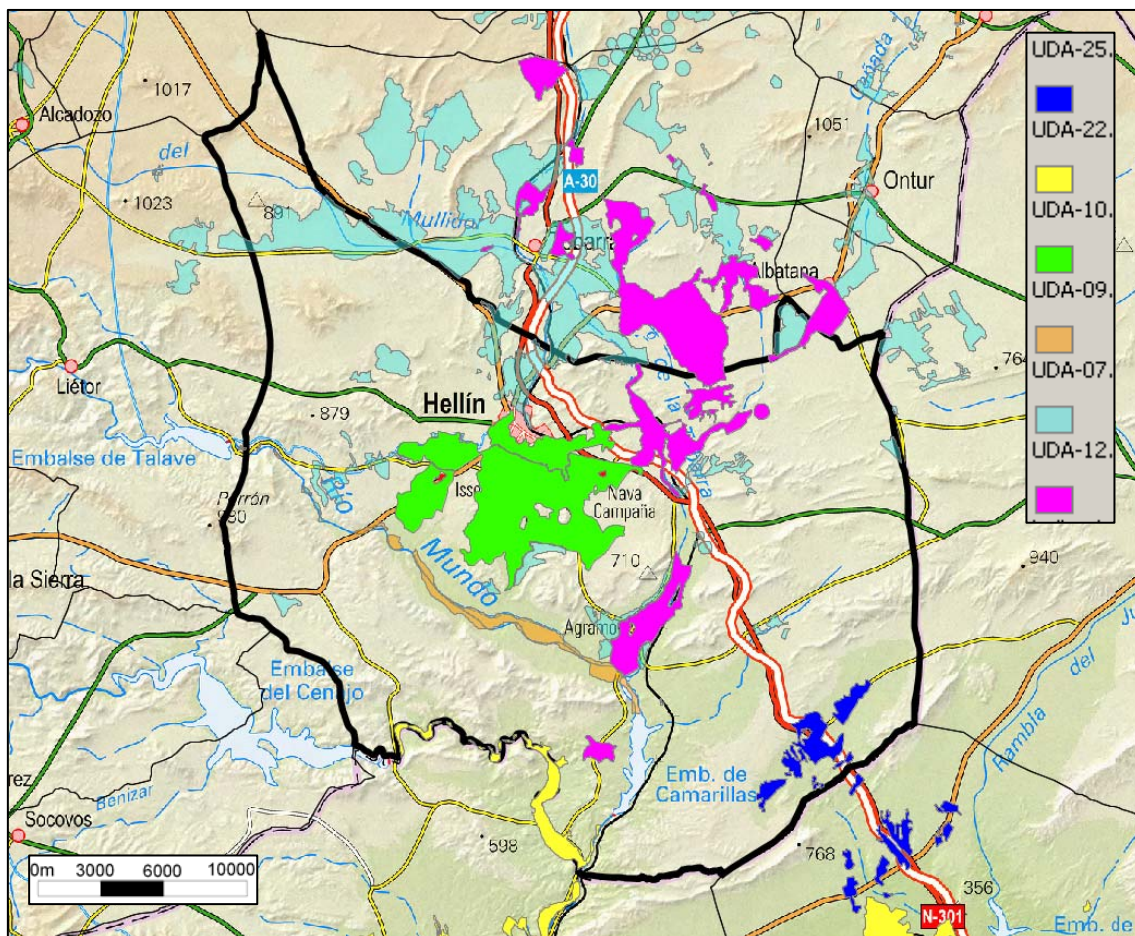


Figura 15. Unidades de demanda agraria en Hellín.

Fuente: Elaboración propia.

Las Unidades de Demanda Agraria con representatividad en el término municipal de Hellín son las siguientes:

UDA N° 7. Subterráneas Hellín-Tobarra

Comprende esta unidad las superficies de riego atendidas con aguas subterráneas bombeadas del área de Hellín-Tobarra, junto con algunos manantiales de esta unidad, en cuantía despreciable. Son, en su mayoría, riegos modernos, que se inician en la década de los 60 con el auge de la tecnología de construcción de sondeos profundos y equipos de electrobombas sumergidas.

UDA N° 9. Vega del Mundo, entre Talave y Camarillas

Comprende esta unidad las superficies de riego comprendidas entre los embalses de Talave y Camarillas, sobre el río Mundo. Todos los riegos se encuentran en el término municipal de Hellín. Todos estos regadíos son muy antiguos, y se han generado con aguas superficiales, derivadas del río Mundo mediante acequias y elevaciones de carácter tradicional.

UDA N° 10. Canal de Hellín

Esta unidad comprende los regadíos tradicionales de Hellín, alimentados con las aguas superficiales procedentes del Canal de Hellín, con toma en el río Mundo, y, en menor medida, con aguas bombeadas del acuífero del Boquerón. Se encuentra en su totalidad en el municipio de Hellín, junto a su núcleo urbano. La zona de riego debe su origen a la proyectada ejecución de las cuatro presas de cabecera de la cuenca del Segura, que implicaría la inundación de las huertas existentes en sus embalses. En compensación por esta merma se proyecta el año 1.933 la creación de una nueva zona de riegos en Hellín con unas 4.000 ha de superficie, y que asentaría a las 100 familias que quedarían en paro por la ejecución de las obras. Tras diversos y complejos avatares administrativos, se culmina el proceso en los años 50, y se establece una derivación máxima de 1.000 l/s, de los que 900 serían para regadío y 100 para el abastecimiento de la ciudad de Hellín.

UDA N° 12. Superficiales Tobarra-Albatana-Agramón

Comprende esta unidad las superficies de riego, aguas arriba del embalse de Camarillas por la rambla de Minateda, atendidas con aguas procedentes de manantiales de la zona de Hellín-Tobarra (un 62%), junto con aguas subterráneas bombeadas de esta zona (un 38%). Históricamente, son regadíos muy antiguos, con pequeños huertos vinculados a las surgencias de manantiales. Con el tiempo, la escasez de agua de los manantiales ha provocado la extracción de recursos mediante bombeos de acuíferos en el subsuelo.

UDA N° 22. Vega Alta, posteriores al 53 y ampliaciones del 53

Esta unidad comprende las ampliaciones de riegos en la vega alta producidas a raíz del Decreto del 53, que posibilitó la dotación de recursos a los regadíos creados tras el año 1.933 y existentes en 1.953, y a los desarrollados tras esa fecha con cargo al incremento de la regulación de los proyectados nuevos embalses de cabecera.

UDA N° 25. Regadíos de acuíferos en la Vega Alta

Incluye esta unidad aquellas superficies de riego atendidas únicamente con recursos subterráneos de los acuíferos del Molar y Sinclinal de Calasparra, y situadas en la vega alta de la cuenca del Segura. Las áreas más antiguas se establecieron en los años 30 y las más modernas en la década de los 70 y posteriormente fueron parcialmente redotados con el trasvase. En la tabla 7, se muestra la superficie de cada UDA que se integra dentro del municipio de Hellín:

U.D.A. 7	U.D.A. 9	U.D.A. 10	U.D.A. 12	U.D.A. 22	U.D.A. 25
3599.68	789.00	4767.00	2098.55	563.82	724.86

Tabla 7. Superficies de regadío (ha) en Hellín según la unidad de demanda agraria.

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, en la figura 16 se muestra el porcentaje de cada UDA con respecto al total considerado por el organismo de cuenca en el término municipal de Hellín.

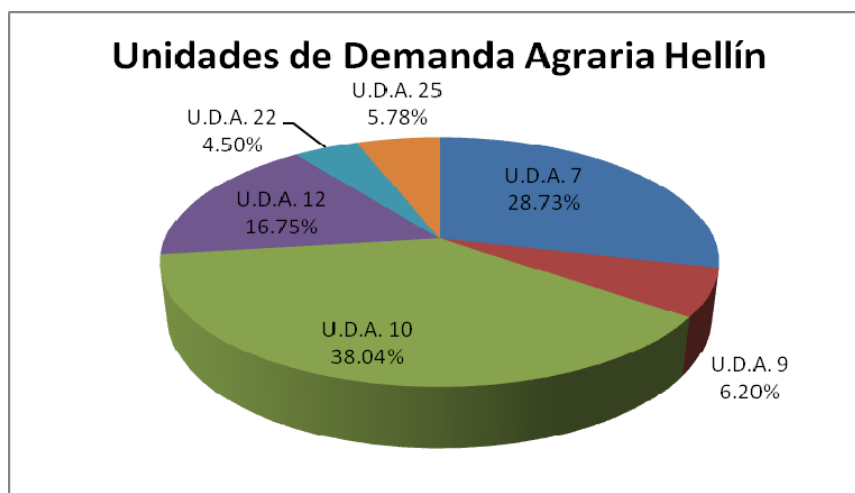


Figura 16. Unidades de demanda agraria en Hellín.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede comprobar, la UDA-10, correspondiente a los regadíos que se abastecen con las aguas procedentes del canal de Hellín, son los que tienen mayor importancia en el municipio de Hellín (38%), seguido por la UDA-7 (28,7%), correspondiente a aquéllos que extraen las aguas procedentes de algunos de los acuíferos existentes en el subsuelo. Ambas unidades abarcan alrededor del 70% de la superficie de regadío de Hellín, lo que nos da una idea de los posibles beneficios de la integración y regulación de los recursos utilizados por ambas.

Por otro lado, el Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura (CHS, 1998) determina las superficies netas (SNT) regadas a partir de las áreas totales censadas (SBR) en la cuenca, en función de un coeficiente de improductivo (CPR) y coeficiente de rotación (CRT) de cultivos para cada una de las unidades antes mencionadas:

U.D.A.	CPR	CRT	SBR (ha)	SNT (ha)
7	0,85	0,60	14.445	7.367
9	0,85	0,95	789	637
10	0.85	0.95	4.767	3.849
12	0.85	0.70	5.542	3.297
22	0.85	0.85	8.005	5.784
25	0.85	0.85	2.672	1.931

Tabla 8. Superficies netas de cultivo en Hellín.

Fuente: CHS (1998)

Además, se muestran las dotaciones, distribuciones mensuales a lo largo del año y los retornos para cada una de las unidades antes descritas de la siguiente forma:

U.D.A.	CEF	S neta (ha)	D Neta (hm ³)	D Bruta (hm ³)	DotN (m ³ /ha/año)	DotB (m ³ /ha/año)
7	0,85	7.367	25,76	30,31	3.497	4.114
9	0,75	637	3,62	4,83	5.689	7.586
10	0,75	3.849	16,86	22,48	4.831	5.841
12	0,75	3.297	12,95	17,27	3.928	5.237
22	0,85	5.784	37,54	44,16	6.490	7.636
25	0,85	1.931	12,74	14,99	6.600	7.765

Tabla 9. Dotaciones netas (hm³) de las unidades de demanda agraria en Hellín.

Fuente: CHS (1998)

UDA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
7	0	0,927	1,069	2,372	3,233	6,435	6,465	6,452	1,998	1,358	0	0
9	0	0,076	0,054	0,467	0,463	0,899	1,226	0,89	0,461	0,297	0	0
10	0	0,366	0,231	2,027	1,816	4,392	5,997	4,36	1,801	1,494	0	0
12	0	0,431	0,198	1,135	1,962	3,916	4,509	3,422	0,945	0,75	0	0
22	0,246	2,892	3,705	4,114	5,187	6,017	7,745	8,238	4,716	0,577	0,526	0,202
25	0	0,975	1,349	1,349	1,723	2,066	2,765	2,998	1,764	0	0	0

Tabla 10. Distribuciones mensuales de las dotaciones hídricas (hm³) de las unidades de demanda agraria en Hellín.

Fuente: CHS (1998)

UDA	D Bruta (hm ³)	Retorno (hm ³)	Porcentaje (%)
7	30,31	0,09	0.30%
9	4,83	0,77	15.94%
10	22,48	1,04	4.63%
12	17,27	0,53	3.07%
22	44,16	7,22	16.35%
25	14,99	2,65	17.68%

Tabla 11. Retornos (hm³) de las unidades de demanda agraria en Hellín.

Fuente: CHS (1998)

IV.5.- Redes de Abastecimiento y Saneamiento.

Según el Plan de Ordenación Municipal Hellín (J.C.C.M., 2010) el consumo anual de agua potable en Hellín en el año 2002 (último dato contabilizado) para una población total de 27.609 habitantes fue de 3.435.172 m³ (incluyendo el consumo industrial). Este volumen incluía unas pérdidas estimadas en un 40% en redes, que a lo largo de los años Aqualia (empresa gestora de las aguas en Hellín) ha ido revisando y reparando. Según este Plan de Ordenación Municipal, la estimación para el año 2016 (año horizonte del Plan General) el consumo previsible será (sin incluir pérdidas) de 3.291.891 m³, que quedan asegurados mediante las dos captaciones en el río Mundo que abastece a Hellín, un total de 165 l/s que conforman un volumen anual de 5.200.000 m³.

Por otro lado, el Plan de Cuenca del Segura (CHS, 1998) estimaba para una población en Hellín de 23.851 habitantes, un volumen anual en abastecimiento de agua potable de 2.296.000 m³ (excluyendo el consumo industrial) con un rango de pérdidas entre el 28,1 % y el 38,4%, similares a los contemplados en el Plan de Ordenación Municipal de Hellín (J.C.C.M, 2010). Además justifica un 80% del volumen total como retornos al propio sistema. Asimismo, este documento, realiza una estimación de la distribución mensual del consumo realizado en Hellín, la cual se muestra en la tabla 12:

Unidad	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
7-Hellin	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	9,2	10,8	10,8	9,2	7,5	7,5	7,5

Tabla 12. Distribución porcentual del consumo de agua potable en Hellín.

Fuente: CHS (1998)

Las hipótesis con respecto a prognosis futura de consumos a medio plazo (10 años) y largo plazo (20 años) prevén un volumen total de 2 hm³ para el año 2008 y de 3 hm³ para el año 2018. Estos datos están en consonancia con las estimaciones del Plan de Ordenación Municipal de Hellín (J.C.C.M, 2010) de Hellín, ya que los volúmenes superiores que resultan en este último documento consideran el consumo de las zonas industriales.

En cuanto al suministro de agua potable del municipio de Hellín se realiza a través de dos captaciones distintas:

1. Toma en el río Mundo mediante azud en el municipio de Liétor. A través del canal de Hellín se distribuyen 1000 l/s, de los cuales se prevé el uso de 100 l/s para el abastecimiento de Hellín y el resto para riego.
2. Toma en la propia presa del Talave de un caudal de 65 l/s que llega a Hellín mediante tubería forzada.

En períodos de extrema sequía cuando no es posible asegurar los caudales anteriores, se recurre al acuífero del Boquerón, mediante extracción a través de una serie de pozos que se encuentran situados junto a la presa del Boquerón. Esta fuente de suministro es usada eventualmente, una vez cada dos o tres años (J.C.C.M., 2010).

El agua, una vez potabilizada en las ETAP de La Losilla y La Vicaria, es almacenada en depósitos situados en las cotas altas del casco urbano.

En lo que respecta a la red de saneamiento, el municipio de Hellín dispone de una red separativa, es decir, hay diferenciación entre la red de fecales y la red de pluviales, discurriendo por tuberías distintas.

El sistema de evacuación de pluviales evacúa en la Laguna de los Patos, próxima a la E.D.A.R. de Hellín y las aguas fecales son conducidas hasta esta Depuradora donde son tratadas y vertidas o reutilizadas para riego.

IV.6.- Infraestructuras hidráulicas.

En este apartado se realizará una descripción de las características funcionales de cada uno de los elementos que afectan o son afectados por los usos consuntivos del término municipal de Hellín.

IV.6.1.- *Embalse del Talave.*

La presa de Talave se ubica en el río Mundo, a unos 75 kilómetros de su nacimiento. Dicha presa fue ejecutada entre los años 1903 y 1918 y su función principal es la de la regulación de caudales para abastecer las demandas de regadío y abastecimiento, así como la laminación de las avenidas de la cuenca alta del río Mundo y la producción de energía eléctrica para consumo propio. Tanto la presa como la totalidad del embalse se sitúan en el término municipal de Liétor, provincia de Albacete.

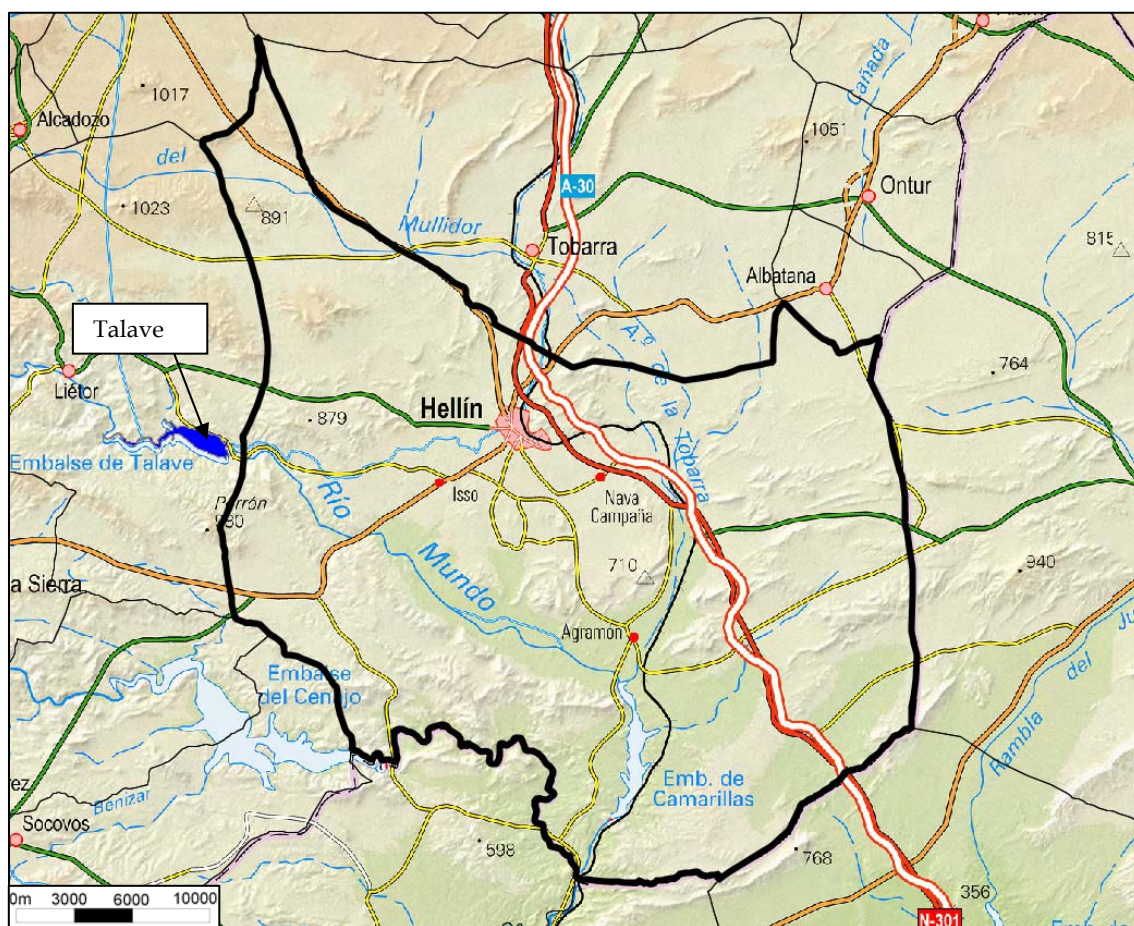


Figura 17. Localización del embalse de Talave.

Fuente: Elaboración propia.

Desde 1.979 el embalse de Talave recibe las aportaciones del Trasvase Tajo-Segura que son reguladas en combinación con el embalse de Camarillas, ubicado a unos 38 km aguas abajo.

La cuenca vertiente a la presa de Talave ocupa una extensión de 766,5 km², tal y como recoge la figura 18. La cerrada de la presa se encuentra en el río Mundo, a 75 km aguas abajo de su nacimiento, a la cota 472 m. El río Mundo nace en las estribaciones septentrionales de la Sierra de Calar del Mundo, en el término municipal de Riopar (Albacete). En el primer tramo, hasta el embalse del Talave, la cuenca es marcadamente torrencial, con una pendiente media pronunciada del 0,8 %.

A unos 30 km agua arriba del embalse del Talave, el Mundo recibe por la margen izquierda al río Bogarra, único afluente de caudal permanente, que drena la vertiente oriental de la Sierra de Alcaraz. Su caudal de estiaje suele ser inferior al del Mundo; sin embargo, sus aportaciones en épocas de grandes lluvias o deshielo son similares a las de aquél. Entre Ayna y el puente de Isso afluyen al Mundo varias ramblas, algunas con cuencas receptoras de consideración, que no suelen llevar caudal la mayor parte del tiempo, pero pueden presentar caudales de avenida significativos.

El embalse de Talave ocupa una superficie de 295 ha a cota de nivel máximo normal. La capacidad de embalse a esa cota es de 34,8 hm³.

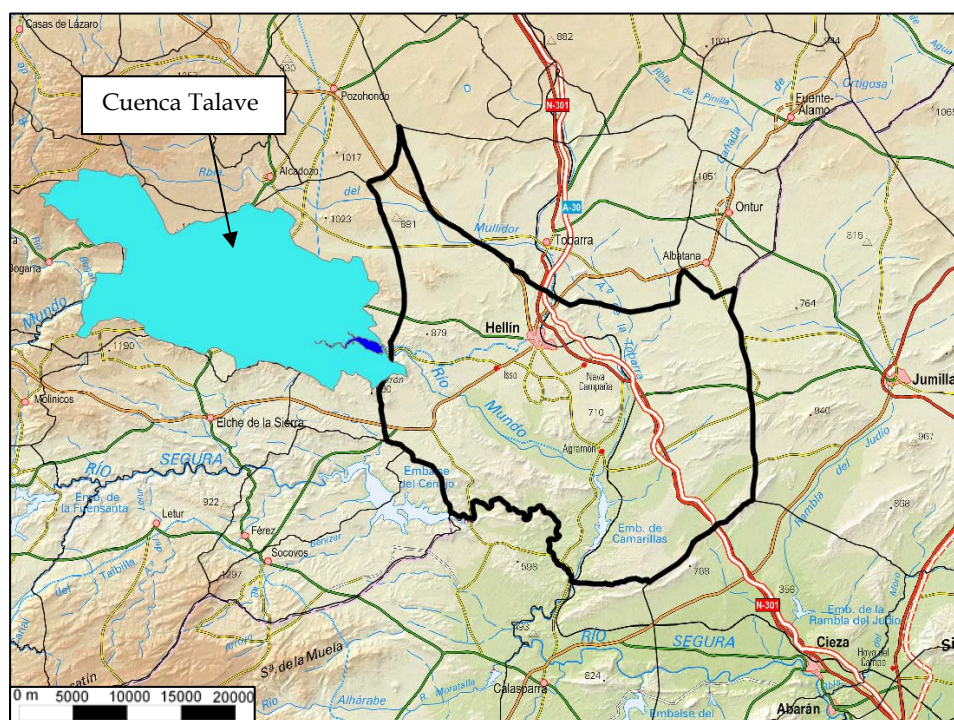


Figura 18. Cuenca de la presa del Talave.

Fuente: Elaboración propia.

IV.6.2.- *Embalse de Camarillas.*

La presa de Camarillas se ubica en el río Mundo, en el denominado Cañón de los Almadenes del río Mundo. Tanto la presa como el embalse se ubican en el término municipal de Hellín (figura 19).



Fotografía 1. Embalse de Talave.

Los usos principales del embalse de Camarillas son la laminación de avenidas y la regulación de caudales para atender las demandas de los aprovechamientos del río Mundo (riegos, abastecimiento, etc.). La explotación de la presa de Camarillas se realiza de manera coordinada con la de Talave, regulando entre ambas las aportaciones del Trasvase Tajo-Segura.

La cuenca vertiente total a la presa de Camarillas ocupa una extensión de 2.382,9 kilómetros cuadrados, de los cuales 766,5 corresponden a la cuenca de la presa de Talave, situada aguas arriba. La cuenca propia de la presa de Camarillas tiene por tanto una extensión de 1.616,4 km².

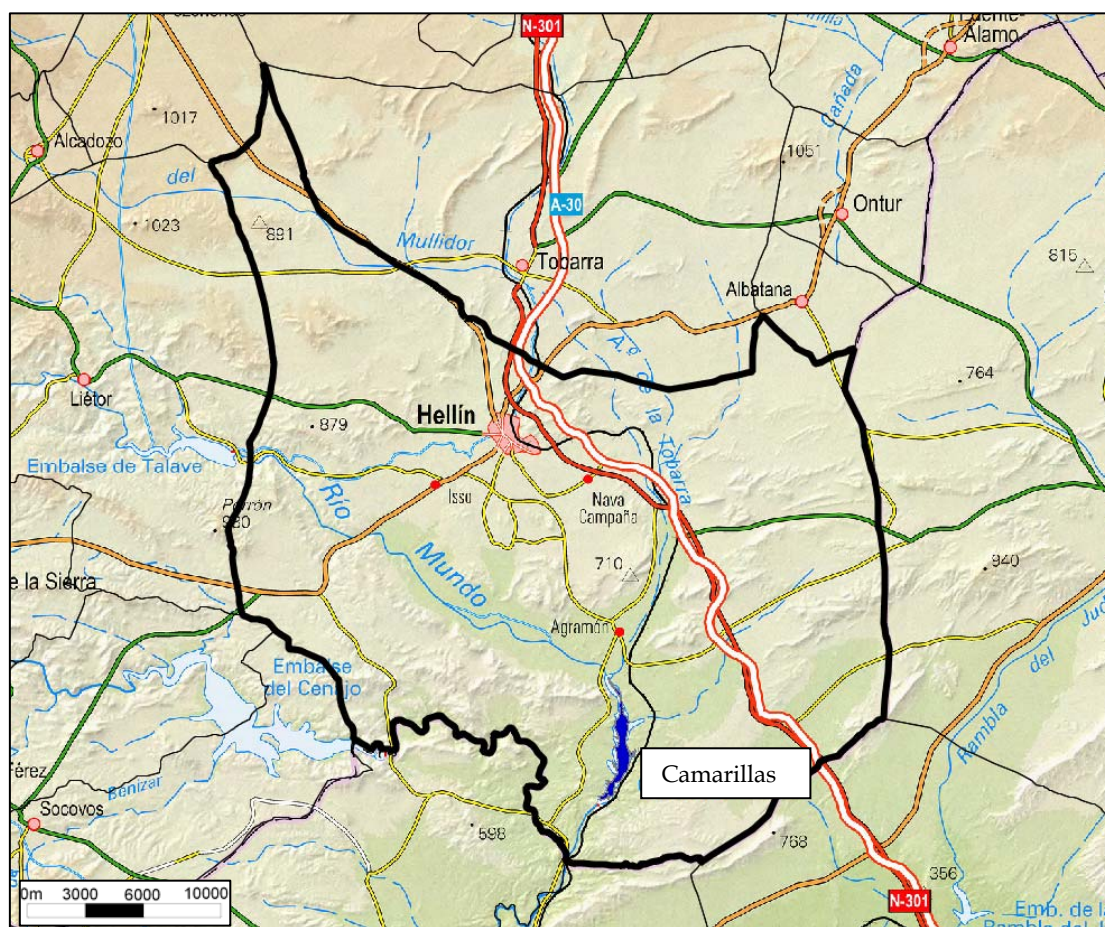


Figura 19. Localización del embalse de Camarillas.

Fuente: Elaboración propia.

Los principales afluentes del Mundo en la cuenca son la rambla de Bogarra, antes del embalse de Talave, y las ramblas de Minateda y Bayco, que confluyen con el Mundo en el tramo comprendido entre las presas de Talave y Camarillas.

El embalse de Camarillas ocupa una superficie de 320 ha a cota de nivel máximo normal, que pertenecen en su integridad al término municipal de Hellín. La capacidad de embalse a esa cota es de 35,84 hm³.



Fotografía 2. Embalse de Camarillas.

IV.6.3.- *Embalse del Boquerón.*

La presa de la rambla del Boquerón se enmarca dentro de las actuaciones de defensa de la margen izquierda del río Mundo, incluidas en el Plan General de Defensa contra Avenidas de la Cuenca del Segura. La rambla del Boquerón se sitúa en la zona Suroriental de la provincia de Albacete. Es un cauce corto, de unos 10 km, que discurre encajado entre las sierras de Los Quebrados y Peñarrubia hasta incorporarse a la rambla del Pepino, continuando los caudales por dicho cauce otros 6 km antes de desembocar en el río Mundo, a unos 13 km de la entrada en el embalse de Camarillas.

La presa de la rambla del Boquerón se encuentra próxima al casco urbano de Hellín, tal y como recoge la figura 20.

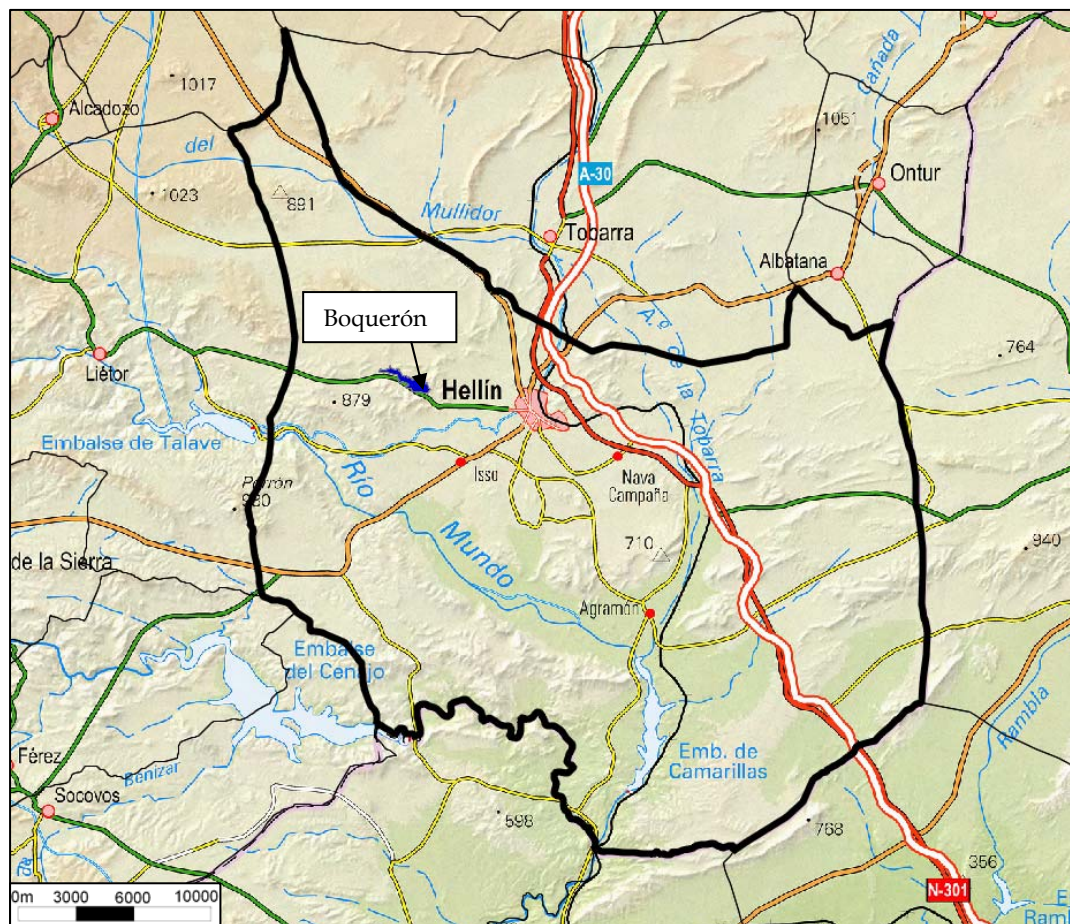


Figura 20. Localización del embalse del Boquerón.

Fuente: Elaboración propia.

La finalidad de este embalse es el control de las avenidas que tienen lugar en las ramblas del Mullidar, Rincón del Moro y Boquerón, buscando con ello limitar los efectos de las inundaciones que históricamente se vienen produciendo en las vegas de Tobarra, Hellín e Isso. La población de Tobarra se protege mediante la construcción de un canal de trasvase que conduce gran parte de las aguas de su cuenca vertiente hacia la cuenca del Boquerón, mientras que las poblaciones de Hellín e Isso quedan protegidas, frente a las avenidas propias y trasvasadas por la presa de la rambla del Boquerón. La cuenca trasvasada tiene una superficie de 200 km².

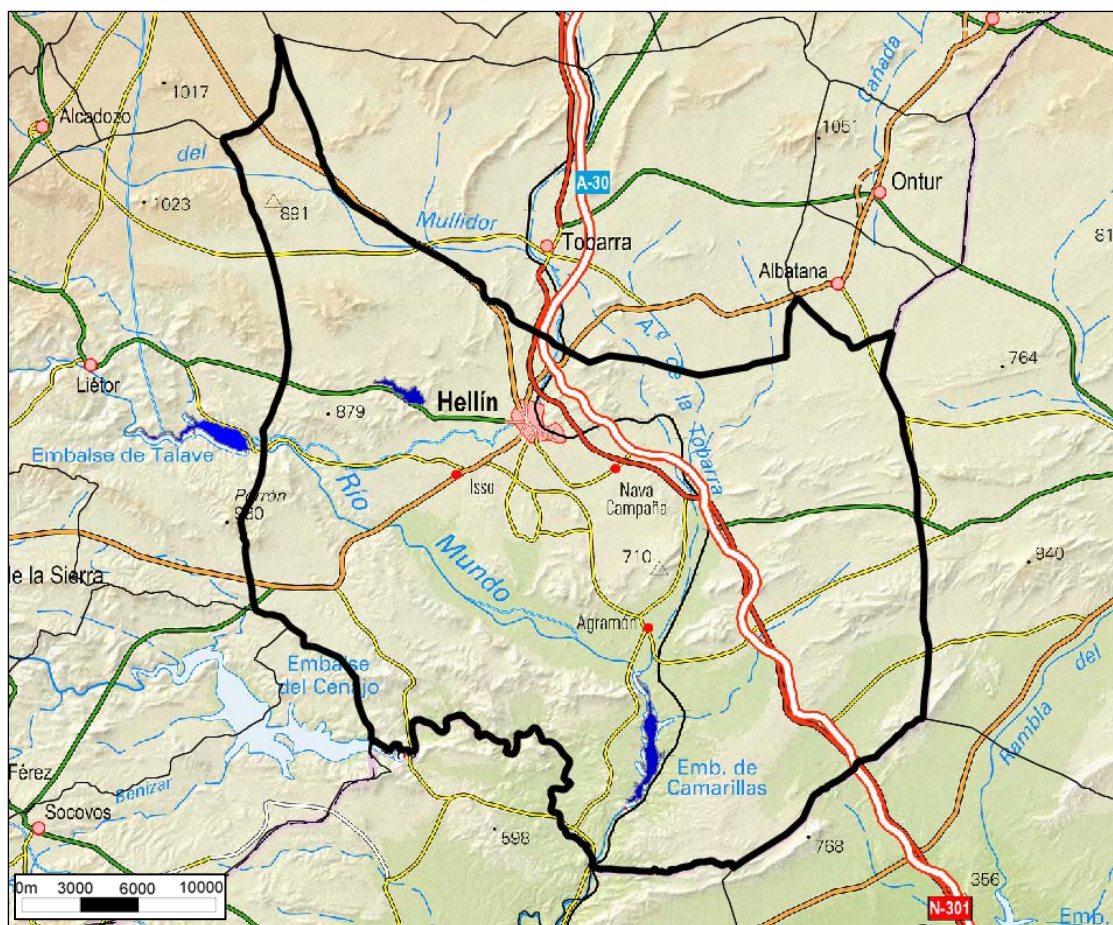


Figura 21. Ubicación de los embalses en el entorno de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

IV.6.4.- Canal de Hellín.

El canal de Hellín (figura 22) toma las aguas del río Mundo, mediante un azud construido en el municipio de Liétor (Fotografía 3), a unos 8 km aguas arriba del embalse de Talave. El canal, que tiene capacidad para transportar un caudal de $1 \text{ m}^3/\text{s}$, conduce las aguas hasta la cabecera de riego de Hellín (Fotografía 4).

Esta zona regable fue declarada de interés nacional por Decreto de 6 de julio de 1956.



Fotografía 3. Azud de Liétor.



Fotografía 4. Canal de Hellín en la cabecera de regadíos de Hellín.

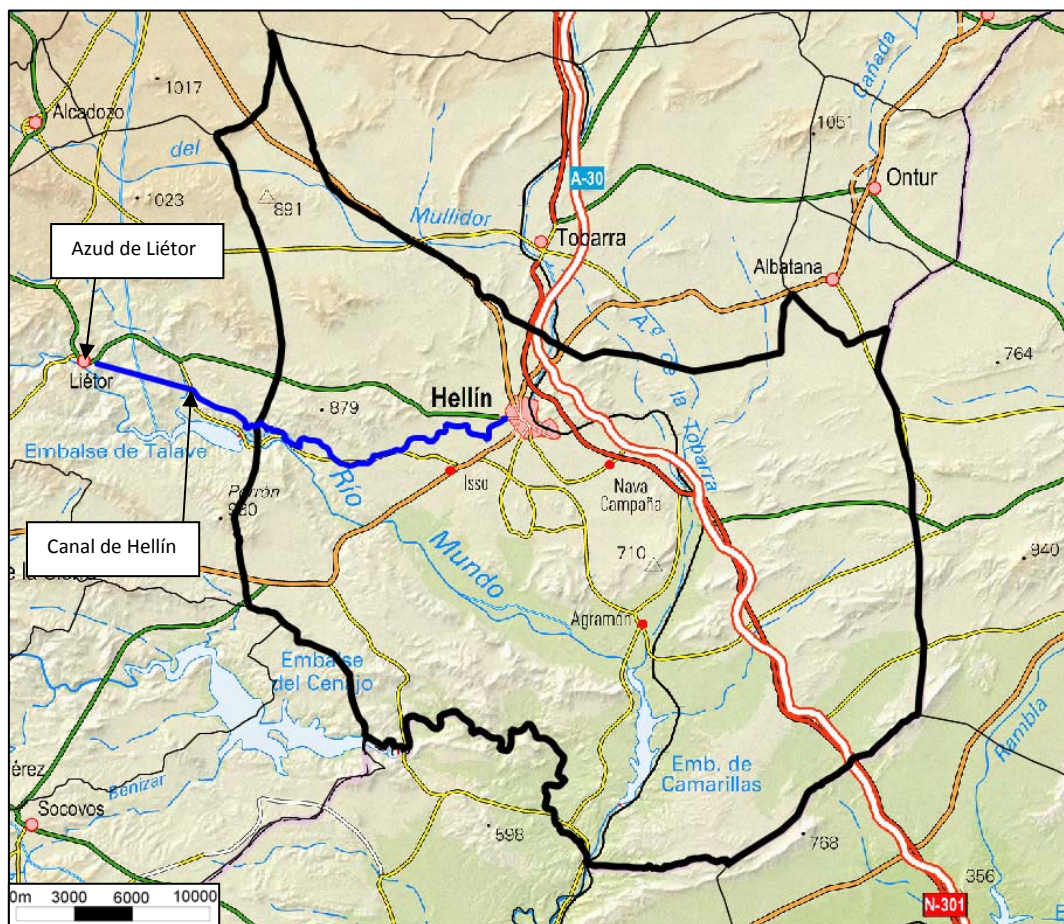


Figura 22. Trazado de canal de Hellín.

Fuente: Elaboración propia.

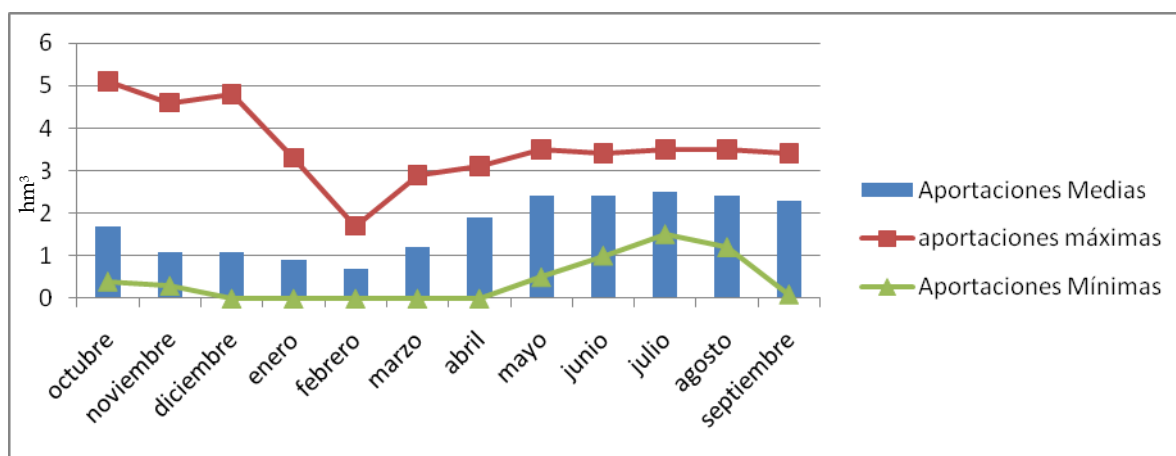


Figura 23. Aportaciones del canal de Hellín.

Fuente: Elaboración propia a partir de MAGRAMA (2012).

Tal y como se puede comprobar en la figura 23, realizada a partir de datos de caudalímetro a la salida del canal (Anejo 1), el caudal suministrado por el canal de Hellín aparte de estar limitado, evidentemente, por la capacidad del mismo, se ve condicionado por las aportaciones propias de la cuenca alta del río Mundo, así como por las demandas de la zona de riego a cubrir, ya que $1 \text{ m}^3/\text{s}$ correspondería a una aportación de $2,6 \text{ hm}^3/\text{mes}$, situación que sólo se produce de media en el período de mayo a septiembre.



Fotografía 5. Inicio y caudalímetro del Canal de Hellín.

IV.6.5.- *Elevación de Abastecimiento a Hellín.*

El abastecimiento de agua potable al municipio de Hellín se realiza a través de dos captaciones de agua superficial al río Mundo: el canal de Hellín (descrito anteriormente) y otra en el embalse de Talave, aparte de tres sondeos subterráneos al acuífero del Boquerón que sólo se utilizan en situaciones de sequía o baja calidad de los recursos superficiales. En la figura 24, se puede comprobar la distribución:

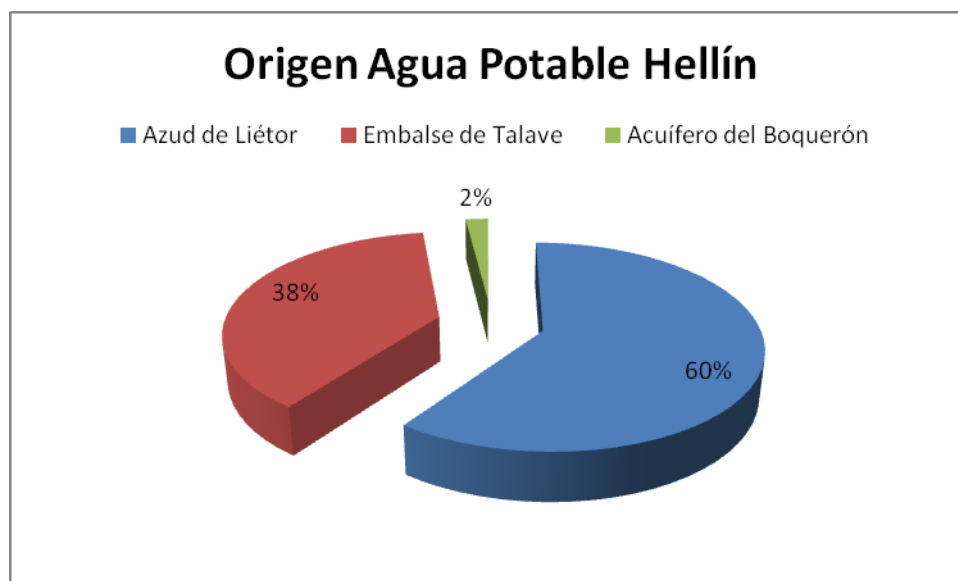


Figura 24. Origen del agua potable en Hellín.

Fuente: Elaboración propia.

La toma a la propia presa se realiza mediante una impulsión con caudal teórico de 65 l/s, que representaría mensualmente 0,17 hm³ (Anejo 1), a través de una conducción de 500 mm de diámetro, que tras pasar por la planta de potabilización de la Vicaria, es conducida por bombeo hasta el depósito de Santa Bárbara.

Si se representa la serie histórica desde 1997 hasta 2010 (figura 25), se comprueba que las aportaciones medias siempre están en el orden del caudal teórico comprometido, aunque las posibles variaciones puntuales difieran en algunos casos de este volumen.

IV.6.6.- Planta potabilizadora.

Hasta el 2009, las aguas procedentes de las dos captaciones comentadas eran tratadas en la ETAP de La Losilla, que se quedó obsoleta por su antigua tecnología y por la insuficiente capacidad de la misma para la actual demanda. Estos problemas causaban problemas de garantía en el suministro, ya que su capacidad se veía reducida cuando las características del agua bruta empeoraban, lo que obligaba a la utilización de aguas subterráneas procedentes del acuífero del Boquerón.

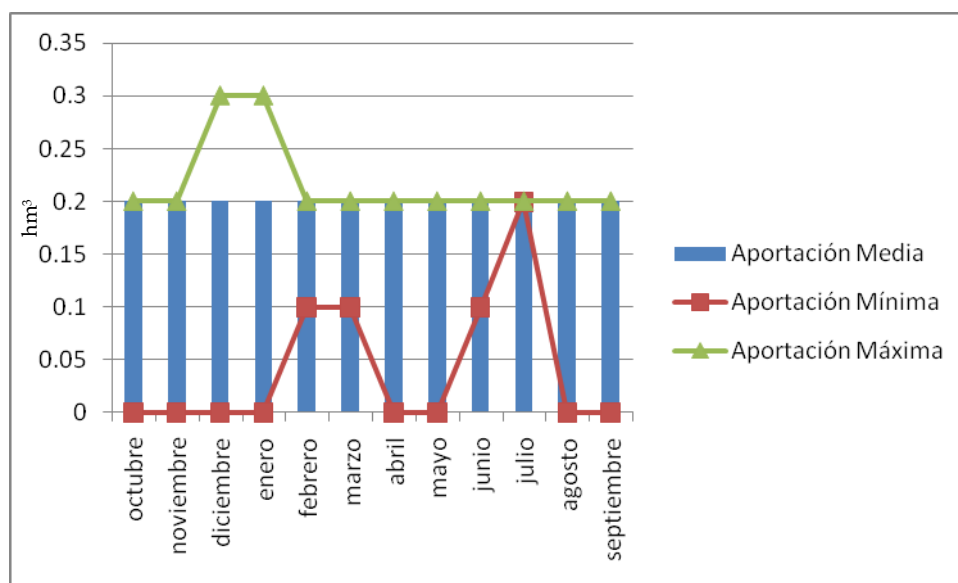


Figura 25. Aportaciones (hm³) de la elevación del abastecimiento a Hellín.

Fuente: Elaboración propia.

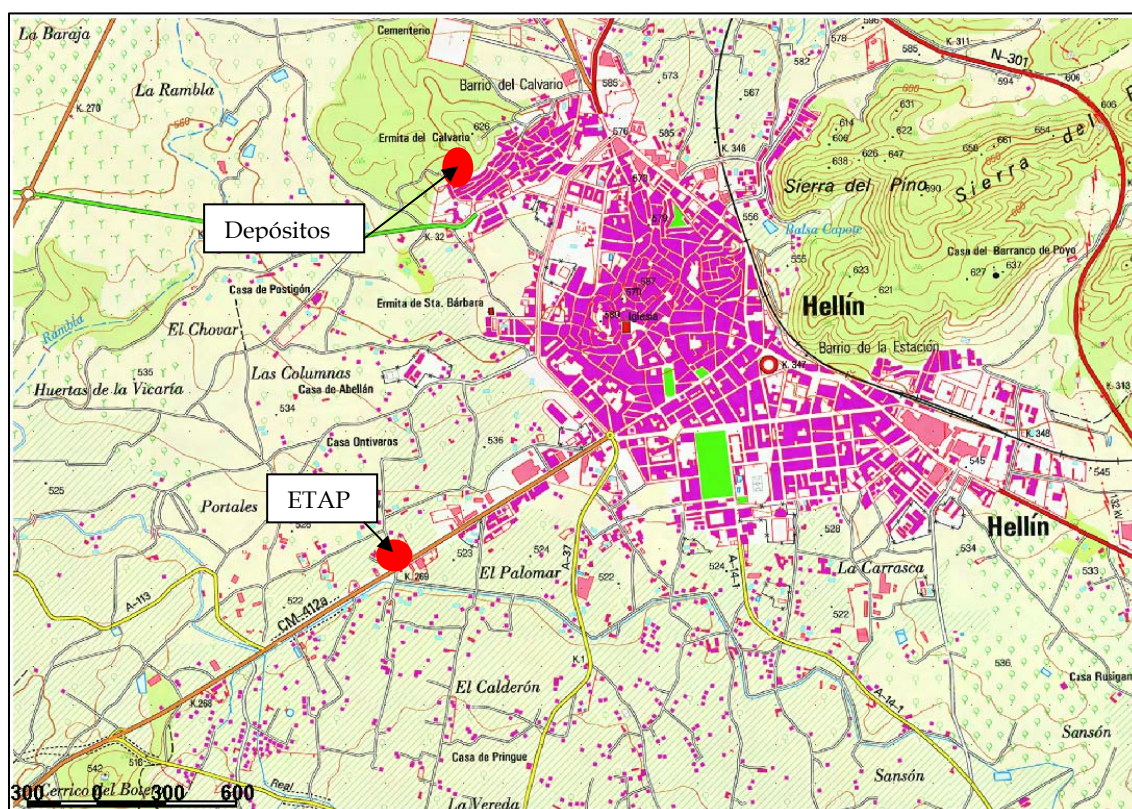


Figura 26. Localización de la ETAP de Hellín.

Fuente: Elaboración propia.

En 2009, se inaugura la nueva ETAP, junto a la existente de La Losilla con una producción de 850 m³/hora de agua potable (20.400 m³/día), que suministra agua potable de calidad a la población actual y estacional punta en verano y Semana Santa. Asimismo, también se construyeron dos depósitos de regulación en el municipio que retuviera y distribuyera el agua tratada en la nueva ETAP. Los dos nuevos depósitos de almacenamiento de agua potable se localizan en el Paraje “Cruz de la Langosta” y tienen 5.000 m³ de capacidad cada uno.

La planta, que está totalmente automatizada, cuenta con las más modernas técnicas para el tratamiento del agua:

- Ozonización.
- Adecuación del pH.
- Coagulación.
- Floculación - Decantación.
- Filtración en arena.
- Filtración en carbón activo granular (CAG)
- Cloración.

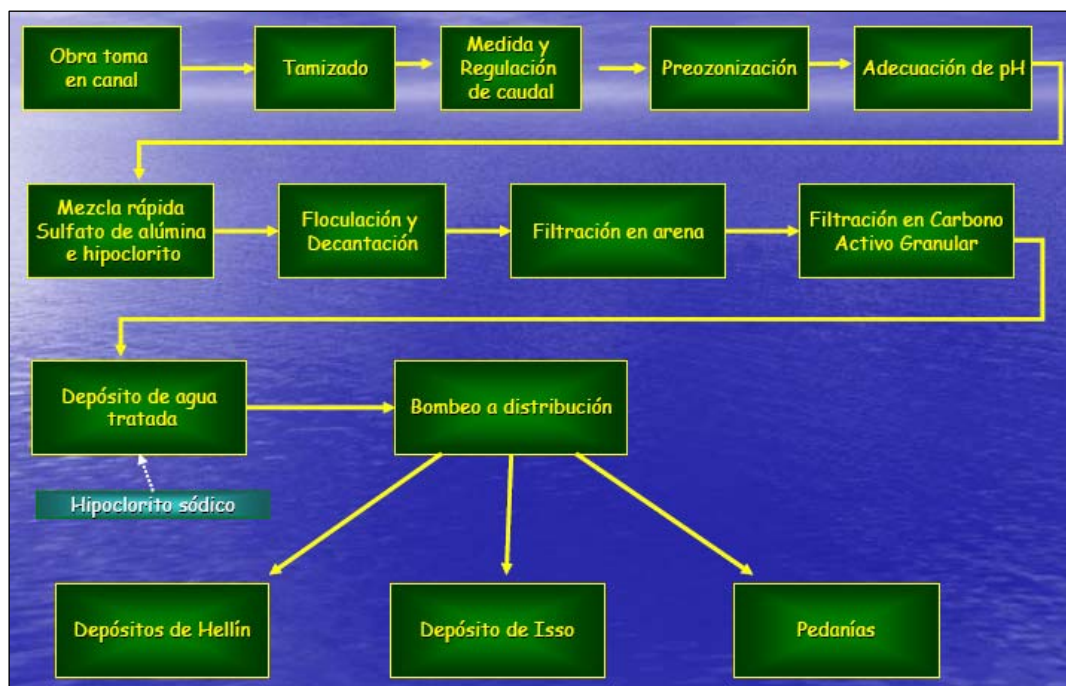


Figura 27. Esquema de funcionamiento de la ETAP de Hellín.

Fuente: CHS (2013).

IV.6.7.- Estación depuradora.

La nueva EDAR de Hellín, puesta en funcionamiento en mayo de 2012, elimina el problema del vertido al río Mundo de aguas residuales sin tratar conforme a la normativa vigente que causaba la anterior infraestructura, que había quedado obsoleta y tenía un bajo rendimiento como consecuencia del incremento de la población de la zona en los últimos años.

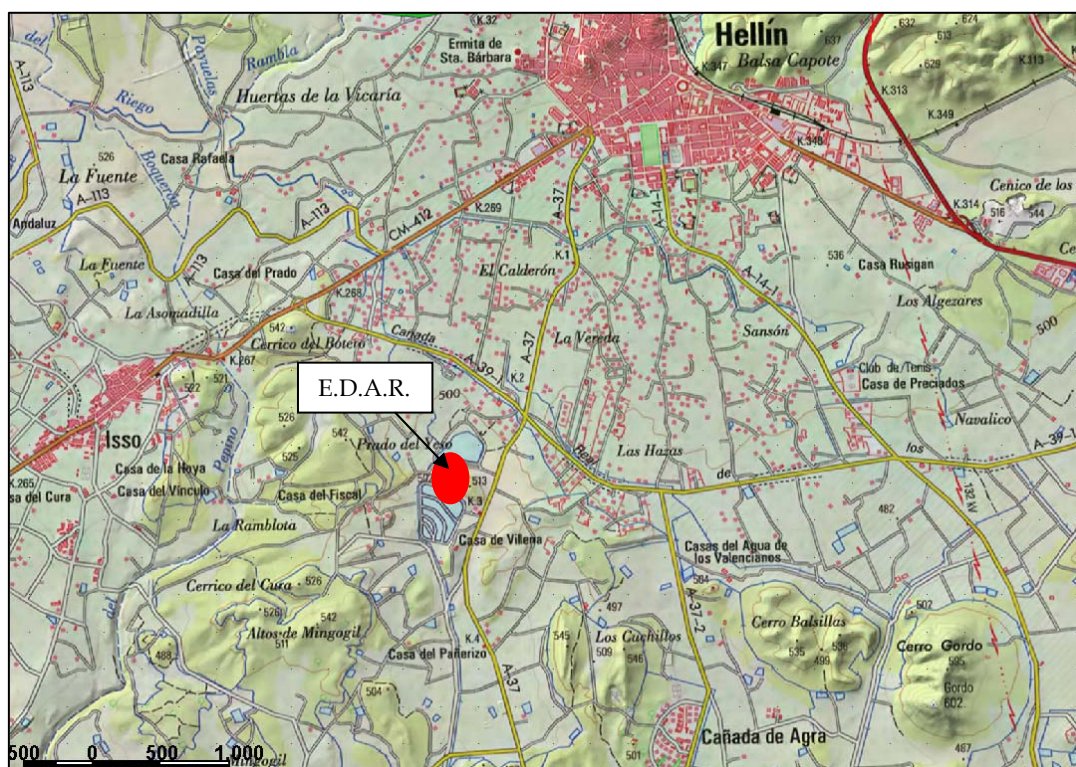


Figura 28. Localización EDAR de Hellín.

Fuente: Elaboración propia.

La infraestructura tiene una capacidad de depuración de 12.500 metros cúbicos diarios, el equivalente a las necesidades de 60.000 habitantes, casi el doble de la población actual de Hellín y sus doce pedanías, lo que asegura un correcto funcionamiento a largo plazo. La depuradora está dotada de un sistema de tratamiento terciario, en el que las aguas son filtradas y desinfectadas mediante radiación ultravioleta, un proceso que cumple con las normativas medioambientales más exigentes. La EDAR de Hellín incluye además un tanque de tormentas que retiene los caudales punta provocados por episodios de lluvias intensas para su posterior

tratamiento, lo que impide los vertidos al cauce del río Mundo por saturación del sistema. Además, la EDAR supone una fuente de recursos beneficiosa para la agricultura de la zona, ya que ha permitido la concesión de recursos para el regadío de cultivos. Por otra parte, las aguas de la planta garantizan un nivel hídrico constante en la vecina laguna de los Patos, zona de importante interés medioambiental en la que se asientan diferentes especies de aves.

IV.7.- Hidrología superficial.

El término de Hellín se enmarca dentro de la cuenca del Segura y es cruzado por el río Mundo. Este río nace en la Sierra de Alcaraz, al Suroeste de la provincia de Albacete, en el término municipal de Riópar. Presenta una aportación natural media, según el Plan Hidrológico de la Comarca del Segura (CHS, 1998), de 182 hm³/año. En su cuenca existen dos importantes embalses: Talave y Camarillas, cuya función principal es la regulación general de la cuenca, tal y como se han descrito previamente

Además de este cauce principal, el término de Hellín es drenado por varias ramblas y barrancos que desembocan en el río Mundo, todos de carácter torrencial.

El río Segura aparece en el límite Sur-Occidental del municipio y lo separa de Calasparra, perteneciente a la Región de Murcia. Es también dentro del límite donde confluye con el río Mundo, poco después de que éste abandone el embalse de Camarillas.

IV.8.- Hidrogeología.

Prácticamente, la totalidad del municipio de Hellín se asienta sobre masas de aguas subterráneas como se puede apreciar en la figura 29.

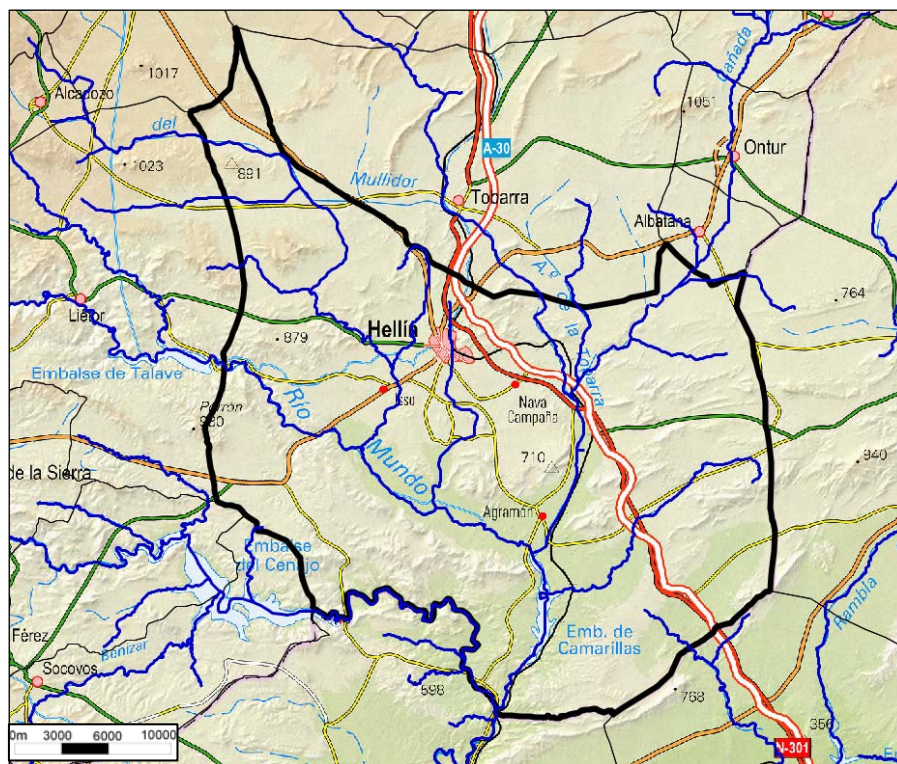


Figura 29. Hidrología superficial en el término municipal de Hellín.

Fuente: Elaboración propia.

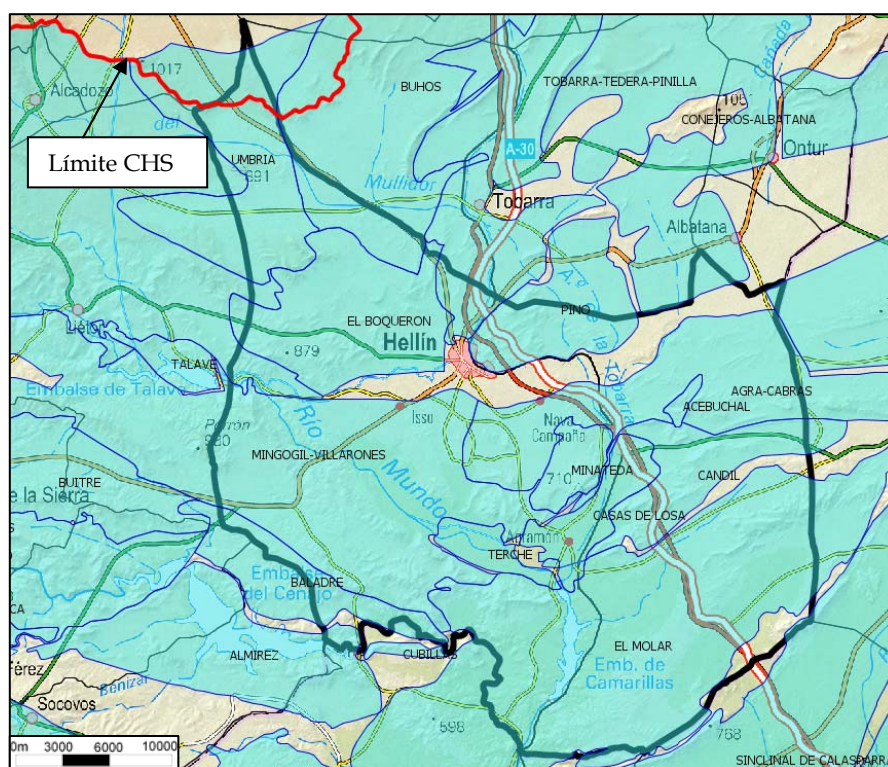


Figura 30. Unidades hidrogeológicas bajo el término municipal de Hellín.

Fuente: Elaboración propia.

Las características principales de las unidades hidrológicas sobre las que se asienta el municipio se exponen en la tabla 13 (IGME, 2013).

U.H.	Nombre	Litología	Edad Geológica	Espesor Medio (m)	Sup. Total (km²)	Sup. en Hellín (km²)
07.03	Boquerón	Dolomías	Dogger	330	292,29	135,27
07.04	Pliegue Jurásico del Mundo	Dolomías-Rocas Carbonatadas-Rocas detríticas	Cretácico-Mioceno-Lías-Dogger-Cuaternario	120-600	1.063,82	185,83
07.06	El Molar	Dolomías y calizas	Jurásico-Cretácico-Mioceno	985	322	201,05
07.16	Tobarra-Tedera-Pinilla	Dolomías y calizas	Dogger-Malm	920-1030	154,6	9,31
07.34	Cuchillos-Cabra	Calcarenitas-Dolomías-Calizas	Mioceno-Dogger-Cuaternario-Kimmeridgiense	100-450	229,45	177,99
07.18	Pino	Dolomías	Dogger	300	51,95	27,49
07.53	Alcadozo	Calizas y dolomías	Jurásico	-----	499,26	12,20

Tabla 13. Características de las unidades hidrogeológicas bajo el término municipal de Hellín.

Fuente: Elaboración propia.

La suma de aguas subterráneas en el límite municipal de Hellín resulta, por tanto, 749,15 km², lo que representa un 95,94% de la totalidad del término municipal. Esto nos indica la gran importancia que tienen los acuíferos y sus recursos asociados con el desarrollo y la actividad económica de la zona.

En este sentido, en la estructura de la tesis, marcada principalmente por el uso conjunto de los recursos, se ha evaluado las posibilidades que ofrece el municipio en relación con los recursos disponibles, tanto superficiales como subterráneos, así como

las aportaciones y demandas asociadas, la localización geográfica y la posibilidades de interrelación entre recursos superficiales y “embalses” subterráneos. Llegados a este punto, y habiendo comprobado que la gran mayoría de los recursos hídricos superficiales de los que se abastece Hellín proceden del canal de Hellín (1 m³/s) se ha investigado cuál sería el acuífero que podría actuar conjuntamente en el sistema a fin de ejercer una mayor regulación sobre el mismo. En este sentido, Senent et al. (1975) ya indicaban la posibilidad de realizar una recarga artificial del acuífero El Boquerón a través de los excedentes que transporta el canal de Hellín, apuntando hacia la multiplicación de las disponibilidades de agua en la zona con la utilización de este acuífero como un “embalse” integrado en el sistema de gestión de los recursos hídricos de la zona.

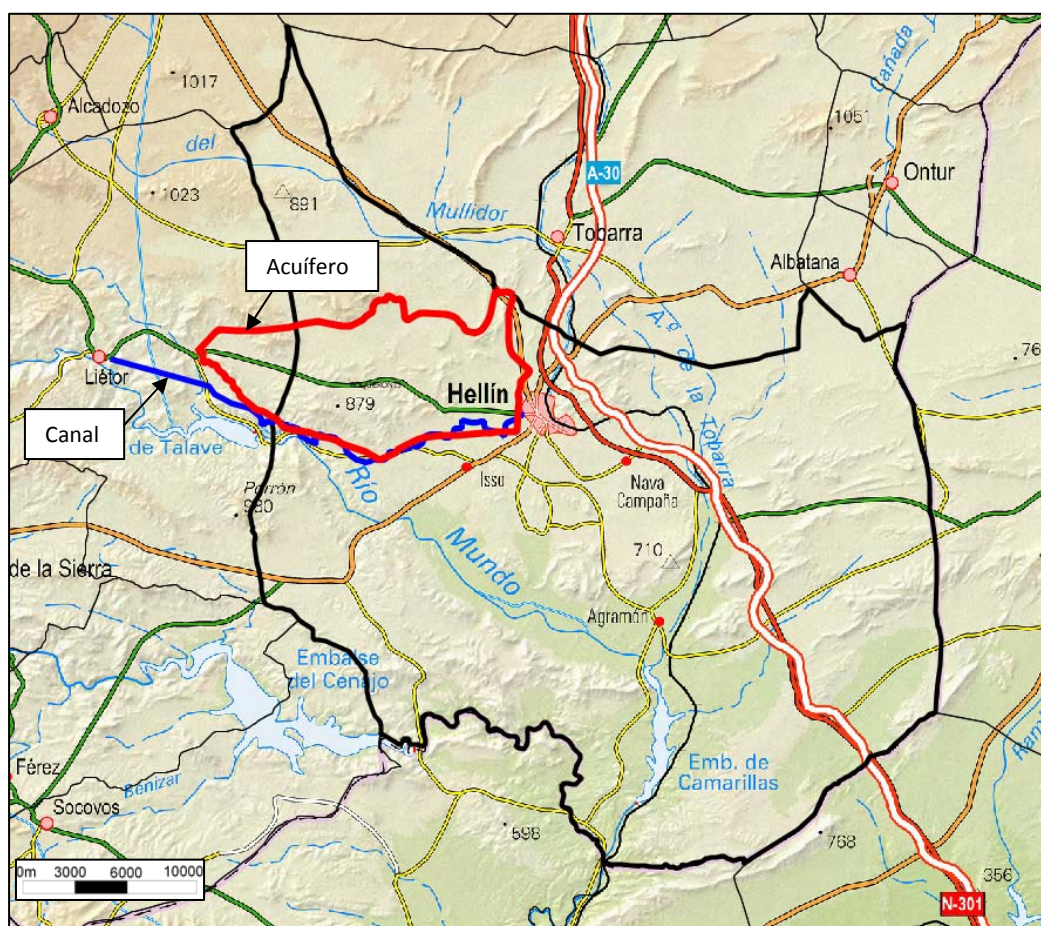


Figura 31. Relación entre el canal de Hellín y el acuífero del Boquerón.

Fuente: Elaboración propia.

Capítulo V

Análisis del acuífero del Boquerón.

En el presente capítulo se realizará un análisis de las características que definen este acuífero para determinar las posibilidades que ofrece en relación al almacenamiento de excedentes procedentes del canal de Hellín (así como otras posibles aportaciones) y, por consiguiente, a la regulación de recursos en el sistema en el que se integra

V.1.- Situación administrativa

El acuífero del Boquerón se encuentra al sudeste de España, al sur de la provincia de Albacete y más concretamente en la comarca de los Campos de Hellín.

Sus límites se extienden desde la coordenadas X: 596371-612908 a la coordenada Y: 4269867-4261357 Huso 30, proyección UTM, elipsoide ETR 1989, albergando una superficie total de 83,9 km².

Administrativamente y, según la delimitación recogida en el IGME (2010,b), el mayor porcentaje de la superficie del acuífero se localiza dentro del municipio de Hellín (83,22%), mientras que el resto se divide entre Tobarra (0,04%) y Liétor (16,74%).

El acuífero del Boquerón, de código identificativo 002, está incluido dentro de la Masa de Agua Subterránea (MASb) Boquerón, de código de identificación 071.004, que pertenece a su vez a la Unidad Hidrogeológica de Albacete (Figura 34).

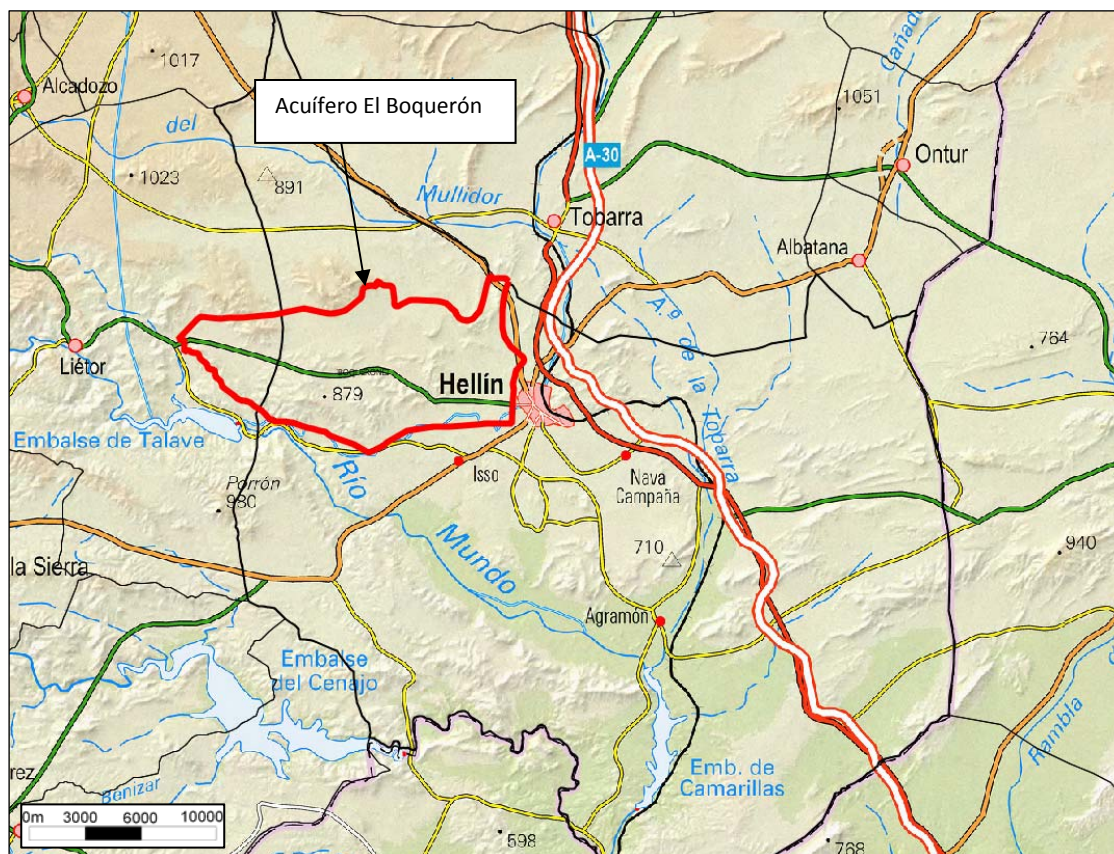


Figura 32. Localización del acuífero del Boquerón.

Fuente: Elaboración propia.

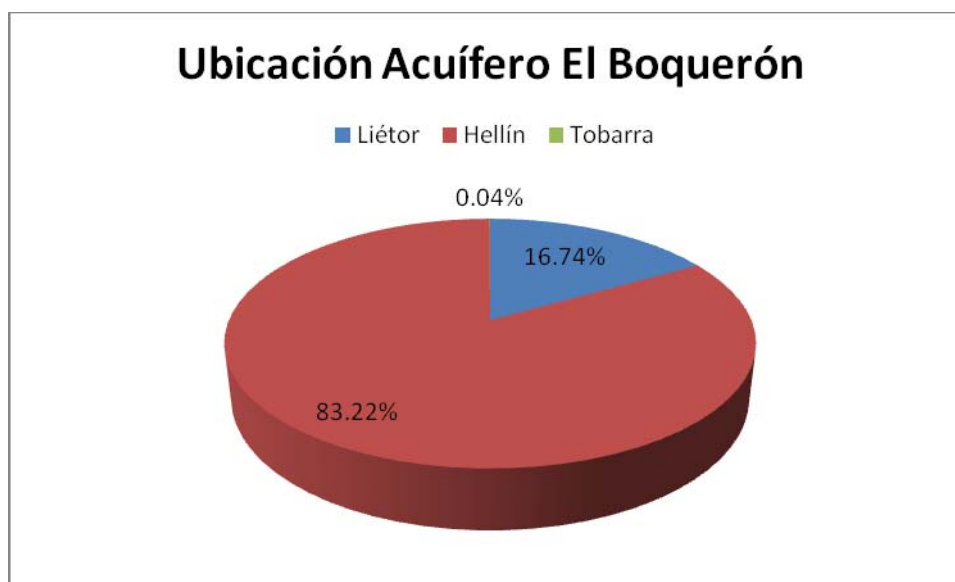


Figura 33. Distribución superficial del acuífero del Boquerón.

Fuente: Elaboración propia.

La Unidad Hidrogeológica de Albacete se compone a su vez de cinco acuíferos según los últimos estudios del IGME (2010b). Tres de los cuales, Boquerón, Búhos y Umbría, pertenecen a la demarcación hidrográfica del Segura. El acuífero, denominado Sector Judarra, es compartido por la demarcación del Segura y del Júcar y el quinto, denominado Mancha Oriental, se localiza en la demarcación hidrográfica del Júcar. El acuífero Sector Judarra no aparece reflejado en las delimitaciones que posee la Cuenca Hidrográfica del Segura, ya que éste ha sido delimitado a partir de una fragmentación de los acuíferos Búhos y Umbría.

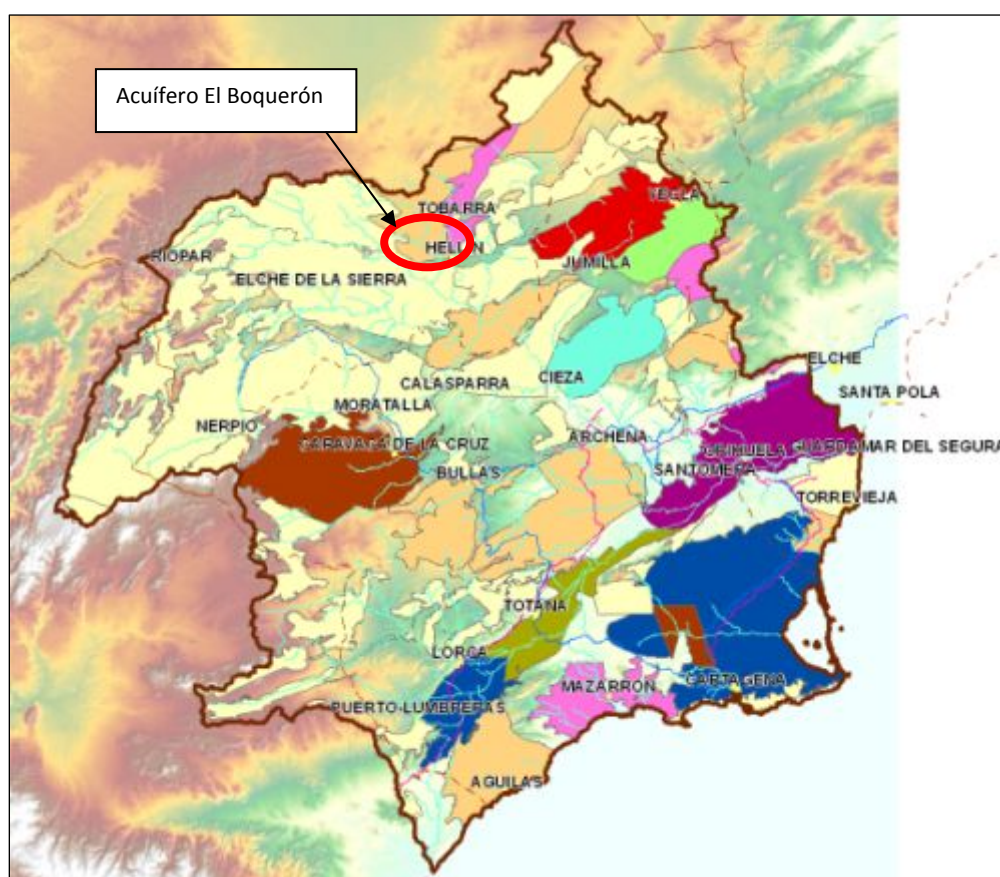


Figura 34. Unidades hidrogeológicas de la cuenca del Segura.

Fuente: CHS (2013).

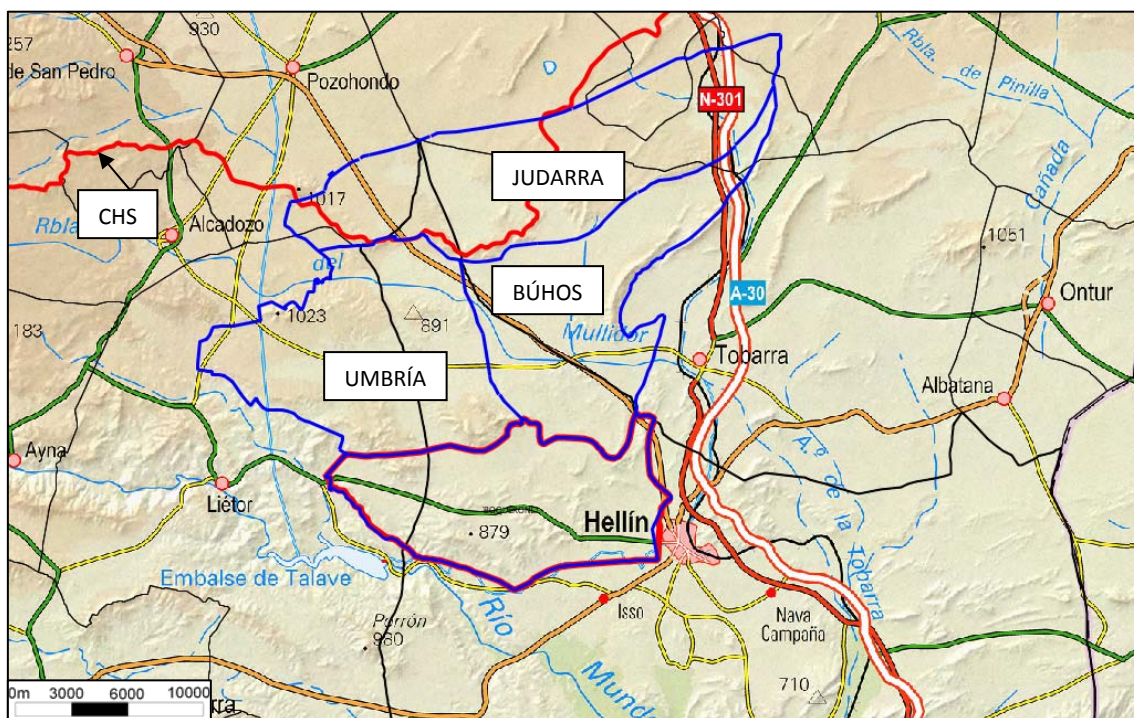


Figura 35. Delimitación de acuíferos en la MASb Boquerón.

Fuente: IGME (2010b).

V.2.- Geomorfología.

Orográficamente la zona está caracterizada por una serie de sierras de dirección NW-SE situadas en la parte occidental de la misma tales como Umbría del Rincón, Peña Losa y Las Quebradas, y por otras de dirección NE-SW en la parte oriental como Romeral, Montesinos y Hellín. Entre dichas sierras de distinta dirección, se encuentra la de Peñarrubia que prácticamente es de E-W. La cota más alta coincide con el vértice geodésico de Losa (1038 m), en la sierra de Umbría del Rincón, y la más baja se sitúa en la Rambla del Pepino (500 m), siendo la altitud media de la zona 700 m, tal y como se puede ver en la figura 36.

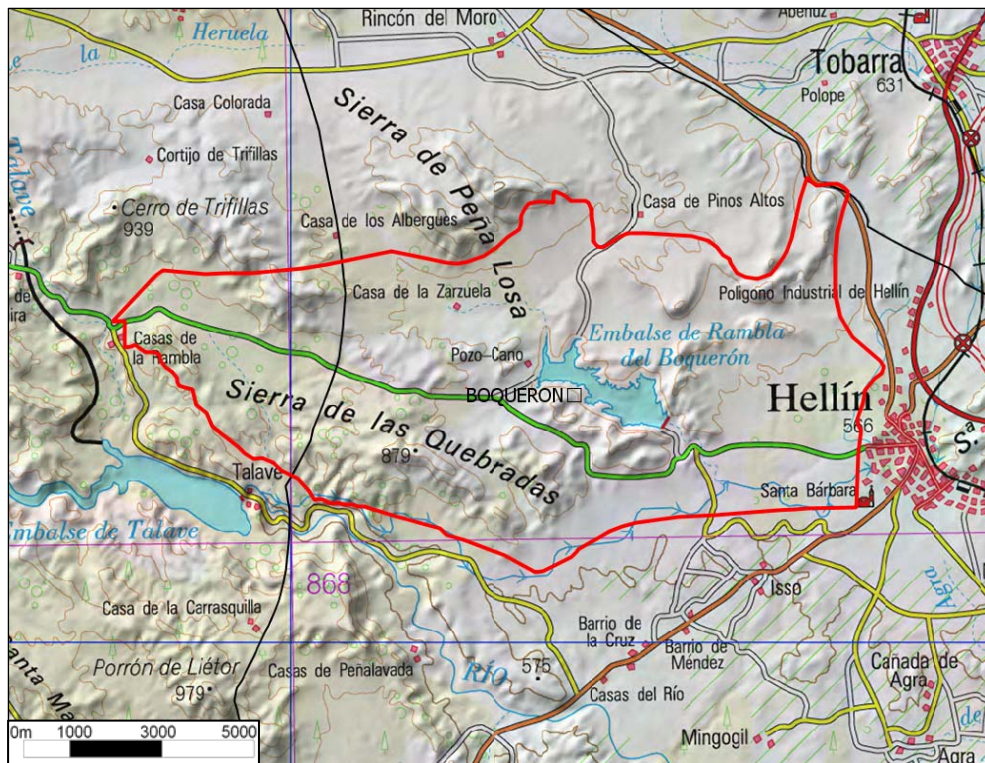


Figura 36. Geomorfología del entorno del acuífero del Boquerón.

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, las pendientes de la zona de estudio varían desde áreas con una media del 12% en las sierras arriba comentadas, así como planicies por debajo del 3%, en los valles a los pies de las mismas, como recoge la figura 37.

En cuanto a la red hidrográfica se refiere, se puede decir que no existe apenas escorrentía superficial ya que, salvo algunas ramblas como la del Rincón del Moro, Boquerón, Quebradas, Pepino, Polope, etc., que difuminan su cauce antes de afluir a río alguno, no existen cursos de agua propiamente dichos en el sistema.

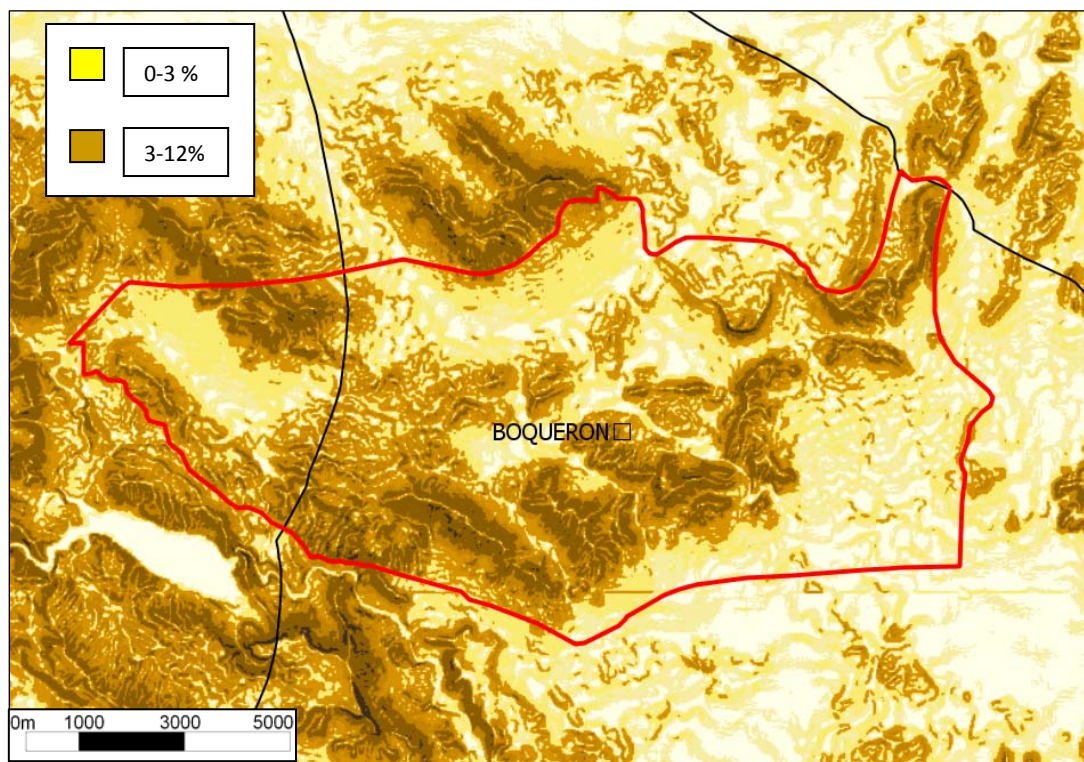


Figura 37. Mapa de pendientes.

Fuente: Elaboración propia.

V.3.- Antecedentes.

Según IGME (2010b) la masa de agua subterránea del Boquerón, a la cual pertenece el acuífero del mismo nombre, dispone de un conocimiento hidrogeológico precario ya que, pese a que las primeras investigaciones se llevaron a cabo en los 70 y principios de los 80, tras la aprobación de la Ley de aguas de 1985 y la demanialización de las aguas subterráneas, las investigaciones que se venían realizando se vieron frenadas hasta prácticamente esta última década.

En 1979 el IGME, dentro de los trabajos que venía realizando desde 1969 de caracterización regional de las unidades hidrogeológicas, engloba la Masa de agua subterránea referida, dentro de la denominada “Unidad de Albacete” o “Unidad Norte: Sistema hidrogeológico de Albacete”, de 8.500 km², tal y como se puede apreciar en la figura 38.

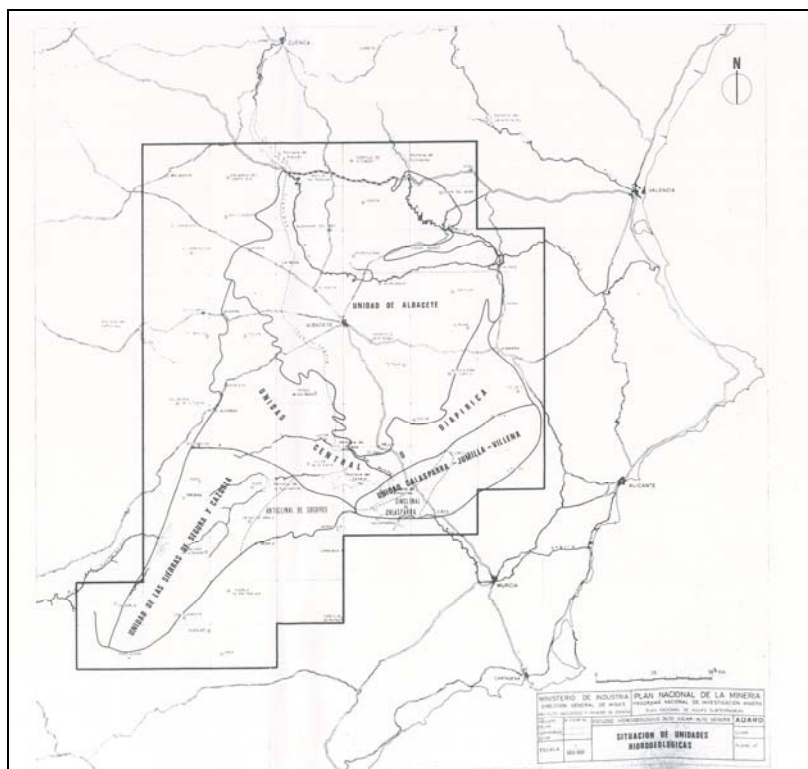


Figura 38. Localización de unidades hidrogeológicas.

Fuente: IGME (2010b).

Se definieron tres acuíferos principales constituidos por dolomías del Dogger (formación Chorro), calizas y dolomías del Cretácico superior (formación Benejama) y materiales calizos y detríticos del Terciario-Cuaternario.

A grandes rasgos, se distinguieron hidrogeológicamente dos zonas que, aunque conectadas hidráulicamente, presentan características diferentes: zona de la Llanura de Albacete y zona de tectónica en teclas de piano.

La circulación subterránea mostraba por una parte un gradiente hacia el norte que se comunica hidráulicamente con la Llanura de Albacete y, por otra, en el sector meridional, con gradiente general hacia el sur produciéndose la descarga a través del límite meridional (manantiales de Hellín-Tobarra). Asimismo, se determinan los límites de esta unidad hidrogeológica, tal y como aparecen en la figura 39.

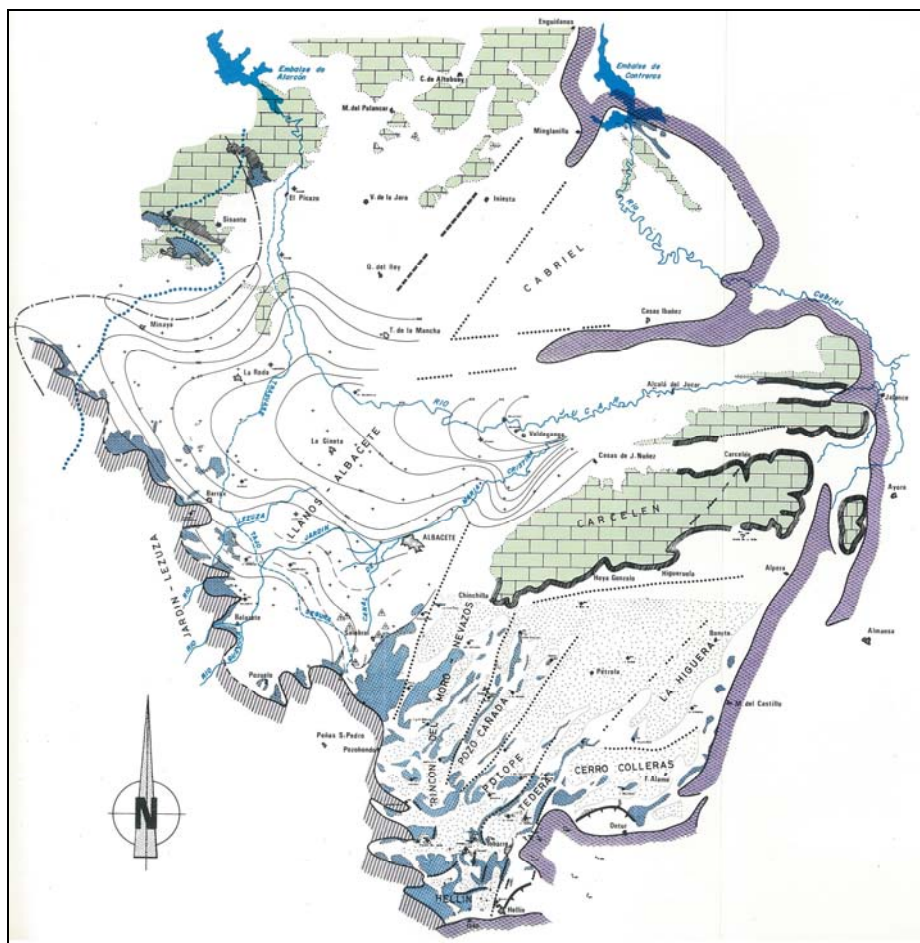


Figura 39. Sectorización de la unidad hidrogeológica de Albacete.

Fuente: IGME (2010b).

Se pone de manifiesto la existencia en una zona de barreras hidrogeológicas o de transmisividad que delimitan una serie de compartimentos (tectónica en teclas de piano), entre los que se encuentra la zona del Boquerón, en los que la piezometría indicaba un sentido de circulación hacia el límite sur en el que está drenado por el manantial de Isso. Se realiza una primera estimación de los parámetros dinámicos de la unidad estimando valores de transmisividad medios del conjunto del acuífero de 100-200 m²/h y de permeabilidad entre 1 y 2 m/h.

En 1980 el IGME realiza un estudio enfocado a una mejor planificación de los recursos hídricos subterráneos y divide la unidad hidrogeológica de Albacete en 11 zonas hidrogeológicas (figura 40), una de las cuales, la denominada Zona 4 (Petrola-Hellín) está incluida casi en su totalidad en la cuenca del Segura, y corresponde aproximadamente a las actualmente denominadas masas de agua subterránea 070.004

Boquerón, 070.005 Tobarra-Tedera-Pinilla, 070.008 Ontur, 070.007 Conejeros-Albatana (parcial), 070.001 Corral Rubio y 070.002 Sinclinal de la Higuera.

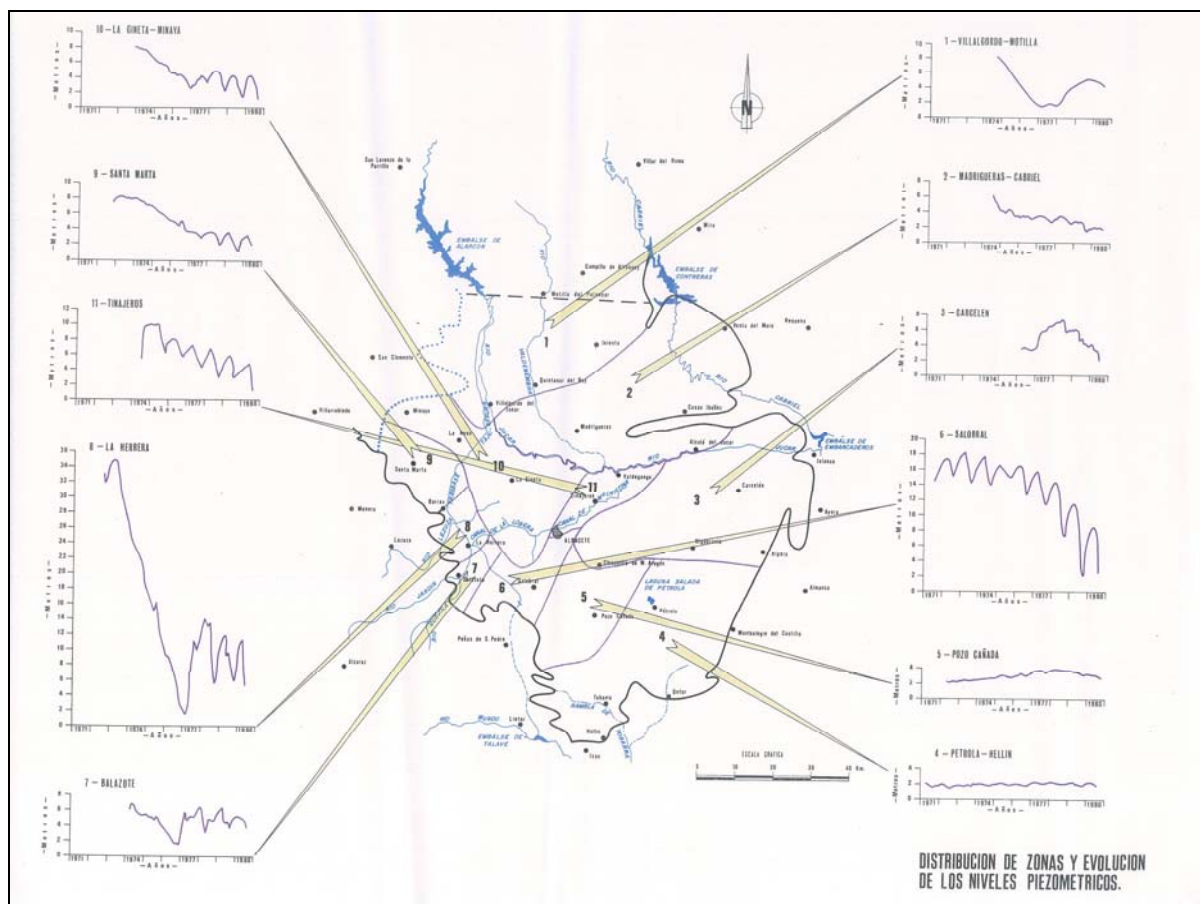


Figura 40. Distribución de zonas y evolución de los niveles piezométricos en la unidad hidrogeológica de Albacete.

Fuente: IGME (2010b).

En este informe se establece que la alimentación de esta zona se produce exclusivamente por infiltración de lluvia y la descarga por explotación, evaporación en las lagunas y, en mucha menor proporción, por los manantiales del límite sur. Además se considera una coincidencia en las divisorias de cuencas con la de aguas subterráneas.

No es hasta 1988, cuando se adopta oficialmente la denominación de U.H. 08.29 Mancha Oriental y se modifica el límite sur que se hace coincidir con la divisoria entre las cuencas hidrográficas del Júcar y Segura.

En ese mismo año, se realiza la “Documentación básica para la realización del Plan Hidrológico de la cuenca del Segura”, en la que se considera el sistema acuífero Boquerón desagregado del Sistema hidrogeológico de Albacete, con los límites actuales reconocidos por la Confederación Hidrográfica del Segura.

En el Plan Hidrológico de la cuenca del Segura (CHS, 1998) se codifica y establecen los límites de la U.H. 07.03 Boquerón, que no coincide con los límites propuestos por el IGME (IGME, 2010b), subdividiéndola en tres acuíferos interconectados: Búhos, Umbría y Boquerón, aunque no se aporta ningún estudio que justifique dicha diferenciación.

V.4.- Hidrometeorología.

El clima de la zona donde se ubica este acuífero se inscribe dentro de la zona climática semiárida del Sureste peninsular. La estación termopluviométrica más cercana al acuífero del Boquerón es la de Hellín “I.L.” de código identificativo 7096A, que se ubica en el límite oriental del Acuífero de El Boquerón, junto al casco urbano de Hellín, como se aprecia en la figura 41.

Las características principales de esta estación se recogen en la tabla 14.

Estación	Tipo	Latitud	Longitud	Altitud	Años Precipitación	Años Temperatura
Hellín I.L. (7096A)	Termopluviométrica	38°30′	01°40′	560 m	1961-1996	1961-1986

Tabla 14. Características de la estación termopluviométrica Hellín I.L.

Fuente: Elaboración propia.

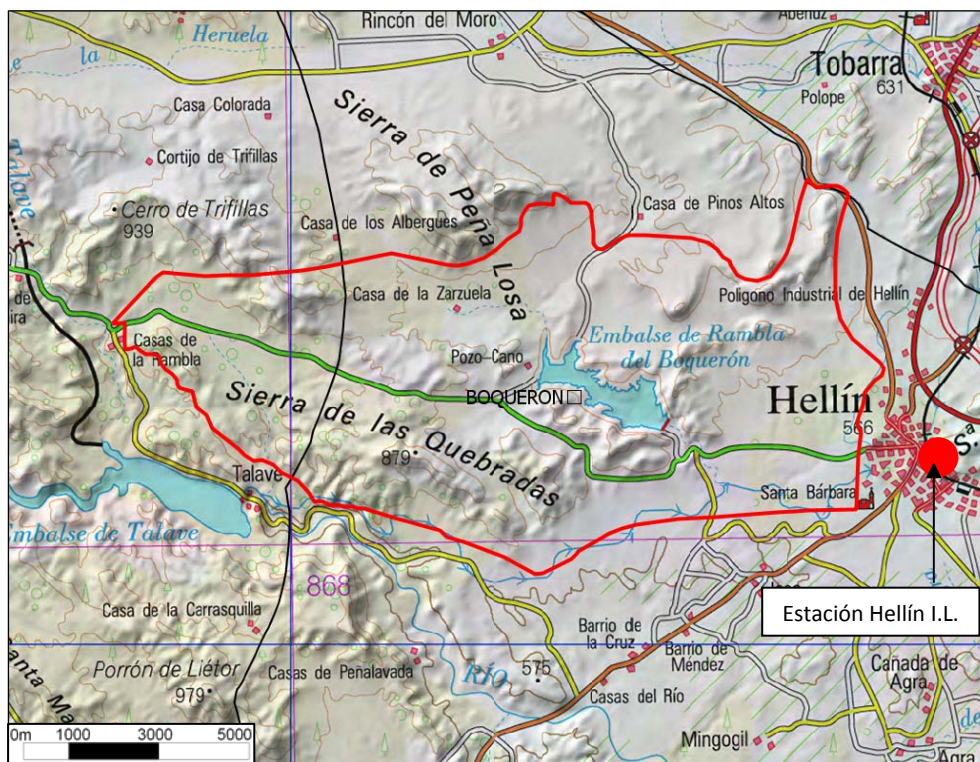


Figura 41. Localización estación termopluviométrica Hellín I.L.

Fuente: Elaboración propia.

V.4.1. Temperatura.

Observando las temperaturas medias mensuales (Tabla 15), se aprecia que presentan una oscilación térmica anual moderada, es decir existe un contraste verano-invierno que se ve amortiguado por la proximidad del territorio al Mediterráneo. Entre el valor de la temperatura media de máximas del mes más cálido (24,20°) y la media de mínimas del mes más frío (7,70°), la diferencia es de 16.5°, lo que da una idea de la amplitud térmica existente.

Por otro lado, la duración del periodo frío o de heladas (aquel en que la temperatura media de las mínimas es inferior a 7°C) es de 8 meses, mientras que la del período cálido (aquel en que las temperaturas medias de máximas alcanzan valores superiores a 30°C) es de 5 meses.

Mes	Temperatura Media Mensual	Temperatura media mensual máxima	Temperatura media mensual mínima
Enero	7,70	18,40	-2,60
Febrero	8,60	21,40	-2,60
Marzo	10,50	24,20	-0,80
Abril	12,90	26,50	1,60
Mayo	16,60	30,70	4,80
Junio	20,90	34,50	8,60
Julio	24,30	38,30	12,50
Agosto	24,20	37,40	13,00
Septiembre	21,10	33,30	9,60
Octubre	16,20	28,50	4,50
Noviembre	11,10	22,70	0,40
Diciembre	8,20	18,90	-2,60

Tabla 15. Temperaturas mensuales registradas en la estación Hellín I.L.

Fuente: Elaboración propia.

V.4.2. Pluviometría.

Los valores medios mensuales de precipitación en la estación termopluviométrica Hellín I.L. con los que recoge la Tabla 16.

Mes	Precipitación media mensual mm
Enero	20,30
Febrero	25,80
Marzo	29,20
Abril	37,40
Mayo	36,10
Junio	35,80
Julio	10,70
Agosto	14,10
Septiembre	28,80
Octubre	48,10
Noviembre	34,70
Diciembre	21,70

Tabla 16. Precipitaciones medias mensuales registradas en la estación Hellín I.L.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede comprobar, las precipitaciones a lo largo del año son muy escasas, no llegando a 350 mm anualmente. Las precipitaciones mensuales a lo largo del año rondan los 30 mm de media, excepto en los meses de sequía estival, mostrando un comportamiento irregular con años más lluvioso y otros mucho más secos.

Además, si se compara la pluviometría con la temperatura mensuales, se puede comprobar la correlación que existe entre el descenso de una con respecto al aumento de las otras, tal y como se refleja en la figura 42.

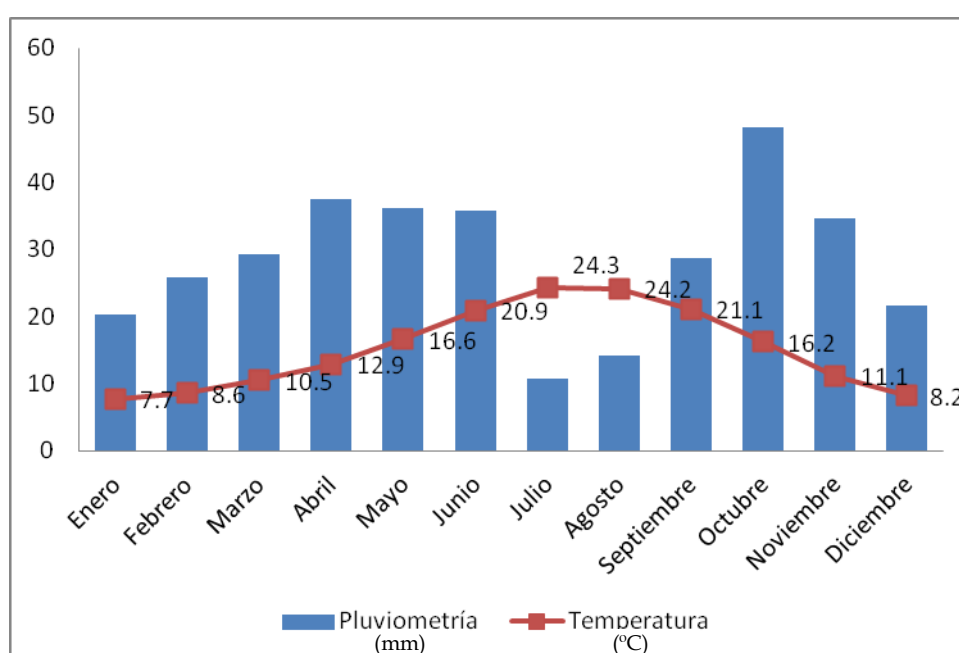


Figura 42. Comparativa temperatura-pluviometría en la estación Hellín I.L.

Fuente: Elaboración propia.

V.4.3. Evapotranspiración Potencial (ETP).

La ETP corresponde al agua que vuelve a la atmósfera en estado de vapor a partir de un suelo cuya superficie está totalmente cubierta de vegetación, en el supuesto de no existir limitación en el suministro de agua para lograr un crecimiento vegetal óptimo. El método de cálculo de Thornthwaite tiene en cuenta las temperaturas media mensuales y la latitud del lugar, resultando la ETP mensual expresada en mm/mes.

En la Tabla 17 se presentan los valores de la Evotranspiración Potencial, calculado a mediante el método de Thornwaite:

Mes	ETP anual (mm)
Enero	16,30
Febrero	19,20
Marzo	32,00
Abril	47,60
Mayo	79,00
Junio	113,60
Julio	147,10
Agosto	137,00
Septiembre	97,90
Octubre	59,70
Noviembre	28,70
Diciembre	17,20

Tabla 17. Evapotranspiración potencial mensual estación Hellín I.L.

Fuente: Elaboración propia.

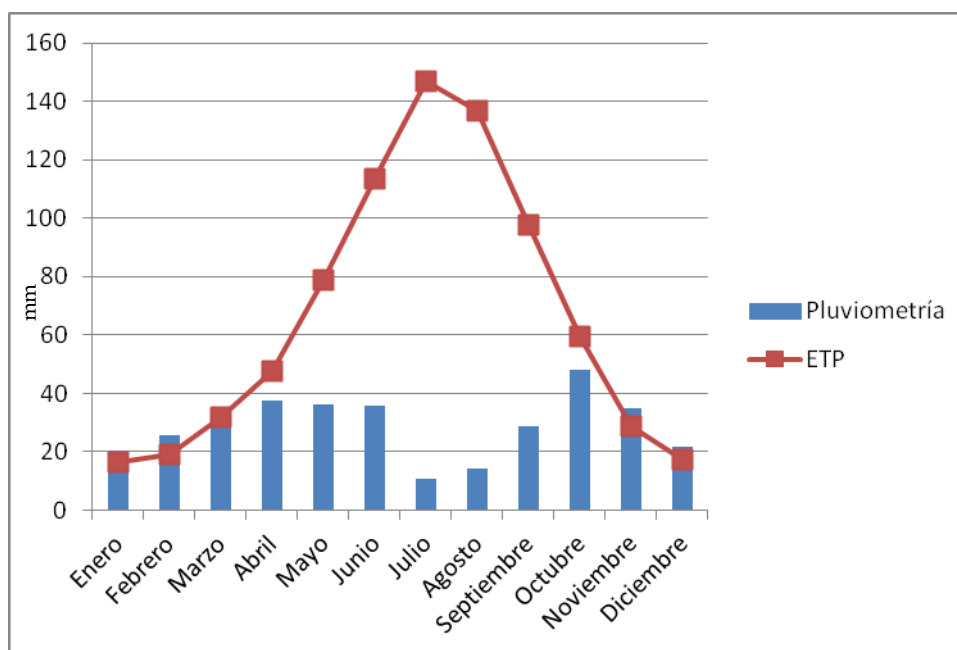


Figura 43. Comparativa ETP-Pluviometría de la estación Hellín I.L.

Fuente: Elaboración propia.

Con el fin de analizar el régimen de humedad en el área de estudio, se ha confeccionado un gráfico en el que se comparan las medias de las precipitaciones mensuales con la evapotranspiración potencial media.

Del análisis de este gráfico se concluye que el déficit hídrico es muy elevado, pues comienza a principios del mes de marzo y concluye en noviembre, teniendo tan sólo entre tres y cuatro meses de excedente de agua.

V.5.- Marco Geológico.

Desde un punto de vista geológico el área estudiada se sitúa en la zona prebética y ocupa la mitad sur de la hoja 843 1:5000 del M.T.N. (Hellín). Siguiendo la terminología utilizada en la síntesis de Brinkmann y Gallwitz (1950) en la llamada "Virgación de Hellín" donde, según estos autores el "Arco montañoso de Alcaraz", caracterizado por una superposición de escamas alóctonas, pasa a una zona de pliegues donde los cabalgamientos son más raros.

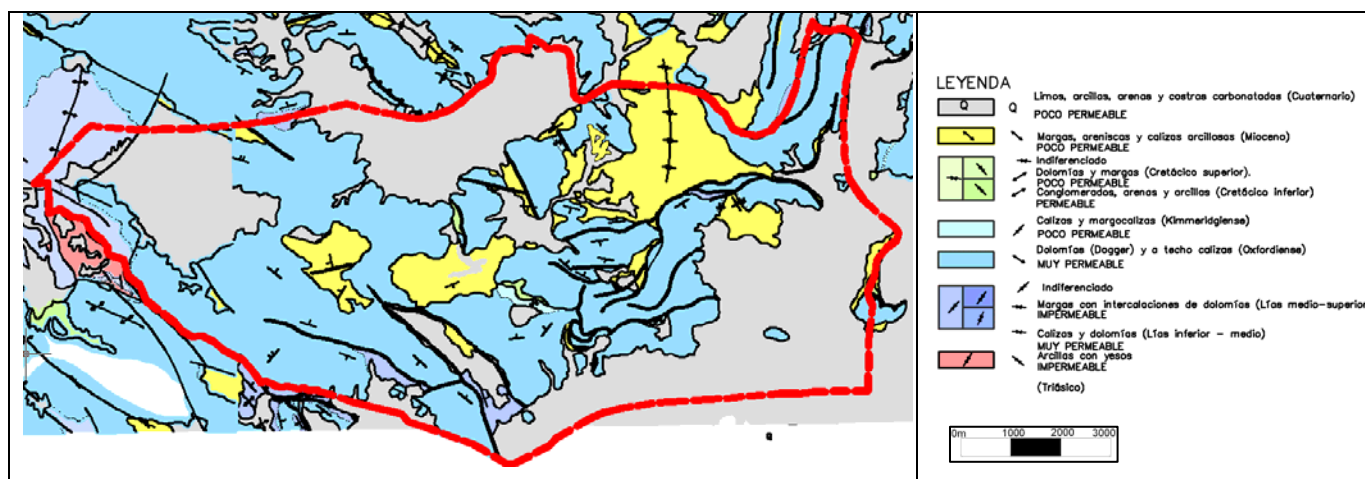


Figura 44. Mapa geológico de la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

V.5.1. *Estratigrafía*

Afloran en la zona materiales Triásicos, Jurásicos, Cretácicos y Terciarios, aparte de los rellenos que adquieren notable desarrollo.

a. Trías

Aflora en la mitad oriental de la zona. La casi totalidad de los afloramientos localizados son de Keuper, caracterizado por una facies de arcillas rojas y verdes con algunas pasadas más detríticas y con importantes masas de yeso. Solamente en los alrededores de Santiago de Mora se ha localizado un pequeño afloramiento de calizas microcristalinas dolomíticas de color gris a pardo negruzco que se atribuye al Muschelkalk.

La potencia del Trías no se puede calcular, ya que se presenta siempre afectado por movimientos diapíricos y como término más bajo de la serie.

b. Jurásico

La serie Jurásica se halla aquí muy representada. La mayor parte de los afloramientos de la zona estudiada pertenecen a este período.

i. Lías

Se distinguen dos términos: el de la parte inferior del Lías (formación Carretas) y el de la parte media y superior del mismo (formaciones Madroño y Colleras) como un sólo conjunto cartográfico.

Formación CARRETAS (Lías inferior).

Sólo se ha localizado algunos afloramientos situados en las proximidades de la antigua carretera nacional (N-301), al Este de Hellín y en el límite Sur de la hoja,

relacionados con el Trías de este sector. Se trata de dolomías microcristalinas de color gris, bien estratificadas, aunque muy afectadas por la halocinesis del Trías subyacente.

Al igual que ocurre con el Trías, la potencia de estas dolomías es muy difícil de precisar; en la zona no aflora más de 15 m. aunque al norte de la hoja (Madroño) la potencia pasa de los 50 m.

Formación MADROÑO-COLLERAS (Lías Medio Superior)

Los afloramientos atribuidos a este conjunto se distribuyen irregularmente por toda la zona. Los más representativos se encuentran en las laderas sur de las Sierras de las Quebradas y del Tomillo. Por lo demás, afloran en los núcleos de algunos anticlinales.

No se ha localizado un buen corte donde se pueda describir con detalle la serie de la parte alta del Lías; sin embargo, a grandes rasgos, se puede indicar que existen unos 50 m. de alternancia de arcillas, generalmente verdes, calizas micríticas de color gris o dolomías más o menos calcáreas. En conjunto predominan las arcillas en este tramo. Se trata de la formación MADROÑO.

Sobre ella existe otro tramo (formación COLLERAS) cuya potencia se estima en 50 m. y que está caracterizado por calizas pardas o grises, con las cuales alternan bancos de dolomías arcillosas y otros, muy escasos, de arcillas verdes o grises.

ii. Formación CHORRO (Dogger)

Son los materiales de esta formación los más potentes de la serie Jurásica. Afloran en la mayor parte de los sectores occidental y central de la zona.

Las características litológicas de esta formación, cuya potencia se estiman en unos 200 m son: dolomías microcristalinas situadas generalmente en la base y que gradualmente pasan hacia arriba a dolomías "de romboedros".

Se han localizado también dentro del Dogger algunos afloramientos de caliza, generalmente micritas blancas con algunos romboedros de color pardo aislados. Dichos afloramientos se sitúan sobre todo sobre todo en las Sierras de la Quebrada y Figuerica y, en general, corresponden a la parte alta de esta formación.

Se puede hablar por tanto de una dolomitización que no es total y que en algunos lugares no ha afectado a las calizas originarias.

En el techo de la formación CHORRO existe una costra ferruginosa que separa al Dogger de las calizas nodulosas, de la base de la formación LORENTE.

iii. Formación LORENTE (Oxfordense , Kimmeridgense)

La formación Lorente, a excepción de su base (Oxfordense superior), presenta en esta zona unas variaciones de facies y potencia considerables e interesantes. Se describirán pues por separado, según los distintos sectores:

- OXFORDENSE SUPERIOR (base de formación LORENTE).

El Oxfordense superior presenta una característica constante en toda la región. Se trata de un tramo de caliza nodulosa de color rosado o crema que contiene fauna de ammonites y restos de espongiarios. Los afloramientos de este tramo de calizas nodulosas están muy repetidos en toda la zona.

La potencia de este tramo varía de 15 a 20 m. según los sectores.

- KIMMERIDGENSE INFERIOR. (Formación LORENTE)

Los afloramientos de la formación Lorente están muy repartidos. Se describen tres series de características diferentes, que se pueden observar sintetizadas en la columna estratigráfica de la Muela de Peñarrubia (figuras 45 y 46).

- a) En el sector occidental de la zona, junto al P.K. 19 de la carretera CM-3213 de Hellín a Liétor, aflora una serie de Kimmeridgense de unos 20 m. de potencia total. En la base existe una alternancia de margas amarillas o grises con calizas oolíticas, en la que predominan las margas. Hacia la parte alta de la serie continua la alternancia pero predominando, aquí las calizas oolíticas, más detríticas que en la base y con escasas pasadas margosas.
- b) En el sector central hay varios afloramientos de Lorente; el más interesante es el situado al sur de la Sierra de El Morrón. En éste y en los demás del sector Central se puede distinguir: dos tramos claramente diferenciables cuya potencia total es de unos 50 - 60 m. En la base existe un tramo de margas amarillas con nódulos de óxido de hierro; fauna de ammonites y belemnites fundamentalmente y algunas pasadas de yeso. En la parte alta de esta serie existe una alternancia de margas amarillas o grises con calizas sublitográficas y oolíticas en ocasiones.

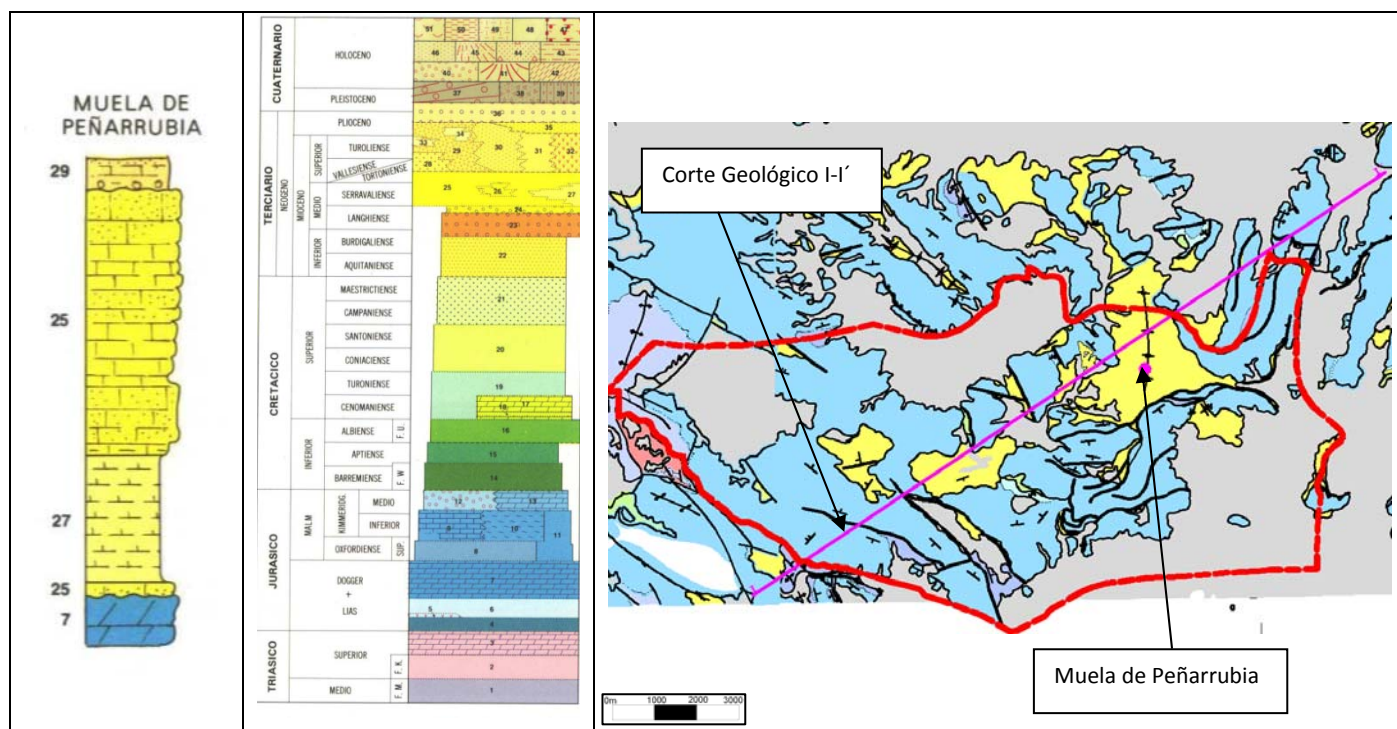


Figura 45. Columna estratigráfica y localización de la Muela de Peñarubia.

Fuente: Elaboración propia a partir del Mapa geológico de España.

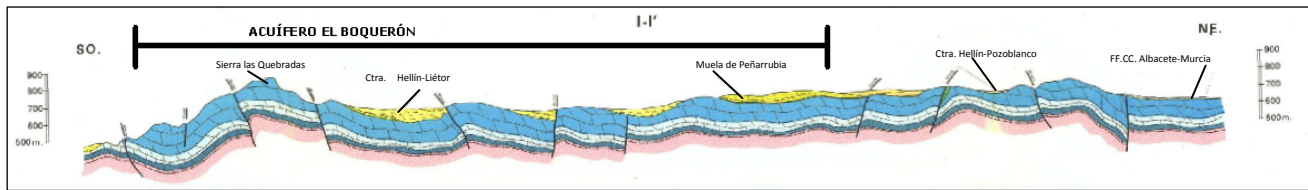


Figura 46. Corte Geológico Norte-Sur del acuífero del Boquerón (I-I').

Fuente: Elaboración propia a partir del Mapa geológico de España.

- c) En el sector oriental, al norte de la Casalta de Vilches aflora otra serie más patente, en cuya base existe unas margas amarillas similares a las del sector Central y sobre las cuales se sitúa una alternancia de calizas de grano fino de color gris y margas grises. La potencia total de este paquete de alternancias es de unos 100 m. Se puede observar en la formación Lorente un considerable aumento de potencia de oeste a este. Asimismo, las facies indican en este mismo sentido de oeste a este un aumento de profundidad. Estas series de la formación Lorente son atribuidas por Fourcade (1970) al Kimmeridgense inferior.

- Formación GALLINERA (Kimmeridgense Medio).

Esta formación sólo aflora en el sector oriental de la hoja. Existen afloramientos muy característicos al sureste de Mora de Santa Quiteria, y al norte de la Casalta de Vilches.

Las características litológicas de este paquete, cuya potencia es de 15 a 20 m., en este sector, son: dolomías o calizas dolomíticas con oncolitos o pisolitos que llegan a tener de 2 a 3 cm. de diámetro.

c. Cretáceo

i. Formación UTRILLAS (Cretáceo Inferior).

Se incluye dentro de la formación UTRILLAS un conjunto fundamentalmente detrítico que descansa discordantemente sobre los materiales del Kimmeridgense descritos en los apartados anteriores.

En el sector oriental de la hoja, en el corte de Cuerda Manga - Casalta de Vilches, es donde Existe la serie más completa de esta formación Utrillas. En este lugar y sobre las dolomías con pisolitos y oncolitos de la formación Gallinera, descansa un paquete de unos 25 m, compuesto fundamentalmente por calizas, margas y areniscas con cantos de cuarcita, sobre el cual descansan unos 200 m de arenas, arcillas y areniscas de claras facies Utrillas.

En los sectores Central y Occidental de la zona estudiada, esta formación Utrillas se halla mucho más reducida y representada por arcillas sabulosas rojas o verdes y arenas y areniscas a veces con cantos de cuarcitas, que en ningún caso pasan de los 20 m de potencia.

ii. Formación QUESADA-FRANCO (Cenomanense-Turonense).

Sólo está representada en el sector oriental. En el límite sur de la hoja existe un buen corte en el que se pueden contar más de 100 m. de esta formación dolomítica. Presenta los tres paquetes que son típicos en esta región: uno inferior de unos 50-60 m. de dolomías grises bien estratificadas, otro intermedio caracterizado por una alternancia de dolomías y margas y cuya potencia es de 25-30 m. y, otro superior, de otros 30 m. de dolomías grises masivas. La edad que se atribuye a este complejo dolomítico es Cenomanense-Turonense.

iii. Formación BENEJAMA (Senonense).

También aflora solamente en el sector oriental de la hoja. El corte más completo es el de Cuerda Manga donde unos 70 m. de calizas micríticas, en general de color gris malva o crema con trozos de Rudistas. En la parte alta existen algunos bancos con

"Cailloux noirs" (Fourcade, 1970) (caliza trufada), otros de brechas y otros de calizas con graveles y lacacinas. Se le atribuye a este tramo calcáreo la edad Senonense.

d. Mioceno

Los afloramientos de Mioceno están muy repartidos por la zona. A grandes rasgos se pueden distinguir los siguientes tramos.

- Un conjunto inferior constituido esencialmente por margas y arcillas, en general sabulosas, de color blanco, gris o rojizo. La potencia se estima que oscila alrededor de los 200 m. Se atribuye una edad de Burdigaliense.
- Sobre este tramo margoso, aparece otro de potencia muy variable constituido por areniscas calcáreas bioclásticas, molasas, calizas de algas, en el que abundan los pectínidos. En la parte alta de este conjunto calcáreo en algunos lugares existe un conglomerado poco consolidado. Se atribuye a este tramo una edad de Vindoboniense.
- Solamente al norte del Rincón del Moro, se han localizado unos afloramientos de calizas lacustres con abundantes gasterópodos que atribuimos al Pontiense.
- En la depresión existente entre Tobarra y Albatanaafloran sobre los términos descritos anteriormente un conjunto de margas blancas con yeso que atribuimos al Mioceno Superior o Plioceno.

e. Cuaternario

Los depósitos de rellenos cuaternarios son muy abundantes y variados; las extensiones de aluvial son considerables. También se encuentran en la zona abundantes depósitos de pie de monte y ejemplos notables de conos de deyección, que han sido indicados en cartografía en su mayoría. También se ha distinguido en cartografía algunos afloramientos de conglomerados, que se atribuyen al Cuaternario pero que bien pudiera tratarse de un Plioceno o de ambos.

V.5.2. *Tectónica.*

En la mitad sur de la hoja de Hellín existen dos sectores de diferente estilo tectónico. El sector oriental, que ocuparía algo más de la tercera parte del área estudiada, estaría comprendido por el límite oriental de la hoja y una línea que pasaría por Tobarra y por las laderas este y sur de las sierras de Almez, Cuco de Villareala y el Pino. La tectónica está caracterizada e influida por la presencia de un Trías diapírico que aflora en superficie en pocas ocasiones.

Sector Oriental

El sector occidental se caracteriza este sector por la presencia en él de un Trías diapírico. Las estructuras en general son pliegues suaves y fallas normales. No se han localizado escamas, ni cabalgamientos, tan frecuentes en el sector occidental. La dirección de estas estructuras, es noroeste-suroeste, aproximadamente aunque existen algunos macizos con orientaciones aberrantes con respecto a las directrices generales, debido sin duda a la actividad diapírica del Trías. Tal es el caso de la Sierra del Tomillo, en parte orientada este-oeste, de los anticlinales existentes al norte y este de la sierra, del pequeño afloramiento situado al suroeste de Mora de Santa Quiteria y del anticlinal que corresponde a la estribación más oriental de la sierra del Pino.

Sector Occidental.-

Las características de este sector occidental es un estilo tectónico de escamas y cabalgamientos de distintas vergencia y un cambio de la dirección de las estructuras.

V.6.- Marco hidrogeológico.

El sector estudiado desde el punto de vista hidrogeológico, es muy interesante debido principalmente a las dolomías de Chorro. Este nivel presenta unas características excepcionales para constituir un buen almacén de agua: suficiente extensión lateral, una porosidad primaria elevada y una fracturación, la mayoría de las

veces importante. Si se tiene en cuenta que la potencia de Chorro sobrepasa los 200 m., de los cuales una buena parte se encuentran, bajo el nivel piezométrico, y a esto se añaden las características antes aludidas, se concluye que se está en presencia de una formación de transmisividad elevada.

Por otra parte se observa que relacionadas con Chorro existen en la zona numerosas fuentes, algunas de ellas de caudal importante, aunque en la actualidad sólo afloran en épocas de elevadas precipitaciones debido a la sobreexplotación del acuífero.

Si a todo esto se añade que descansa sobre las formaciones Madroño y Colleras que constituyen un buen substratum impermeable y que el área de alimentación es bastante amplia, se explica la importancia de la formación Chorro como acuífero.

Otra formación que presenta unas características hidrogeológicas interesantes, es la Quesada. Se trata de un conjunto dolomítico que descansa sobre la formación Utrillas, que se puede considerar en conjunto impermeable. Los escasos afloramientos de esta formación en la zona estudiada no permiten hacer otras consideraciones más amplias sobre sus posibilidades.

Finalmente, el Mioceno calizo, que descansa generalmente sobre un complejo margoso también de esa edad, puede constituir un acuífero. Las condiciones litológicas son buenas y la posición estructural en ciertos sectores también (sinclinal al sur de Albacete).

El acuífero que se explota es la formación CHORRO, de edad Dogger, que está constituida por dolomías muy fracturadas de unos 300 m. de potencia en este sector. Descansa sobre un complejo fundamentalmente arcilloso con eventuales episodios calizos (formación MADROÑO) de potencia no determinada y de edad Lías que constituye el substrato impermeable del acuífero. Sobre la Formación CHORRO, se encuentran las formaciones LORENTE (Kimmeridgiense), UTRILLAS (Cretácico inferior) y/o Mioceno según los sectores, y que eventualmente pueden poner en cautividad al acuífero.

Las estructuras sufren en este sector una brusca inflexión en la orientación de sus ejes; lo que condiciona la complejidad de las mismas y la anarquía de su distribución. Se puede decir que la zona se caracteriza por una tectónica de pliegues apretados y de escamas de vergencias muy diversas. En el límite sur la presencia del Trías, que aflora después de haber perforado diapíricamente su cobertura, complica más aún las estructuras en sus inmediaciones.

La delimitación del acuífero recogida en el Plan Hidrológica del Segura ha sufrido las modificaciones que el IGME (2010b) propone según su último estudio de la masa de agua subterránea a la que pertenece. Así, la nueva delimitación recogida en esta tesis se apoya en la última definición realizada por el IGME, suponiendo una superficie de 83,9 km² del mismo. Esta superficie supone un aumento con respecto a los límites definidos en el Plan Hidrológico de Cuenca del Segura (CHS, 1998) de un 12,1 %. Las modificaciones se localizan en el sector septentrional y occidental del acuífero, tal y como muestra la figura 47.

Así, según el IGME (2010b), los límites del acuífero del Boquerón quedan de la siguiente manera:

- El límite meridional quedaría definido por los afloramientos triásicos situados al SE de Hellín, al sur de las estribaciones de las sierras de Romeral y Las Quebradas. Hacia el este del límite los afloramientos triásicos están recubiertos por materiales cuaternarios y pliocuaternarios.
- El límite occidental se localiza en el levantamiento del impermeable de base en el eje antiforme del Talave, donde aflora ampliamente la formación Madroño y se producen inyecciones de Trías a lo largo de las fallas asociadas, algunas de las cuales llegan a aflorar.
- El límite oriental se deduce de la alineación tectónica Hellín-Tobarra como prolongación de la alineación triásica Tobarra-Sierra de Conejeros y Hellín-Ontur-Montealegre del Castillo (Rodríguez, 1979)
- El límite septentrional se determina por el levantamiento de la formación Madroño y del Trías merced a un conjunto de cabalgamientos y anticlinales, que ya fue puesto de manifiesto por Senent et al. (1975). El límite se ha trazado

por los afloramientos del Lías medio-superior de la Sierra de los Montesinos, las estribaciones SE de las Sierras de la Umbría del Rincón y el Cerro de las Trifillas. Se trata de afloramientos dispersos que afloran en el núcleo de pequeños anticlinales, que hacen pensar que en esta zona exista un levantamiento local, que dificulta el paso del flujo subterráneo.

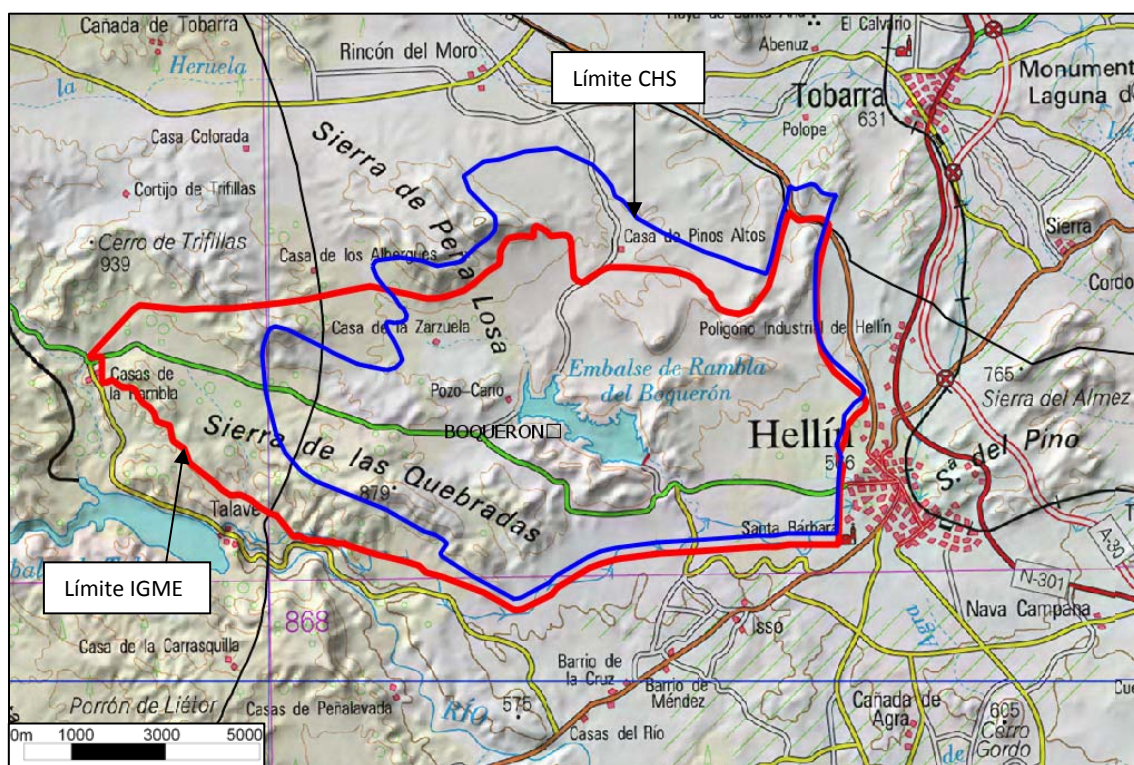


Figura 47. Límites del acuífero del Boquerón según CHS (1998) e IGME (2008b).

Fuente: Elaboración propia.

No se puede asegurar que el límite con el acuífero Búhos sea completamente cerrado, pudiendo permitir la transferencia de agua desde el sector meridional del acuífero Búhos hacia el acuífero Boquerón. Este flujo ha ido disminuyendo a medida que han ido aumentando los bombeos en el acuífero Búhos, de modo que en la actualidad debe ser muy poco importante o incluso nulo. El límite con el acuífero Umbría es claramente abierto y permite una transferencia subterránea desde éste hacia Boquerón. Estas transferencias eran puestas de manifiesto en régimen natural, en ausencia de sobreexplotación, por los caudales de la fuente de Isso (115 l/s) (Fotografía 6), ya que no eran justificables únicamente con la alimentación de lluvia útil.

En cuanto a la estudios de piezometría de esta formación geológica, desde la definición del acuífero Boquerón por Senent et al. (1975) (Figura 48), sólo se han realizado dos trabajos complementarios en los últimos años por CHS (2007) y por IGME (2010b) (Figura 49), de los cuales sólo el último ofrece una mapa aproximado de la cota del nivel freático en la actualidad.



Fotografía 6. Fuente de Isso.

Tras el análisis de ambos mapas (figura 48 y 49), se evidencia una diferencia acusada entre las interpretaciones de los niveles piezométricos existentes en el acuífero realizadas por unos y otros autores en cada caso, independientemente de que las consideraciones estén realizadas con más de 30 años de diferencia. Dichas diferencias serán analizadas en el Capítulo VI, así como la justificación de los mapas de isopiezas propuestos para la modelización del acuífero. Los niveles piezométricos del acuífero de El Boquerón están controlados por la CHS mediante sólo un piezómetro denominado Peñarrubia a la cota 645 (m.s.n.m.), cuyo código es 07.03.001 según MAGRAMA Y PA2845 según la Confederación Hidrográfica del Segura, cuyas coordenadas son X: 606.039, Y: 4.267.873 (ETRS 89), tal y como aparece en el figura 50.

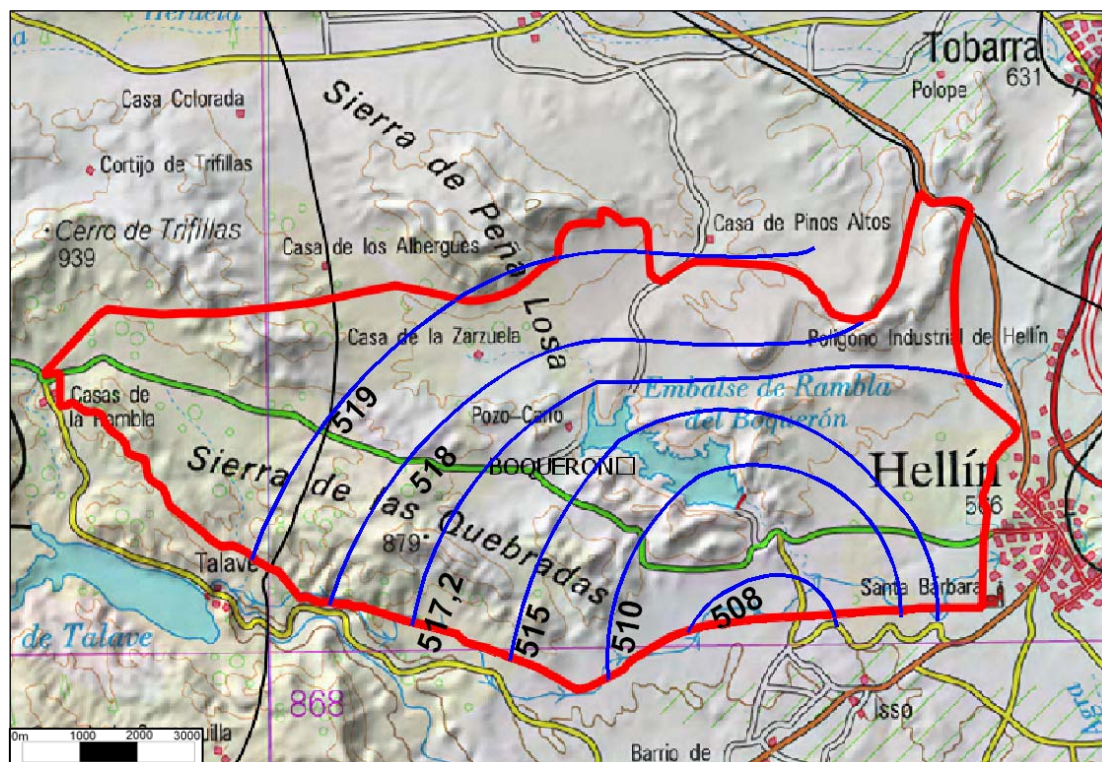


Figura 48. Mapa de isopiezas del acuífero del Boquerón en régimen natural.

Fuente: Elaboración propia a partir de Senent et al. (1975).

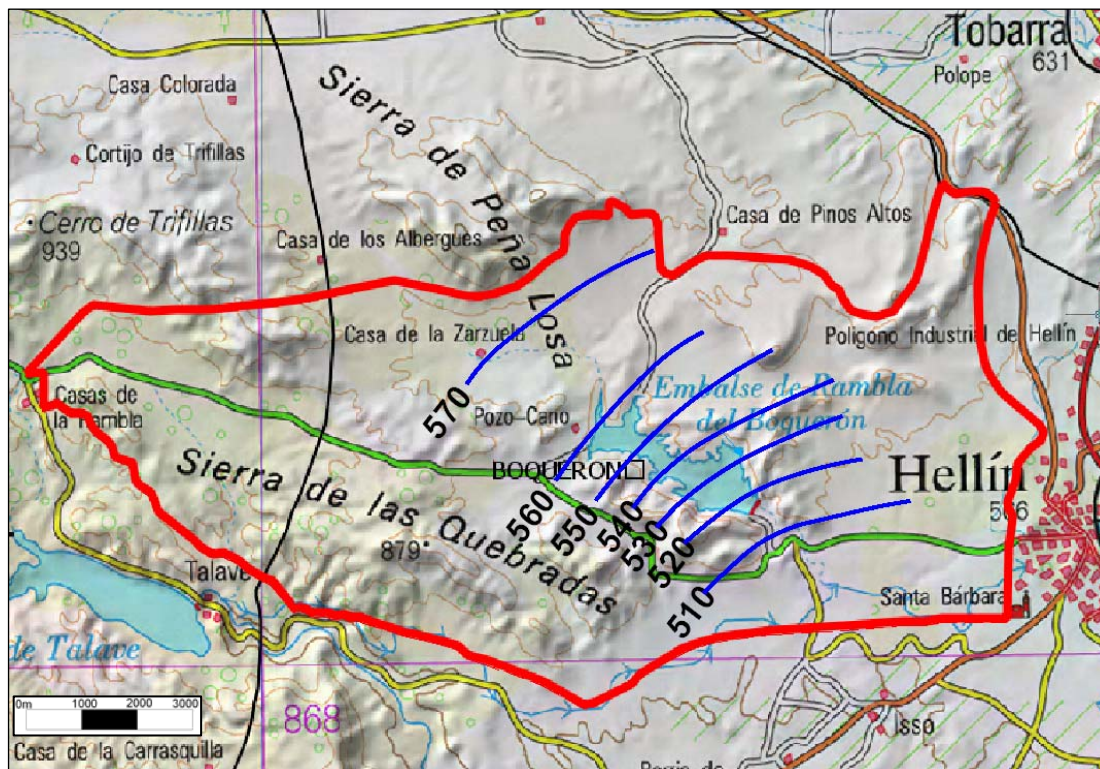


Figura 49. Mapa de isopiezas actual del acuífero del Boquerón.

Fuente: Elaboración propia a partir de IGME (2010b).

Este piezómetro recoge los datos de la profundidad del nivel freático en este punto desde el año 1970 y, tal y como se puede comprobar en el figura 51, éste ha bajado en torno a 17 m desde mediados de los años 70 hasta la actualidad.

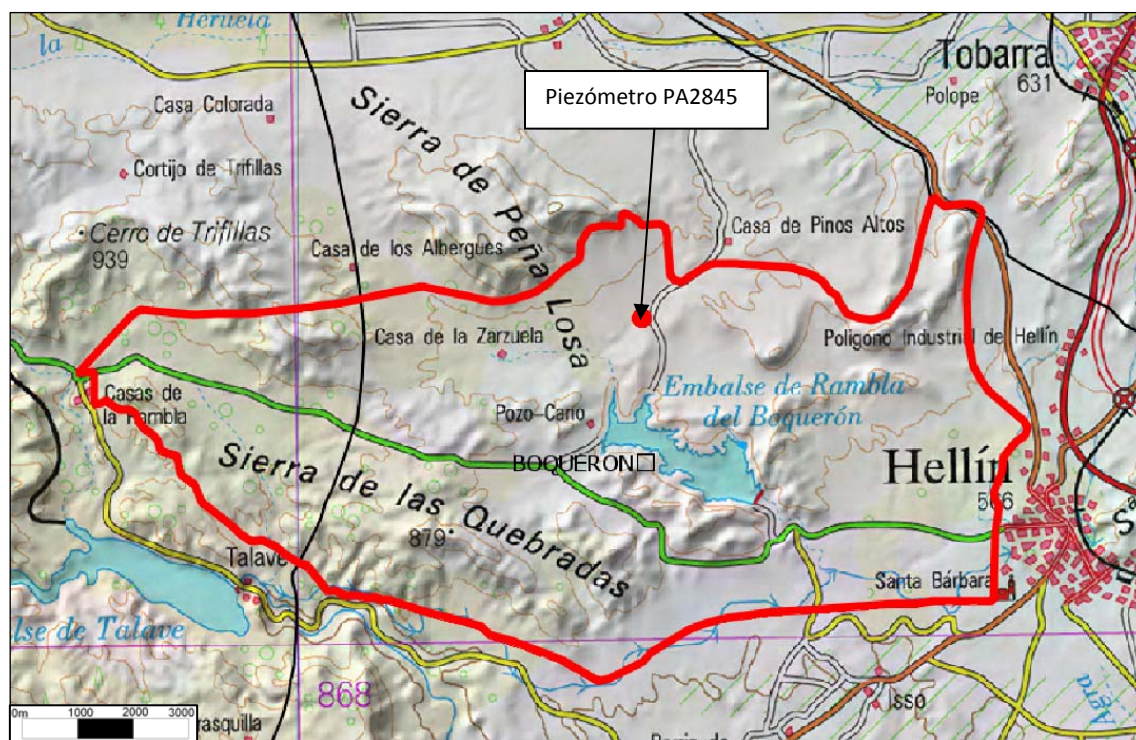


Figura 50. Ubicación de piezómetro PA2845.

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, debido al fuerte gradiente (SE-NO) del impermeable de base, existe un gradiente piezométrico muy marcado, que queda reflejado en ambos mapas de isopiezas (figuras 47 y 48) cuanto más próximo se está de la salida natural de la fuente Issa en el límite sur del acuífero.

Por ello, del análisis del régimen natural, se desprende que los recursos de los acuíferos Umbría y Boquerón descargaban principalmente por la fuente de Issa (figura 52) y en menor medida por los manantiales de La Teja y del Prado, estas últimas con unos caudales de unos 5 l/s cada una.

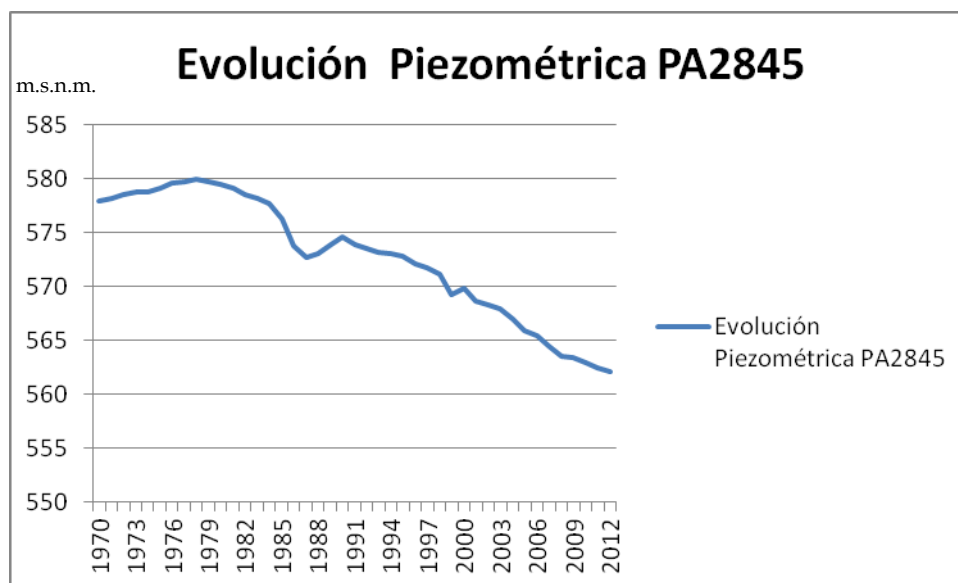


Figura 51. Evolución piezómetro PA2845.

Fuente: Elaboración propia.

La fuente de Isso, registraba caudales medios en torno a 100 l/s como se puede comprobar en la figura 53, alcanzándose máximos de hasta 150 l/s en 1990. A partir de 2002 la fuente permanece seca, si bien ha vuelto a surgir esporádicamente en relación con periodos con fuertes precipitaciones. Los recursos generados en el acuífero Umbría descargan de un modo subterráneo al acuífero Boquerón a través de un límite de carácter abierto, como se ha comentado previamente.

Sin embargo, debido al fuerte gradiente hidráulico descrito, los caudales de la fuente de Isso no se vieron afectados hasta el año 1994, cuando el nivel en el piezómetro de referencia no bajó por debajo de la cota 573 m s.n.m.

Desde finales de los años 70, los bombeos del acuífero han ido incrementándose hasta superar los recursos renovables y desaparecer los flujos naturales a través de las fuentes de la zona, manteniendo últimamente una tendencia interanual de bajada de los niveles de 0,6 m/año en el piezómetro de control de Peñarrubia referido.



Figura 52. Localización de la fuente de Isso.

Fuente: Elaboración propia.

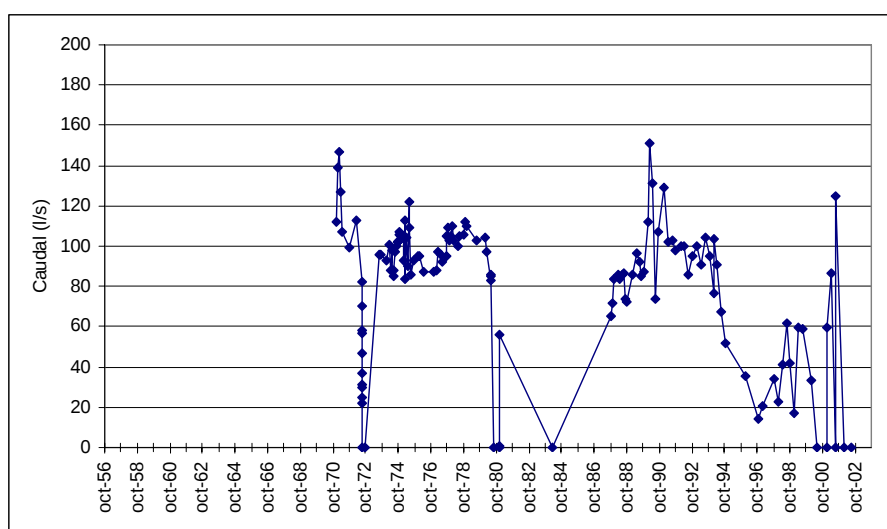


Figura 53. Hidrometría de la fuente de Isso.

Fuente: IGME (2010b).



Fotografía 7. Medidor Parshall de la hidrometría de la fuente de Isso.

V.7.- Superficie permeable.

Con el fin de comprobar la contribución de la lluvia sobre la recarga del acuífero y diferenciarlas de otros posibles aportes se ha comprobado la superficie que dentro de los límites del acuífero es susceptible de permitir la infiltración y recarga del mismo.

En la figura 54, se ha obtenido la suma de las superficies permeables del sector estudiado obteniendo una superficie total de suelo permeable de 30,43 km², es decir un 36,23% de la superficie total del acuífero.

Como se puede apreciar, sólo existe una pequeña franja de Lías Inferior en el límite noroeste, pero la inmensa mayoría de superficie permeable pertenece al Dogger que es la característica fundamental de este acuífero, como se ha descrito en epígrafes anteriores.

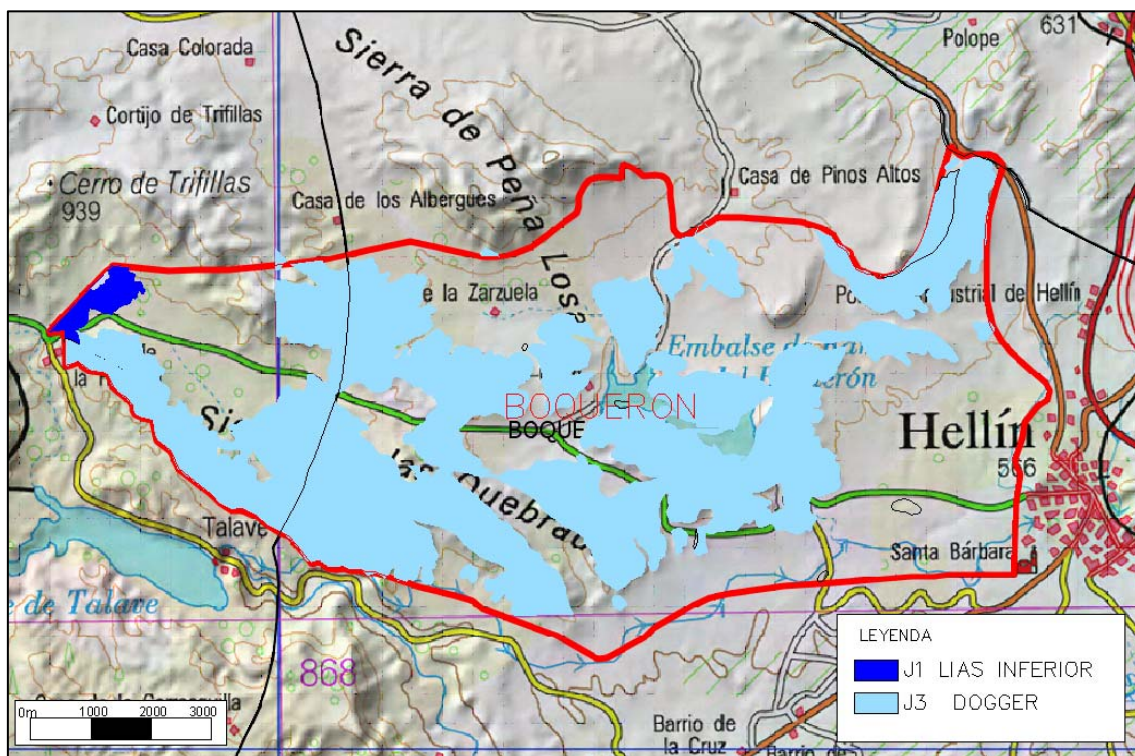


Figura 54. Superficie permeable del acuífero del Boquerón.

Fuente: Elaboración propia.

V.8.- Balances y reservas.

Como se ha visto hasta el momento, en el acuífero del Boquerón, las entradas se reducen a las procedentes de la infiltración de la lluvia útil y a las entradas subterráneas por el acuífero Umbría, mediante la transferencia en el límite abierto descrito.

Teniendo en cuenta la información de la estación termopluviométrica de Hellín I.L. como representativa de las condiciones climatológicas del mismo, se ha calculado en 342,70 mm. la pluviometría media de la zona para un período de 35 años (1961-1996) y en 15,60°C temperatura media para un período de 35 años (1961-1996).

La evapotranspiración real se ha calculado para distintos valores de reserva útil o cambio de humedad del suelo. Así para

$$\gamma = 0 \quad \text{ETR} = 298 \text{ mm (92\% de Pluviometría)}$$

$$\gamma = 25 \quad \text{ETR} = 342,70 \text{ mm (100\% de Pluviometría)}$$

En el caso más favorable para la alimentación, $\gamma = 0$, la lluvia útil sería de 25 mm; sin embargo, el parámetro no es nulo pues siempre existe un suelo más o menos desarrollado que almacena parte de la lluvia para alimentar una posterior evapotranspiración retardada. Por lo tanto se estima que la lluvia útil puede fijarse en 20 mm. o lo que es igual, 1,6 hm³/año.

Las salidas, en régimen natural, estaban constituidas fundamentalmente por la fuente de Isso de 115 l/s de caudal medio anual. El resto de fuentes del sistema no descargaban más de 10 l/s. Tampoco se descartan, aunque deben ser poco importantes, las salidas subterráneas por el cuaternario suprayacente al Trías de Isso. También son posibles las salidas de aguas superficiales por las ramblas del Boqueron, del Pepino y de las Quebradas; aunque se piensa que sean despreciables frente al error cometido en los otros elementos del balance. Las salidas totales del sistema se estiman pues en 130 l/s o lo que es lo mismo 4 hm³/año.

En consecuencia y en el caso más favorable para la alimentación por lluvia útil, las entradas subterráneas por el Norte deben ser de 4-1,6 hm³/año = 2,4 hm³/año, lo que representa un caudal medio anual de 76 l/s. En el caso más favorable de que toda la lluvia útil no alimente al acuífero y se convierta en escorrentía superficial, las entradas subterráneas por el límite Norte deben ser de 4 hm³/año = 130 l/s. Se comprueba, pues, la enorme importancia que, para la alimentación del sistema, tienen las entradas subterráneas por el Norte pudiendo estar comprendidas entre 76 y 130 l/s.

A la vista de este análisis del balance y entendiendo por recursos el volumen anual de agua que sale del sistema, es decir, la suma de salidas superficiales y subterráneas al exterior, se puede estimar que éstas serán de 4 hm³/año, considerando el sistema en régimen natural.

No obstante, estos valores estimados se compararán en el Capítulo VI con los resultantes de la aplicación del modelo Visual Balan (Samper et al., 1999) de balance hidrológico del agua a la zona estudio.

El análisis realizado del estado natural por el IGME (2010b), es algo más conservador en sus conclusiones en este sentido. Se considera tan sólo como salida natural la fuente de Isso, reduciendo por tanto el volumen anual de descarga total a 3,15 hm³/año, despreciando el resto de fuentes y pequeñas salidas a cauces que pese a no ser importantes independientemente, sí que es apreciable su contribución al conjunto. Asimismo, por comparación con el sistema Alcadozo, se deduce un coeficiente de recarga con respecto a la precipitación de afloramientos permeables de 10,66%, por lo que de un total de lluvia media caída de 11,24 hm³/año en el período 1975-1979, considerado en el mismo funcionamiento en régimen natural, sobre la superficie del acuífero del Boquerón, resultaría un volumen medio de recarga del acuífero por precipitaciones de 1,20 hm³/año, siendo el resto (1,95 hm³/año) debido a la transferencia del acuífero de Umbría (de superficie permeable 47,40 km²) por su límite sur con el acuífero del Boquerón. Este estudio, confirma los valores expuestos en cuanto que pone de manifiesto la importancia en nuestro “embalse” subterráneo de las entradas por transferencia con el acuífero Umbría, sin embargo las salidas de la fuente de Isso han venido reduciéndose año tras año desde finales de los 80 hasta desaparecer su caudal en el 2002 (IGME, 2010b), con la excepción de períodos lluviosos intensos, lo que hace suponer que las extracciones del acuífero de Umbría han reducido drásticamente (o anulado) la transferencia con el acuífero del Boquerón.

Para el cálculo de reservas se utilizará el mapa de isopacas de CHORRO (figura 55) mojado recogido en Senent et al. (1975) que nos da un volumen del mismo de 14.000 hm³. Por otro lado, los ensayos de bombeo realizados por Senent et al. (1975) obtuvo como parámetro de almacenamiento medio el valor 3%, por lo que las reservas a finales de los años 70 eran de 420 hm³ aproximadamente, y las reservas útiles, estimándolas entre un 5 a un 10% de los totales, estarían comprendidas entre 20 y 40 hm³.

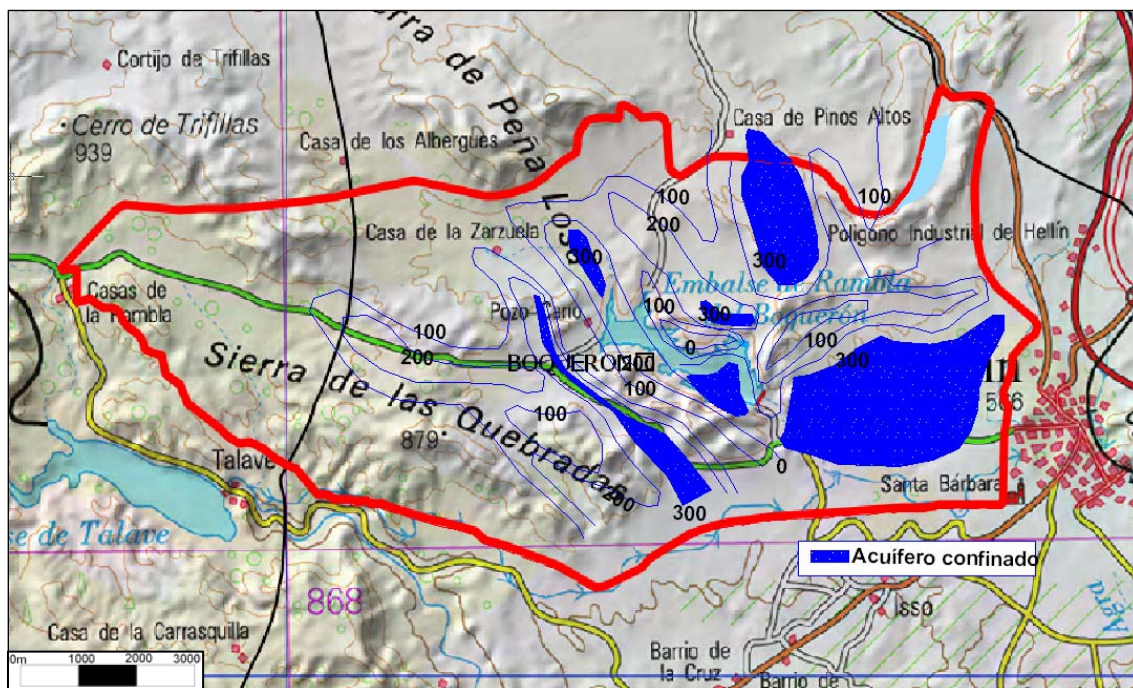


Figura 55. Mapa de isopacas del acuífero del Boquerón en régimen natural.

Fuente: Elaboración propia a partir de Senent et al. (1975).

V.9.- Explotaciones agrícolas.

En la actualidad, sobre el acuífero del Boquerón se realizan las extracciones que aparecen en la Tabla 18. Esta información ha sido facilitada por la empresa Riegos Levante Hellín S.L., la cual ha sido la encargada de la redacción de los proyectos, así como de la construcción y mantenimiento de las infraestructuras asociadas a todos los bombeos de la zona. Dichos datos han sido cotejados con el informe de CHS, que se adjunta como Anejo 2, donde se realiza la aprobación de las concesiones de explotación del acuífero del Boquerón para las comunidades de regantes de la Fuente de Isso y la de Martínez Parras. La sociedad agraria de transformación del Ojeado ha puesto en funcionamiento en el año 2013 el pozo del Romeral con una concesión de 2,25 hm³, tras haber sido equipado en el año 2008 por la Consejería de Agricultura de la Junta de Comunidades de Castilla la Mancha para compensar la reducción de caudales que había acaecido en el resto de bombeos (batería de pozos Boquerón I, Boquerón II y Boquerón III) debido a la bajada de niveles piezométricos en los mismos. Por otro lado, situado al norte del municipio se localiza una serie de regadíos con numerosos propietarios, que se ha englobado bajo el nombre de Comunidad de Regantes

Peñarrubia, que también extrae sus recursos directamente del subsuelo. Estos cultivos corresponden con la unidad de demanda agraria UDA 7 (aguas subterráneas Hellín-Tobarra) según el Plan de Cuenca (CHS, 1998), cuya dotación marca dicho documento. En la tabla 19 se muestran las características básicas de los pozos de extracción situados en el acuífero del Boquerón, así como en la figura 55 la localización de los mismos.

Comunidad de Regantes	Superficie (ha)	Concesión (hm ³ /año)	Dotación Bruta (m ³ /ha/año)
CR PEÑARRUBIA	250	1,00	4.000
SAT OJEADO	630	2,25	3.571
CR FUENTE DE ISSO	742	3,50 (2,6 uso)	3.484
CR MARTINEZ PARRAS	3.185	18,50 Total	5.808
		2,00 Acuífero	

Tabla 18. Explotaciones actuales sobre el acuífero del Boquerón.

Fuente: Elaboración propia.

Pozo	Diámetro (mm)	Profundidad (m)	Potencia (CV)	Caudal (l/s)	Coordenadas UTM (X/Y)
Peñarrubia	500	150	280	200	607168/4266731
Boquerón I	500	63	180	150	608823/4264044
Boquerón II	500	147	310	250	608823/4264044
Boquerón III	500	147	310	250	608823/4264044
El Romeral	500	156	270	100	608640/4264225

Tabla 19. Características de los pozos de extracción del acuífero del Boquerón.

Fuente: Elaboración propia.

La Comunidad de Regantes Martínez Parras se corresponde con la Unidad de Demanda Agraria UDA 10, Canal de Hellín, la cual se alimenta del acuífero en aquellos momentos en los que el canal no dispone de los recursos suficientes para hacer frente a la demanda hídrica de los regadíos asociados (meses estivales), como se puede comprobar en la figura 57 hasta un máximo de 2 hm³ al año, concesión actual otorgada por CHS.

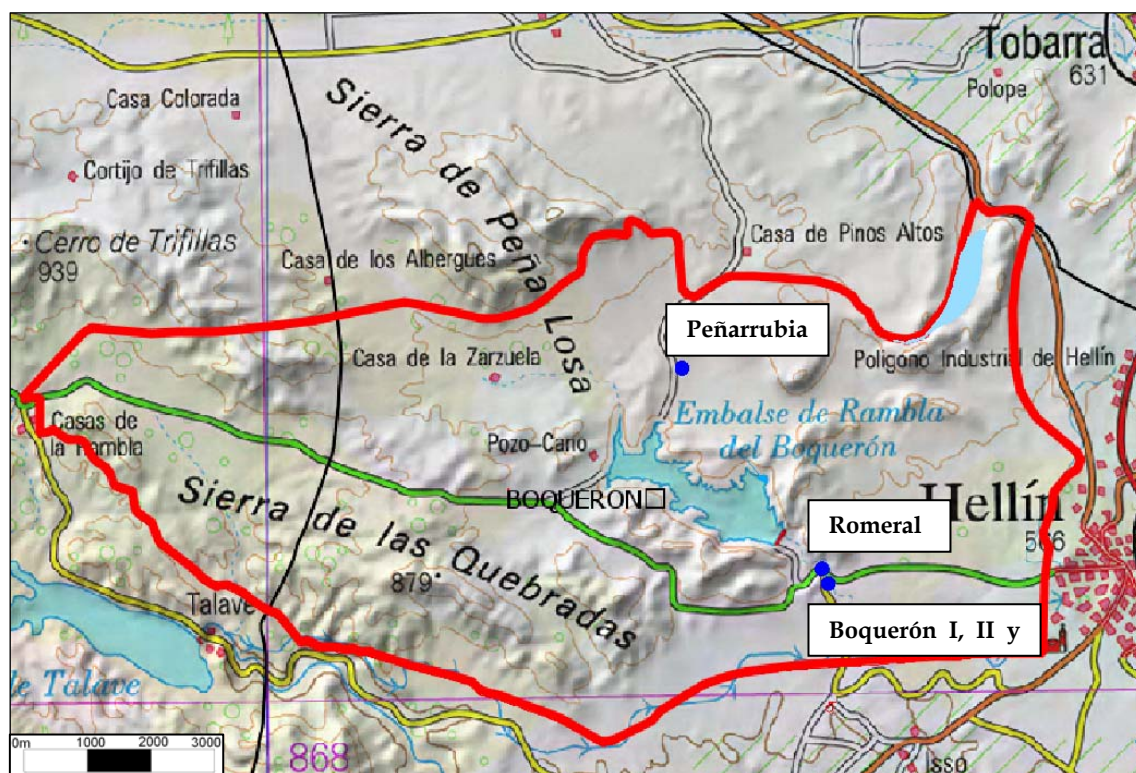


Figura 56. Localización de los pozos de extracción de aguas subterráneas del Boquerón.

Fuente: Elaboración propia.

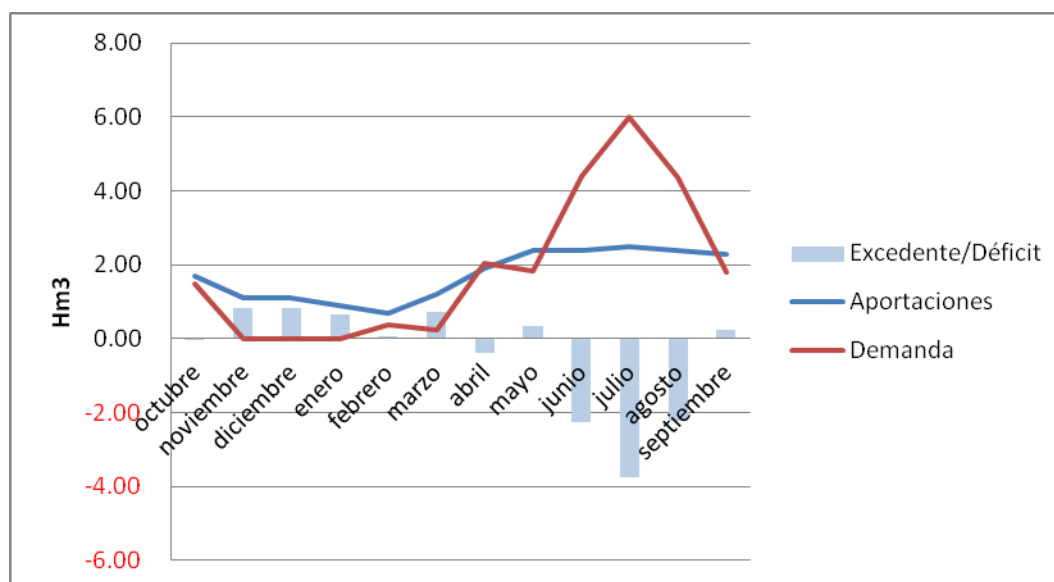


Figura 57. Evolución media mensual excedentes-déficits del canal de Hellín.

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, también se queda patente que en el período octubre-abril la demanda hídrica es inferior a los volúmenes suministrados, resultando una serie de

excedentes que no son aprovechados por el sistema local estudiado, perdiéndose poder de regulación sobre el recurso suministrado.

Indicar asimismo, que pese a que la concesión a la comunidad de regantes de la fuente de Isso es de 3,50 hm³, las extracciones sobre el acuífero del Boquerón raramente sobrepasan los 2,5 hm³, tal y como se recoge en la tabla 20.

Año	Volumen (m ³)
2006	2.308.140
2007	2.135.880
2008	2.543.648
2009	2.478.211
2010	1.192.517
2011	1.198.980

Tabla 20. Extracciones anuales del acuífero del Boquerón por la CR Fuente de Isso.

Fuente: Elaboración propia a partir de CR Fuente de Isso.

Por tanto, se comprueba que las dotaciones brutas se asemejan bastante a las expuestas en la Tabla 9, que recoge el PHCS (1998), en lo relativo a las Unidades de demanda agraria nº 7 (Agua Subterránea) y nº 10 (Canal de Hellín).

Las extracciones subterráneas actuales con concesión ascienden a la cantidad anual de 6,83 hm³/año, lo que supone, aún en el caso de que se siguiera produciéndose una transferencia del acuífero de Umbría, un déficit de $6,83 \text{ hm}^3 - 3,15 \text{ hm}^3 = 3,68 \text{ hm}^3$ /año. Y en el caso de que no exista ya transferencia con el acuífero de Umbría (tal y como se apunta en el último estudio del Boquerón realizado por el IGME (2010b)) por sobreexplotaciones en el último, el balance en el acuífero sería de $6,83 \text{ hm}^3 - 1,20 \text{ hm}^3 = 5,63 \text{ hm}^3$ /año de déficit anual. En la figura 58 aparece la distribución de estas superficies en relación con los límites del acuífero del que se alimenta.

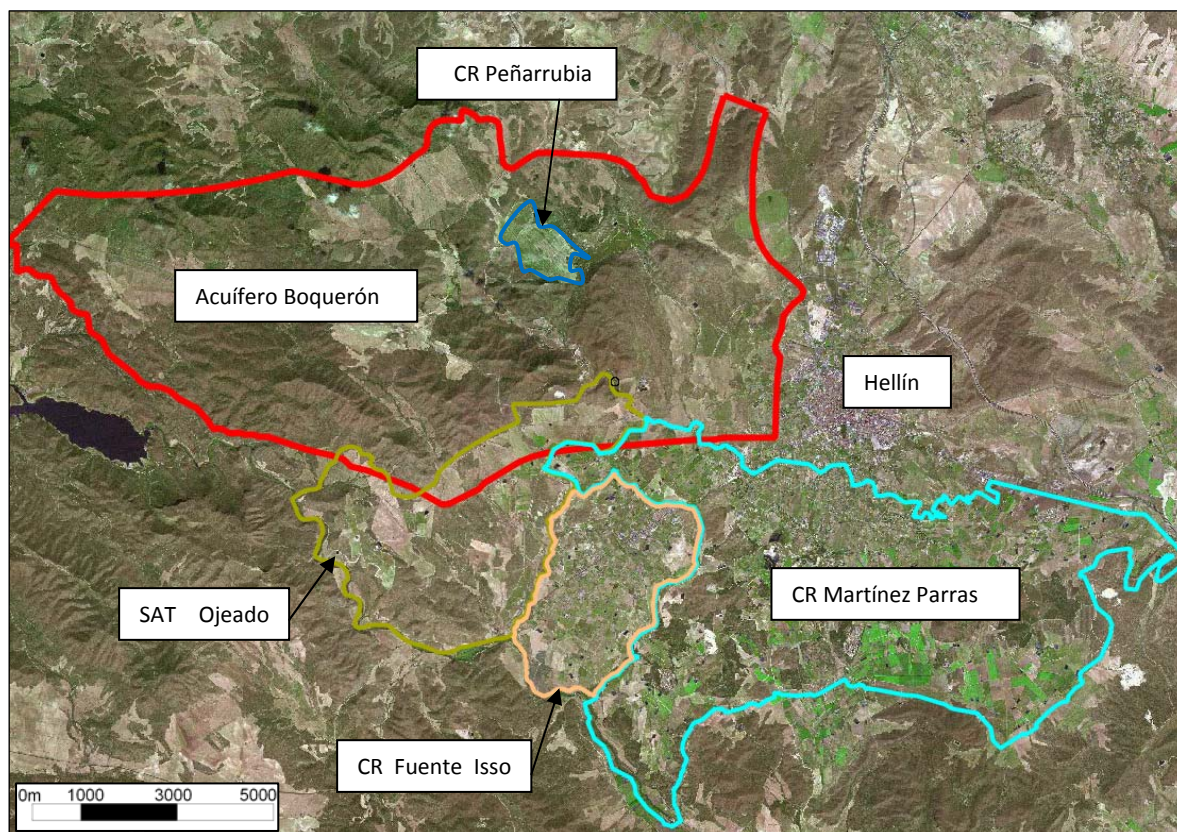


Figura 58. Distribución de regadíos asociados al acuífero del Boquerón.

Fuente: Elaboración propia.

V.10.- Características Hidráulicas.

El IGME (2013) admite como parámetros característicos globales de la unidad hidrogeológica del Boquerón un valor de transmisividad ampliamente variable entre 240-4800 m²/h y un coeficiente de almacenamiento del 3%. Sin embargo, en el referido ensayo de bombeo de Senent et al. (1975), se particularizaron y se acotaron estos valores para el acuífero estudiado.

La investigación realizada, consistió en un bombeo de larga duración (30-45 días) con recuperación total y con registro de observación en un numeroso sistema de pozos de bombeos (Batería El Boquerón), en sondeos existentes (Boquerón, casa Pegote, Pajuela, Cerro Pelao, Cruce Bis, La Losa, Fuente de Isso), así como otros puntos de agua al otro lado de los límites propios del acuífero (La Loma, Preciados, La Torrecilla, Fuente de Polope y Fuente de Hellín), tal y como se puede comprobar en la figura 59.



Fotografía 8. Localización de batería de bombeo de ensayo de larga duración.

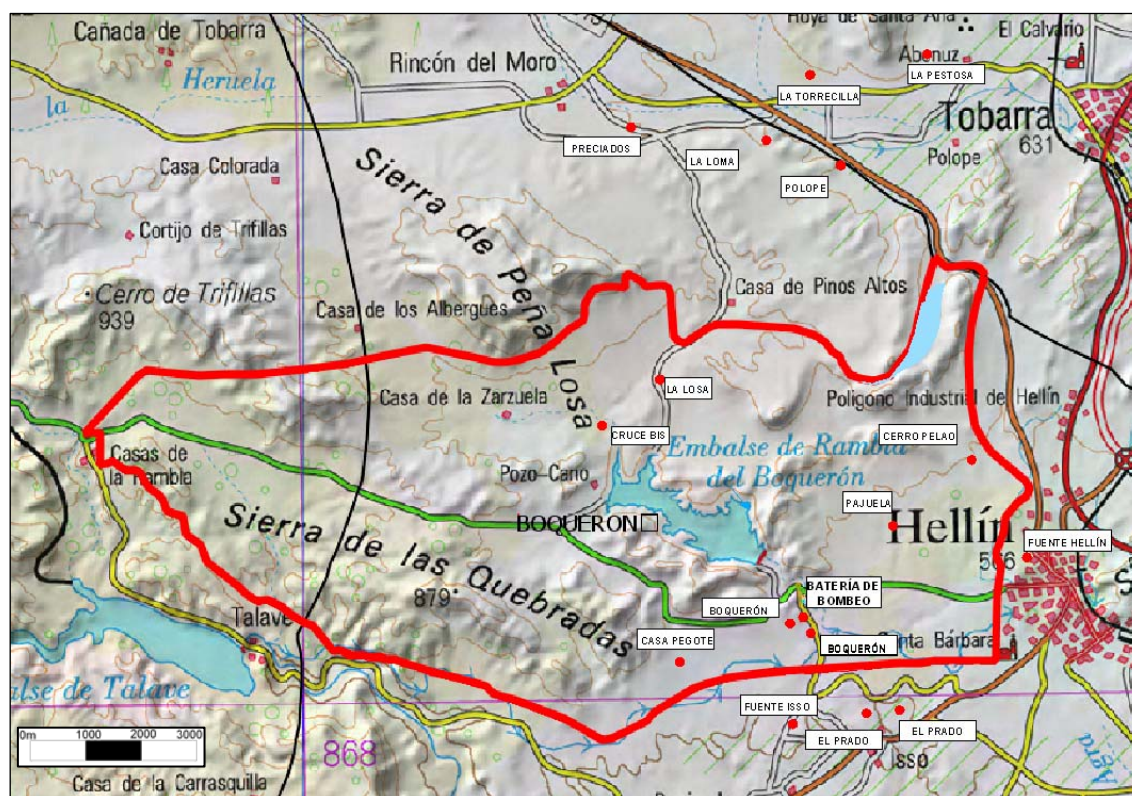


Figura 59. Distribución piezómetros en ensayo de bombeo de larga duración.

Fuente: Elaboración propia a partir de Senent et al. (1975).

En base a los descensos y recuperaciones observadas en estos puntos se pudieron establecer, mediante el método de Jacob, una serie de valores de los parámetros característicos del acuífero. Los valores calculados de transmisividad en los piezómetros dieron límites muy amplios que oscilaron entre los 500 m²/h a 40 m²/h. Estos valores se explican por la variación de espesores dentro del sistema, espesores que condicionan a igualdad de permeabilidad las distintas transmisividades.

La permeabilidad media para el conjunto del acuífero se considera acotada dentro del rango 1- 1,5 m/h.

El valor de coeficiente de almacenamiento, que en casi la totalidad del sistema es libre, tiene valores del 3% al 8%, pasa a tener una ligera cautividad en los piezómetros de Cerro Pelao, Casa Pegote y Cruce bis, con valores de $3 \cdot 10^{-3}$ a $2 \cdot 10^{-3}$. Se adjunta en la tabla 21 un cuadro resumen con las principales características del acuífero determinadas a partir del bombeo de ensayo en la batería del Boquerón.

SONDEO	Transmisividad T(m ² /h)	Coeficiente de Almacenamiento S
BOQUERON (219)	124	$3,6 \cdot 10^{-2}$
	80	$5,3 \cdot 10^{-2}$
	52	$8,2 \cdot 10^{-2}$
	28	$7,1 \cdot 10^{-2}$
BOQUERON (92)	128	$9,5 \cdot 10^{-2}$
	96	$10 \cdot 10^{-2}$
	63	$18 \cdot 10^{-2}$
	47	$17 \cdot 10^{-2}$
CASA PEGOTE	118	$3,59 \cdot 10^{-3}$
	73	$1,5 \cdot 10^{-3}$
	40	$1,7 \cdot 10^{-2}$
CRUCE BIS	473	$2,1 \cdot 10^{-3}$
PAJUELA	296	$6,5 \cdot 10^{-2}$
	140	$4,5 \cdot 10^{-2}$
CERRO PELAO	340	$3 \cdot 10^{-2}$

Tabla 21. Características hidráulicas del acuífero del Boquerón.

Fuente: Senent et al. (1975).

V.11.- Control de la calidad Acuífero de El Boquerón.

En cuanto a la calidad de las aguas subterráneas de la masa subterránea Boquerón, la CHS dispone de cuatro puntos de control asociados a este conjunto de acuíferos desde donde realiza periódicamente análisis químicos de las aguas de los acuíferos asociados. Estos puntos corresponden a los que se muestran en la tabla 22. Como se puede comprobar en la figura 60, sólo uno de los cuatro puntos toma directamente su analítica dentro de los límites del acuífero de El Boquerón. El CA703001 se realiza en el manantial de Isso, que es salida natural del agua del acuífero. Los otros dos se toman de otros acuíferos pertenecientes a misma Masa de Agua Subterránea administrativa, que al haber transferencia entre los éstos con el estudiado, se considera representativa del estado de las aguas general.

Código	Nombre	Coord. X	Coord. Y	Coord. Z	Tipo de punto	Red a la que pertenece
CA0703001	Boquerón	608813	4262072	505	Manantial	Vigilancia
CA0703002	Búhos	611629	4269923	685	Sondeo	
CA07NI-63		612344	4284252		Pozo	Nitratos
CA0703003	Umbría	602050	4274350	738	Sondeo	Operativa / Red Protección Abastecimientos

Tabla 22. Red de control de la calidad de MASub Boquerón.

Fuente: Elaboración propia.

La serie de datos de analíticas de los que se disponen en alguna de ellas son de los años 70 (CA0703001), y el resto registra datos desde antes de los 90 (CA0703002) o incluso tan recientes como la (CA0703003), desde el 2002. El análisis realizado en los distintos parámetros que recoge el R.D. 140/2003 sobre por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, arrojan una índice de calidad del agua malo según recoge Pernía et al., (2010). Si se analiza la figura 61 se puede comprobar que el deterioro de la calidad se ha agravado considerablemente en las dos últimas décadas.

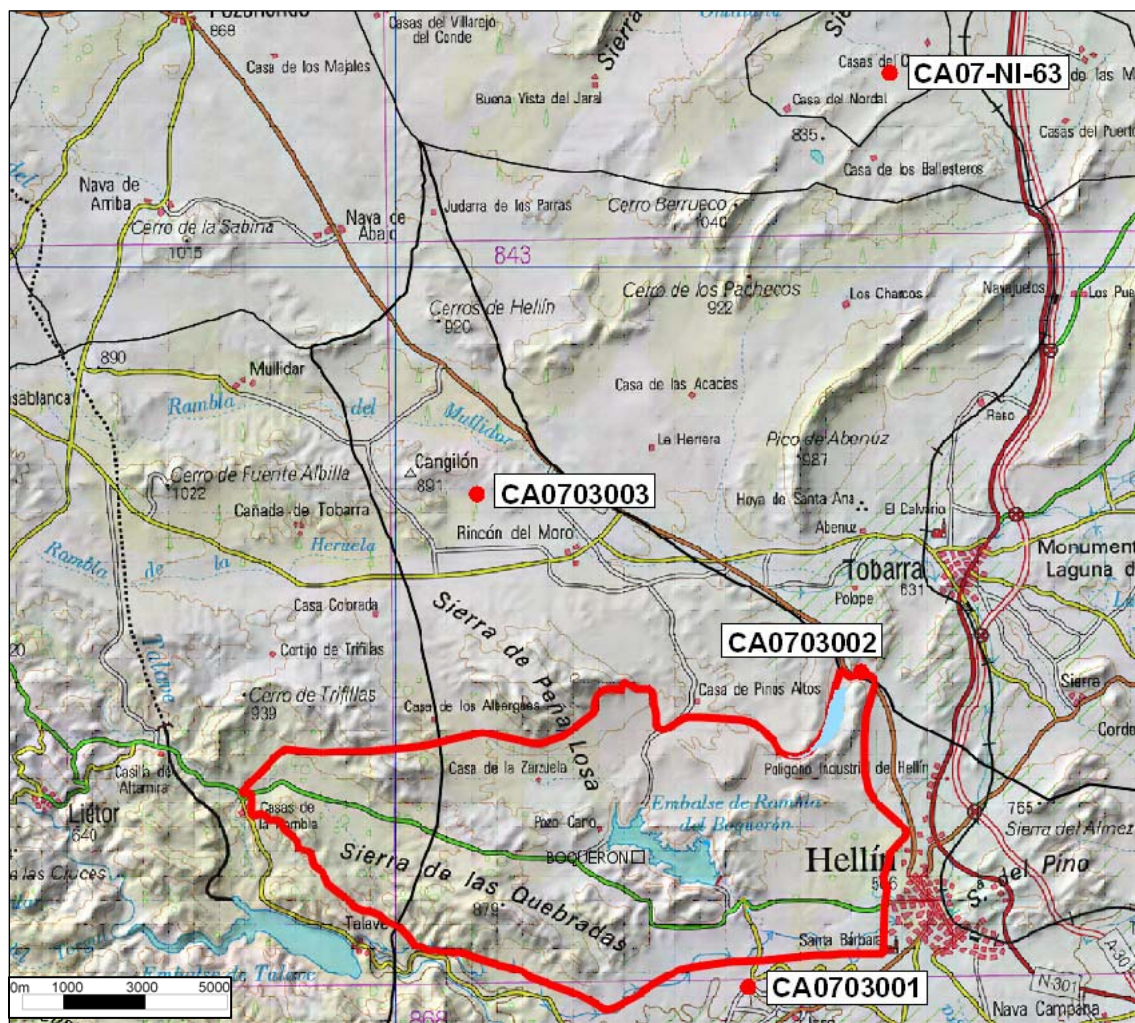


Figura 60. Ubicación de la red de control de calidad de MASub Boquerón.

Fuente: Elaboración propia.

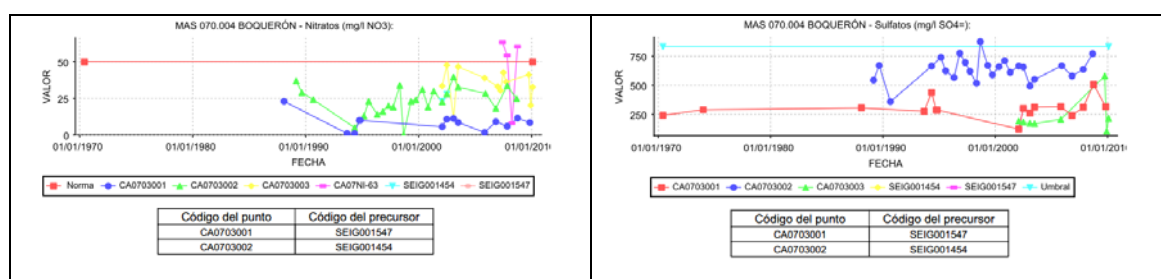
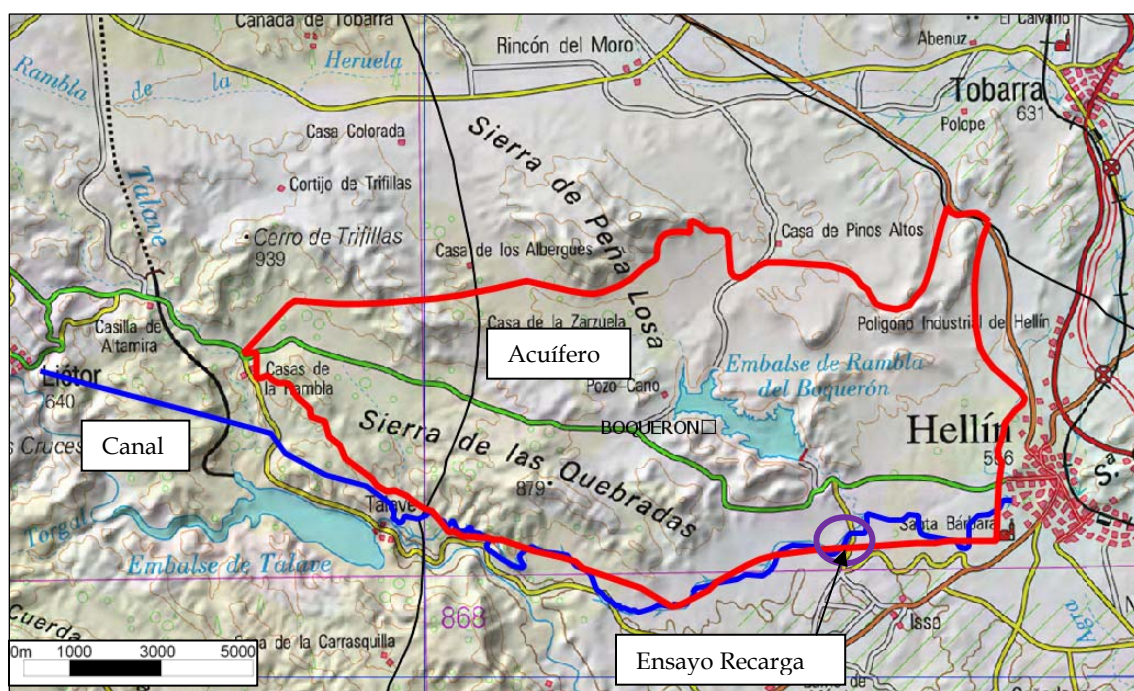


Figura 61. Evolución de la calidad del agua en MASub Boquerón.

Fuente: Elaboración propia a partir de CHS (2013).

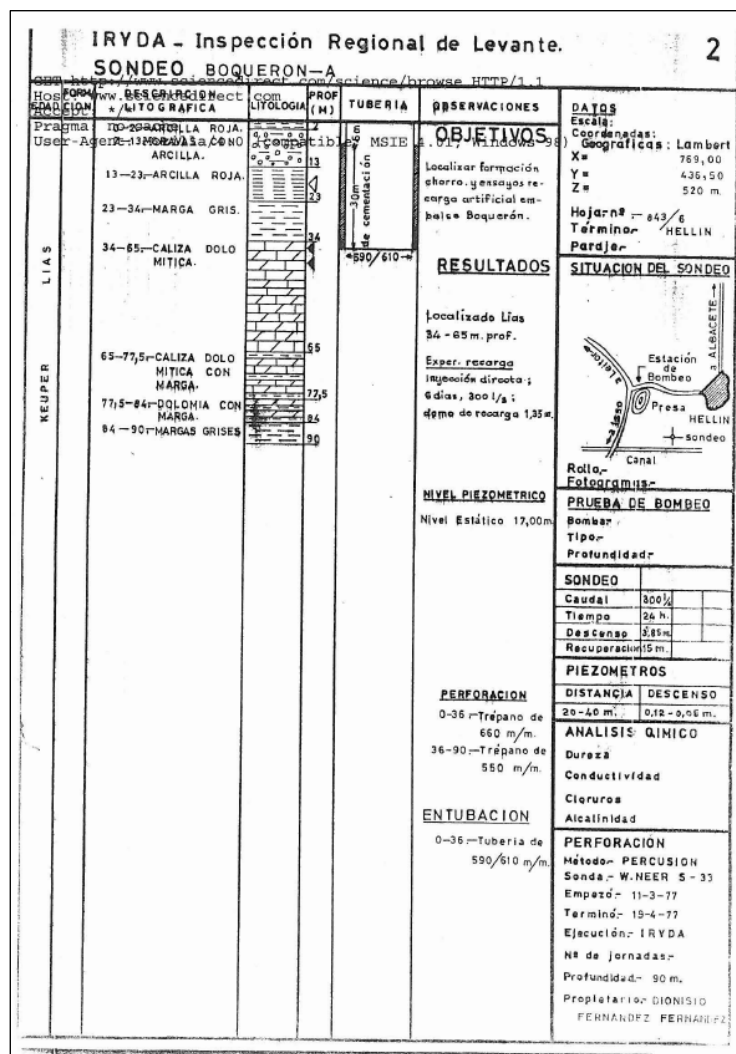
V.12.- Experiencias de recarga artificial en el Acuífero de El Boquerón.

Como extensión del ensayo de bombeo de larga duración realizado por Senent et al. (1975), en ese mismo año se diseñó la primera experiencia de recarga artificial sobre el acuífero del Boquerón mediante la construcción de un pozo de inyección, denominado Boquerón A, localizado junto al canal de Hellín, próximo a su tramo final como se puede comprobar en la figura 62.



Fuente: Elaboración propia.

De los materiales perforados (figura 63) se deduce que tras un recubrimiento Mioceno, se ha cortado el Dogger que constituye el embalse subterráneo del Boquerón, el cual presenta una potencia puntual de unos 40 m, frente a la media de 300 m. del acuífero, claro exponente de la proximidad del impermeable de su borde Sur en el que incide el último tramo de la perforación.



Fuente: Senent et al. (1975)

La potencialidad de esta perforación se analizó mediante:

1. Bombeo continuado durante 24 h a caudal constante de 300 l/s, con depresión de 3,85 m., detectándose la proximidad de una barrera probablemente constituida por la proximidad del impermeable del borde Sur del sistema, factor a tener en cuenta en la recarga.
2. Inyección en caída libre sobre el acuífero de un caudal de 200 l/s durante 1 hora, con un domo de recarga de 0,80 m.

3. Inyección de 200 l/s en caída libre, durante 6 días, con agua circulando a través de un área filtrante construida por zahorra natural. El domo de recarga alcanzó una altura de 1,85 m, detectándose los efectos de la recarga en la fuente de Isso, aliviadero natural del acuífero.
4. Inyección directa en el acuífero en iguales condiciones, alcanzando el domo de recarga una altura máxima de 1,35 m, inferior a la anterior en 0,50 m.

Comprobadas las posibilidades de recarga, se realizaron dos nuevas perforaciones en línea con la primera, equidistantes 20 m. de ellas y con idénticas características, que son utilizados esporádicamente en la actualidad como se puede comprobar en la Fotografía 9.

A la vista del análisis de las características de esta zona, si se decidiese a realizar la explotación de una recarga artificial en el área, se comprueba la conveniencia de la realimentación por inyección directa, debiéndose controlar la proporción de sólidos en suspensión para asegurar una mayor vida del elemento filtrante utilizado.

No obstante, los factores limitantes de esta recarga, a tener en cuenta en su fase de explotación, serían los siguientes:

- a. Proximidad del impermeable del borde Sur del sistema, lo que facilita un desagüe rápido sin almacenamiento.
- b. Colmatación por sólidos en suspensión en proporción variable.



Fotografía 9. Recarga artificial del acuífero del Boquerón.

Capítulo VI

Datos y Metodología.

Una vez analizada la situación actual del término municipal de Hellín, así como los recursos hídricos disponibles, las principales conclusiones en lo referente a su a gestión se resumen a continuación:

- Se observa que los regadíos que se abastecen a través del canal de Hellín tienen una serie de meses (octubre-abril) en los que se produce unos volúmenes que no son aprovechados por ellos, llegando a perder el poder de regulación sobre los mismos.
- Por otro lado, y especialmente en los meses de verano, existe un déficit medio interanual en esos mismos regadíos, el cual es compensado por las extracciones (2 hm³ máximos anuales) que se realiza sobre el acuífero del Boquerón.
- También se concluye que, pese a no haber reconocimiento oficial, ha habido una sobreexplotación del acuífero del Boquerón, evidenciado por la bajada continuada de los niveles piezométricos registrados, así como por la disminución continuada del caudal en la fuente de Isso a partir de 1990 y desaparición del mismo a partir del año 2000 y en otras fuentes de menor importancia del municipio. Como compensación a esa reducción y posterior desaparición de caudal de la fuente de Isso, asociada a los regadíos de esta pedanía, la CHS realizó la concesión de los volúmenes de déficit resultantes mediante la extracción de los mismos del acuífero del Boquerón.
- Es previsible que esta situación vaya empeorando a corto y medio plazo por la creciente incorporación de población activa al sector primario debido al elevado paro en el resto de sectores. Ello provocará un aumento significativo de regadíos que requerirán un mayor número de recursos. De hecho, en el año 2013 se ha realizado una concesión de 2,25 hm³/año a la SAT el Ojeado por la CHS en el pozo del Romeral, situado también sobre el

acuífero del Boquerón, el cual ha estado más de 20 años sin utilización y se equipa por primera vez para abastecer esta comunidad de regantes.

- Falta de consenso para fomentar una gestión eficaz y sostenible de los recursos hídricos existente. No existe un seguimiento de las necesidades mensuales de la zona abastecida más allá de la asignación fija comprometida. Asimismo, tampoco se establecen políticas de control de las extracciones subterráneas ante las evidentes presiones que sufre el acuífero del Boquerón frente a las demandas de unos regadíos que hacen un uso abusivo de las reservas del acuífero, sin tener en cuenta sus limitaciones a medio plazo.

Ante esta situación, en esta tesis se ha elaborado un modelo que sea capaz de representar los distintos elementos que componen el sistema estudiado, así como las relaciones entre ellos (existentes y programadas) con el fin de simular distintos escenarios en los que sea posible la incorporación del acuífero del Boquerón como “gran depósito regulador subterráneo” mediante la recarga de los excedentes que se produzcan en el sistema. De esta manera, será posible establecer las bases para realizar una comparación de cada uno de los escenarios propuestos.

La aplicación del modelo SIMGES (Andreu y Capilla, 1993) es una opción eficiente de modelización de la gestión conjunta de recursos hídricos, ya que permite la incorporación al acuífero como un “depósito” más de regulación que almacena agua durante épocas de excedentes y la suministra, cuando existe déficit. Este modelo viene avalado por su utilización en la mayoría de las Confederaciones Hidrográficas de nuestro país (CHS, 2007, CHT, 2007, CHG, 2007), además de numerosos estudios sobre las posibilidades de funcionamiento de un sistema de abastecimiento en diversas áreas en España (Armayer et al., 2001, Henche et al., 2002, Murillo y Navarro, 2008)

El modelo en cuestión, permite un análisis de los distintos parámetros intervinientes en el sistema, planteando una amplia variación de escenarios posibles y comprobando de esta forma, las garantías finales de suministro globales y particulares de las demandas establecidas, eligiendo de esta manera el punto o los puntos óptimos de funcionamiento del sistema estudiado.

Asimismo, mediante la incorporación del módulo Aquival (Andreu et al., 1997) de modelización de acuíferos, se analizará la evolución de los niveles piezométricos en el Boquerón de acuerdo a cada uno de los planteamientos realizados de gestión local posibles.

En este capítulo, se describirán las hipótesis y los datos tenidos en cuenta en el modelo desarrollado, el origen, investigación y obtención de éstos, así como la metodología empleada para el caso propuesto. Asimismo, se expondrá la selección de elementos que ofrece este modelo y que mejor se adaptan a nuestro estudio, sus condicionantes y relaciones entre ellos y el establecimiento de los distintos escenarios de funcionamiento para compararlos y fijar las bases para proceder al análisis de los resultados obtenidos.

VI.1.- Modelización del Acuífero el Boquerón.

El elemento fundamental de esta tesis es la incorporación del acuífero del Boquerón en el sistema hídrico de Hellín. Como se ha visto en el Capítulo V, debido a la garantía que este acuífero proporciona en el área de estudio, ha sido utilizado de manera continuada para alcanzar el importante desarrollo de los regadíos de la zona. Sin embargo, la inexistente planificación de las extracciones sobre el mismo ha provocado que desde finales de los años setenta los descensos en los niveles piezométricos sean continuados, superando en gran medida los volúmenes extraídos sobre las recargas naturales del mismo (IGME, 2010b). Este hecho, pone en riesgo el futuro y la continuidad de las superficies de cultivo que dependen del acuífero al enfrentarse cada vez a mayores costos de bombeo de las aguas subterráneas por aumento de las profundidades de extracción, así como por las limitaciones de la propia infraestructura instalada.

Por otro lado, la ubicación de este acuífero, bajo el canal de Hellín lo posibilita como receptor de las aguas del mismo en el caso de que existan excedentes sobre el consumo del área al que abastece, como es el caso. Este hecho se ve apoyado por los

estudios que se realizaron por Senent et al. (1975) que confirman las posibilidades de recarga artificial por parte de este canal sobre el acuífero en estudio.

Por todo ello, se cree fundamental la modelización matemática de este acuífero para analizar tanto las posibilidades del mismo dentro de la gestión conjunta de los recursos en Hellín, como su respuesta frente a las amenazas de una sobreexplotación actual y futura y su capacidad de hacerles frente.

Como ya se expuso en el Capítulo III, dentro de los modelos existentes para la modelización de acuíferos, se ha seleccionado el modelo Aquival, ya que, aparte de proporcionar tanto los parámetros de control como las variables del sistema necesarias para el estudio a realizar, se encuentra dentro del paquete Aquatool y permite la integración directa del mismo en el modelo SIMGES, básico en esta tesis.

El modelo Aquival utiliza el método de los autovalores, que sirve para modelar acuíferos de comportamiento lineal de manera distribuida. Este método es especialmente conveniente para la integración en un modelo de simulación de recursos hídricos por el bajo esfuerzo computacional que requiere, de ahí su uso dentro del paquete Aquatool.

Este modelo permite la discretización del acuífero mediante diferencias finitas y elementos finitos. Sin embargo, en la versión gratuita (disponible) sólo es posible realizarlo mediante diferencias finitas, estableciendo la definición del acuífero a través de celdas de unas determinadas dimensiones. Tras el estudio en el Capítulo V de las investigaciones realizadas sobre este acuífero en lo referente a los parámetros hidrogeológicos que lo definen, así como a su variación espacial, se han establecido celdas de 1000 m longitud y ancho, por lo que el acuífero del Boquerón quedaría definido finalmente por una matriz de 16 filas por 8 columnas, tal y como aparece en la figura 64.

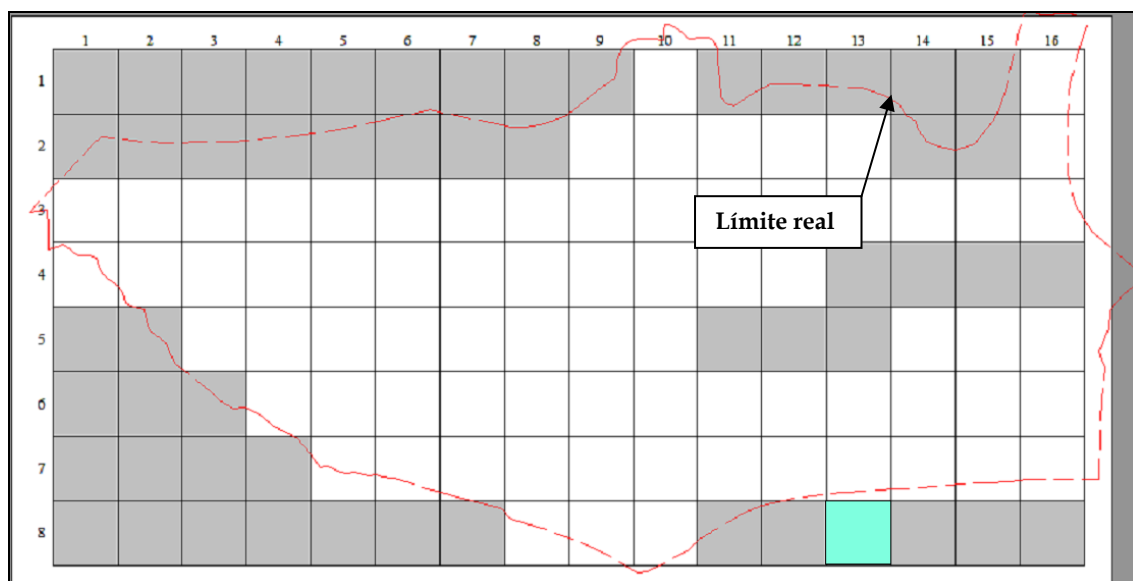


Figura 64. Discretización del acuífero del Boquerón.

Fuente: Elaboración propia.

Las celdas que quedan fuera de los límites del acuífero se establecen como inactivas (de color gris) y no intervienen de manera alguna en la modelización del mismo. Asimismo, también son inactivas aquellas celdas que coinciden con levantamientos del impermeable al este del acuífero, como se aprecia en el mapa de isopacas (figura 55), en el entorno de las celdas (5,11) a (16,4), y que las hacen igualmente inactivas. Por otro lado, se representa como zona con nivel externo el manantial de Isso (8,13), actuando como aliviadero del acuífero.

VII.1.1.- Parámetros Hidrogeológicos.

El modelo Aquival requiere la definición de los siguientes parámetros para la modelización del acuífero:

- Transmisividad con la fila inferior (T_i)
- Transmisividad con la columna derecha (T_d)
- Coeficiente de Almacenamiento (SF)
- Conductividad Vertical (CV)
- Altura inicial (h_0)
- Nivel externo (h_e)

Se permite la asignación de los valores considerados de una manera global para todo el sistema o particularizando los valores para cada una de las celdas. Obviamente, dadas las dimensiones de la formación considerada, estos parámetros son variables a lo largo del acuífero y se pasará a continuación a definir los valores asignados a las celdas definidas.

Transmisividades

Los valores de las transmisividades se han obtenido del mapa de isopacas (figura 55) realizado por Senent et al. (1975), que recoge la potencia mojada de Chorro en régimen natural, como han demostrado los estudios posteriores realizados por el IGME (2010b), así como la evolución del piezómetro de Peñarrubia, que pone de manifiesto el equilibrio de entradas y salidas del acuífero para el período de realización del mapa de isopacas considerado.

Para ello, se ha estimado el valor de la permeabilidad del acuífero en función de las transmisividades obtenidas en la realización del ensayo de bombeo de larga duración realizado en el acuífero del Boquerón por Senent et al. (1975), tal y como aparece en el tabla 23:

SONDEO	Transmisividad (m ² /h)	Potencia Mojada (m)	Permeabilidad (m/h)
BOQUERON (219)	124	150	0,83
BOQUERON (92)	128	150	0.85
CASA PEGOTE	118	100	1,18
CRUCE BIS	473	300	1,58
PAJUELA	296	300	0,99
CERRO PELAO	340	250	1,36

Tabla 23. Permeabilidad estimada del acuífero del Boquerón.

Fuente: Elaboración propia a partir de Senent et al. (1975).

Como se puede comprobar, la permeabilidad para cada uno de los puntos considerados en este ensayo es sensiblemente parecida, por lo que se adoptará como permeabilidad media del acuífero del Boquerón un valor de 1,13 m/h. Este dato se

tomará como referencia para calcular los valores de las transmisividades en cada una de las celdas discretizadas del modelo, considerando asociada la potencia del acuífero dada por el mapa de isopacas comentado. No obstante, debido a la heterogeneidad en lo referente a la disposición de materiales debido a los cabalgamientos, fallas y demás procesos geomorfológicos descritos en el Capítulo V, se hace necesario una homogeneización zonificada de los parámetros del acuífero para que el procesamiento del modelo confeccionado tenga la coherencia espacial requerida por el programa utilizado.

Así, finalmente, las transmisividades que se han introducido en el modelo, representativas de cada una de las celdas que definen el acuífero, se recogen en el Anejo 3. En ellas se puede apreciar que los fuertes gradientes hidráulicos hacia la fuente de Isso que se habían puesto de manifiesto en los diferentes estudios realizados sobre el acuífero (IGME, 2010b y Senent et al., 1975), quedan reflejados en unas transmisividades con dirección norte-sur y oeste-sur que aumentan cuanto más cerca se está de la salida principal de agua del acuífero (fuente de Isso), basadas en la estructura geológica descrita en el Capítulo V.

Además, estos valores se han cotejado con los estimados en el ensayo de bombeo de larga duración de Senent et al. (1975) según el cual se obtenía, por el método de Jacob, distintos valores de la transmisividad recogidos en la tabla 19, comprobándose la semejanza zonal de los datos obtenidos en dicho estudio con los estimados para cada una de las celdas.

Coeficiente de Almacenamiento

Según lo visto en el Capítulo V, el valor del coeficiente de almacenamiento para el acuífero del Boquerón varía entre 3% y el 8%, pasando a tener una ligera cautividad en las zonas de Cerro Pelao, Casa Pegote y Cruce bis, con valores de $3 \cdot 10^{-3}$ a $2 \cdot 10^{-3}$.

En base a ello, y siguiendo por otra parte los valores medios estimados por el IGME (2013) en el presente acuífero, se ha considerado como un valor global

representativo del acuífero del 3%, asignándose a todas las celdas activas del acuífero modelizado.

Altura inicial

La altura inicial piezométrica que se considerará en el modelo dependerá del momento que se establezca como origen en nuestro estudio. Por ello, por un lado, para calibrarlo se ha contado con los diferentes mapas piezométricos realizados sobre el acuífero, que quedan expuestos en las figuras 47 y 48.

Debido a que las diferencias de interpretación de los niveles registrados difieren enormemente en uno (Senent et al.,1975) y otro estudio (IGME, 2010b), se ha procedido a una recopilación de los niveles piezométricos de todos los sondeos y piezómetros (incluido el único gestionado por CHS) en la serie de registros existentes, que se encuentran sobre el acuífero del Boquerón para poder realizar una calibración fidedigna de la modelización del acuífero en función de las explotaciones realizadas sobre el mismo.

Así, tras haber consultado al IGME, se han conseguido todos los sondeos y puntos de control que sobre este acuífero dispone este organismo (Figura 65) y del que se ha llevado un control de los niveles piezométricos desde 1970.

Sin embargo, no de todos los puntos inventariados se ha seguido su evolución hasta la actualidad, sino que de gran parte de los mismos sólo se dispone valores de los años 70 y 80, como se recoge en la tabla 24.

Pese a no contar con una información completa de todos los sondeos existentes en el área de estudio con datos hasta la actualidad, se utilizará la evolución de los niveles de aquellos puntos con suficientes registros para la posterior validación del modelo que represente al acuífero del Boquerón.

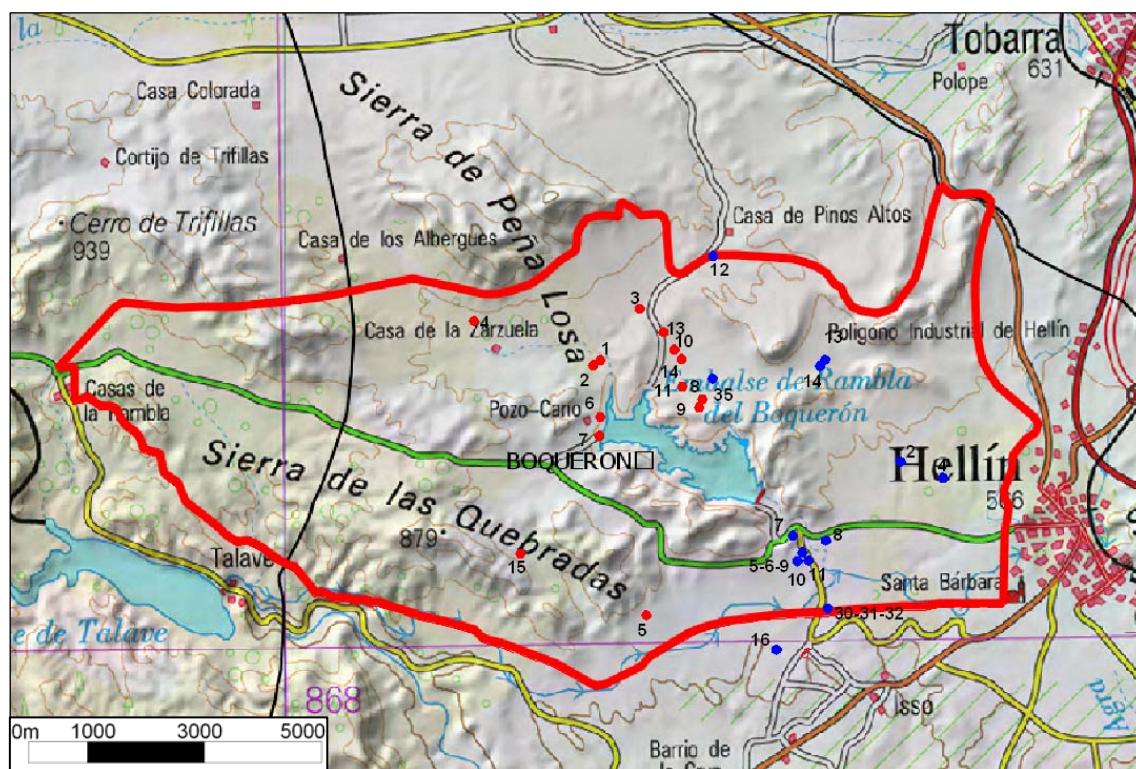


Figura 65. Sondeos y piezómetros de control en el Boquerón.

Fuente: Elaboración propia.

Sondeo	Año	Nivel piezométrico (m.s.n.m.)
Sondeos en color rojo		
1	1970	578,95
2	1974	516.83
	1975	518.11
	1976	518.25
	1977	518.74
	1978	518.9
	1979	519.17
	1980	519.12
	1981	516.32
	1982	516.49
	1983	515.75
	1984	515.15
	1985	514.81
	1986	514.6
3 (Piezómetro Peñarrubia)	1974	579.61
	1975	579.72
	1976	580.15

	1977	580.59
	1978	580.72
	1979	580.79
	1980	580.54
	1981	580.28
	1982	579.71
	1983	579.4
	1984	579.05
	1985	578.63
	1986	576.05
	1987	574.09
	1988	573.57
	1989	574.03
	1990	575.04
	1991	575.91
	1992	574.74
	1993	574.14
	1994	574.25
	1995	573.88
	1996	573.33
	1997	572.17
	1998	572.4
	1999	571.15
	2000	570.5
	2001	570.76
	2002	569.48
	2003	569.06
	2004	568.79
	2005	567.75
	2006	566.95
	2007	566.01
	2008	565.37
	2009	564.66
	2010	564.22
	2011	563.87
	2012	563.29
	2013	563.33
4	1970	588.9

5	1974	509.73
	1975	510.03
	1976	509.43
	1977	509.71
	1978	510.31
	1979	510.46
	1980	510.42
	1981	506.25
	1982	508.82
	1983	508.17
	1984	506.55
	1985	507.69
	1986	508.76
	1987	508.92
	1988	509.32
	1989	508.62
	1990	509.42
	1991	509.42
	1992	492.92
	1993	492.47
6	1970	611.91
7	1970	585.85
8	1970	635.75
9	1970	636.8
10	1970	625.44
11	1970	621.18
13	1984	545.4
14	1985	542
Sondeos en color azul		
5	1970	509.41
6	1970	509.42
7 (El Romeral)	1968	507.33
	1980	500.09
	1981	506.35
	1982	507.80
	2006	499.33
9	1970	509.42
10 (Batería El Boquerón)	1974	509.38

	1975	509.58
	1976	509.33
	1977	509.25
	1978	509.88
	1979	509.95
	1980	509.88
	1981	506.34
	1982	508.46
	1983	507.91
	1984	503.68
	1985	506.85
	1986	507.54
	1987	508.62
	1988	508.05
	1989	508.59
	1990	509.32
11	1974	508.28
	1975	508.08
	1976	507.92
	1977	508.89
	1978	509.43
	1979	509.53
	1980	509.63
12	1970	510.48
13	1970	659.22
14	1970	643.74
16	1970	498.34
30	1980	507.37
31	1981	505.98
	1982	506.85
32	1980	507.35
34	1981	662.82
	1982	662.25
	1983	661.63

Tabla 24. Evolución de los niveles piezométricos en los sondeos del Boquerón.

Fuente: Elaboración propia.

Así, se partirá de los niveles registrados entre los años 70-80 (prácticamente constantes) como representativos del régimen natural y se procederá a correr el modelo realizado bajo la acción de los caudales extraídos y recargas producidas, iterando los parámetros del acuífero para ajustar los descensos registrados en los piezómetros de los que se dispone registro de datos en los durante los últimos 37 años. Por otro lado, una vez que se tenga validado el modelo, se considerará como altura piezométrica inicial de cada una de las celdas la resultante del último año analizado en la evaluación inicial. Los datos introducidos en el modelo para cada una de las celdas del acuífero modelizado se adjuntan en el Anejo 3.

Nivel externo

Sólo se ha considerado la celda (8,13) con nivel externo, correspondiente a la cota de rebose de la fuente de Isso.

Conductividad vertical

En cuanto al parámetro de conductividad vertical, se considerará nulo en todo el acuífero ya que es despreciable en el funcionamiento global del sistema.

VII.1.2.- Acciones Elementales.

Por acciones elementales, se entiende toda acción exterior sobre el acuífero que provoca una variación en los parámetros de control posteriormente elegidos. Estas acciones representarán todos los caudales, tanto de extracción como de recarga que se plantean sobre el acuífero. Para ello, se indican todas aquellas celdas del sistema sobre las que se consideran dichas acciones elementales asignándole a cada una de ellas el peso en tanto por uno que tiene sobre la acción considerada. El modelo Aquival permite esta asignación de pesos de cuatro formas distintas:

- Proporcional al coeficiente de almacenamiento
- Proporcional al área
- Reparto uniforme en función del número de celdas

- Manualmente e individualizado para cada celda

Las acciones elementales que se han considerado en el presente modelo son las siguientes:

- Recarga de lluvia directa a través de la superficie permeable del acuífero del Boquerón.
- Transferencia de agua a través del Acuífero de Umbría
- Bombeos de Comunidad de Regantes Martínez Parras
- Bombeo Sociedad Agraria de Transformación Ojeado
- Bombeos de Comunidad de Regantes Fuente de Isso
- Bombeos de la Comunidad de Regantes de Peñarubia
- Bombeos de la demanda Urbana
- Recarga Artificial del acuífero

En el Anejo nº 3 se muestran las celdas y los pesos asignados a cada una de las celdas para las acciones elementales consideradas.

VII.1.3.- Parámetros de Control.

El parámetro de control es el valor indicador del estado del acuífero. Se ha distinguido dos tipos de parámetros para controlar su evolución, tanto para calibrar el modelo, como en la respuesta del mismo ante los escenarios planteados, los cuales serán:

- Volumen Total almacenado por el acuífero
- Altura piezométrica en un conjunto de celdas

Las celdas que se han considerado representativas del comportamiento global del acuífero y cuyos resultados serán los que se tomarán como base para la calibración del modelo, así como para la representación de los mapas de isopiezas en cada una de las hipótesis o momentos considerados, vienen dadas por la figura 65.

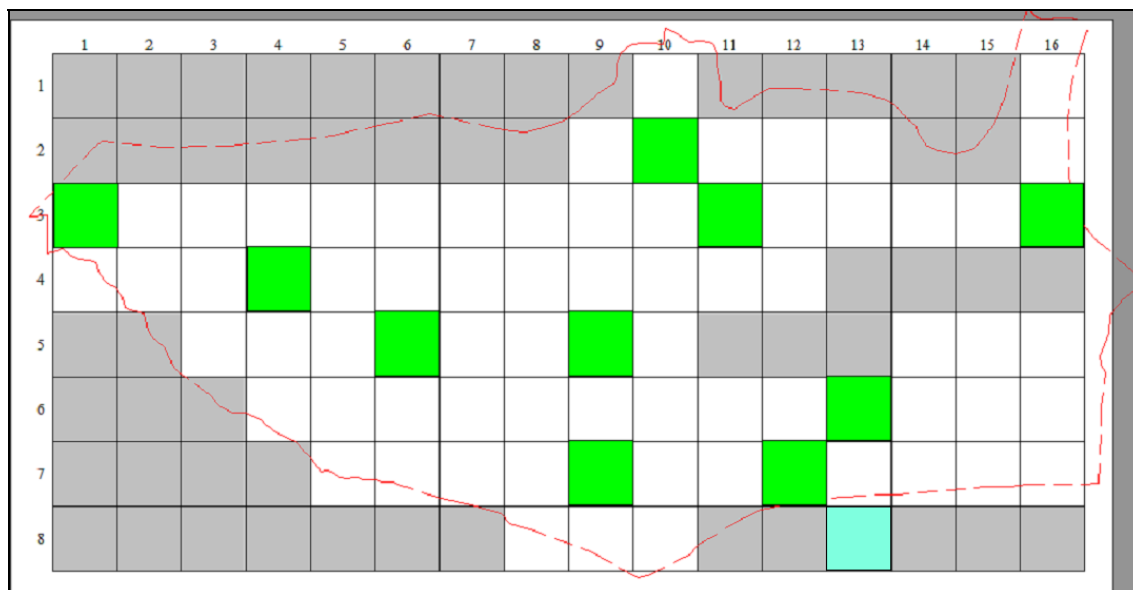


Figura 65. Celdas de control de nivel piezométrico.

Fuente: Elaboración propia.

Entre las celdas seleccionadas, se encuentran aquéllas sobre las que se realizan las extracciones de agua para los regadíos, que extraen agua del Boquerón (celda (6,13) para los regadíos de Martínez Parras, Fuente de Isso y Ojeado y celda (3,11) para los de Peñarrubia), así como el piezómetro oficial de CHS (celda (2,10)) y la zona sobre la que se simulará la recarga artificial (celda (7,12)).

VII.1.4.- Validación del modelo.

Una vez establecida la discretización del acuífero, asignando a cada una de las celdas que caracterizan el modelo las características hidrogeológicas que definen el comportamiento del mismo y habiendo establecido los parámetros de control que nos ofrecerán las respuestas del Boquerón ante los escenarios planteados, se ha procedido a validar el modelo propuesto. Para ello, se han simulado las extracciones y recargas que se han producido en el acuífero estudiado durante los últimos 37 años (1975-2012) en base a los datos recopilados.

Según el informe de la CHS de 2006 (Anejo 2), donde se realiza la concesión de los caudales y volúmenes actuales a extraer del acuífero del Boquerón para las comunidades de riego de la Fuente de Isso, así como para las puntas de consumo en

verano de la de Martínez Parras, se indica que esta última comunidad de regantes ha venido extrayendo del acuífero los volúmenes correspondientes a los déficits que en los meses de verano no eran capaces de satisfacer las demandas de la zona con los recursos superficiales procedentes del canal de Hellín.

En el caso de la comunidad de regantes de la Fuente de Isso, los recursos hídricos utilizados para los regadíos asociados eran suministrados mediante los caudales de la fuente del mismo nombre, compensándose con las extracciones del Boquerón en momentos de punta, al igual que la comunidad de regantes de Martínez Parras. Con la disminución de los caudales de la fuente a partir de 1990, y la práctica desaparición de los mismos diez años más tarde, esta comunidad de regantes se ha visto obligada a ir acrecentando los volúmenes extraídos del Boquerón, para satisfacer las demandas totales de los cultivos abastecidos, hasta depender exclusivamente del acuífero a partir del año 2000.

Así, para validar el modelo del acuífero del Boquerón, se ha partido de los consumos anuales de las comunidades de regantes (Tabla 18) que hasta el año 2013 han extraído agua del acuífero del Boquerón, Martínez Parras, Fuente de Isso y Peñarrubia, ya que el pozo del Romeral, que utiliza la SAT del Ojeado, ha entrado este mismo año en funcionamiento.

El período de validación utilizado ha sido de 37 años, ya que se ha partido de los niveles piezométricos de los sondeos controlados por el IGME del año 1976, considerados éstos como representativos del último período registrado en régimen natural. Para ese período, se han estimado los caudales de recarga mensuales sobre el acuífero del Boquerón y el acuífero de Umbría mediante la utilización del programa Visual Balan v.2 (Samper et al., 1999), tal y como se recoge en el apartado VI.2.1.3, así como los caudales extraídos para cada una de las comunidades de regantes. En el caso de la comunidad de regantes de Martínez Parras, debido a que el consumo de recursos subterráneos sólo se produce en los meses de verano, se ha evaluado el déficit medio anual que existe para los meses de junio-septiembre, suponiendo que éstas han sido las extracciones realizadas anualmente sobre el acuífero concentradas en el período estival (Tabla 31). Para la comunidad de regantes de Isso se ha considerado que las

extracciones hasta el año 1990 han coincidido con los déficits mensuales para los meses de mayo-agosto que la fuente de Isso (con una media de caudal de 82 l/s según CHS según resolución adjunta en Anejo 2) no podía suministrar y, a partir de ese momento y hasta el año 2000, se ha interpolado linealmente hasta la consideración de un abastecimiento exclusivo de estos regadíos mediante bombeo de aguas subterráneas del acuífero en cuestión.

En el caso de los cultivos de la comunidad de regantes de Peñarrubia, dado que nunca han tenido otra posibilidad que los recursos subterráneos, se ha considerado una alimentación exclusiva de estos regadíos con recursos procedentes del acuífero del Boquerón.

La distribución mensual de los consumos de unas y otra comunidades de regantes se han realizado en base a la tabla 10 de distribuciones mensuales de las dotaciones hídricas para regadíos del Plan Hidrológico de Cuenca (CHS, 1998).

Los datos utilizados para la validación del modelo vienen recogidos en el Anejo 3.

VI.2.- Modelo SIMGES.

En el presente epígrafe se describirán los distintos elementos seleccionados para configurar el modelo de gestión hídrica, así como la relación entre ellos, sus reglas de funcionamiento, prioridades y los distintos escenarios planteados para posteriormente realizar un análisis comparativo de los mismos.

VI.2.1.- Aportaciones.

Se considera aportación a aquel elemento que incorpora agua al sistema. En nuestro caso, se distinguen las siguientes aportaciones en el modelo estudiado:

- Canal de Hellín.

- Impulsión de Hellín
- Recarga natural de lluvia en el acuífero del Boquerón
- Transferencia del acuífero de Umbría.

Se pasa a continuación a la exposición de los datos considerados para cada uno de los elementos aportaciones listados.

VI.2.1.1.- Canal de Hellín

Como se ha descrito en el capítulo IV, el canal de Hellín toma las aguas del río Mundo, aguas arriba del embalse del Talave, concretamente en el azud de Liétor. Este canal aporta la mayoría de los recursos hídricos que demanda el término de Hellín, tanto para uso urbano como para uso en regadío. Se tiene asignado un caudal máximo de 1.000 l/s, de los que 900 l/s son usados para los regadíos de la unidad de demanda agraria 10 (Comunidad de regantes Martínez Parras) y el resto (100 l/s) son tratados en la potabilizadora de Hellín y bombeados a los depósitos de regulación para el consumo doméstico urbano.

Los volúmenes suministrados por este canal están condicionados por el nivel de agua en el río Mundo y de ello provoca una variación mensual que estará asociada a la pluviometría del año hidrológico en cuestión. En el Anejo 1 se muestran los datos registrados en el caudalímetro instalado a la salida del canal de Hellín, cuyos volúmenes mensuales publicados (CEDEX, 2013) están contabilizados desde el año 1966 hasta el año 2010. Dado el extenso período de datos disponibles, se ha considerado representativo para esta tesis el promedio histórico mensual, el cual arroja un valor anual de 20,5 hm³/año, aproximadamente un 50% del valor teóricamente consignado (1.000 l/s) anualmente, que ascendería a un volumen total de 39,42 hm³/año.

Finalmente la distribución mensual considerada en esta aportación vendría dada por la tabla 25.

Mes	Aportaciones Medias (hm ³)
octubre	1.7
noviembre	1.1
diciembre	1.1
enero	0.9
febrero	0.7
marzo	1.2
abril	1.9
mayo	2.4
junio	2.4
julio	2.5
agosto	2.4
septiembre	2.3

Tabla 25. Aportaciones medias del canal de Hellín.

Fuente: Elaboración propia a partir de CEDEX. (2013).

VI.2.1.2.- Impulsión de Hellín

La impulsión de Hellín es la otra importante captación que el municipio tiene para abastecer la demanda urbana de agua potable. La toma se realiza directamente en la presa de Talave y mediante conducción forzada llega, al igual que el canal de Hellín, a la potabilizadora La Losilla. Los datos de suministro a través de esta conducción (CEDEX, 2013) se remontan al año 1997 y ponen de manifiesto que la asignación teórica de 65 l/s se mantienen mensualmente (0,2 hm³/mes) sin sufrir apenas variaciones destacables, como se puede comprobar en la figura 25.

Los datos de suministro introducidos en el modelo para esta toma de suministro urbano exclusivamente vienen recogidos en el tabla 26.

Mes	Aportaciones Medias (hm ³)
octubre	0.2
noviembre	0.2
diciembre	0.2
enero	0.2
febrero	0.2
marzo	0.2
abril	0.2
mayo	0.2
junio	0.2
julio	0.2
agosto	0.2
septiembre	0.2

Tabla 26. Aportaciones de la impulsión de Hellín.

Fuente: Elaboración propia a partir de CEDEX. (2013).

VI.2.1.3.- Recarga de lluvia del acuífero del Boquerón

La principal recarga natural del acuífero del Boquerón es la infiltración que se produce por la lluvia caída en las superficies permeables que, como se determinó en el Capítulo V, suman la cantidad de 30,43 km².

Para cuantificar la recarga natural del acuífero se ha utilizado el programa Visual Balan v.2 (Samper et al., 1999), que permite aplicar distintas hipótesis de cálculo a nivel diario, de ETP, ETR, infiltración directa y diferida, escorrentía superficial y otros factores que inciden en la recarga, como interceptación o encharcamiento. La ventaja principal de este modelo es que permite cambiar de una manera sencilla un gran número de parámetros que pueden ser optimizados de forma automática dentro de unos rangos de variación.

Los datos de pluviometría y temperatura utilizados han sido los que recoge la estación termopluviométrica de Hellín I.L. para un período de 35 años (1961-1996), considerados apropiados para el propósito de esta tesis. Asimismo, los parámetros utilizados para la aplicación del modelo sobre el acuífero del Boquerón se encuentran

recogidos en la Tabla 27, considerados como orientativos y objeto de reconsideración para posteriores investigaciones.

En la figura 66 se muestra el gráfico arrojado por el programa como resultado del balance resultante en la zona, de acuerdo a los valores recogidos en la tabla 27.

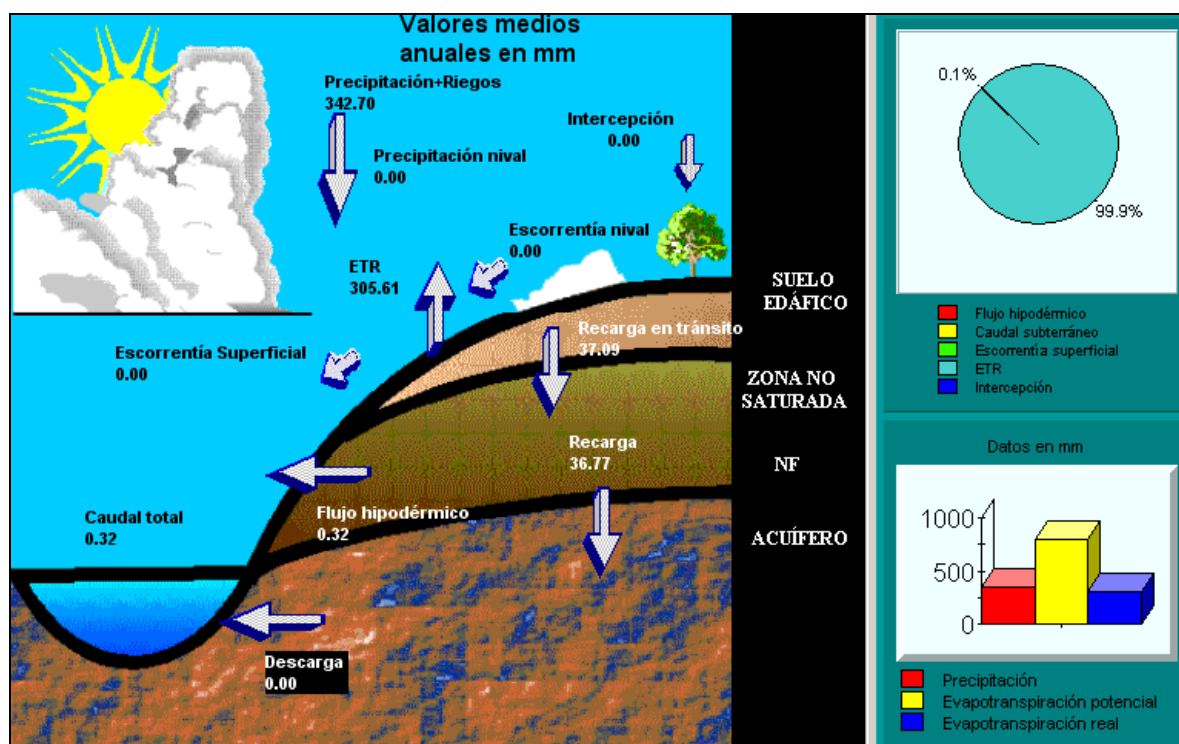


Figura 66. Valores medios anuales del balance hidrológico en el acuífero del Boquerón.

Elaboración propia.

De acuerdo con el estudio del IGME (2010b) sobre la unidad hidrogeológica del Boquerón, se realizaba una estimación de la recarga en dicha unidad en torno al 10,66 % por similitud con el análisis realizado del Alcadozo. En el modelo planteado, la cifra obtenida (10,72%) es muy similar a la expuesta en dicho estudio, lo que avala la fiabilidad de la misma.

PARÁMETROS	Valores estimados
SUELO EDÁFICO	
Porosidad total (%)	8
Punto de marchitez (%)	3
Capacidad de campo (%)	7
Humedad inicial (%)	3
Espesor del suelo (m)	0,8
Permeabilidad vertical	0,0001
Reserva útil resultante (mm)	32
DATOS GEOGRÁFICOS	
Latitud	38° 30' 43''
Área (km ²)	30,43
RECARGA EN TRÁNSITO	Método Convencional
FLUJO PREFERENTE	Sin flujo preferente
CÁLCULO ETP	Thornthwaite
CÁLCULO ETR	
Método	Penman-Grindley
CRPG (mm)	0
CEPG (adimensional)	1
ESCORRENTÍA SUPERFICIAL	
Método	Horton
CIM Φ (mm/día)	50
CIM1 (mm/día)	70
ZONA NO SATURADA	
Coeficiente de agotamiento flujo hipodérmico (días ⁻¹)	0.006
Permeabilidad vertical (mm/día)	1000
Coeficiente de agotamiento percolación (días ⁻¹)	0,6931
Contenido inicial de agua (mm)	0
ACUÍFERO	
Coeficiente de agotamiento del acuífero (días ⁻¹)	0,0035
Coeficiente de almacenamiento (adimensional)	0,05
Nivel Inicial / Nivel de descarga	562/570

Tabla 27. Parámetros utilizados en el model Visual Balan para la recarga del acuífero del Boquerón. Elaboración propia.

En la figura 67, se muestra la comparativa entre la pluviometría media mensual y la recarga que se produce al acuífero del Boquerón, la cual será la que finalmente se utilizará en el modelo de gestión conjunta analizado.

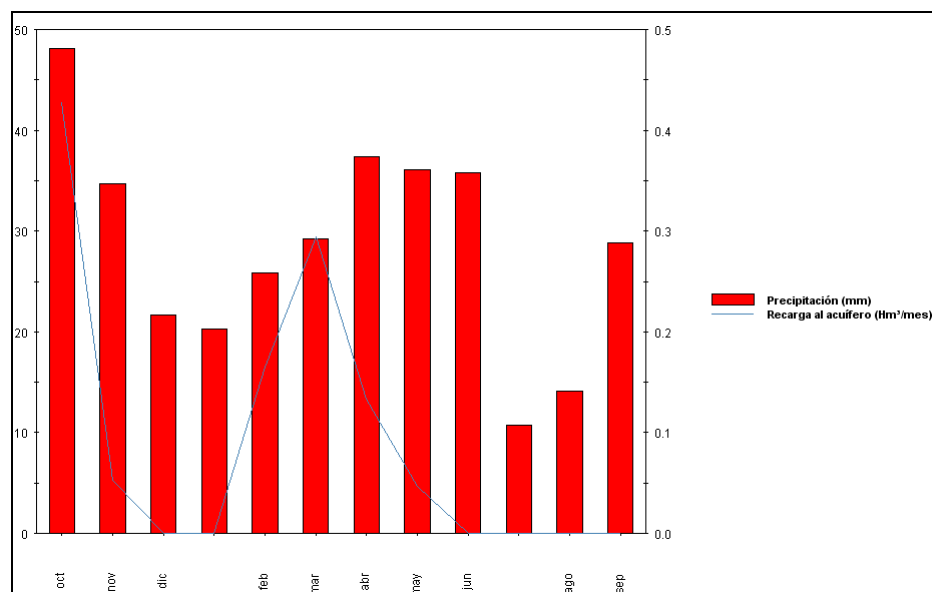


Figura 67. Comparativa entre precipitación y recarga media mensual en el acuífero del Boquerón. Elaboración propia.

Finalmente, la recarga anual, según el modelo analizado, será de 1,28 hm³/año, repartidos mensualmente de acuerdo a la tabla 28.

Mes	Recarga Acuífero (hm³)
octubre	0.43
noviembre	0.05
diciembre	0
enero	0.16
febrero	0.16
marzo	0.30
abril	0.13
mayo	0.05
junio	0
julio	0
agosto	0
septiembre	0

Tabla 28. Recarga media mensual del acuífero del Boquerón. Elaboración propia.

VI.2.1.4.- Recarga de lluvia del acuífero de Umbría

Como se ha expuesto en el Capítulo V, los caudales de la fuente de Isso (y las otras pequeñas fuentes) en régimen natural no podían ser producidos únicamente por la lluvia infiltrada en la superficie permeable del acuífero del Boquerón. En el balance del sistema realizado por Senent et al. (1975) y posteriormente por IGME (2010b), se comprobaba que existe un flujo subterráneo entre el acuífero de Umbría y el acuífero del Boquerón que explicaría el volumen total de las salidas por estas fuentes. Así, se hace necesario incorporar al sistema estudiado la recarga por lluvia que se produce en el acuífero de Umbría que en régimen natural son transferidas prácticamente en su totalidad al acuífero del Boquerón.

Por ello, para calcular la recarga por lluvia del acuífero de Umbría, se procederá de igual forma que la planteada para el acuífero del Boquerón, considerándose válidos los parámetros anteriormente adoptados (Tabla 27).

La superficie permeable de este acuífero de Umbría es de 47,40 km² (IGME, 2010b) y las características termopluviométricas serán las que determina la estación termopluviométrica utilizada para el acuífero del Boquerón (Hellín I.L.) debido a que es, al igual que el caso anterior, la más próxima a la zona permeable del acuífero de Umbría.

Así, la recarga media anual para el acuífero de Umbría resulta de 1,74 hm³/año, infiltrados mensualmente de acuerdo a la tabla 29.

VI.2.1.1.- Otras Aportaciones

En el Capítulo IV se han expuesto otras posibles fuentes generadoras de recursos hídricos en el sistema estudiado como son la estación depuradora de aguas residuales del municipio y el embalse del Boquerón. Las aportaciones de estas infraestructuras no han sido tenidas en cuenta en la modelización realizada por las siguientes causas:

Mes	Recarga Acuífero (hm ³)
octubre	0.66
noviembre	0.08
diciembre	0
enero	0
febrero	0.25
marzo	0.46
abril	0.21
mayo	0.07
junio	0
julio	0
agosto	0
septiembre	0

Tabla 29. Recarga media mensual del acuífero del Umbría.

Elaboración propia.

- E.D.A.R. de Hellín. Debido a la localización de la depuradora de aguas residuales, no es económicamente rentable la recarga del acuífero del Boquerón con aguas depuradas ya que, debido a su cota geométrica, sería necesario el bombeo de longitud 5 km aproximadamente a una altura mínima de 50 m (diferencia geométrica entre E.D.A.R. y el acuífero), lo que encarecería desmesuradamente el precio final del recurso. Además, las aguas depuradas son actualmente utilizadas por los regadíos situados aguas abajo de la depuradora (J.C.C.M., 2010), luego el aprovechamiento es integral.
- Embalse del Boquerón. El embalse del Boquerón está situado en la rambla del mismo nombre y su función es la laminación de las avenidas de las ramblas del Mullidar, Rincón del Moro y Boquerón, protegiendo de períodos de gota fría a las poblaciones de Tobarra, Hellín e Isso. Debido a que la retención de aguas sólo se producirá para lluvias período de retorno elevados, no parece lógico contar con los poco probables volúmenes que podrían incorporar este elemento al sistema, ya que sólo se podrían considerar para períodos interanuales superiores a diez años siendo, por otro lado, imprecisa la cuantificación de su volumen. Además, este embalse no cuenta con la infraestructura propia de regulación y almacenamiento de

caudales, por lo que se debería considerar una modificación del aparataje hidromecánico y de seguridad que dispone, lo cual no parece factible dada la escasa repercusión que representaría en el conjunto del sistema local. Es por todo ello, que el embalse del Boquerón no será considerado en las simulaciones y estudio abordado por la presente tesis.

VI.2.2.- Demandas.

Las demandas serán todos aquellos elementos que utilizan agua procedente del sistema. Entre estos elementos se pueden distinguir dos tipos: demandas consuntivas y demandas no consuntivas. Las primeras hacen referencia a la fracción de la demanda de agua que no se devuelve al medio hídrico después de su uso, siendo consumida por las actividades, descargada al mar o evaporada. Incluye parte de demanda urbana, irrigación y las demandas de agua industriales (CHS, 2013). Las demandas no consuntivas, por tanto, son la fracción de la demanda de agua que se devuelve al medio hídrico sin alteración significativa de su calidad. Incluye la generación hidroeléctrica, sistemas de refrigeración, acuicultura, efluentes domésticos, retornos de riego y caudales medioambientales (CHS, 2013).

En el sistema estudiado se han considerado las siguientes demandas:

- Demandas Consuntivas:
- Comunidad de Regantes Martínez Parras (Unidad de Demanda Agraria UDA 10: Canal de Hellín)
- Sociedad Agraria de Transformación Ojeado
- Comunidad de Regantes Fuente de Isso
- Comunidad de Regantes Peñarrubia
- Demanda Urbana de Hellín.

Demandas No Consuntivas:

- Retornos de riego.
- Retornos de demanda urbana.

Se describe a continuación pormenorizadamente cada uno de estos elementos.

VI.2.2.1.- Comunidad de Regantes Martínez Parras.

Esta comunidad de regantes es la que CHS identifica como la UDA 10: Canal de Hellín, ya que sus aportaciones principales proceden del río Mundo a través del canal que le da este nombre. En el Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura (CHS, 1998) se establece una superficie total de cultivo de 4.767 Ha y un consumo bruto anual de 22,48 hm³, lo que supone una dotación de 5.841 m³/ha/año. Estos mismos datos se repiten en otros documentos más recientes de la CHS, tales como el Plan especial ante situaciones de alerta y eventual sequía de la Cuenca del Segura. (CHS, 2007), así como en las Memorias Anuales de dicha Confederación de los años 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009 y 2010 (CHS, 2013), permaneciendo idénticos datos de referencia.

Sin embargo, en el informe que se acompaña como Anejo 2 de fecha noviembre de 2006 en el que se realiza la concesión de los caudales correspondientes a la batería de pozos de extracción de agua subterránea del acuífero del Boquerón, al hacer referencia a esta comunidad de regantes se contabiliza una superficie total de 2.838 Ha y un aprovechamiento del acuífero de 2 hm³ disponibles en aquellas épocas del año (verano) en las que el canal de Hellín no sea capaz de cubrir las demandas totales de estos regadíos.

No obstante, en las diversas encuestas realizadas a las distintas comunidades de regantes de la zona, como a empresas de servicios de explotación y mantenimiento de las instalaciones los sondeos del Boquerón, se ha concluido que la cifra más real es la que nos aportan estas sociedades y organismos locales que apuntan a una superficie de regadío de 3.185 Ha, con un consumo medio anual de 18,50 hm³, lo cual arrojaría una dotación bruta de 5.808 m³/ha/año, similar a la que contempla el Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura (CHS, 1998) para estos regadíos, por lo que finalmente se considera válida esta cifra.

La distribución mensual se determinará en función del porcentaje deducido de la tabla 10 (CHS, 1998), por lo que el consumo mensual de la comunidad de regantes Martínez Parras será la que indica la tabla 30.

Mes	(%)	hm ³
octubre	6.64	1.494
noviembre	0.0	0.000
diciembre	0.0	0.000
enero	0.0	0.000
febrero	1.63	0.366
marzo	1.03	0.231
abril	9.02	2.027
mayo	8.08	1.816
junio	19.53	4.392
julio	26.67	5.997
agosto	19.39	4.360
septiembre	8.01	1.801

Tabla 30. Demanda mensual de la CR Martínez Parras.

Elaboración propia.

Esta tabla proporciona la totalidad de agua demandada por los cultivos de la comunidad de regantes de Martínez Parras a lo largo del año. Estos volúmenes serán suministrados por el canal de Hellín, salvo en los períodos estivales, tal y como se muestra en la figura 56. La concesión de volumen de agua subterránea anual para esta comunidad de regantes es de 2 hm³, lo cual supondrá un reparto entre los meses de junio-agosto según la Tabla 31.

Mes	(%)	hm ³
junio	33.25	0.665
julio	33.41	0.668
agosto	33.34	0.667

Tabla 31. Recursos subterráneos de la CR Martínez Parras.

Elaboración propia.

VI.2.2.2.- *Comunidad de Regantes Fuente de Isso*

Como se ha comentado en apartados anteriores, la comunidad de regantes de la Fuente de Isso se abastecía en un principio (con apoyo puntual de aguas subterráneas) mediante la fuente que le da su nombre, la salida principal del acuífero del Boquerón. Sin embargo, a partir de 1990, los caudales de esta fuente fueron reduciéndose hasta prácticamente desaparecer en el año 2000. Durante este período, esta comunidad de regantes fue necesitando cada vez más recursos procedentes del Boquerón, dependiendo totalmente del acuífero desde finales del siglo pasado. Por ello, en las simulaciones realizadas, la demanda hídrica de estos regadíos procederá en su totalidad del acuífero del Boquerón.

Según la resolución de CHS sobre la concesión de aguas del acuífero recogida en el Anejo 2, el volumen máximo anual para esta comunidad de regantes es de 3.561.600 m³. Sin embargo, tal y como se refleja en la Tabla 20, los consumos son claramente inferiores a esta cantidad, quedando generalmente por debajo de 2,6 hm³/año, volumen que se tomará como referencia para asignar a las 742 ha que riegan. Además, la dotación bruta resultante de considerar este volumen es de 3.484 m³/ha/año, dotación que está en consonancia con los 4.000 m³/ha/año que tiene fijado el Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura (CHS, 1998) para los riegos que pertenecen a la UDA nº 7, subterráneas de Hellín-Tobarra, en la que se encontraría estos cultivos. Según este documento, los porcentajes de distribución mensuales del consumo anual queda tal y como se muestra en la tabla 31.

VI.2.2.1.- *Sociedad Agraria de Transformación Ojeado*

No ha sido hasta el año 2013, cuando la SAT Ojeado ha empezado a explotar el sondeo del Romeral, pozo que fue equipado en el año 2008 por la Consejería de Agricultura de la Junta de Comunidades de Castilla la Mancha para compensar la reducción de caudales en la batería de los tres sondeos del Boquerón, situados a unos 200 m del pozo del Romeral. La concesión anual al Ojeado es de 2,25 hm³, cuyo reparto mensual sigue la misma distribución que la CR Fuente de Isso, ya que pertenece a la

misma UDA (nº 7), que son los regadíos con agua subterránea Hellín-Tobarra, de valores recogidos en la Tabla 33.

Mes	(%)	hm ³
octubre	4.48	0.116
noviembre	0.0	0.000
diciembre	0.0	0.000
enero	0.0	0.000
febrero	3.06	0.079
marzo	3.53	0.091
abril	7.83	0.202
mayo	10.67	0.276
junio	21.23	0.549
julio	21.33	0.552
agosto	21.29	0.550
septiembre	6.59	0.170

Tabla 32. Demanda mensual de la CR Fuente de Isso.

Elaboración propia.

Mes	(%)	hm ³
octubre	4.48	0.101
noviembre	0.0	0.000
diciembre	0.0	0.000
enero	0.0	0.000
febrero	3.06	0.069
marzo	3.53	0.079
abril	7.83	0.176
mayo	10.67	0.240
junio	21.23	0.478
julio	21.33	0.480
agosto	21.29	0.479
septiembre	6.59	0.148

Tabla 33. Demanda mensual de la SAT Ojeado.

Elaboración propia.

VI.2.2.2.- Comunidad de Regantes de Peñarrubia

Al igual que las dos últimas comunidades de regantes, los regadíos de Peñarrubia se abastecen del acuífero del Boquerón exclusivamente y, dado que pertenecen a la UDA nº 7, la distribución mensual de consumos vendrá definida por la tabla 20.

Mes	(%)	hm ³
octubre	4.48	0.045
noviembre	0.0	0.000
diciembre	0.0	0.000
enero	0.0	0.000
febrero	3.06	0.031
marzo	3.53	0.035
abril	7.83	0.078
mayo	10.67	0.107
junio	21.23	0.212
julio	21.33	0.213
agosto	21.29	0.213
septiembre	6.59	0.066

Tabla 34. Demanda mensual de la CR Peñarrubia.

Elaboración propia.

VI.2.2.3.- Demanda urbana de Hellín

Para determinar el consumo de agua potable que realiza el municipio de Hellín, en primer lugar habrá que estimar la dotación por habitante. De acuerdo a los datos más recientes publicados de consumo en Hellín (J.C.C.M., 2010) relativos al año 2002, el consumo para una población total de 27.609 habitantes fue de 3.435.172 m³. En este volumen están considerados los consumos totales realizados de agua potable, es decir, los correspondientes a dotación urbana, comercial, equipamientos, industrial y resto de usos con acceso a la red de abastecimiento municipal. Según ello, la dotación por habitante resultaría 341 l/s/día, cifra objetivamente elevada si se realiza la comparación con los valores de 240 l/s que se recoge en el PHCS (CHS, 1998), así como los 250 l/s recomendados por las Normas para la Redacción de Proyectos de

Abastecimiento y Saneamiento de Poblaciones (MOPU, 1975). Ese mismo año, la empresa gestora de la explotación de las aguas estimaba que las pérdidas totales en el conjunto de infraestructuras de abastecimiento podían alcanzar un porcentaje del 40%, por lo que el valor de dotación neto se reduciría a la cantidad de 204,53 l/s. Además, son muchos los organismos (IAGUA, 2012, INE, 2008) e investigaciones sobre el tema (Llamas et al., 2000) los que constatan el decrecimiento en los consumos urbanos por un mayor control del uso y eficiencia del agua, como queda reflejado en la evolución de la dotación de agua para consumo doméstico en España (MAGRAMA, 2013) recogida en la figura 68.

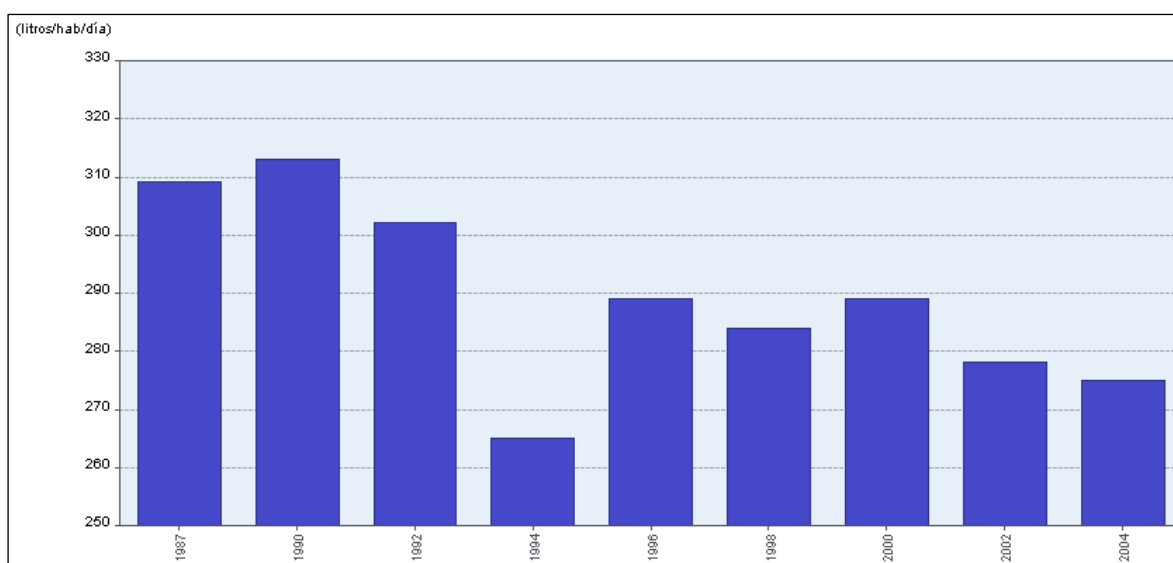


Figura 68. Evolución de dotaciones uso urbano en España.

Fuente: MAGRAMA (2013).

Recientemente se ha consultado a la empresa encargada de la gestión y explotación del agua potable en Hellín, así como de las infraestructuras asociadas a este servicio, con el fin de valorar con mayor precisión las pérdidas que en la actualidad se producen en las redes y resto de instalaciones. Aseguran que, tras la construcción de nuevos depósitos de regulación, así como de la sustitución y reparación de importantes arterias de abastecimiento, las fugas se han reducido a menos de la mitad, aunque no precisan un valor numérico. Así, para tener en cuenta este fallo del sistema, se ha considerado que las posibles volúmenes debidos a pérdidas en redes y resto de infraestructuras se considerarán dentro de la tendencia media nacional que establece una horquilla entre el 15-20% (INE, 2012), estimando un valor

máximo del 20%, lo cual nos mantendrá del lado de la seguridad en lo referente al consumo urbano.

Bajo todas estas consideraciones y, teniendo en cuenta que la población en Hellín en el año 2012 (INE, 2012) era de 31.262 habitantes (INE, 2012), la dotación actual resultaría de 245,43 l/s/día, que arrojaría un valor anual de consumo urbano de 2,8 hm³. La distribución mensual de este volumen se realiza a partir de las consideraciones que establece el Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura (CHS, 1998) en su Anejo 2 para Hellín, los cuales se muestran en la tabla 35.

Mes	Demanda urbana (%)	Demanda urbana (hm ³)
enero	7.50	0.21
febrero	7.50	0.21
marzo	7.50	0.21
abril	7.50	0.21
mayo	7.50	0.21
junio	9.20	0.26
julio	10.80	0.30
agosto	10.80	0.30
septiembre	9.20	0.26
octubre	7.50	0.21
noviembre	7.50	0.21
diciembre	7.50	0.21

Tabla 35. Distribución mensual de la demanda urbana en Hellín.
Elaboración propia.

VI.2.2.4.- Retornos de riego.

De acuerdo con el Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura (1998) los retornos de las unidades de demanda agraria consideradas en este estudio, UDA 7 (riegos con agua de acuífero) y UDA 10 (riegos del Canal de Hellín), son de 0,30% y 4,63% respectivamente.

De estos retornos, sólo cabría considerar el de los riegos de las superficies que se encuentren sobre el acuífero del Boquerón, ya que el retorno de los regadíos

correspondientes al canal de Hellín no recargará el acuífero considerado, sino sólo los que se encuentra bajo el subsuelo de dichas áreas, por lo tanto en el modelo realizado no se han considerado los retornos procedentes de los riegos del canal de Hellín.

Por otro lado, dado que el retorno procedente de regadíos con aguas procedentes del acuífero del Boquerón, se encuentran en su mayoría fuera de la zona de influencia del acuífero tal y como queda patente en la figura 58, y que el porcentaje estimado por la CHS es muy bajo (0,30%), finalmente, no se han considerado relevantes los volúmenes que retornan al acuífero debido a los regadíos afectados.

VI.2.2.5.- Retornos de consumo urbano.

Según el Plan de Ordenación de Hellín (J.C.C.M., 2010) el consumo de agua neta en Hellín en el año 2009 era de 7.398 m³/día y el caudal tratado en la depuradora era de 6.480 m³/día, por lo que el retorno real según estos datos era del 87,60%. Este valor es similar al considerado en el Plan Hidrológico de Cuenca del Segura (1998) que estima un retorno del consumo urbano en torno al 80%.

Sin embargo, y tal como se ha comentado en el apartado IV.6.7., el agua de retorno del consumo urbano es conducida mediante la red de saneamiento a la estación depuradora de aguas residuales que se encuentra en el Paraje de los Patos, a unos 5 km del acuífero del Boquerón. Este agua, que en la actualidad es parcialmente consumida por los cultivos más cercanos al paraje comentado, no es económicamente rentable su utilización para recarga del acuífero ya que los costes energéticos para el bombeo de las mismas la hace inviable. Por lo tanto, los retornos del consumo urbano tampoco han sido considerados en la modelización realizada.

VI.2.3.- Nudos.

Dentro del modelo SIMGES son necesarios una serie de elementos llamados nudos que, aunque no son considerados como elementos propiamente dichos en el sentido conceptual ya que no representan ningún ente físico, son necesarios para

representar el esquema del modelo simulado. La necesidad de un nudo se producirá cuando se dé alguna de las siguientes situaciones:

- que confluyan y/o partan de él distintos tramos de río o conducciones,
- que exista un embalse,
- que se incorpore en ese punto una aportación, o un retorno, o un bombeo adicional,
- que salga de ese punto un flujo destinado a recarga artificial, o exista una toma para alguna demanda,
- que sea un punto de cambio de las características de un río o de una conducción, o
- que sea el elemento final del sistema, en el cual vayan a parar los flujos de salida del sistema, al cual se asignará como Nudo 0.

Así pues, en nuestro modelo, los elementos que ha sido necesario identificar con un nudo son los siguientes:

- Receptores de las aportaciones: Azud de Liétor, embalse de Talave y superficie permeable del acuífero.
- Final de tramo: nudo final del sistema representado y nudo final de aportación de lluvia, creado para simular la recarga del acuífero.
- Divergencia de consumo: tramo canal de Hellín entre regadíos y consumo urbano.

VI.2.4.- Conducciones.

Tal y como se expuso en el Capítulo III, en el modelo SIMGES existen diferentes tipos de conducciones para relacionar los distintos elementos que intervienen en el modelo, dependiendo de las condiciones que se le desee imponer a estas conducciones, tramos de río o conexiones consideradas.

En el modelo realizado se han contemplado las siguientes conducciones:

- **Conducciones Tipo 1:** que son los que posibilitan la conexión de dos elementos determinando su capacidad máxima de transporte, así como el caudal mínimo que debe trasegar por dicho cauce o canal.
- **Conducción Tipo 2:** representa las conducciones del mismo tipo que el anterior, con la diferencia de que se le puede asignar unos coeficientes de pérdidas. Este tipo de conducciones serán utilizadas para simular las recargas de lluvia o recarga artificial, asignando un coeficiente de pérdidas de la conducción igual a la unidad.
- **Conducción Tipo Toma:** Son conexiones que unen elementos de demanda con otro elemento (nudo, embalse, etc.) que le aporte los caudales demandados mensualmente. En este tipo de elementos es posible definir el porcentaje del caudal que se destina a la demanda que sirve y el porcentaje que retorna al sistema, para lo cual es necesario previamente definir un nudo de retorno. En nuestro caso, todas las tomas planteadas en el modelo tendrán como fin único servir a la demanda a la que abastece, sin retorno alguno.

VI.2.5.- Bombeos.

Las extracciones del acuífero se indicarán directamente sobre el desplegable del elemento demanda tal y como se indica en la figura 69. Los bombeos sobre los acuíferos se activan en el caso de que las aportaciones superficiales (si existen) no sean capaces de aportar el volumen demandado. Sobre estos elementos se definen los máximos volúmenes mensuales que permiten la concesión otorgada.

Además, las extracciones sobre el acuífero se limitan a la infraestructura que poseen los sondeos realizados a tal efecto. Esto quiere decir que, una vez que el descenso piezométrico en el pozo de bombeo haya llegado a la cota que determina la profundidad del sondeo, la extracción deberá detenerse hasta que se recupere el nivel en el mismo por encima de esta cota. Para los pozos del Romeral y la batería del Boquerón, este nivel se corresponde con la cota 400 m.s.n.m. y en el caso del pozo de la Losa este límite es de 500 m.s.n.m., ya que aunque la longitud de todos ellos está en torno a los 150 m, el de los regadíos de Peñarrubia se encuentra a una cota topográfica 100 m superior.

Nombre: CR FUENTE DE ISSO

SimGes

Demanda total (Hm³/mes)

Mes	Hm³
Octubre	0.1158
Noviembre	0
Diciembre	0
Enero	0
Febrero	0.0791
Marzo	0.0912
Abril	0.2023
Mayo	0.2758
Junio	0.549
Julio	0.5515
Agosto	0.5504
Septiembre	0.1704

Regla operación ahorro agua

Nueva...

Infiltración

Acuífero al que recarga: (Ninguno)

Acción elemental recarga: (Ninguno)

Bombeo

Acuífero del que bombea: Acuífero Boquerón

Acción elemental bombeo: CR Fuente Isso

Parámetro control bombeo: Piez0613

Caudal máx. bombeo (Hm³/mes): 0.6

Valor umbral parámetro control: 400

Garantía mensual

Fallo mensual (% D.M.): 1

Garantía Anual

Fallo mensual (% D.M.): 15

Fallo anual (% D.A.): 30

Criterio tipo UTAH DWR

Fallo anual (% D.A.): 50

Fallo 2 años (% D.A.): 75

Fallo 10 años (% D.A.): 100

Criterio IPH.2008 demandas urbanas

Máximo fallo mensual %: 8

Máximo fallo a 10 años %: 10

Figura 69. Limitación de bombeos en extracciones de acuífero.

Fuente: Elaboración propia.

VI.2.6.- Acuífero.

El acuífero modelizado se integra directamente en el modelo de gestión que se ha confeccionado para simular cual es la respuesta del mismo en función de las acciones que sobre éste se planteen. Como se puede comprobar en la figura 70, el

programa incorpora toda la información necesaria para modelizar el acuífero mediante el método de los autovalores definido y calibrado previamente con Aquivál.

Las acciones configuradas vendrán representadas por las acciones elementales definidas previamente, las cuales identificarán las celdas del acuífero sobre las que se está actuando, es decir, sobre las que se realiza una extracción o sobre las que se recarga el mismo (de forma natural o artificial). Así, para toda demanda existente en el modelo se indicará cual es la acción elemental de las definidas para el acuífero sobre la que se realizará el bombeo de agua, al igual que para las recargas de lluvia o artificiales, sobre las que se aporta agua.

Nombre:

Simges

Nº Autovalores:

Autovalores		Vector estado inicial		Acción elemental		Reparto	
Celda	Valor	Celda	Valor	Nombre	Celda	Coeficiente	
1	4.747E-11	1	8.2716E...	Transf. Umbría	1	0.02000099	
2	0.00026...	2	-4963.4	Rec. Lluvia	2	0.00130074	
3	0.00028...	3	44513	CR Martinez Parras	3	0.007651295	
4	0.00065...	4	-1471.7	SAT Ojeado	4	-0.01634309	

Control bombes

Parametro:

Valor umbral:

Parámetro de control		Reparto	
Nombre	Celda	Coeficiente	
Piez0210	1	0.0006667	
Piez0301	2	0.0005563	
Piez0311	3	0.0002261	
Piez0316	4	-0.0006366	

Figura 70. Integración mediante método de los autovalores del acuífero del Boquerón en SIMGES.

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, aparte de los parámetros de control que recoge el modelo SIMGES para cualquier acuífero representado (volumen almacenado, salidas del acuífero), para el acuífero del Boquerón, se había definido previamente una serie de parámetros coincidiendo con celdas cuyo nivel piezométrico se quería controlar para

analizar posteriormente la respuesta global de este elemento frente a las presiones exteriores y esquemas planteados.

El programa, además, permite condicionar las extracciones del acuífero en función de los valores que un determinado parámetro de control tome en el período simulado.

VI.2.7.- *Prioridades de Elementos.*

Se establecerá el siguiente número de prioridad para los elementos intervinientes en el modelo:

- Toma de demanda urbana: Prioridad 1
- Toma de demanda agraria: Prioridad 2

De esta manera, el sistema abastecerá previamente a la demanda urbana antes que a la demanda agraria para que el resultado de la función objetivo (coste virtual) sea mínimo.

Por otro lado, las demandas serán siempre abastecidas primeramente con recursos superficiales y tomarán del acuífero únicamente cuando no sean suficientes los volúmenes anteriores para cumplir con los criterios de garantía definidos.

VI.2.8.- *Garantías de suministro.*

El modelo nos permite establecer una serie de umbrales de garantía para cada uno de los elementos de demanda contemplados, diferenciando entre Garantía Mensual, Garantía Anual y los criterios a 1 año, 2 años y 10 años preestablecidos en los planes de Cuenca o en la Instrucción de Planificación Hidrológica (MAGRAMA, 2013). Así, en este caso se diferencian los umbrales de garantía dependiendo si la demanda considerada es del tipo urbano o de tipo agrícola.

En el caso de demanda urbana se establecen los siguientes niveles de garantía:

- Garantía Mensual (sobre la Demanda Mensual) : 1 %
- Garantía Anual
 - Fallo Mensual (sobre Demanda Mensual): 15 %
 - Fallo Anual (sobre Demanda Anual): 30%
- Criterio Plan de Cuenca Hidrográfica del Segura (CHS,1998):
 - Fallo Anual: 10% (sobre demanda anual)
 - Fallo en dos años consecutivos: 16% (sobre demanda anual)
 - Fallo en diez años consecutivos: 30% (sobre demanda anual)
- Criterio IPH (MAGRAMA, 2008):
 - Máximo fallo mensual: 10% (sobre demanda mensual)
 - Máximo fallo a 10 años: 8% (sobre demanda anual)

En el caso de demanda agrícola se establecen los umbrales siguientes:

- Garantía Mensual (sobre la Demanda Mensual) : 1 %
- Garantía Anual
 - Fallo Mensual (sobre Demanda Mensual): 15 %
 - Fallo Anual (sobre Demanda Anual): 30%
- Criterio Plan de Cuenca Hidrográfica del Segura (CHS,1998), coincide con el criterio IPH (MAGRAMA, 2008):
 - Fallo Anual: 50% (sobre demanda anual)
 - Fallo en dos años consecutivos: 75% (sobre demanda anual)
 - Fallo en diez años consecutivos: 100% (sobre demanda anual)

A las conducciones se les asigna el umbral de 1% de fallo mensual.

VI.3.- Escenarios de Simulación.

El objetivo fundamental de esta tesis es el análisis y discusión de los diferentes planteamientos que se pueden realizar en un sistema de recursos hídricos a escala local, como es el caso de Hellín, con la incorporación de un nuevo “depósito de

regulación” que en este caso es el acuífero del Boquerón. Para ello, se deberá configurar una serie de escenarios hipotéticos en los que se juegue con las variables del sistema y nos sirva como base para examinar los pros y contras de cada uno de estas modelizaciones del sistema elegido, así como la viabilidad y validez de la gestión conjunta a nivel local y la incorporación del acuífero del Boquerón como embalse regulador en el sistema.

Así, en este apartado, se describen los distintos escenarios simulados, así como los elementos intervinientes en los mismos y las justificaciones para el planteamiento de cada uno de ellos.

Dependiendo de los elementos que se seleccionen o parámetros que se pretende seguir su proceso, participarán en el modelo todo el sistema o subsistemas del mismo. Indicar también que el período seleccionado para cada una de las simulaciones ha sido de 20 años, considerándolo suficiente para valorar las respuestas del sistema a medio plazo.

VI.3.1.- Escenario 1: Gestión Actual.

En este escenario, como su nombre indica, se realizará la simulación del sistema considerando un comportamiento similar al actual, en tanto que las demandas como las aportaciones siguen el mismo proceso de uso de los recursos hídricos de los que dispone hoy en día. De esta manera, se establecerá el punto de partida de nuestro análisis, ya que nos servirá para comparar el resto de escenarios simulados con respecto a los resultados obtenidos de no variarse el modelo de explotación en el ámbito de estudio. El esquema planteado para este escenario se muestra en la figura 71.

Como se puede observar, en el esquema previsto se encuentran todas las demandas expuestas en los epígrafes anteriores, con las siguientes alimentaciones para cubrirlas:

- Demanda urbana: se alimentará mediante el canal de Hellín con un caudal de 100 l/s, tal y como le es asignado, la impulsión desde el embalse del

Talave, y en caso de no ser suficiente con ambas, recurrirá a la extracción de agua del acuífero del Boquerón.

- Comunidad de regantes de la Fuente de Isso y Peñarrubia y SAT Ojeado: Los regadíos asociados al acuífero del Boquerón se alimentarán exclusivamente con las aguas procedentes del mismo.

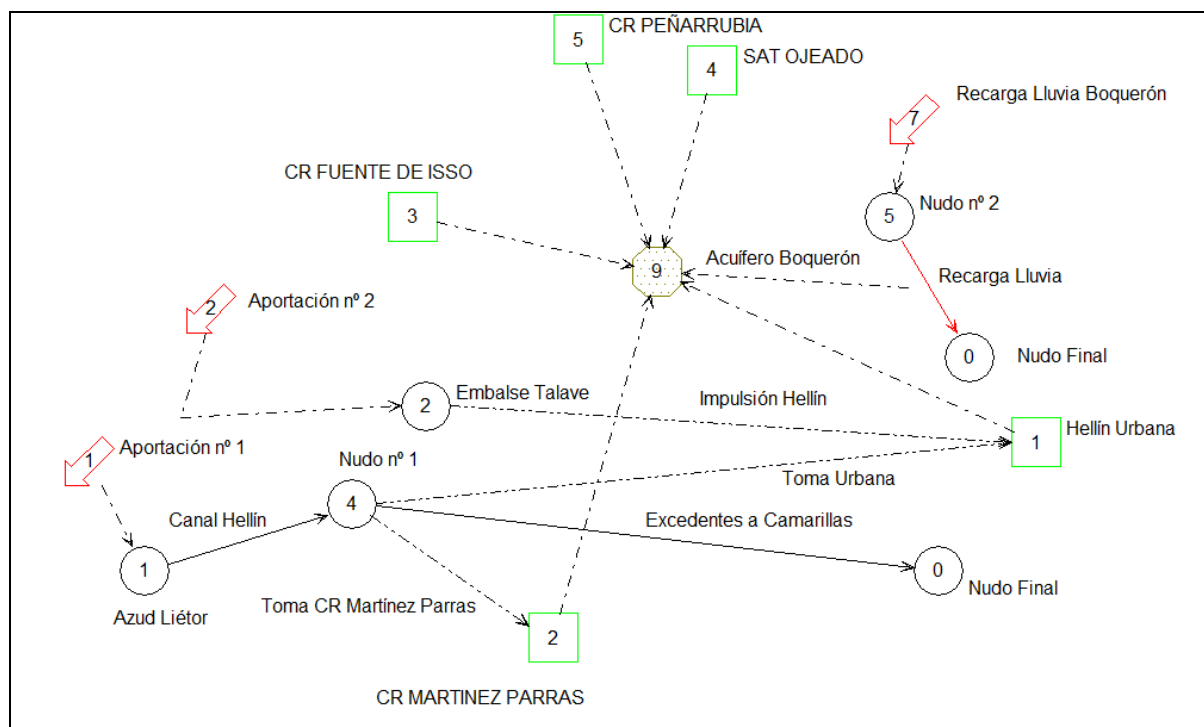


Figura 71. Esquema en SIMGES de escenario 1: gestión actual.

Fuente: Elaboración propia.

- Comunidad de regantes Martínez Parras: las superficies agrarias asociadas a las aportaciones del río Mundo a través del azud de Liétor, tomarán las aguas que transporte el Canal de Hellín (menos la sustracción para la demanda urbana) y, en caso de déficit, se recurrirá al acuífero del Boquerón.

Los excedentes mensuales de las aportaciones del canal de Hellín, en caso de no ser consumidos, son devueltos aguas abajo al embalse del Camarillas, tal y como sucede en la actualidad. Por ello, no hay relación entre la conducción que representa el canal de Hellín con el acuífero del Boquerón. Sin embargo, en el caso de la demanda urbana, no existirá excedente ya que el agua introducida en el subsistema urbano es almacenada en depósitos de regulación superficiales situados en el mismo núcleo.

En cuanto a la recarga natural del acuífero, se ha considerado que, dada la bajada de los niveles piezométricos observados en los últimos treinta años y según lo apuntado por el IGME (2010b) en su último informe sobre el acuífero del Boquerón, no parece lógico considerar las transferencias del acuífero de Umbría en la recarga subterránea del acuífero del Boquerón, ya que las explotaciones del primer acuífero hacen pensar que esta transferencia se ha reducido a mínimos absolutos, existiendo la posibilidad de que el flujo entre acuíferos sea nulo en la actualidad.

VI.3.2.- Escenario 2: Incorporación de Acuífero del Boquerón como “depósito de regulación” (gestión conjunta).

En este escenario se analiza el funcionamiento del sistema anterior con la incorporación del acuífero del Boquerón, actuando como “depósito” subterráneo de regulación. Aparte de los posibles beneficios de contar con un gran elemento regulador en la gestión de los recursos hídricos del sistema, inabordable económica y coyunturalmente en el municipio, no hay que olvidar el otro beneficio de la recarga del acuífero, que es la recuperación de los niveles del de agua y con ello, su estado ecológico.

Además, se consigue una interrelación entre los recursos hídricos superficiales (excedentes del canal de Hellín), incorporándolos al acuífero del Boquerón, mediante recarga artificial, en principio localizada al final de la zona de riego del canal de Hellín, tal y como se planteó en los estudios de Senent et al. (1975) expuestos en el Capítulo V.

Las demandas seguirán funcionando bajo el mismo esquema de obtención de recursos que en el caso anterior. El esquema de simulación se expone en la figura 72.

En este esquema se ha modificado la modelización anterior estableciendo una conducción con pérdidas que simularía la recarga del acuífero con los excedentes del canal de Hellín.

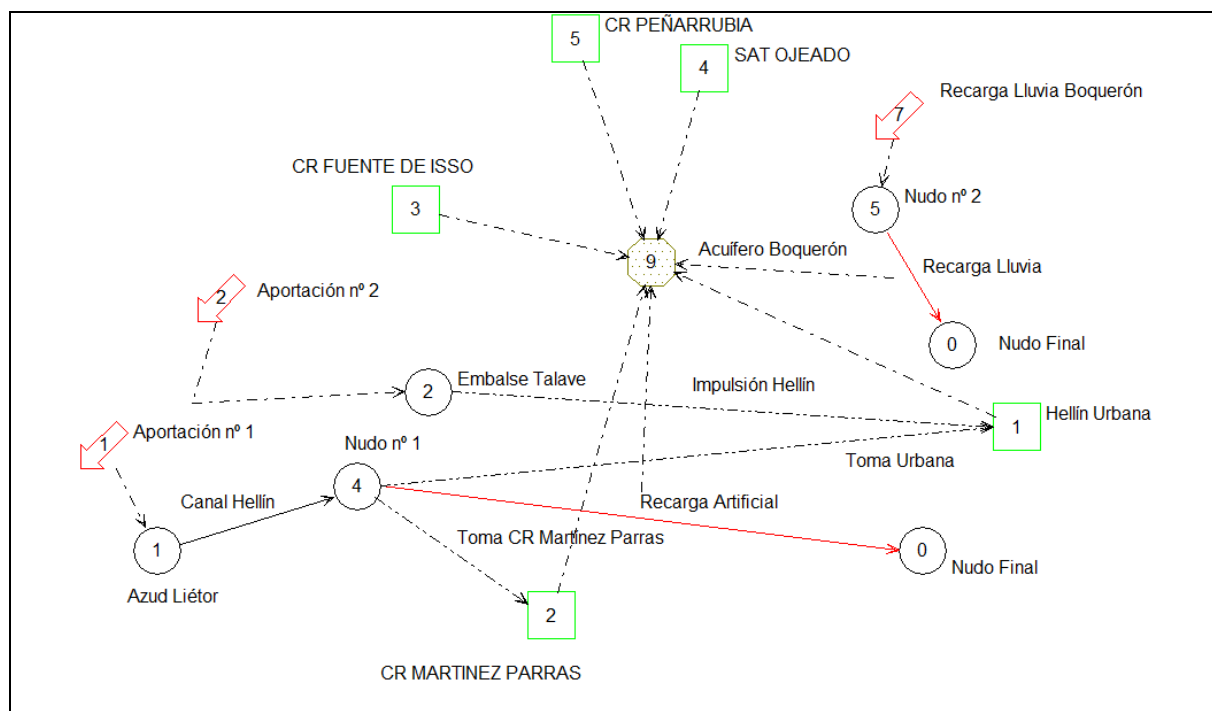


Figura 72. Esquema en SIMGES de escenario 2: gestión conjunta.

Fuente: Elaboración propia.

VI.3.3.- Escenario 3: Cumplimiento de la Directiva Marco del Agua.

Como se analizó en el Capítulo II, uno de los objetivos principales de la Directiva Marco del Agua (DMA, 2000), así como de la Directiva Aguas Subterráneas (DAS, 2006) es conseguir un buen estado ecológico de las aguas subterráneas para 2015, estableciendo dos prórrogas para cumplir con estos objetivos: 2021 y 2027. En el caso concreto de las aguas subterráneas establece tres objetivos medioambientales (DMA, 2000):

“(i) los Estados miembros habrán de aplicar las medidas necesarias para evitar o limitar la entrada de contaminantes en las aguas subterráneas y evitar el deterioro del estado de todas las masas de agua subterránea,”

“(ii) los Estados miembros habrán de proteger, mejorar y regenerar todas las masas de agua subterránea y garantizarán un equilibrio entre la extracción y la alimentación de dichas aguas con objeto de alcanzar un buen estado de las aguas subterráneas...”

“(iii) los Estados miembros habrán de aplicar las medidas necesarias para invertir toda tendencia significativa y sostenida al aumento de la concentración de cualquier contaminante debida a las repercusiones de la actividad humana con el fin de reducir progresivamente la contaminación de las aguas subterráneas.”

En este escenario se analizará, en función de los resultados obtenidos en los escenarios anteriores, qué posibilidades existen de alcanzar el objetivo promulgado por la DMA (2000) de equilibrio entre extracción y recarga planteando, como posible alternativa, una reducción de las extracciones asociadas a las demandas agrarias existentes y con ello la estabilización de los niveles piezométricos para el año horizonte 2027, segunda prórroga de esta directiva europea.

Capítulo VII

Resultados y Discusión.

En este capítulo se incluyen los resultados obtenidos como consecuencia de la aplicación del modelo SIMGES en el sistema de gestión de recursos hídricos en Hellín, centrándonos especialmente en aquellos procesos en los que intervienen el acuífero del Boquerón. Además, se justificará la validación de la modelización del acuífero con el programa Aquival mediante la comparativa con la evolución de los datos piezométricos de los que se dispone, para su integración en la gestión hídrica conjunta del sistema estudiado. Una vez conseguida la modelización del acuífero del Boquerón (elemento esencial en la gestión conjunta propuesta), se ha incorporado este elemento dentro del funcionamiento del binomio aportaciones-demanda en el sistema hídrico local de Hellín para analizar su respuesta frente a los planteamientos considerados. Así, se han considerado dos escenarios de funcionamiento. Por un lado, se ha evaluado un esquema idéntico al actual, en el que el acuífero del Boquerón es sólo recargado por la lluvia que acaece sobre su superficie permeable, siendo sus recursos explotados por las Comunidades de Regantes que se exponían en el Capítulo V. Por otro lado, en el segundo escenario, los excedentes que se produzcan a lo largo del año en el Canal de Hellín, serán incorporados al acuífero mediante recarga artificial situada al sur del mismo, próximo a la finalización del canal, actuando el acuífero en este segundo caso como depósito de regulación subterráneo que suministrará agua en las épocas de déficit (verano principalmente) y recibirá los excedentes del canal de Hellín cuando no sean aprovechados por los riegos asociados al mismo (CR Martínez Parras). Además, se ha analizado las posibilidades que tiene el sistema estudiado para cumplir con el objetivos de “buen estado ecológico” preconizado por la DMA (2000) para la segunda prórroga el 2027.

A lo largo del presente capítulo se realiza una exposición y análisis de los resultados obtenidos en estas modelizaciones del sistema, en cuanto a las garantías que ofrecen cada uno de los escenarios estudiados, así como los fallos que son esperables en la prognosis a 20 años que se plantea en las gestiones hídricas en uno y otro caso. Asimismo, se ha confeccionado los mapas de isopiezas resultantes del acuífero para los

distintos escenarios, lo cual nos ayudará a interpretar tanto la respuesta global del Boquerón, como las posibilidades del mismo con respecto a las explotaciones actuales, así como a otras que pudieran considerarse.

VII.1.-Validación de la modelización del acuífero del Boquerón.

Como se expuso en el Capítulo V, una vez discretizado el acuífero y asignados a las celdas resultantes los parámetros que definen su comportamiento, se ha validado la modelización del Boquerón realizando la comparativa de los niveles piezométricos obtenidos con los registrados en los últimos 37 años en aquellos piezómetros y sondeos de los que se tiene información en lo referente a su evolución en este período bajo la extracción de los caudales que se ha realizado sobre el acuífero.

Se ha partido del mapa de isopiezas que aparece en la figura 73, elaborado a partir de los niveles registrados por el IGME de los pozos y piezómetros que se encuentran sobre el acuífero estudiado, cuyos valores se recogen en la tabla 24, representativo del régimen natural ya que se corresponde con el último período de equilibrio del acuífero (1970-1976).

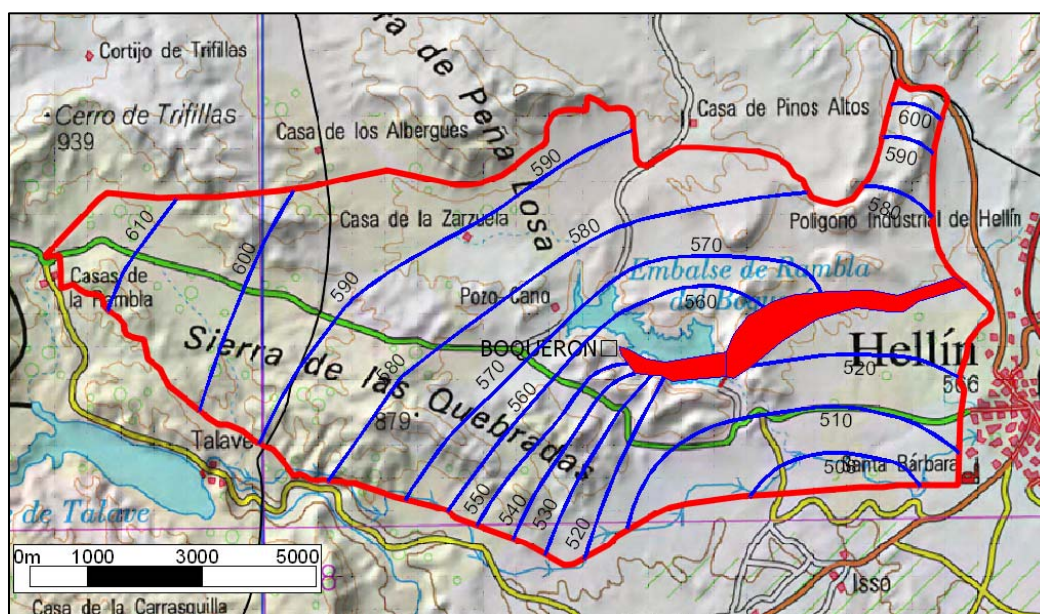


Figura 73. Mapa de isopiezas inicial (1976) de la simulación.

Fuente: Elaboración propia.

Tras correr el modelo, con las extracciones estimadas que se han realizado sobre el acuífero se ha llegado al mapa de isopiezas que aparece en la figura 74, que correspondería con la situación actual de los niveles piezométricos en el Boquerón. Asimismo, el programa arroja igualmente los resultados para cada uno de los meses de la modelización, los cuales se recogen en el Anejo 3.

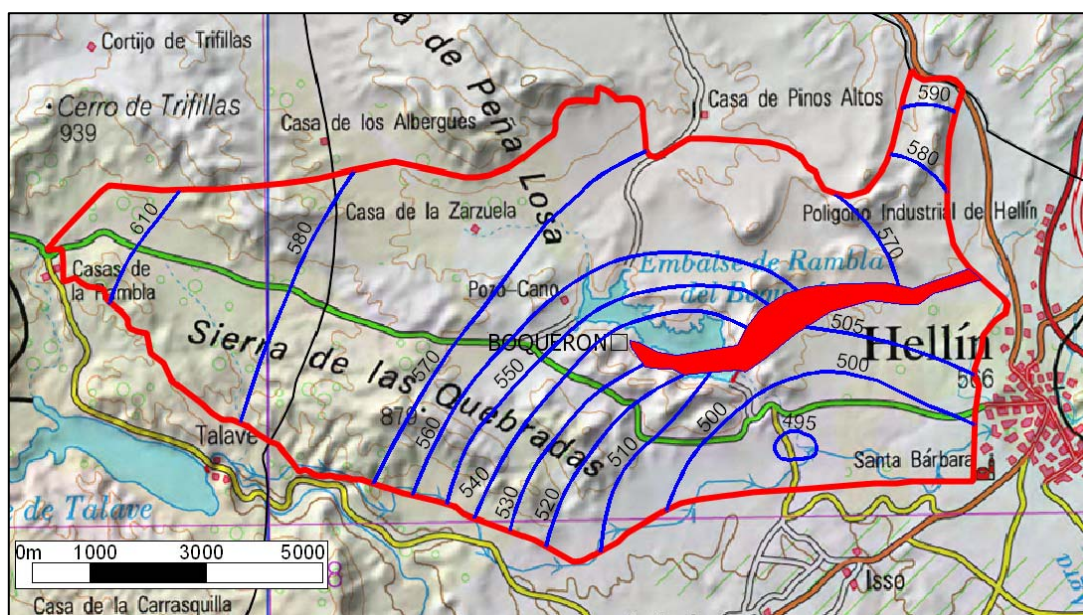


Figura 74. Mapa de isopiezas actual (2012) en el Boquerón.

Fuente: Elaboración propia.

La evolución de los niveles en el modelo ha sido comparada con los piezómetros y sondeos en los que se dispone información, analizando mediante este cruce de datos la validez del modelo realizado. Así, en el piezómetro de Peñarrubia, cuya curva de evolución piezométrica se recoge en la figura 51, ha sido superpuesta con la conseguida en Aquival para la celda donde se encuentra dicho piezómetro obteniendo la figura 75.

Como se puede comprobar, la curva resultante de la modelización, aunque se ajusta sensiblemente a la registrada en el piezómetro queda, por lo general, por encima de la real. Este desfase se explica por la ausencia de datos totalmente fiables con respecto a las extracciones que se vienen realizando en el acuífero, que cuanto más

próximas a la actualidad son mejor reguladas y controladas y, por lo tanto, más coherentes con la realidad de la explotación.

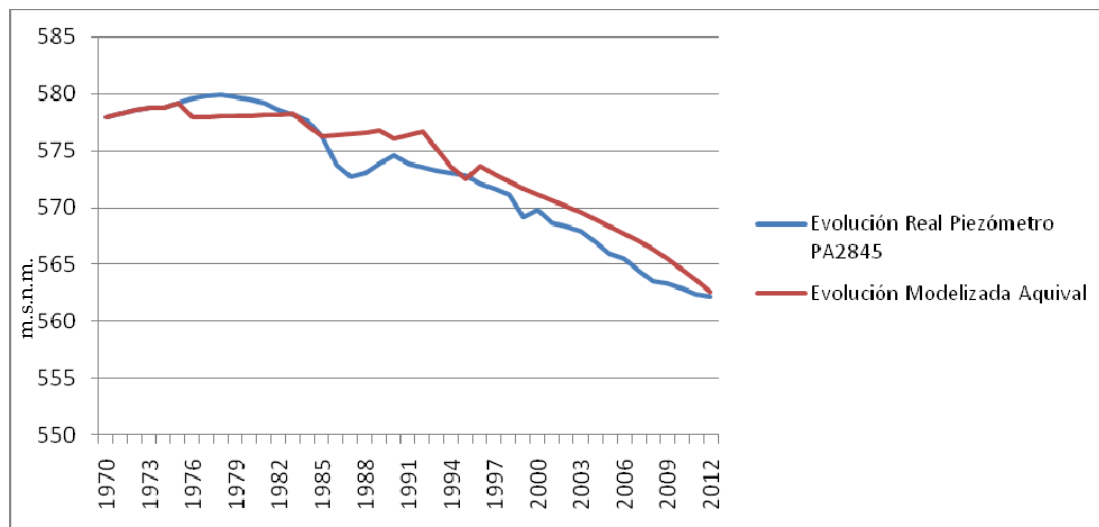


Figura 75. Comparativa de evolución piezométrica en Peñarrubia real y modelizada.

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, tal y como se contemplaba en la tabla 24, además del piezómetro de Peñarrubia, se dispone los registros de niveles del período 1974-1990 de la zona de la batería del Boquerón, además de contar con el nivel piezométrico del pozo el Romeral en el año 2006 que llegó al valor de 499,33 m.

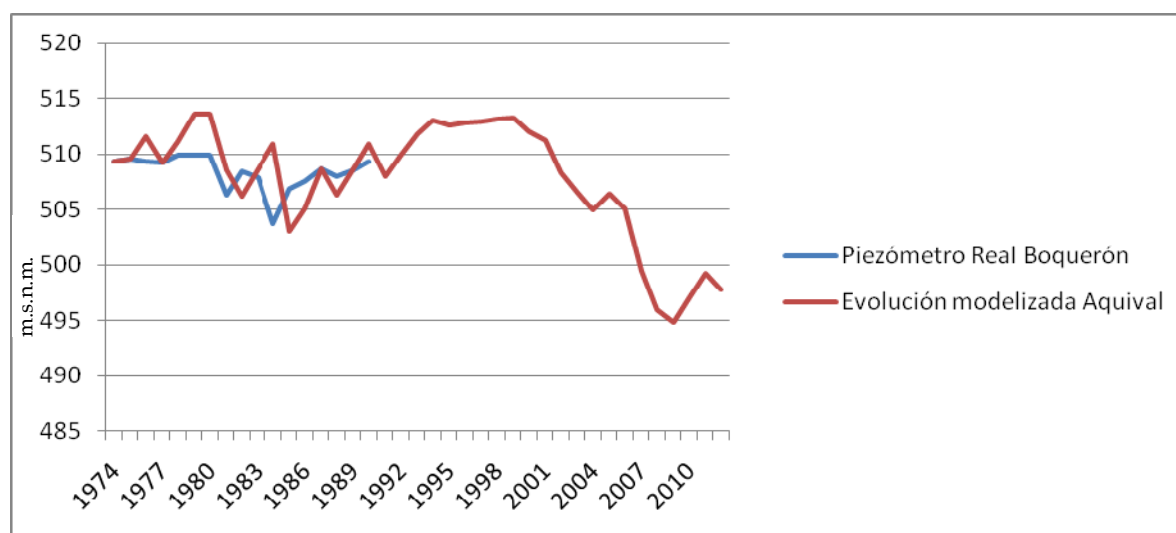


Figura 76. Comparativa de evolución piezométrica en batería del Boquerón real y modelizada.

Fuente: Elaboración propia.

La comparación de los valores en el caso de los sondeos cercanos a la batería del Boquerón es algo más dispar. Por un lado, los niveles registrados corresponden a años de los que se dispone escasa información sobre las extracciones realizadas y aunque sigue la tendencia real de oscilaciones en dicho punto, las mayores diferencias se localizan tanto en las puntas interanuales de consumo como en los años de recuperación relativa. A partir del año 1990, no existen datos con los que comparar los resultados del modelo en esta zona, siendo el único valor de referencia el pozo de Romeral, cuya diferencia con respecto a la modelización realizada es de 1,5 m.

Finalmente y como apoyo a la validación realizada, se han cotejado los valores del nivel de agua en otros sondeos puntuales del acuífero, aunque de mayor antigüedad, para ajustar localmente las desviaciones de los resultados con Aquival al año de toma de dicha información.

VII.2.- Análisis de los resultados para gestión actual (Escenario 1).

Como se ha comentado en el Capítulo VI, en esta simulación se ha reflejado el esquema actual de gestión que existe sobre la zona de estudio. Existe cuatro zonas de regadíos diferenciadas por la Comunidad de Regantes a la que pertenece: SAT Ojeado, CR Fuente de Isso, CR Martínez Parras, situadas al sur del acuífero y la CR de Peñarrubia, situada al norte. Todas estas sociedades, excepto la de Martínez Parras, obtienen sus recursos únicamente a través de la batería del Boquerón (Boquerón I, Boquerón II y Boquerón III), el Romeral (SAT Ojeado) y La Losa (Peñarrubia), sobre el acuífero del Boquerón. La CR de Martínez Parras se abastece principalmente a través del canal de Hellín y recurre a la Batería del Boquerón en el caso de déficit de suministro, especialmente en la época estival. Las aportaciones de agua en el conjunto del sistema se producen a través del mencionado canal, de la impulsión de agua desde el Talave para uso exclusivo urbano y del agua de lluvia caída sobre el acuífero en las superficiales permeables, en la recarga del mismo. Se pasará a continuación al análisis pormenorizado de los efectos sobre cada uno de los elementos integrantes en el sistema

y su relación con la opción actual de gestión hídrica, así como las consecuencias sobre el acuífero del Boquerón.

VII.2.1.- Demanda Urbana.

La demanda urbana, cuya punta de consumo se produce en época estival (junio-septiembre) y que alcanza un valor medio de 0,38 hm³/mes es conseguida mediante la concesión de 100 l/s procedentes del canal de Hellín, así como por los 0,2 hm³ mensuales que le proporciona la impulsión desde el embalse del Talave, lo cual le garantiza el 100% de suministro, sin que exista problema alguno en el período estudiado. Por ello, pese a existir la posibilidad de conseguir agua subterránea del acuífero, la aportación subterránea a la demanda urbana es nula bajo las hipótesis consideradas, considerando prioridad 1 el abastecimiento del núcleo.

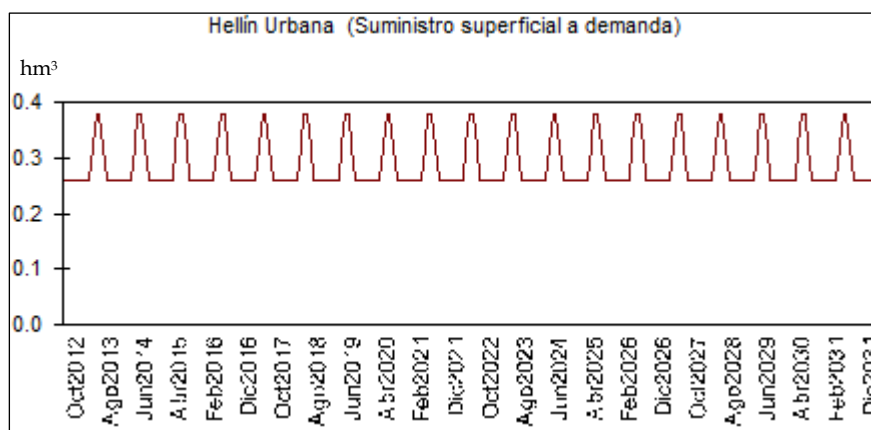


Figura 77. Suministro superficial a Demanda Urbana con prioridad 1.

Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, si se asignara la misma prioridad a los cultivos (especialmente a la CR de Martínez Parras que se abastece principalmente del canal de Hellín) que a la demanda urbana, entonces ésta se vería obligada a tomar agua del acuífero del Boquerón en las puntas del verano como se aprecia en la figura 78, ya que la CR de Martínez Parras absorbería parte de su déficit con los caudales que el canal de Hellín deriva para suministro urbano.

Esto, además del coste energético asociado al bombeo complementario para abastecer al municipio, provocaría los fallos que se recogen en la figura 79 con respecto al suministro doméstico e industrial de Hellín. Estos fallos serían mayores a partir del año 2022, una vez que las extracciones hubieran provocado el descenso de los niveles piezométricos por debajo de la profundidad del sondeo y no fuera posible mantener la continuidad de este bombeo sobre el acuífero.

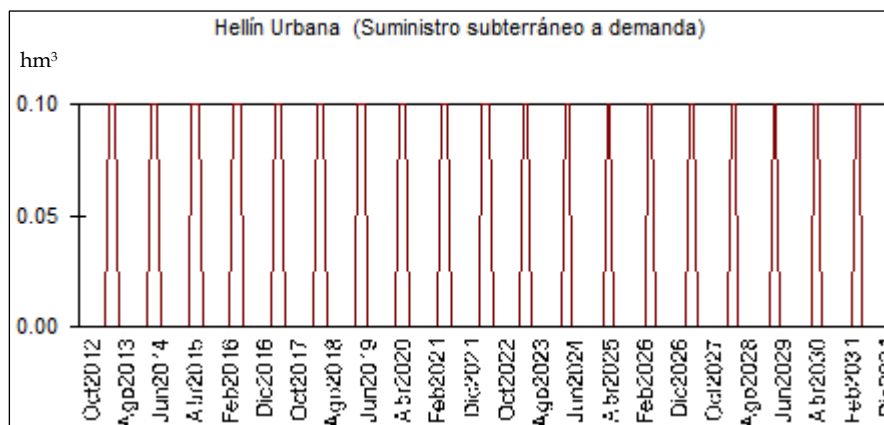


Figura 78. Suministro subterráneo a Demanda Urbana con prioridad 2.

Fuente: Elaboración propia.

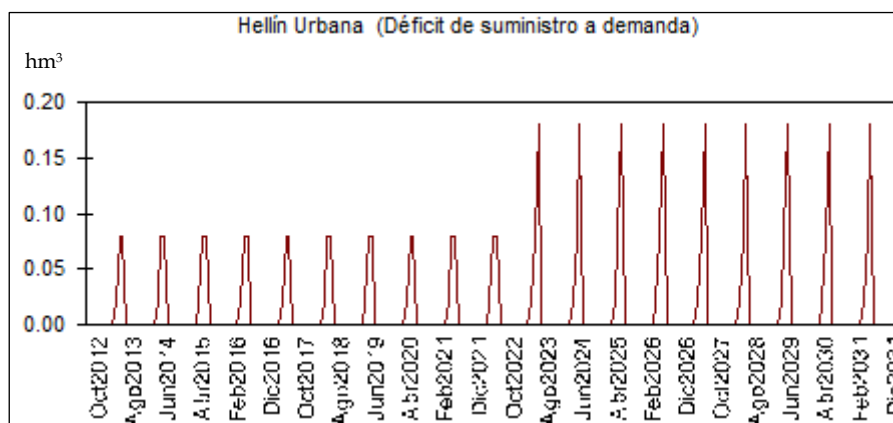


Figura 79. Déficit de suministro a Demanda Urbana con prioridad 2.

Fuente: Elaboración propia.

Además, evidentemente, las garantías de suministro, que con prioridad 1 eran totales (100%), al equipararse con el suministro agrícola se reducen cuantiosamente tal y como se aprecia en la figura 80, no cumpliéndose los niveles de garantía exigidos en el Capítulo VI.

Criterio mensual N° fallos: 60 Garantía: 75.000 % Max. def. mensual: 0.180 Hm3 Max. def. 2 meses: 0.260 Hm3	Criterio IPH2008 agrícola(Utah-DWR) Max. def. 1 año : 8.046 % Max. def. 2 años : 16.092 % Max. def. 10 años: 80.460 %
Criterio volumétrico Garantía: 93.391 %	Criterio IPH,2008 urbana Criterio 1 mes : 40 fallos Criterio 10 años: 19 fallos
Criterio anual N° fallos: 20 Garantía: 0.000 %	

Figura 80. Garantías de suministro a Demanda Urbana con prioridad 2.

Fuente: Elaboración propia.

VII.2.2.- Comunidad de regantes de Martínez Parras.

La demanda de riego de esta comunidad es abastecida mediante el canal de Hellín, siendo complementada por las extracciones del Boquerón con un máximo anual de 2 hm³ de concesión autorizada. Tal y como se puede comprobar en la figura 81, dicho volumen de agua subterránea es consumida todos los años, ya que durante el período estival no le es suficiente la aportación de agua superficial mediante el canal de Hellín, que aparece en la figura 82.

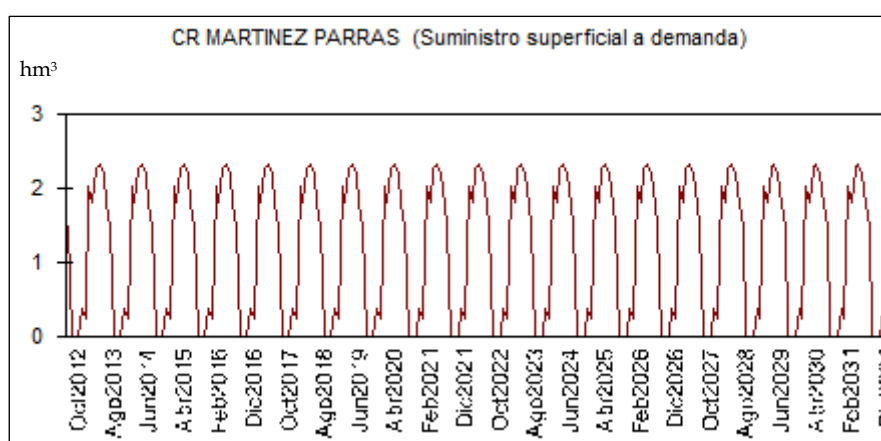


Figura 81. Suministro superficial de la CR Martínez Parras en escenario 1.

Fuente: Elaboración propia.

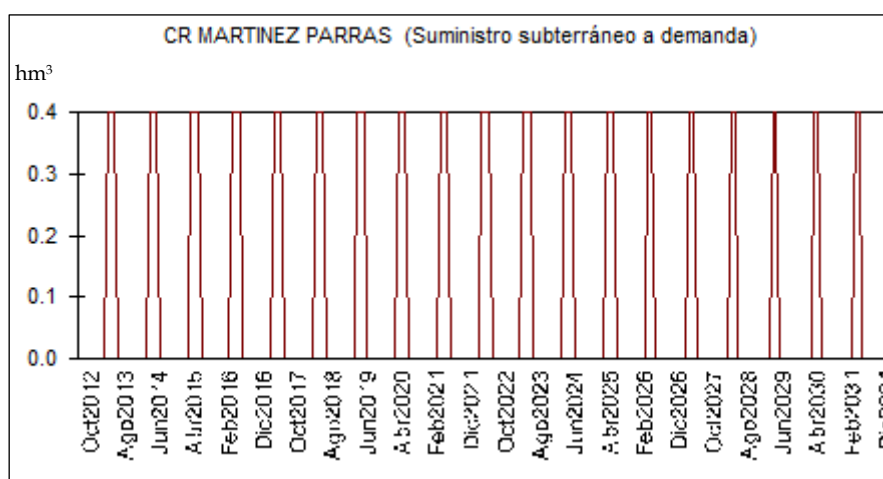


Figura 82. Suministro subterráneo de la CR Martínez Parras en escenario 1.

Fuente: Elaboración propia.

La concesión de 2 hm³ anual subterránea no es suficiente para poder alcanzar las puntas de consumo que se producen en estos regadíos en el período junio-septiembre con los recursos superficiales, lo cual lleva a una serie de déficits mensuales a la demanda como se refleja en la figura 83.

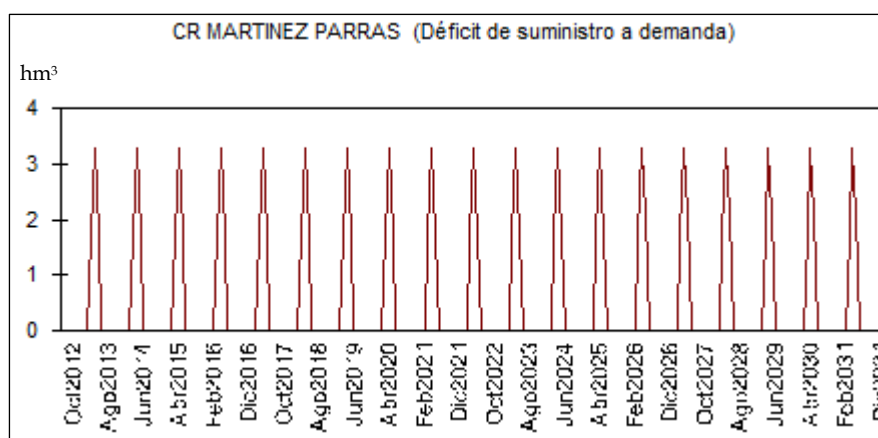


Figura 83. Déficit de suministro a la demanda de CR Martínez en escenario 1.

Fuente: Elaboración propia.

Además, por otro lado, tal y como se expuso en el Capítulo V, la profundidad de los sondeos de la batería del Boquerón es de 150 m, por lo que, una vez que el nivel del agua descienda por debajo de los 500 m (cota absoluta de la boca inferior del sondeo), las extracciones se verán interrumpidas. En el escenario que se está

analizando, esto sucede para el año 2026, por lo que el déficit volumétrico que hasta ese año era de 6,73 hm³ /año, aumenta a partir del año referido a 7,13 hm³/año por las excesivas depresiones en el nivel piezométrico en los pozos.

Finalmente, las garantías que, bajo este escenario, se obtienen para esta demanda se recogen en la figura 84.

Criterio mensual Nº fallos: 60 Garantía: 75.000 % Max. def. mensual: 3.277 Hm3 Max. def. 2 meses: 5.417 Hm3	Criterio IPH2008 agrícola(Utah-DWR) Max. def. 1 año : 31.707 % Max. def. 2 años : 63.414 % Max. def. 10 años: 311.733 %
Criterio volumétrico Garantía: 69.449 %	Criterio IPH,2008 urbana Criterio 1 mes : 60 fallos Criterio 10 años: 20 fallos
Criterio anual Nº fallos: 20 Garantía: 0.000 %	

Figura 84. Garantías de suministro a la demanda de CR Martínez en escenario 1.

Fuente: Elaboración propia.

Si se realiza una comparativa entre los valores máximos admitidos por el Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura (CHS, 1998) y los valores obtenidos en este escenario, se comprueba que se las garantías obtenidas no alcanzan los mínimos permitidos para ninguno de los períodos establecidos en dicho documento, encontrándose lejos de poder subsanar esta situación bajo el escenario planteado.

VII.2.3.- Comunidad de regantes Fuente de Isso.

Al depender tanto esta comunidad de regantes como la del Ojeado y Peñarrubia exclusivamente de los recursos subterráneos, serán, por tanto, los niveles piezométricos en el acuífero los que marcarán las garantías de suministro sobre las demandas hídricas de las superficies de cultivo asociadas.

Por ello, una vez que el nivel piezométrico en el pozo de bombeo desciende por debajo del nivel marcado en el Capítulo V como máximo (500m), debido a la longitud del sondeo, que se produce para el año 2023, las extracciones se verán interrumpidas durante el período que no reciba ninguna recarga pluvial para que pueda recuperar los niveles dentro del acuífero. En la figura 85 se representa el déficit de suministro para esta demanda en el período estudiado, quedando patente la sucesión de períodos de déficit en función de los períodos de recarga del acuífero.

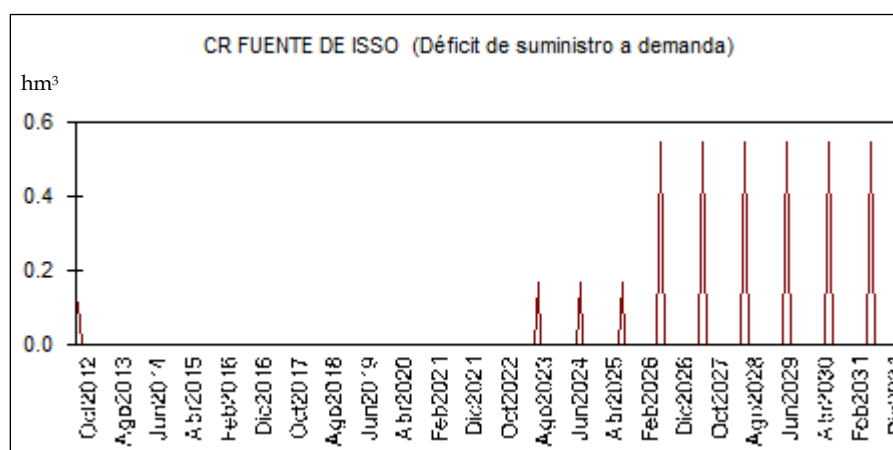


Figura 85. Déficit de suministro a la demanda de CR Fuente de Isso en escenario 1.

Fuente: Elaboración propia.

Además, estos déficits se mantendrán constantes en 0,17 hm³/año en el período 2023-2026, mientras que, a partir del año 2026 y, debido al acusado desequilibrio en el balance del acuífero, se incrementarán hasta 0,55 hm³/año, por tanto triplicándose el volumen no abastecido a los regadíos de la Fuente de Isso.

Como consecuencia de este descenso de niveles, las garantías de suministro serán mínimas como se aprecia en la figura 86, al igual que ocurría con la CR de Martínez Parras, aunque de forma menor, debido a que los volúmenes requeridos para los regantes de la Fuente de Isso son inferiores que los demandados por Martínez Parras, debido a su mayor extensión.

Criterio mensual N° fallos: 11 Garantía: 95.417 % Max. def. mensual: 0.550 Hm3 Max. def. 2 meses: 0.550 Hm3	Criterio IPH2008 agrícola(Utah-D'WR) Max. def. 1 año : 21.277 % Max. def. 2 años : 42.553 % Max. def. 10 años: 168.665 %
Criterio volumétrico Garantía: 91.342 %	Criterio IPH,2008 urbana Criterio 1 mes : 11 fallos Criterio 10 años: 9 fallos
Criterio anual N° fallos: 11 Garantía: 45.000 %	

Figura 86. Garantías de suministro a la demanda de Fuente de Isso en escenario 1.

Fuente: Elaboración propia.

VII.2.4.- Sociedad Agraria de Transformación Ojeado.

Los resultados para los regadíos pertenecientes a esta sociedad pasan por tener la misma dinámica que los de la Fuente de Isso, debido al mismo origen único de los recursos utilizados y la sobreexplotación manifiesta del acuífero, tal y como se muestra en la figura 87.

Dado que los volúmenes demandados por esta sociedad son muy semejantes a los de la comunidad de regantes de la Fuente de Isso, los déficits y garantías asociados (figura 88) guardan estrecha relación, siendo prácticamente iguales en los resultados obtenidos así como en la evolución interanual de los mismos.

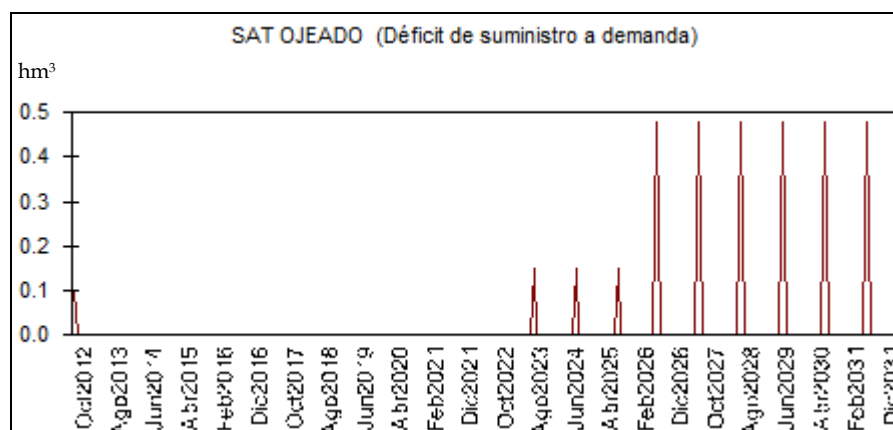


Figura 87. Déficit de suministro a la demanda de la SAT Ojeado en escenario 1.

Fuente: Elaboración propia.

Criterio mensual N° fallos: 11 Garantía: 95.417 % Max. def. mensual: 0.479 Hm3 Max. def. 2 meses: 0.479 Hm3	Criterio IPH2008 agrícola(Utah-DWR) Max. def. 1 año : 21.289 % Max. def. 2 años : 42.578 % Max. def. 10 años: 168.756 %
Criterio volumétrico Garantía: 91.338 %	Criterio IPH,2008 urbana Criterio 1 mes : 11 fallos Criterio 10 años: 9 fallos
Criterio anual N° fallos: 11 Garantía: 45.000 %	

Figura 88. Garantías de suministro a la demanda de SAT Ojeado en escenario 1.

Fuente: Elaboración propia.

VII.2.5.- Comunidad de Regantes de Peñarrubia.

Los regadíos que pertenecen a esta comunidad se localizan al norte del acuífero, muy alejados de las afecciones directas de las extracciones de la batería del Boquerón. Por otro lado, mientras que el conjunto de comunidades de regantes al sur del acuífero tienen una concesión anual de casi 7 hm³, la de la comunidad de regantes de Peñarrubia sólo extrae 1 hm³/año de media, por lo que la afección al nivel del agua en el pozo es muy inferior a los provocados por el resto de regantes. Todo esto evidencia que en el período simulado, estos regantes no se vean afectados en ningún momento por la evolución de los niveles piezométricos en el entorno de las extracciones, siendo en los 20 años estudiados inferiores a la máxima longitud del sondeo del pozo de la Losa (150 m). Así, la garantía de suministro será del 100%, no produciéndose fallos en este período.

Si se amplía el estudio a 30 años (figura 89), el descenso de niveles dentro del pozo obligaría a interrumpir periódicamente el abastecimiento a estos regadíos a partir del año 2038, cuando se habría superado la longitud del sondeo y comenzarían a sucederse épocas de déficit en la demanda, acusándose su efecto especialmente en la época estival.

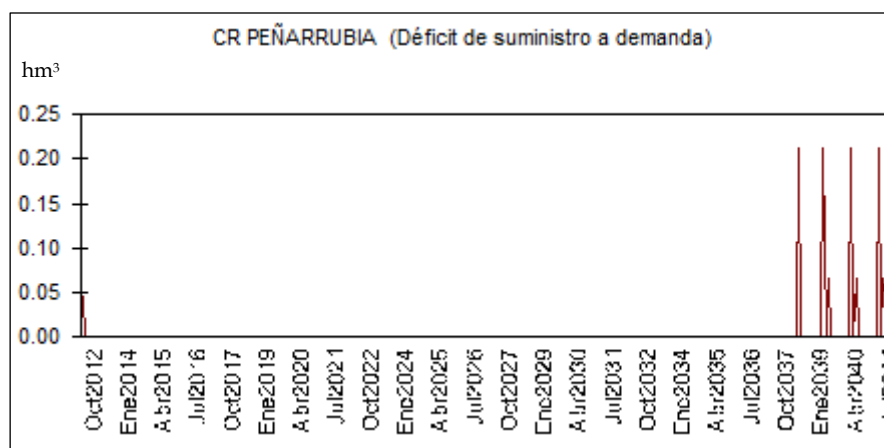


Figura 89. Déficit de suministro a la demanda de Peñarrubia en 30 años en escenario 1.

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, para este medio plazo analizado (30 años) las garantías se reducen hasta incumplir los objetivos del Plan de Cuenca como se puede comprobar en la figura 90, tanto para 1, 2 y 10 años.

VII.2.1.- Acuífero del Boquerón.

Tal y como se ha comprobado en los apartados anteriores, la sobreexplotación del acuífero del Boquerón, lleva no sólo a la indiscutible degradación ecológica de los ecosistemas ligados al balance de agua del elemento subterráneo considerado, sino también a la obligada reducción de caudales de extracción al haberse superado los límites de explotación que la infraestructura instalada permite, con las consecuencias económicas y sociales que puede llevar consigo al municipio y consecuentemente a la comarca a la que pertenece.

Si se analiza la evolución los niveles piezométricos en los pozos donde se realizan las extracciones norte (figura 91) y sur (figura 92), se comprueba que los descensos medios anuales en el pozo de los regadíos de Peñarrubia están en torno a 1m/año, llegándose al final del período estudiado (año 2032) a una cota del agua en pozo situada a 513,17 m.s.n.m., 13 m por encima del extremo final de la tubería de extracción de este bombeo, lo que confirma que para el 2037-2039 comenzarían las

primeras interrupciones en el suministro y la pérdida de garantías sobre los regadíos asociados.

Criterio mensual N° fallos: 12 Garantía: 96.667 % Max. def. mensual: 0.213 Hm3 Max. def. 2 meses: 0.426 Hm3		Criterio IPH2008 agrícola(Utah-DWR) Max. def. 1 año : 57.800 % Max. def. 2 años : 85.700 % Max. def. 10 años: 162.800 %	
Criterio volumétrico Garantía: 94.423 %		Criterio IPH,2008 urbana Criterio 1 mes : 12 fallos Criterio 10 años: 5 fallos	
Criterio anual N° fallos: 6 Garantía: 80.000 %			

Figura 90. Garantías de suministro a la demanda de Peñarrubia en 30 años en escenario 1.

Fuente: Elaboración propia.

En el caso de la batería del Boquerón, el límite de suministro viene igualmente impuesto por la profundidad de los sondeos, lo cual lleva a que una vez que se ha alcanzado el nivel piezométrico 400 (año 2023), coincidente con la profundidad del sondeo, la evolución del mismo venga determinada más por las recargas de lluvia que se produzcan en los meses de otoño-primavera que por las bombeos del acuífero, condicionados éstos por la recuperación del nivel en la zona. Bajo las condiciones de concesión admitidos por la CHS hacia los regadíos en la zona sur del acuífero, los descensos medios anuales hasta llegar al límite del nivel de 400 m son cercanos a los 9 m/año, debido al elevado volumen de recursos que suponen las tres comunidades que extraen de estos pozos.

El mapa de isopiezas elaborado a partir de los resultados obtenidos para las celdas controladas con el modelo realizado (figura 93), pone de manifiesto la caída generalizada de los niveles en el acuífero del Boquerón con respeto a la situación de partida en el año 2012 (figura 74), afectando no sólo a las zonas más cercanas a los pozos de bombeo, donde se evidencia las acusadas depresiones en los niveles, sino incluso al límite occidental, más lejano de los sondeos de las comunidades de regantes,

donde el balance hídrico negativo y el fuerte gradiente hidráulico hacia la fuente de Isso provoca los resultados obtenidos.

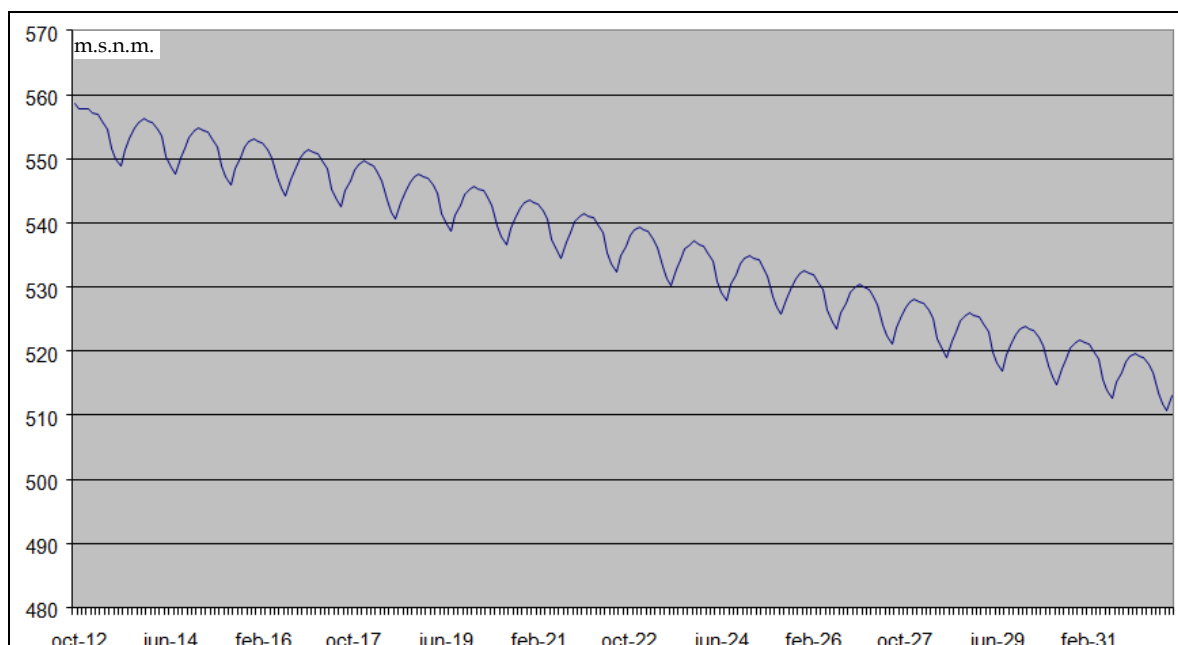


Figura 91. Evolución piezométrica del pozo de la Losa en escenario 1.

Fuente: Elaboración propia.

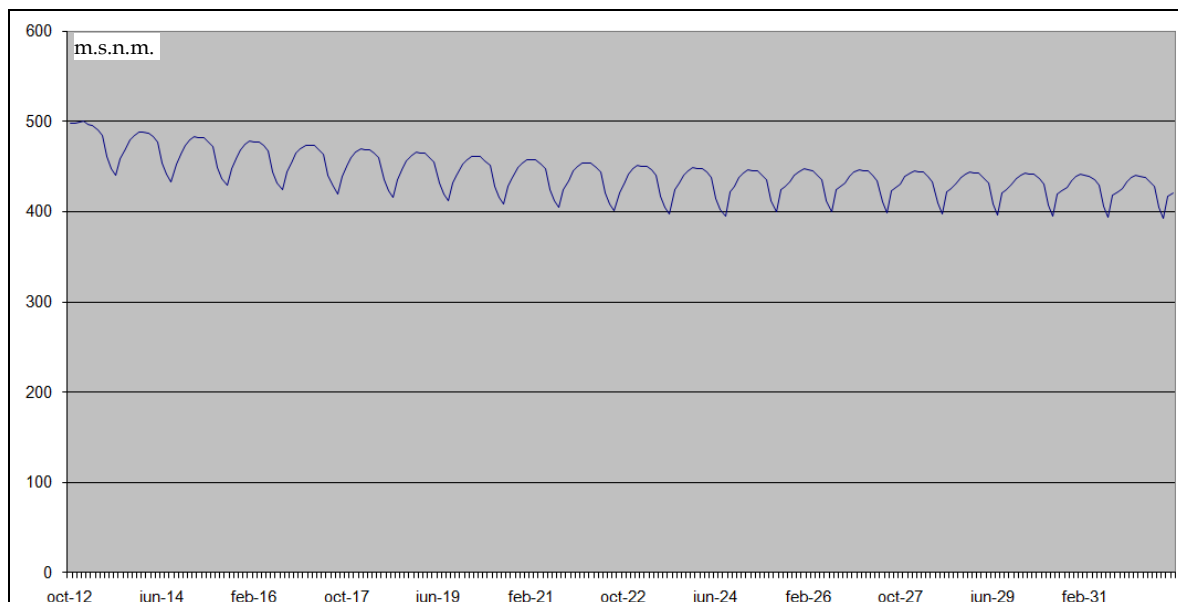


Figura 92. Evolución piezométrica de la batería del Boquerón en escenario 1.

Fuente: Elaboración propia.

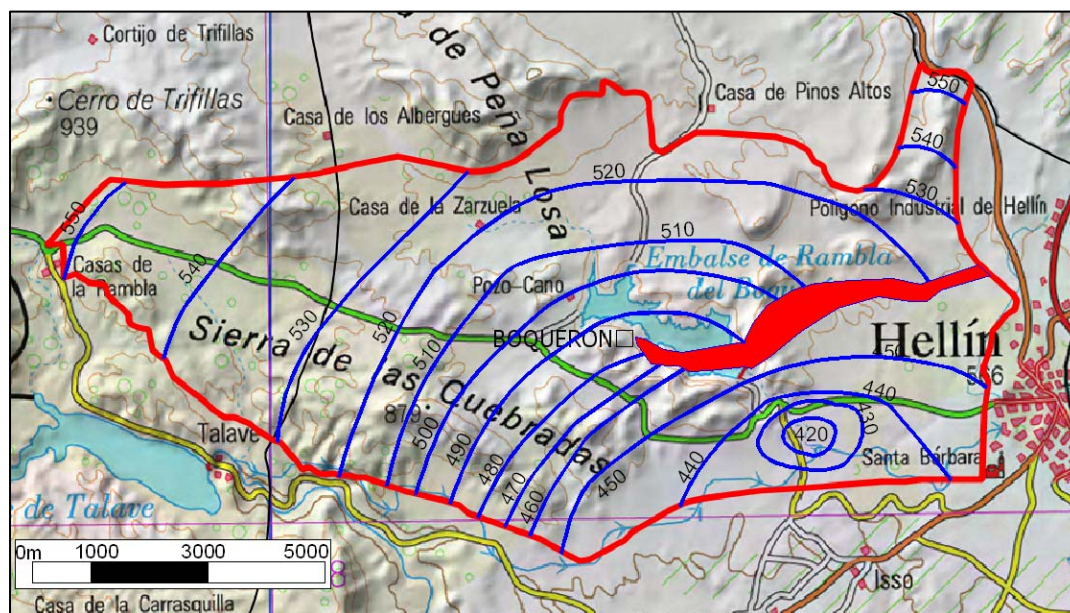


Figura 93. Mapa de isopiezas del Boquerón en 20 años en escenario 1.

Fuente: Elaboración propia.

Si además no se tuviera en cuenta esta limitación de la altura dada por la longitud de las tuberías, especialmente en la batería de pozos del Boquerón, el mapa de isopiezas final tendría el aspecto que se refleja en la figura 94.

Sin limitación de extracciones, el descenso más significativo de niveles se produce en torno a la batería del Boquerón, ya que la diferencia esencial con respecto a la condición impuesta, es el aumento de volúmenes de extracción en esta zona, llegando a posicionarse el agua al final del período estudiado en torno a los 385 m.s.n.m.

Por otro lado, el volumen del acuífero, que en el 1975 Senent et al. (1975) se había estimado en 420 hm³, y como consecuencia del aumento en la superficie propuesta por el IGME (2010b) de los límites del mismo, podrían alcanzar los 462 hm³, habría descendido en el 2012 hasta los 448 hm³, según la modelización realizada del acuífero en Aquival, y bajo este escenario seguiría disminuyendo hasta alcanzar el valor 350 hm³ como se aprecia en la figura 95.

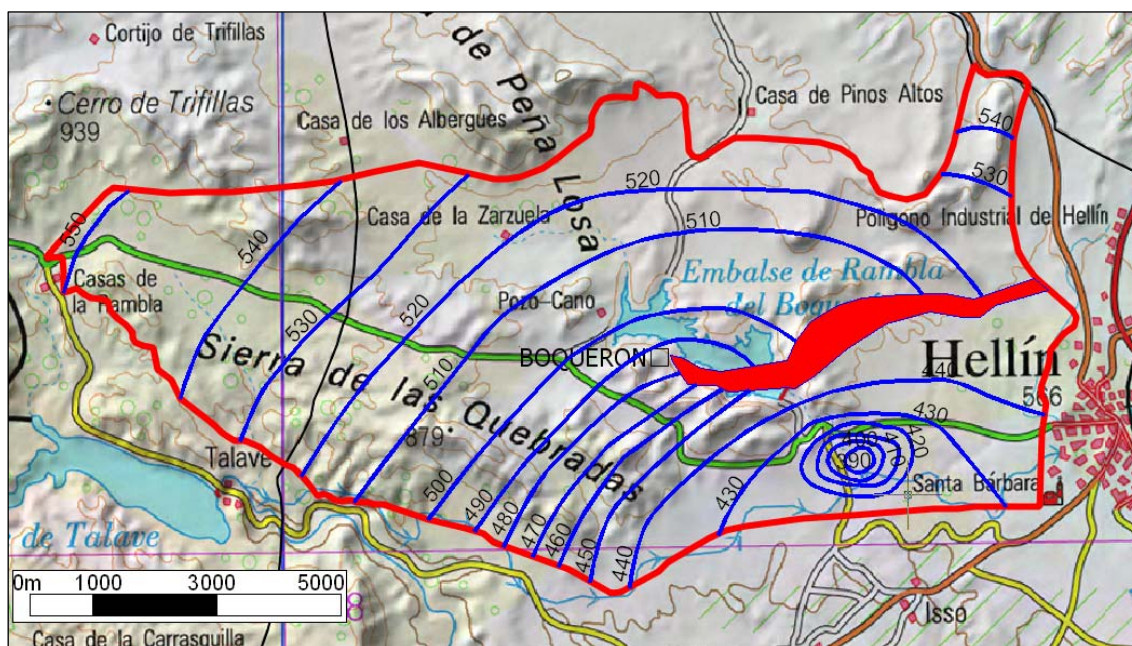


Figura 94. Mapa de isopiezas del Boquerón en 20 años en escenario 1 sin limitación de profundidad de bombeo.

Fuente: Elaboración propia.

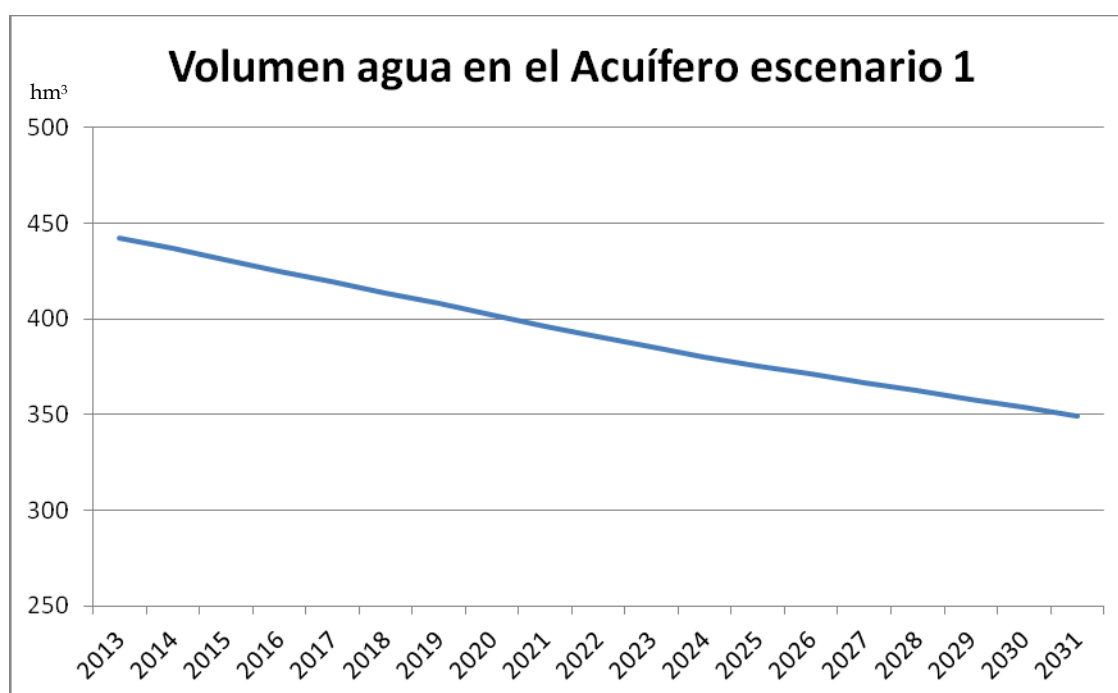


Figura 95. Evolución del volumen de agua almacenada en el Boquerón en escenario 1.

Fuente: Elaboración propia.

VII.3.- Análisis de los resultados para gestión conjunta (Escenario 2).

En este apartado se analizan los resultados del modelo de gestión hídrica en SIMGES considerando en la recarga del acuífero del Boquerón, además de la correspondiente a la filtración por lluvia (la única en el escenario 1), lo que supondría la consideración de los excedentes del canal de Hellín cuando los regadíos de Martínez Parras no los requieren. El estudio sigue el mismo esquema que el caso anterior para cada uno de los elementos del sistema.

VII.3.1.- Demanda Urbana.

Como se comprobó para el escenario 1, la demanda urbana no sufre problemas de garantía en el suministro de recursos, al estar asegurada por las dotaciones superficiales que suponen un volumen mayor al consumo medio anual e incluso al previsto para el horizonte del Plan General de Ordenación de Hellín (J.C.C.M., 2010). Este volumen excedente es almacenado en los depósitos de regulación situados en el municipio que aseguran el suministro de agua doméstica aún en el caso de interrupciones, fallos o averías en el sistema. El presente escenario eleva la seguridad de abastecimiento tanto en los regadíos como ante el consumo urbano ya que aumenta los recursos que, puntualmente, fueran necesarios extraer del acuífero para una u otra demanda consuntiva.

VII.3.2.- Comunidad de regantes de Martínez Parras.

Con la incorporación del acuífero del Boquerón como depósito regulador del sistema local, los excedentes del canal de Hellín son regulados directamente en el acuífero, suministrándolos en el caso de puntas o déficits en las demandas que se abastecen de recursos superficiales o reduciendo los déficits que puedan surgir de las limitaciones de las infraestructuras del sistema. En el caso de la comunidad de regantes de Martínez Parras, la concesión anual de recursos subterráneos es de 2 hm³, que no son suficientes para contrarrestar el déficit de volúmenes suministrados por el canal de Hellín frente a las puntas de demanda que se requieren en época estival. Por ello, pese

a que en este escenario se asegure la concesión de volúmenes aprobada por la CHS, ésta no es suficiente para que queden cubiertas las demandas en los meses de verano.

El suministro de recursos superficiales frente a la demanda vendrá dado por la figura 81, ya que los caudales que transporta el canal de Hellín son destinados al consumo doméstico y a los regadíos de Martínez Parras en tanto que haya demanda sobre éstos. En caso contrario, se aprovechará para incorporarlos al acuífero.

El consumo de recursos subterráneos será igual al máximo de la concesión, distribuido en la época estival tal y como recoge la figura 96. Como diferencia al escenario 1, con este planteamiento se aseguran los 2 hm³ ya que en este período no se llega a rebasar el límite físico de la profundidad del sondeo.

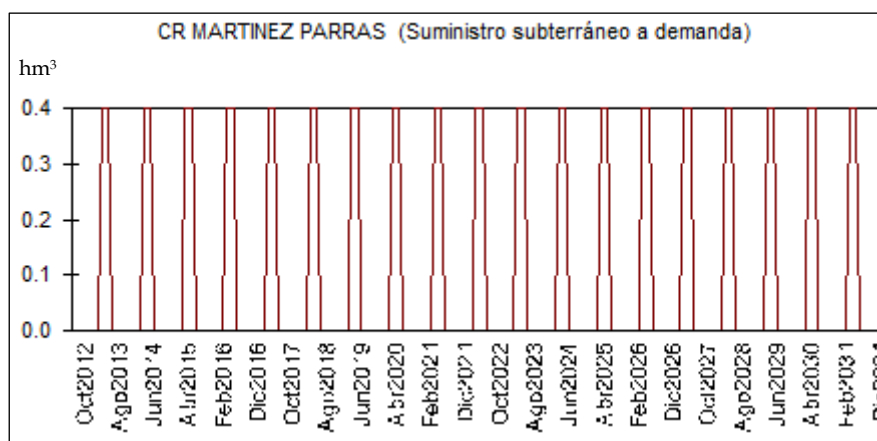


Figura 96. Suministro subterráneo de la CR Martínez Parras en escenario 2.

Fuente: Elaboración propia.

No obstante, debido a la insuficiencia de la dotación subterránea a esta comunidad de regantes, las garantías finales, pese a aumentarse en algunos puntos porcentuales con respecto al escenario 1, son aún bastante reducidas como se muestra en la figura 97.

Criterio mensual Nº fallos: 60 Garantía: 75.000 % Max. def. mensual: 3.277 Hm3 Max. def. 2 meses: 5.017 Hm3	Criterio IPH2008 agrícola(Utah-D'WR) Max. def. 1 año : 29.928 % Max. def. 2 años : 59.856 % Max. def. 10 años: 299.279 %
Criterio volumétrico Garantía: 70.072 %	Criterio IPH,2008 urbana Criterio 1 mes : 60 fallos Criterio 10 años: 20 fallos
Criterio anual Nº fallos: 20 Garantía: 0.000 %	

Figura 97. Déficit de suministro a la demanda de CR Martínez en escenario 2.

Fuente: Elaboración propia.

Si no existiera limitaciones en la concesión subterránea a esta comunidad de regantes, las garantías aumentarían al doble, tal y como se puede apreciar en la figura 98. Los déficits para 1 y 2 años cumplen con el criterio del Plan de Cuenca (CHS, 1998), y el de 10 años se queda próximo también de cumplirlo.

Criterio mensual Nº fallos: 20 Garantía: 91.667 % Max. def. mensual: 3.677 Hm3 Max. def. 2 meses: 3.677 Hm3	Criterio IPH2008 agrícola(Utah-D'WR) Max. def. 1 año : 16.354 % Max. def. 2 años : 32.708 % Max. def. 10 años: 129.359 %
Criterio volumétrico Garantía: 88.773 %	Criterio IPH,2008 urbana Criterio 1 mes : 20 fallos Criterio 10 años: 19 fallos
Criterio anual Nº fallos: 20 Garantía: 0.000 %	

Figura 98. Déficit de suministro a la demanda de CR Martínez en escenario 2.

Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, esta situación provoca la bajada de los niveles en el pozo hasta superar la cota límite del sondeo, provocando restricciones en el resto de regadíos, al igual que sucedía en el escenario 1. La diferencia con respecto a la situación anterior

radica fundamentalmente en que este hecho se produciría a partir del primer año, agravándose a partir del año 2026 como se colige de la figura 99.

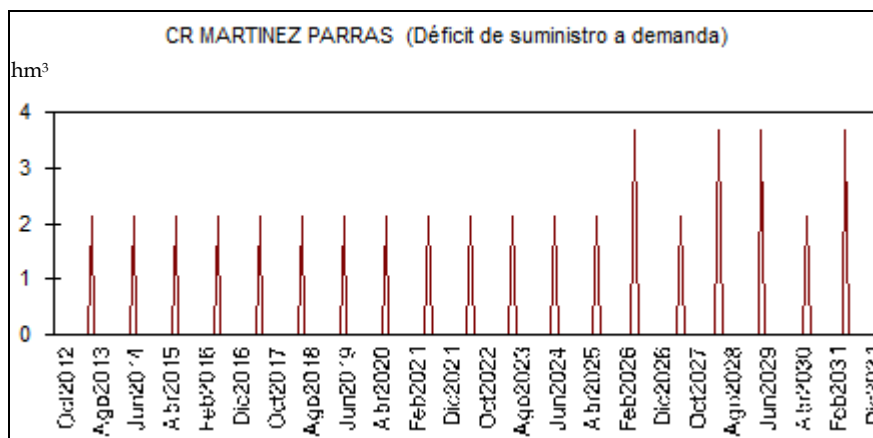


Figura 99. Déficit de suministro a la demanda de CR Martínez en escenario 2 sin límite de concesión.

Fuente: Elaboración propia.

VII.3.3.- Comunidad de regantes Fuente de Isso.

Con la incorporación de los excedentes del canal de Hellín al acuífero del Boquerón, en su límite sur, en una zona próxima a la batería del Boquerón, los descensos de niveles en el acuífero son mucho más suaves y moderados que en el escenario 1. Incluso, en la zona más cercana a la recarga, como es el caso de los bombeos que alimentan a los regadíos de la Fuente de Isso, los niveles aumentarán como se verá más adelante en el análisis del acuífero.

Esto conduce a un déficit nulo de los regadíos que dependen del acuífero, y por tanto un cumplimiento de todos los requisitos de garantía marcados por el Plan de Cuenca.

Se ha procedido a analizar este esquema de funcionamiento para períodos mayores (50, 100 años) y se comprueba que con la recarga realizada al acuífero anualmente, se podría mantener indefinidamente los regímenes de explotación definidos sin riesgo a interrupciones en el suministro como ocurría en el escenario 1.

VII.3.4.- Sociedad Agraria de Transformación Ojeado.

La proximidad del pozo del Romeral con respecto a la batería del Boquerón, hace que los resultados de los últimos en lo referente a garantías sean aplicables al Ojeado. Es decir, no existe ningún déficit para el suministro de los volúmenes demandados ya que la garantía de suministro en este escenario es del 100% por mantenimiento y recuperación de los niveles en las zonas próximas a la recarga. Se reitera que bajo el escenario planteado, las explotaciones son sostenibles en el tiempo asegurando una continuidad de las mismas a largo plazo.

VII.3.5.- Comunidad de Regantes de Peñarrubia.

Esta comunidad de regantes se encuentra bastante alejada de la zona de recarga (en torno a 5 km) lo que no repercutirá directamente sobre la recuperación de los niveles piezométricos debido al bombeo sobre la Losa., además de por su marcado gradiente hidráulico norte-sur. Sin embargo, esta recarga en la zona norte del acuífero produce una disminución en el gradiente hidráulico referido, lo que lleva a que los descensos del nivel de agua en la zona norte sean mucho más suaves que en el escenario 1.

Se ha comprobado en qué momento se verían afectados los bombeos por bajadas en el nivel por debajo de la longitud del sondeo, llegando a estimarse que tendrían que pasar más de 300 años para que surgieran las primeras interrupciones en el suministro debido a esta causa.

VII.3.6.- Acuífero del Boquerón.

Como venimos comentando en los apartados anteriores, la consecuencia inmediata de la incorporación del acuífero al sistema de gestión, actuando en el mismo como depósito regulador de los excedentes del canal de Hellín, es la disminución en la velocidad de los descensos del nivel piezométrico o incluso, la recuperación de los mismos en las zonas más próximas a la recarga, como es el caso de la batería del Boquerón.

Y no sólo las zonas más cercanas a la recarga se ven beneficiadas por el nuevo rol del acuífero en el sistema de gestión hídrica. Como se puede apreciar en la figura 100, en el caso del pozo de la Losa, las bajadas del nivel en el mismo han pasado de 1 m/año en el escenario 1 a 0,35 m/año con la gestión planteada en el presente escenario, ya que el elevado gradiente hidráulico provocado por la demanda de volúmenes en la zona sur del acuífero se ve reducido, y por tanto, la transferencia desde la zona norte se influenciada indirectamente de esta recarga.

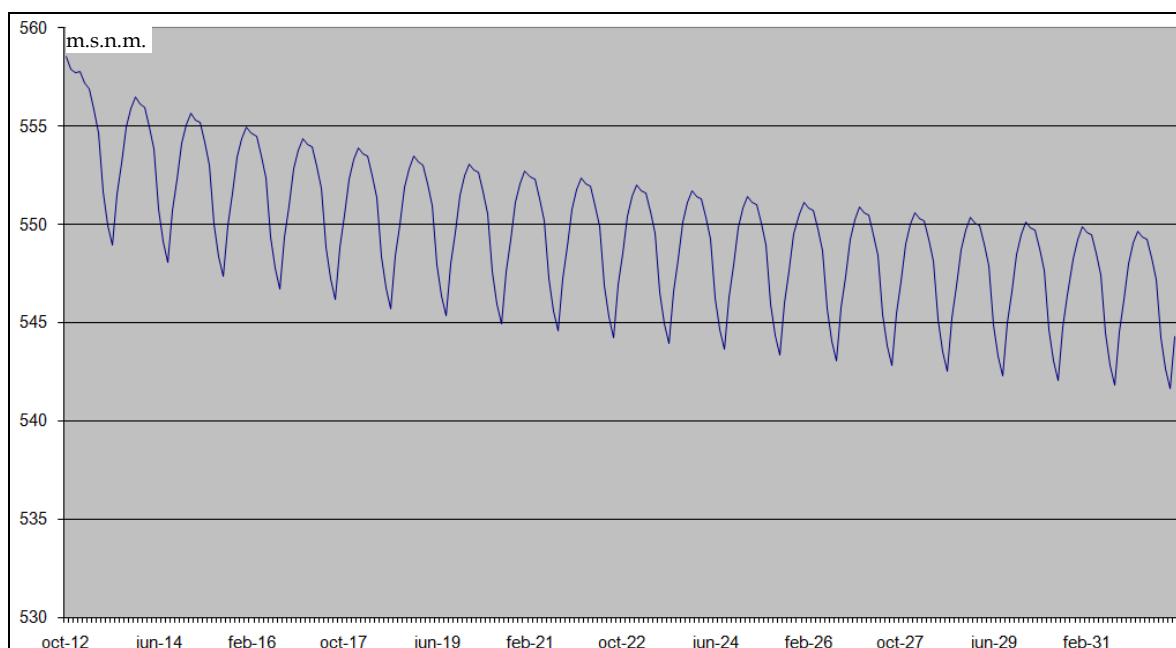


Figura 100. Evolución piezométrica del pozo de la Losa en escenario 2.

Fuente: Elaboración propia.

En el caso de la batería del Boquerón, se produce una recuperación de los niveles piezométricos en este sondeo tal y como se comprueba en la figura 101, llegando a registros próximos a los del régimen natural (e incluso superiores) en los años 70 en períodos de menor riego. Como se comprueba en este mismo gráfico, la variación a lo largo del año es muy diferente atendiendo a los períodos en los que se produce la recarga (octubre-marzo) y los meses donde además de no haber recarga artificial sobre el acuífero, éste debe abastecer a la mayoría de los regadíos existentes en el municipio. No obstante, en términos interanuales, el crecimiento es finalmente positivo y la recuperación en la zona efectiva. La velocidad máxima de recuperación

del nivel se encuentra en torno a los 1 m/año en primavera y de 5-10 cm/año para finales de la época estival.

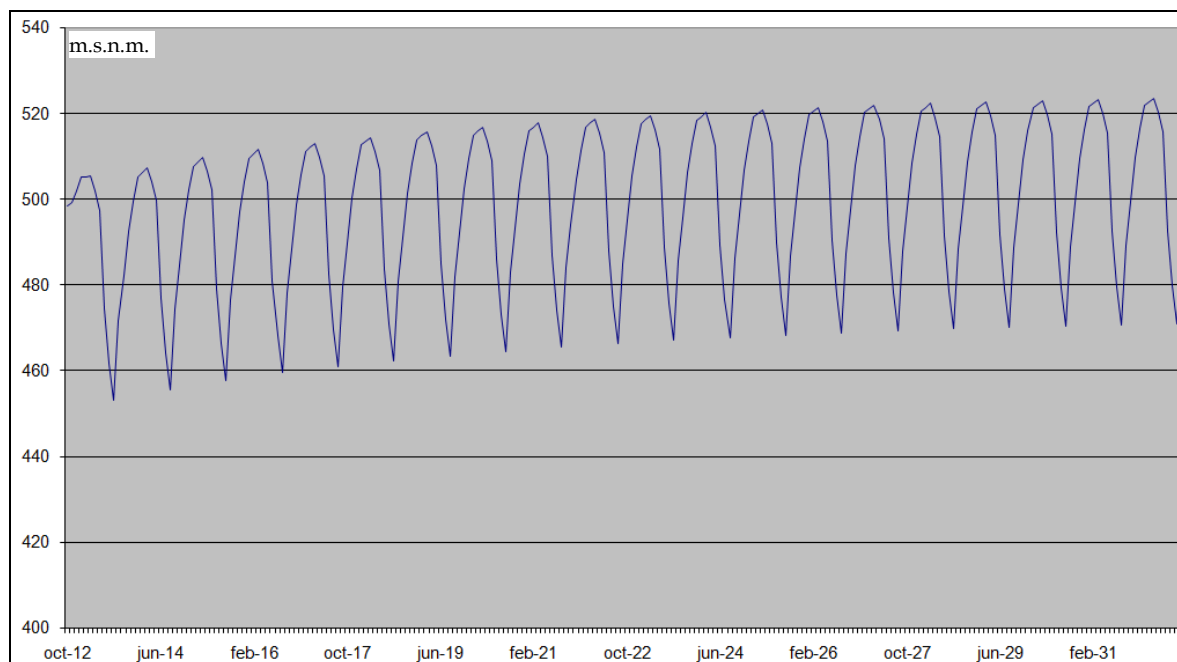


Figura 101. Evolución piezométrica de la batería del Boquerón en escenario 2.

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, en la zona de los pozos de recarga artificial (figura 63), estas subidas del nivel son, como es de esperar, mucho más rápidas como se puede observar en la figura 102. Las evoluciones de una y otra zona estarán vinculadas por los períodos de recarga artificial, así como de los bombeos.

Finalmente, el mapa de isopiezas confeccionado a partir de los datos controlados en las celdas del acuífero (figura 103), resume a nivel global lo analizado hasta el momento. Pese a haber algunas caídas de niveles concéntricas puntuales, propias de los pozos existentes en estas zonas, los niveles piezométricos en las áreas más próximas a la recarga simulada han recuperado (y superado) gran parte los niveles correspondientes a régimen natural, sobre todo el límite sureste. En el resto del acuífero, los niveles han seguido bajando con respecto al punto de partida, correspondiente al año 2012. Sin embargo, si se compara con los mapas de isopiezas resultantes del escenario 1 (sin gestión conjunta ni embalse regulador), donde la bajada generalizada era de 40 m aproximadamente, con el escenario se ha conseguido reducir

a la mitad, beneficiándose de esta forma, no solamente los cultivos de la zona por aumento de las garantías de suministro, sino también los ecosistemas asociados a estas aguas subterráneas y a las salidas naturales de las mismas.

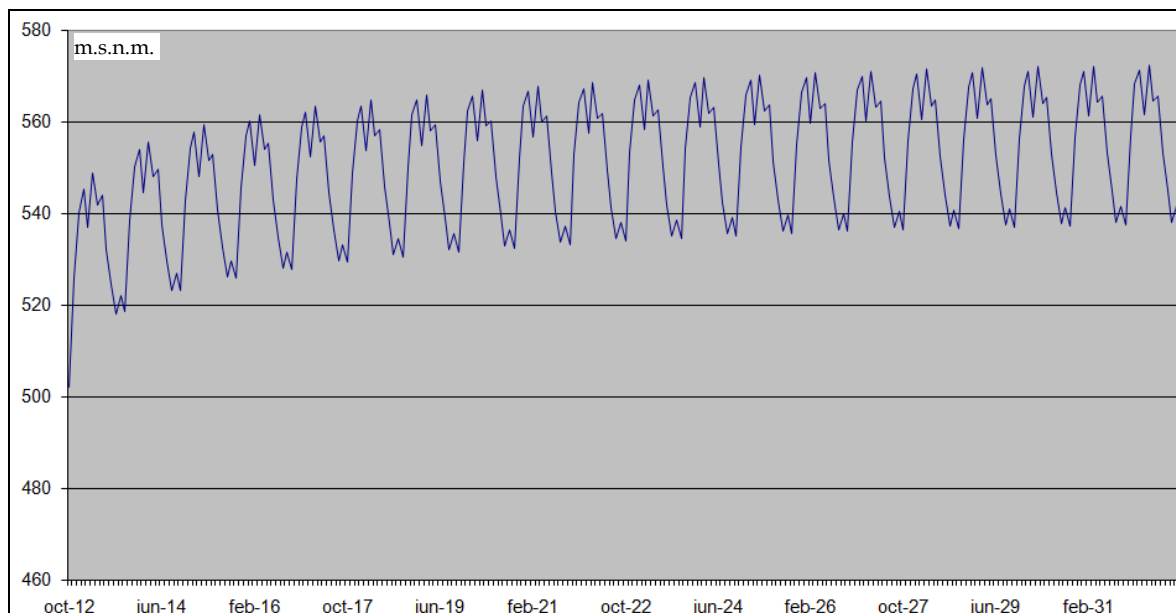


Figura 102. Evolución piezométrica de la zona de recarga del Boquerón en escenario 2.

Fuente: Elaboración propia.

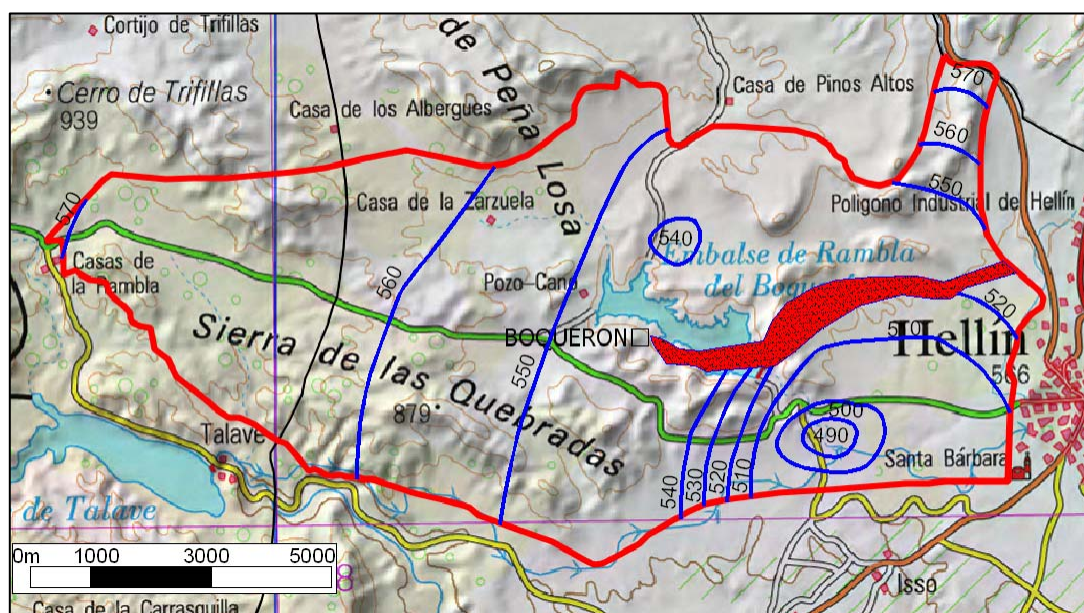


Figura 103. Mapa de isopiezías del Boquerón en 20 años en escenario 2.

Fuente: Elaboración propia.

En lo que respecta a la evolución del volumen de agua almacenado en el acuífero (figura 104), se comprueba que la reducción resultante es prácticamente insignificante (1,3%) con respecto al volumen estimado en la actualidad (448 hm³). Además, la diferencia de la consideración del acuífero como depósito de regulación queda demostrada si se realiza la comparación con los resultados obtenidos para el escenario 1, en el que se obtenía una reducción próxima al 22% del almacenamiento actual.

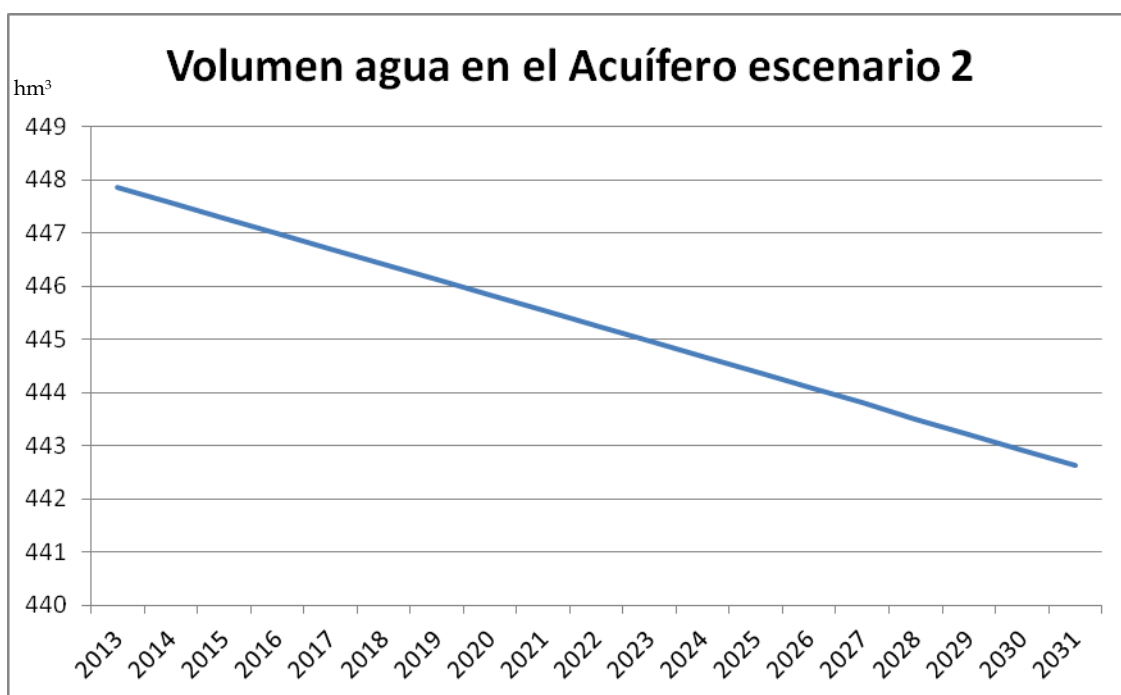


Figura 104. Evolución del volumen de agua almacenada en el Boquerón en escenario 2.

Fuente: Elaboración propia.

VII.4.-Cumplimiento de la DMA.

Tal y como se comprueba en el análisis de los resultados del escenario 2, en el que se incorpora los excedentes del canal de Hellín al acuífero del Boquerón, los niveles piezométricos de las zonas cercanas a los pozos de recarga van recuperándose año tras año llegando a alturas próximas al régimen natural al final del período analizado. Por otro lado, aquellas áreas del acuífero más lejanas también se ven beneficiadas indirectamente en tanto que el gradiente hidráulico oeste-este se reduce,

al igual que el gradiente norte-sur, lo cual produce un descenso muy inferior al que resultaba de la evaluación del escenario 1, simulando la gestión hídrica actual. No obstante, esta aportación de caudales en el extremo sudeste del acuífero no es suficiente para equilibrar el sistema, igualando las extracciones que se producen en el mismo con respecto a las recargas (naturales y artificiales) que se prevén. Finalmente, aunque de una manera mucho más atenuada, el progreso interanual del agua almacenada en el acuífero va disminuyendo como se comprobaba en la figura 104, luego el planteamiento del balance cero para, incluso, la segunda prórroga que admite dicha directiva en el 2027, sería imposible con los regadíos activos en la actualidad que se abastecen del acuífero del Boquerón.

Tras numerosos tanteos realizados en el sistema, se obtiene un equilibrio entre recargas y extracciones a 20 años de plazo, mediante una reducción de la dotación mensual de las explotaciones agrícolas en torno al 80 % en el escenario 1 y del 10% en el escenario 2. Esto nos indica que resulta totalmente inviable el cumplimiento de la DMA para la gestión actual en el acuífero en estudio ya que habría que eliminar gran parte de los cultivos existentes que bombean agua del Boquerón para conseguir el equilibrio en el acuífero.

Sin embargo, en el caso de la gestión conjunta, una reducción del 10% podría conseguirse mediante la racionalización del uso del agua, modernizando algunos de los sistemas de riego (López-Gunn et al., 2012) y aumentando la eficacia de parte de las obsoletas instalaciones, así como renovando algunas de las conducciones de transporte con pérdidas estimadas por encima del porcentaje mencionado.

Finalmente, el manantial de Hellín volvería a reaparecer en un período de 5-10 años bajo la gestión conjunta descrita de manera continuada durante los meses de mayor recarga (noviembre-enero), posibilitando la recuperación y desarrollo de los ecosistemas asociados a esta salida natural de agua del acuífero.

Capítulo VIII

Conclusiones y recomendaciones.

En este apartado final, y a modo de síntesis, se plantean las conclusiones derivadas de la investigación desarrollada en la presente tesis. Asimismo, también se presentan las consideraciones a evaluar para un futuro, tanto de las posibles líneas de investigación a desarrollar, como de los modelos que pudieran complementar el realizado con este trabajo. Se ha evitado destacar las conclusiones de detalle y de caso concreto, que ya se encuentran recogidas en el resto de capítulos (especialmente en el de resultados).

Conclusiones generales.

- Las aguas subterráneas han sido (y aún en la actualidad continúan siendo) las grandes desconocidas en lo referente a su relación con la gestión de los recursos hídricos (hidromitos). Esto ha provocado, por un lado, la marginalidad de las mismas respecto a la planificación hidráulica en España. Además, representan un coste claramente inferior al uso de agua procedente de embalses superficiales (Garrido et al., 2006) y **aseguran la garantía de suministro en cualquier época del año**. Por otro lado, y en sentido negativo, se encuentra el fenómeno de la sobreexplotación de los acuíferos, especialmente en el sureste español. Este balance negativo entre recargas y extracciones provoca descensos en los niveles de agua en los sondeos realizados, aumentando finalmente el coste del producto resultante, hasta hacerlo inviable (Llamas, 1998c) en muchos casos y llegar al abandono de ciertos pozos, tanto por incremento de los gastos de explotación como por la deficiente calidad del agua.
- La respuesta de las administraciones públicas se ha focalizado sobre todo en la gestión de los recursos (en lugar de planificar una política de regulación de las demandas), aumentando la disponibilidad de los mismos y fomentando la

construcción de grandes infraestructuras hidráulicas superficiales con los consiguientes costes económicos, ambientales y sociales aparejados a estas decisiones. Actualmente se ha comenzado a optar por la solución de incrementar el número de concesiones sobre aguas subterráneas, lo que requiere un exhaustivo control por parte de la administración hidráulica basado en un suficiente conocimiento de la hidrogeología de la zona.

- La grave situación de garantías en períodos de sequía a los que se enfrenta con excesiva frecuencia el levante de España, pasa por la **consideración del agua como recurso único**, habida cuenta del rol que los acuíferos pueden jugar en la planificación y regulación del agua. En este sentido, el acuífero, además del suministro de agua en períodos de déficit o puntas de consumo, jugaría el papel de depósito o embalse subterráneo que almacenaría los excedentes de los recursos superficiales cuando éstos no fueran demandados. De esta manera, la capacidad de regulación del sistema considerado se multiplica enormemente, y además, sin la necesidad de una inversión en infraestructuras de retención y almacenamiento superficiales, imposibles para alcanzar una equiparación en volúmenes y espacios disponibles, con el consiguiente beneficio ambiental, al no verse afectado negativamente (todo lo contrario) el medio sobre el que se actúa.

- Para poder incorporar este elemento, como cualquier otro, a la gestión de recursos hídricos del área considerada, es necesario el conocimiento detallado del mismo. Desde la demanialización de las aguas en España con la entrada de la Ley de Aguas (España, 1985), las investigaciones de las características y comportamiento de los acuíferos españoles que se venían realizando hasta la fecha, sufrieron una importante merma (Murillo et al., 2002). Incluso muchos de los registros de niveles piezométricos de los distintos sondeos que se localizaban sobre los diversos acuíferos españoles, fueron finalmente abandonados, existiendo constancia oficial de la evolución hasta la fecha únicamente de los piezómetros que integran la red de control de las distintas confederaciones, una proporción mínima comparada con el número de puntos que por los años 70-80 ofrecían datos de contraste. Más reducida y aún más difícil de valorar es la

información relativa a las cantidades extraídas al no existir mecanismos de medida y control de las extracciones, hasta hace relativamente poco (Albiac et al. 2002).

- Debido a este escaso interés en el estudio de estas formaciones geológicas, la información disponible actualmente es imprecisa e insuficiente, en la mayoría de los casos, para valorar las posibilidades de las nuevas filosofías de gestión hídrica conjunta surgidas en los últimos años (ASR, RBF, etc.). Estos nuevos planteamientos están avalados por el éxito de experiencias similares en todo el mundo, que han conseguido una gestión eficaz y sostenible, prolongando la vida útil de los acuíferos y aumentando las garantías del conjunto de las demandas hídricas. En España, en las últimas décadas se han realizado planes de investigación de aguas subterráneas que ayudarán en la toma de decisiones en cuanto a las posibilidades de funcionamiento de diversos acuíferos en una gestión conjunta real de diferentes y diversos sistemas hídricos (Fernández, 2008).
- Vinculado a esta visión de una gestión sostenible y equitativa de los recursos, surge a finales del siglo XX el paradigma de la Gestión Integral de los Recursos Hídricos, de enfoque eminentemente holístico, cuyos objetivos se han visto obstaculizados por las dificultades económicas y sociales que supone el alcance de algunas de las metas planteadas, así como por la participación de todos los actores relacionados. Existe un sector cada vez mayor en la comunidad científica que aboga por una abstracción en escala de este enfoque, tanto desde el punto de vista administrativo como físico, en el que se puedan aplicar los principios que rigen esos objetivos a una escala menor que la demarcación hidrográfica, sin que ésta pierda su posición en el control y regulación del sistema desde un punto de vista global. Así, surge la idea de una **gestión local o "light"** (Moriarty et al., 2004) asociada a la extensión del medio que proporciona el recurso. Y es aquí donde, **los acuíferos, definidos por criterios hidrogeológicos, tienen la capacidad de ser la estructura apropiada en la cual centralizar la gestión y protección.** La gestión conjunta de los recursos hídricos a escala local no es sino un paso complementario, que no excluyente, en la consecución de las filosofías de

eficacia, sostenibilidad y participación auspiciadas y promovidas por los organismos internacionales bajo los principios de la declaración Dublín (1992), partiendo de las medidas a implementar por las comunidades de usuarios y las administraciones locales.

Conclusiones específicas.

- El municipio de Hellín se asienta en la mayor parte de su extensión sobre acuíferos de diversa entidad, lo que ha favorecido el desarrollo de gran parte de sus regadíos con los recursos que de ellos se obtiene. Hasta la fecha, las experiencias de almacenamiento con recuperación (ASR) en la zona han sido meramente experimentales (Senent et al., 1975) no siendo suficientemente aprovechadas por las comunidades de regantes, pese al continuo conflicto y disputa en relación con la disponibilidad de agua.
- A pesar de la escasez de datos referentes a los consumos, se comprueba que las estimaciones de dotaciones que se realizan tanto en el Plan de Cuenca, como en el Plan de Sequías se asemejan en gran medida a las comprobaciones que se han podido realizar de la información recabada en los últimos años de los consumos de algunas de estas sociedades. Además, las hipótesis realizadas en la modelización del acuífero del Boquerón demuestran la buena estimación de las demandas hídricas para los regadíos utilizadas en la presente tesis.
- Mediante la modelización realizada con Aquival del acuífero del Boquerón, se constata el fuerte gradiente hidráulico en el sentido norte-sur y oeste-este, que explica, tanto la diferencia de niveles registrados en los piezómetros y sondeos de las áreas analizadas, así como los elevados volúmenes extraídos a lo largo de los últimos 40 años por el acuífero en las proximidades de su límite sur y la pérdida de caudales que hasta hace relativamente poco, emanaban de los distintos manantiales del municipio, principalmente de la fuente de Isso. Por otro lado, el modelo validado reafirma las consideraciones realizadas por Senent et al. (1975) en cuanto a las isopacas estimadas de esta formación

geológica y al subafloramiento del impermeable en la zona sureste, lo cual explica la escasa afección que los bombeos de la batería del Boquerón tienen sobre los niveles piezométricos en el sondeo de Peñarrubia.

- La simulación realizada caracterizando el sistema de **gestión hídrica actual**, sin interconexión entre los recursos superficiales y subterráneos, pone de manifiesto la **insostenibilidad en el ritmo de explotaciones que se realizan sobre el acuífero del Boquerón a medio plazo**, debido al descenso de los niveles piezométricos locales que limitarían progresivamente la capacidad de las infraestructuras de extracción instaladas. Alcanzada la profundidad máxima de los sondeos, todas las comunidades de regantes de la zona se verían afectadas directamente por la pérdida de caudales y consecuentemente de las dotaciones asignadas, reduciéndose drásticamente las garantías y, consecuentemente, la rentabilidad de la producción agrícola.
- La situación anterior obliga a considerar una alternativa en la gestión de los recursos hídricos, que pasa por la integración del acuífero del Boquerón en el sistema local estudiado, funcionando como un gran depósito regulador natural. Aprovechando la localización de la traza del canal de Hellín por el límite sur del acuífero, existe la posibilidad de una aportación de recursos superficiales excedentes durante las épocas en las que estos volúmenes no son requeridos por los regadíos asociados. De esta forma, la **gestión conjunta de recursos hídricos a escala local** quedaría plasmada en un **sistema de almacenamiento con recuperación (ASR) con base en el Boquerón**, que recibiría y almacenaría volúmenes de agua procedentes de infraestructuras superficiales durante los períodos de excedentes y, en épocas de sequía o puntas en la demanda, suministraría los caudales necesarios que no pudieran ser compensados con los recursos superficiales.
- La simulación realizada con el modelo SIMGES del escenario que refleja la gestión conjunta demuestra que la recuperación de los niveles piezométricos es casi inmediata en las proximidades de la zona de recarga, así, como la

amortiguación de las bajadas en el resto del acuífero al reducirse el gradiente hidráulico efectivo. Esto **asegura un mantenimiento de las explotaciones actuales a medio y largo plazo, así como un aumento en las garantías de suministro de todas las comunidades de regantes relacionadas directa e indirectamente con el Boquerón.**

- Esta nueva perspectiva de planificación hídrica, no sólo ofrece beneficios económicos y sociales al asegurar la producción de los regadíos del campo de Hellín, sino que **permite alcanzar uno de los objetivos preconizados por la DMA al equilibrar el balance global del acuífero** en tanto que se consiga una reducción inferior al 10% en el consumo, hecho abordable con la modernización de la infraestructura de riego de la zona y el aumento de la eficacia del sistema (Rodríguez y Quintana, 1990, Madramootoo, 2012) . Además, la recuperación de los niveles en la zona sur estudiada, posibilita la **aparición nuevamente de las fuentes (ahora secas) y, la regeneración de los ecosistemas asociados a ellas.**

Futuras líneas de investigación.

- Validar las conclusiones expuestas en la presente tesis, relativas a la determinación de los parámetros de infiltración considerados en la evaluación de la recarga natural del acuífero, mediante la utilización de diferentes técnicas que permitan respaldar o corregir los supuestos realizados en este estudio.
- Analizar las transferencias que pueden producirse entre el acuífero del Boquerón y el resto de acuíferos anexos, especialmente el Umbría y en menor medida Búhos, siendo necesario el estudio de tanto las recargas como explotaciones que sobre estas masas de agua subterránea se realizan, así como la modelización de los acuíferos implicados que permitan justificar la evolución de los niveles piezométricos en los mismos, así como en el Boquerón y los caudales de las fuentes que, hasta principios de este siglo, estuvieron ligadas a sus regímenes naturales.

- Comparar los resultados obtenidos en esta investigación de la modelización del acuífero del Boquerón mediante la utilización de Aquival con la utilización de otros programas de modelización como por ejemplo, el modelo MODFLOW (U.S. Geological Survey), INQUIMAP (Geo & Soft International) o REALM.
- Caracterización hidrogeológica del acuífero del Boquerón en su extremo oeste. La reciente ampliación de los límites del acuífero propuesta por el IGME (2010b) en este margen carece de sondeos sobre los que analizar la evolución de los niveles piezométricos, así como experiencias o ensayos previos que determinen los parámetros de funcionamiento en esta área y su relación con el resto de la formación.
- Plantear alternativas de ubicación y selección de sistema de recarga artificial en función del estudio de las posibilidades que ofrece el trazado del canal de Hellín a lo largo de la extensión del acuífero del Boquerón, haciendo especial hincapié en las características hidrogeológicas de las posibles superficies seleccionadas, teniendo en cuenta los resultados de las positivas experiencias de recarga realizadas en esta área por Senent et al. (1975).
- Análisis Coste-Eficacia del sistema de recarga artificial planteado, frente a otros posibles que permita definir la eficiencia técnico-financiera de los mismos, y por lo tanto realizar una evaluación completa, con el fin de identificar qué sistema tiene una mayor eficiencia a un coste menor.

Referencias bibliográficas.

ACRES (1998). User's Manual ARSP Acres Reservoir Simulation Package.

ACRES International Ltd. Disponible en:
<http://www.acres.com/company/water/arsp.htm>

AHLFELD, D.P., MULVEY, J.M., PINDER, G.F. y WOOD, E.F., (1988). "Contaminated groundwater remediation design using simulation, optimization, and sensitivity theory". 1: Model development. Water Resources Research (24), pp. 431-441

ALBIAC, J., TACPIA, J. Y CALVO, E. (2002). "El uso agrario del agua en las comarcas de Levante y Sureste y el trasvase del Ebro". Revista española de estudios agrosociales y pesqueros, 196 , pp. 95-132

ALEMU, E.T., PALMER, R.N., POLEBITSKI, A. y MEAKER, B., (2011). "Decision support system for optimizing reservoir operations using ensemble streamflow predictions". Journal of Water Resources Planning Management. 137, pp. 72-82.

ANDREU, J. y A. SAHUQUILLO (1987). "Efficient Aquifer Simulation in Complex Systems", Journal Water Planning and Management 113 (1), pp. 110-129

ANDREU J. y CAPILLA J. (1993). "El modelo de Gestión de Cuencas SIMGES". En Andreu J. (Ed.) "Conceptos y Métodos para la planificación hidrológica" CIMNE. Barcelona, pp. 298-321

ANDREU J., CAPILLA J. y CABEZAS F. (1994) "Los sistemas de soportes de decisión en la planificación y gestión racionales de los recursos hídricos" Ingeniería del Agua, 1(2), pp. 7-20

- ANDREU, J., CAPILLA ROMA, J., y SANCHIS, E. (1996). "AQUATOOL, a generalized decision support system for water-resources planning and management". *Journal of Hydrology*, 177, pp. 269-291
- ANDREU, J., SOLERA, A., CAPILLA, J. y BLANCO, L (1997) "AQUIVAL. Módulo para el preproceso y simulacion de acuíferos. Manual de usuario". Disponible en: <http://www.upv.es/aquatool/>
- ANDREU, J., SOLERA, A., CAPILLA, J. y FERRER, J. (2007) "Modelo SIMGES de Simulación de la Gestión de Recursos Hídricos, incluyendo Utilización Conjunta. Versión 3.00. Manual del Usuario". Ed. Universidad Politécnica de Valencia. Disponible en: <http://www.upv.es/aquatool/docs/SIMGE2usr300.pdf>
- ANDREU J., SAHUQUILLO A., SOLERA A., PULIDO M. y PAREDES J. (2010). "Uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas". Ponencia para el XII Congreso Nacional de Comunidades de Regantes de España, organizado por FENACORE, celebrado en Tarragona, Mayo de 2010.
- ANDRICEVIC, R., (1990). "A real-time approach to management and monitoring of groundwater hydraulics". *Water Resources Research*, 26, pp. 2747-2755.
- ARMAYOR, J.L., MURILLO, J.M., RODRÍGUEZ, L. y HERNÁNDEZ-BRAVO, J.A. (2001). "Estimación de los consumos agrícola y urbano como elemento de análisis de la demanda en un modelo matemático de gestión conjunta. Aplicación al Alto Vinalopó" VII Simposio de Hidrogeología Murcia. IGME. pp. 685-694. Disponible en: http://aguas.igme.es/igme/publica/sim_hidro_Murcia/tomo%20XXIII/56.pdf
- ARMENTER, J.L. (2006). "La recarga artificial de acuíferos en la gestión conjunta de los recursos del río Llobregat." *Agua y Ciudad en el ámbito mediterráneo*

(AQUAinMED). Memoria de las jornadas celebradas en Málaga del 24 al 28 de abril de 2006. Edita: IGME, serie hidrología y Aguas Subterráneas, 19.

ARROJO, P. (1999) "Perspectivas socioeconómicas del uso del agua en el regadío en España". Riegos y drenajes 21 (104), pp. 46-53

AYVAZ, M.T., (2009). "Application of harmony search algorithm to the solution of groundwater management models". Advances in Water Resources 32, pp. 916-924.

BELLMAN R., (1966). "Dynamic Programming and Modern Control Theory", Academic Press Inc., New York. 112 pp.

BISWAS, A.K. (2004) "Integrated Water Resources Management: A Reassessment", International Water Resources Association Water International, 29 (2), pp. 248-256.

BISWAS, A.K. (2008). "Integrated Water Resources Management: Is It Working?" Water Resources Development, 24 (1), pp. 5-22,

BORGONÓOS, M.D. (1999). Análisis de redacción de referencias y citas bibliográficas en literatura científica a través del estudio de la normalización bibliográfica. Tesis doctoral. Universidad de Murcia.

BOWMAN, I. (1911). " Well drilling methods". US Geol. Survey, Water Supply Paper 257, pp. 23-30.

BRANNSTROM C., (2004) "Decentralising water resource management in Brazil". The European Journal of Development Research, 16 (1), pp. 214-234

- BRINKMANN, R. y GALLWITZ H. (1950). "El borde externo de las Cadenas Béticas en el sureste de España". Publicaciones extranjeras sobre Geología de España. 5, CSIC, Madrid, pp. 173-290
- BREDEHOEFT, J.D. (1997). "Safe yield and the water budget myth" *Ground Water*, 35 (6), pp. 929.
- BURKE, J.J. (2003). "Groundwater for irrigation: productivity gains and the need to manage hydro-environmental risk". En: M.R. Llamas and E. Custodio (eds.), *Intensive Use of Groundwater Challenges and opportunities*. Balkema Publishers. Lisse, the Netherlands, pp. 59-92
- BUSTAMANTE, R., BUTTERWORTH, J., FLIERMAN, M., HERBAS, D., DEN HOLLANDER, M., VAN DER MEER, S., RAVENSTIJN, P., REYNAGA, M. y ZURITA, G. (2004). "Livelihoods in conflict: disputes over water for household-level productive uses in Tarata, Bolivia" Disponible en: <http://www.prodwat.watsan.net/page/413>
- CASTELLANO, E., REY, C., ELORRIETA, J.I., (2004). "El precio real del agua en Navarra; Economía y desarrollo sostenible: actas del congreso" Gobierno de Navarra, pp. 91-108
- CASTLE, E.N. y LINDEBORG, K.H., (1960). "The economics of groundwater allocation: a case study". *Journal of Farm Economics*, 42 (1), pp. 150-160.
- CEDEX (2013). "Anuario de Aforos 2009-2010". Disponible en: <http://hercules.cedex.es/anuarioaforos/afo/canal-todalacuenca.asp?cdr1=07>
- CHENG, A.H.D., y OUAZAR, D., (2004). "Coastal Aquifer Management: Monitoring, Modeling, and Case Studies". Lewis, Boca Raton, Florida, 226 pp.

- CHG (2007). Plan Especial de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía de la Cuenca hidrográfica del Guadalquivir. <http://www.chguadalquivir.es/opencms/porta/chg/laDemarcacion/guadalquivir/laGestionAgua/informacionHidrologica/politicaGestionSequias/planEspecialSequias/>
- CHUN, R. Y. D., MITCHELL, L. R. y MIDO, K. W. (1964). "Groundwater management for nation's future- optimum conjunctive operation of groundwater basin". Journal of the Hydraulics Division ASCE, 90 (4), pp. 59-96
- CHUNG, F. I., ARCHER, M. C., y DEVRIES, J. J. (1989). "Network flow algorithm applied to California aqueduct simulation". Journal of Water Resources Planning and Management, 115(2) pp. 131-147
- CHG (2007) "Propuesta de Proyecto de Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir". Disponible en: <http://www.famp.es/famp/intranet/documentos/PH/PH%20GUADALQUIVIR/Anejos/Anejo%2010%20Programa%20de%20Medidas/APENDICE%20IV%20-%20MODELO%20DE%20SIMULACION%20AQUATOOL.pdf>
- CHS (1998). "Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura". Disponible en: <http://www.chsegura.es/chs/planificacionydma/plandecuenca/documentoscompletos/>
- CHS (2007). "Plan especial ante situaciones de alerta y eventual sequía de la Cuenca Hidrográfica del Segura". Disponible en: <https://www.chsegura.es/chs/cuenca/sequias/pes/eeapes.html>
- CHS, (2010) "Ficha Hidroquímica de la masa de agua subterránea 070.004 Boquerón" Disponible en: http://www.chsegura.es/export/descargas/cuenca/redesdecontrol/calidadenaguassubterraneas/docsdescarga/Masa_agua_30432.pdf

- CHS (2013). Confederación Hidrográfica del Segura [sitio web]. Disponible en: <http://www.chsegura.es/chs/index.html>
- CHT (2007). Plan Especial de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía de la Cuenca hidrográfica del Tajo. Disponible en: <http://www.chtajo.es/DemarcaTajo/SequiasyAvenidas/Documents/Anejo%20VI.pdf>
- COLLAZOS, G. (2004) Sistema soporte de decisión para evaluación y optimización económica de sistemas de recursos hídricos, Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia
- COLLAZOS, G. (2002) "El método de los autovalores paso a paso". Disponible en: <http://ssd-h2o.com.ar/Download/AutovaloresPasoApaso.pdf>
- CONSEJERÍA DE AGRICULTURA DE LA JUNTA DE CASTILLA LA MANCHA, (2013). Sitio web: <http://www.castillalamancha.es/gobierno/agricultura>
- CORREIA, M.L. (1995). "La gestión de los recursos hídricos de las cuencas hidrogeológicas luso-españolas" Equipamientos y Servicios municipales, julio-agosto, pp.19-20
- CUSTODIO, E. y LLAMAS, M.R. (1983) "Hidrología Subterránea", Barcelona: Editorial Omega, 2 (1), 2350 pp.
- CUSTODIO, E. y LLAMAS, M.R. (1997). "Consideraciones sobre la génesis y evolución de ciertos Hidromitos en España", en: En Defensa de la Libertad - Homenaje a Víctor Méndez, Instituto de Estudios Económicos, Madrid, pp. 167-179
- CUSTODIO, E. (2002) "Aquifer overexploitation: what does it mean?" Hydrogeology Journal, 10 (2), pp. 254-277

DEB ROY, A., y SHAH T. (2003) "Socio-ecology of groundwater irrigation in India.

Navigating in Rough waters" (ed. R.E. McGinn). American water works Association. Denver, Colorado. USA pp. 41-64

DELFT HYDRAULICS (1991). "RIBSIM: River basin simulation". Technical report, Project Completion Rep. to Water Resources Planning Commission, Taipei, Taiwan.

DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS HIDRÁULICAS, (1986): "Utilisation conjunte des eaux superficielles et souterraines en Espagne". Seminario de la Comisión Económica para Europa (ONU) sobre Sistemas de Gestión del Agua. Bratislava (Checoslovaquia), Septiembre 1986.

DAS (2006) "Directiva del Agua Subterránea, Directiva 2006/118/EC sobre protección del agua subterránea contra la polución y el deterioro". Comisión Europea, Bruselas.

DMA, (2000). "Directiva Marco del Agua, Directiva 2000/60/CE para establecer un marco comunitario para la actuación en política de agua". Comisión Europea. Bruselas.

DUCKSTEIN, L., y KISIEL, C.C., (1968). "General systems approach to groundwater problems". Proceedings of National Symposium on the Analysis of Water Resources Systems, Denver, pp. 110-115.

EL-SHAFIE, A., TAHA, M.R. y NOURELDIN, A., (2007). "A neuro-fuzzy model for

inflow forecasting of the Nile river at Aswan high dam". Water Resources Management, 21(3), pp. 533-556.

EMCH, P.G. y YEH, W.G., (1998). "Management model for conjunctive use of coastal surface water and groundwater". *Journal of Water Resources Planning. Management.* ASCE 124, pp. 129-139.

ESPAÑA (1985). "Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas". Disponible en: http://noticias.juridicas.com/base_datos/Derogadas/r2-129-1985.html

ESPAÑA (2001). "Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas". Disponible en: http://noticias.juridicas.com/base_datos/Admin/rdleg1-2001.html

FAGUET, J.P., (2003). "Decentralization and Local Government in Bolivia: An Overview from the Bottom Up". *Crisis States Programme Working Paper N° 29*. Disponible en: <http://ssrn.com/abstract=397721> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.397721>

FAO (2013). "AQUASTAT" (Sistema de información sobre el agua y la agricultura). Sitio web. <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/indexesp.stm>

FEDRA, K. y JAMIESON, D.G. (1996). "The WaterWare decision-support system for river basin planning: II. Planning Capability". *Journal of Hydrology*, 177, pp. 177-198.

FERNÁNDEZ, J., (1983). "Análisis Jerárquico de descomposición y optimización multinivel. Aplicación a la planificación de sistemas complejos de recursos hidráulicos superficiales y subterráneos" *Revista de Obras Públicas* 3237, pp. 565-575

FERNÁNDEZ, E. y CORDERO, R. (2006) "Esbozo de una estrategia para acercar la recarga artificial de acuíferos a la población mediante la educación ambiental". *Revista ecosistemas*, año XV, nº 1. Asociación española de ecología terrestre, Madrid.

- FERNÁNDEZ, E., (2008) "Gestión de recarga artificial de acuíferos como práctica alternativa a la gestión hidráulica. El proyecto DINA-MAR" Congreso Nacional de Medio Ambiente 2008. Disponible en: http://www.conama8.org/modulodocumentos/documentos/JTs/JT6/JT-6_ponen_EFdezEscalante.pdf
- FETTER, C.W., (1994). "Applied Hydrogeology. Third Edition", Printice Hall, 641 pp.
- FINNEY, B.A. SAMSUHADI S., WILLIS R., (1992), "Quasi-three dimensional optimization model of Jakarta basin". Journal of Water Resources Planning and Management ASCE, 118, pp. 18-31.
- FLORES, F. (2000) "Ventajas del aprovechamiento conjunto de aguas superficiales y subterráneas. El ejemplo de Madrid". Aguas subterráneas y abastecimiento urbano. ITGE, pp. 303-316
- FONTANE, D.G., GATES, T.K., MONCADA, E. (1997). "Planning reservoir operations with imprecise objectives". Journal of Water Resources Planning and Management ASCE 123, pp. 154-162.
- FORD, C.R., FULKERSON, D.R. (1962) "Flow in networks". Princeton University Press, Princeton, 194 pp.
- FORNÉS, J.M., DE LA HERA, A., LLAMAS, M.R. (2004) "El Registro/Catálogo de derechos de aguas subterráneas en España". Actas del IV Congreso Ibérico de Recursos Hídricos. Tortosa. Diciembre 2004.
- FORNÉS, J.M., DE LA HERA, A., LLAMAS, M.R. (2005). "The silent revolution in groundwater intensive use and its influence in Spain". Water Policy, 7(3), pp. 253-268

FOSTER, S. (1992). "Unsustainable development and irrational exploitation of groundwater resources in developing nations. An overview". In *Selected Papers on Overexploitation* (Simmers et al., ed.), Intern. Assoc. of Hydrogeologists, Heise, Hannover, 3, pp. 321-336.

FOSTER, S. y AIT-KADI, M. (2012). "Integrated Water Resources Management (IWRM): How does groundwater fit in?" *Hydrogeology Journal*, 20, pp. 415-418

FREDERIKS, J.W., LABADIE, J.W. y ALTENHOFEN, J.M. (1998). "Decision support system for conjunctive stream-aquifer management". *Journal of Water Resources Planning and Management*, 124(2), pp.69-78

FOURCADE, E. (1970). "Le Jurassique et le Crétacé aux confins des Chaînes Bétiques et Ibériques (Sud-Est de l'Espagne)". Tesis Doctoral Universidad Paris, 427 pp.

GALLEGUO-AYALA, J. y GÓMEZ-LIMÓN, J.A. (2010). "Evaluación del impacto de la tarificación del agua de riego sobre la sostenibilidad del regadío: una aproximación a través de indicadores sintéticos. *Estudios de economía aplicada*, 28 (2), pp. 375-404

GARCÍA, M. y LLAMAS, M.R. (1992). "Aspectos hidrogeológicos en relación con la génesis y combustión espontánea de las turbas en los Ojos del Guadiana". *Actas del III Congreso de Geología de España y VIII Congreso Latinoamericano de Geología*. Salamanca, 2, pp. 285-289.

GARRIDO, A., MARTÍNEZ-SANTOS, P. y LLAMAS, M.R. (2006). "Groundwater irrigation and its implications for water policy in semiarid countries: the Spanish experience". *Hydrogeology Journal* 14 (3), pp. 340-349

GARRIDO, A. y LLAMAS M.R. (2007). "Water policy in Spain". CRC Press/Balkema 234 pp.

- GAUR, S., CHAHAR, B.R. y GRAILLOT, D., (2011). "Analytic elements method and particle swarm optimization based simulation-optimization model for groundwater management". *Journal of Hydrology*. 402, pp. 217-227.
- GARDUÑO, H., FOSTER, S., NANNI M., KEMPER K., TUINHOF, A. y KOUNDOURI, P. (2006) "Groundwater dimensions of national water resource and river basin planning". *GW-MATE Briefing Note Series 10*, World Bank, Washington, DC. Disponible en: <http://water.worldbank.org/publications/groundwater-dimensions-national-water-resource-and-river-basin-planning-promoting-integ>
- GLEICK, P. (1993) "Water in crisis. A guide to the world's fresh water resources" Oxford University Press, 493 pp.
- GLEICK, P. (1998) "The world's water 1998/1999. The biennial report on freshwater resources" Island press. California, 308 pp.
- GÓMEZ, J.DE D., LÓPEZ, J.A. y NAVARRO J.A. (2001). "Modelo de uso conjunto de recursos hídricos en la costa del sol occidental". *Las caras del agua subterránea: congreso, en memoria de Germán Alfonso Galarza López*, 2, pp. 745-752
- GONSALVES, J. (2000). "Going to scale: can we bring more benefits to more people more quickly?" Workshop highlights presented by the CGIAR-NGO Committee and The Global Forum for Agricultural Research with BMZ (German Ministry of Development Corporation), MISEREOR (German Catholic Church Development Agency), Rockefeller Foundation, IRRI (International Rice Research Institute), and IIRR (International Institute of Rural Reconstruction). 10-14 Abril, IIRR , Philippines. Disponible en: <http://www.fao.org/docs/eims/upload/207909/gfar0086.PDF>

GORELICK, S.M., REMSON, I. y COTTLE, R.W., (1979). "Management model of a groundwater system with a transient pollutant source". Water Resources Research 5, pp. 1243-1249.

GORELICK, S.M., VOSS, C.I., GILL, P.E., MURRAY, W., SAUNDERS, M.A. y WRIGHT, M.H., (1984). "Aquifer reclamation design: the use of contaminant transport simulation combined with non-linear programming". Water Resources Research 20, pp. 415-427.

GRIGG, N. (1996) "Water resources management: Principles, regulations, and cases". Ed. Mc Graw-Hill, New York, 540 pp.

GUPTA, P., KHEPAR, S.D. y KAUSHAL, M.P., (1987). "Conjunctive use approach for management of irrigated agricultura". Journal of Agricultural Engineering, New Delhi, India 24, pp. 307-316.

GWP (2000). "Integrated Water Resources Management". GWP. TAC Back Groundpapers, N°. 4 Disponible en: http://www.gwp.org/Global/GWP-CACENA_Files/en/pdf/tec04.pdf

GWP (2004). "Catalyzing change: a handbook for developing integrated water resource management and water efficiency strategies". GWP, Stockholm. Disponible en: http://www.unwater.org/downloads/Catalyzing_change-final.pdf

HEC, (2007). "HEC-ResSim (Reservoir System Simulation): Manual de Usuario".

Hydrologic Engineering Center, US Army Corps of Engineers. Disponible en: http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ressim/documentation/HEC-ResSim_30_UsersManual.pdf

HENCHE, M., MURILLO, J. M. y CASTAÑO, S. (2002). "Optimización del uso de los recursos hídricos del sector Sierra de Baza (Granada, cuenca del Guadalquivir,

España) mediante el empleo de un modelo matemático de simulación conjunta. Boletín Geológico y Minero, 113 (2): pp. 185-198

HENRY, J. Y HEINKE, G. (1999). "Ingeniería Ambiental". Ed. Prentice Hall International, México. 800 pp.

HERNÁNDEZ-MORA, N., LLAMAS, M.R. y MARTÍNEZ CORTINA L. (2001) "Misconceptions in aquifer over-exploitation: implications for water policy in Southern Spain. In Agricultural Use of Groundwater. Towards Integration between Agricultural Policy and water resources management" (ed. C. Bori) Kluwer Academic Publishers, Doordrecht. pp. 107-125.

HOEKSTRA, A. Y. (2006). "The Global Dimensions of Water Governance: Nine Reasons for Global Arrangements in Order to Cope with Local Problems". Value of Water Research Report Series 20, UNESCO-IHE. Disponible en: http://doc.utwente.nl/58371/1/Report_20.pdf

IAGUA (2012), IAGUA [sitio web]. Disponible en: <http://www.iagua.es>

ICLEI, (2005). "Local Government Implementation Guide for the Johannesburg Plan of Implementation and the Millennium Development Goals". Volume 1: Water, Sanitation and Human Settlements. Disponible en: <http://www3.iclei.org/implementationguide/>

IGME, (2010a). "Desarrollo sostenible. Uso conjunto y gestión integral de recursos hídricos. Estudios y actuaciones realizadas en la provincia de Alicante". Diputación de Alicante, 401 pp.

IGME, (2010b) "Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas. Actividad 3: Seguimiento y asistencia técnica en el proceso de planificación Hidrológica. Trabajos de Apoyo en la definición de la transferencia subterránea

de la MASUB Boquerón con otras masas definidas en la demarcación hidrográfica del Júcar". Disponible en: http://www.igme.es/INTERNET/SIDIMAGENES/153000/808/153808_000001.PDF

IGME, (2010c) "Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas. Actividad 8: Selección e identificación de masas de agua donde es preciso plantear estudios y actuaciones de recarga artificial de acuíferos". Disponible en: http://www.igme.es/INTERNET/SIDIMAGENES/143000/456/143456_0000001.PDF

IGME, (2013). Instituto Geológico Minero de España [sitio web]. Disponible en: <http://www.igme.es/internet/default.asp>

IGLESIAS, A., ESTRELA, T., y GALLART, F. (2005). "Impactos del Cambio Climático en España. Capítulo 7: Impacto sobre los Recursos Hídricos". Ministerio de Medio Ambiente. pp. 303-354. Disponible en: http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/evaluacion_preliminar_impactos_completo_2_tcm7-12439.pdf

INE (2008), "Estadísticas e indicadores del agua (2008)" Disponible en: <http://www.ine.es/revistas/cifraine/0108.pdf>

INE (2012), Instituto Nacional de Estadística [sitio web]. Disponible en: <http://www.ine.es>

JAMIESON, D.G. y FEDRA, K. (1996). "The WaterWare decision-support system for river basin planning: I. Conceptual Design". Journal of Hydrology, 177, pp. 163-175.

J.C.C.M., (2010) "Orden de 19/01/2010, por la que se aprueba definitivamente el Plan de Ordenación Municipal de Hellín". Disponible en: http://www.hellin.org/index.php?option=com_content&task=view&id=170&Itemid=2

JONCH-CLAUSEN, T. (2004). "Integrated Water Resources Management (IWRM) and Water Efficiency Plan by 2005, Why, What and How?" Global Water Partnership, Estocolmo. Disponible en: <http://cap-net.org/sites/cap-net.org/files/TEC%2010.pdf>

JOURALEV, A. (2003) "Los Municipios y la gestión de los recursos hídricos". Series Recursos Naturales e Infraestructura, CEPAL, Santiago de Chile, 66, 73 pp.

KATSIFARAKIS, K.L. y PETALA, Z., (2006). "Combining genetic algorithms and boundary elements to optimize coastal aquifers' management". Journal of Hydrology, 327, pp. 200-207.

KHAN, I.A., (1982). "A model for managing irrigated agricultura". Water Resources Bulletin, 18, pp. 81-87.

KLOHN, W.E., APPELGREN, R.G. y OHLSSON, L. (1998). "Water and Food", UNESCO Congress on "Water into the 21st Millenium: a looming crisis?", Paris 2-5 June 1998, 2, 14 pp.

LABADIE, J. W., PINEDA, A. M., y BODE, D. A. (1984). "Network Analysis of Raw Supplies under Complex Water Rights and Exchanges: Document for Program MODSIM3". Colorado Water Resources Institute, Fort Collins, Colorado. Disponible en: <http://www.cwi.colostate.edu/publications/sr/6.pdf>

- LABADIE, J. W. (1994). "MODSIM: Interactive river basin network flow model. Technical report". Department of Civil Engineering, Colorado State University. Disponible en: <http://129.82.224.229/concepts/moddoc.html>.
- LABADIE, J. (2004). Optimal Operation of Multireservoir Systems: State-of-the-Art Review. *Journal of Water Resources Planning and Management* 130 (2), pp. 93-111.
- LAMOREAUX, P.E. (1991). "Environmental effects to overexploitation in karst terrane". *Proceedings IAH XXIII. International Congress*, 1, pp. 103-113.
- LI, Y.P., HUANG, G.H., NIE, S.L. y CHEN, X., (2011). "A robust modeling approach for regional water management under multiple uncertainties". *Agricultural Water Management*, 98, pp. 1577-1588.
- LILIENFELD, A., y ASMILD, M. (2007). "Estimation of excess water use in irrigated agriculture: A Data Envelopment Analysis approach". *Agricultural water management*, 94, pp. 73-82
- LINGEN, C. y BURAS, N. (1987). "Dynamic management of a surface and ground water system on both sides of the lower yellow river". Report HWR N°. 87- 011, Department of Hydrology and Water Resources, Univ. of Arizona, Tucson, USA. 52 pp.
- LLAMAS, M.R. (1992). "La surexploitation des aquifères: aspects techniques et institutionnels". *Hydrogeologie, Orleans*, 4, pp. 139-144.
- LLAMAS, M.R. (1998 a). "Groundwater overexploitation", *Proceeding of the UNESCO Congress on "Water in the 21st Century: a looming crisis?"*, Paris, 2-5 June 1998, 2, 20 pp.

- LLAMAS, M. R. (1998 b) "La inserción de las aguas subterráneas en los sistemas de gestión integrada", Actas del X Congreso de la Asociación Brasileña de Aguas Subterráneas, Sao Paulo, 9-11 Septiembre 1998, pp. 1-29.
- LLAMAS, M. R. (1998 c) "Groundwater Overexploitation", Proceeding of the UNESCO Congress on "Water in the 21st Century: a Looming Crisis?", Paris, 2-5 June 1998, 2, pp. 1-20.
- LLAMAS, M. R. (1999), "Efectos de-y acciones mitigantes contra- las sequías" Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Monografía: El clima y sus efectos: conocimientos e incertidumbres. 93 (1), pp. 127-135
- LLAMAS, M. R. y CUSTODIO E. (1999). "Aguas Subterráneas", Revista CIDOB d'Afers Internacionals, Fundació CIDOB Barcelona, 45-46, pp. 35-57.
- LLAMAS, M. R., HERNÁNDEZ-MORA, N. y MARTÍNEZ-CORTINA, L. (2000). "El uso sostenible de las aguas subterráneas. Uso intensivo de las aguas subterráneas. Aspectos éticos, tecnológicos y económicos" Serie A, Nº1 Fundación Marcelino Botín. 54 pp. Disponible en: <http://www.fundacionbotin.org/file/10454/>
- LLAMAS, M.R. FORNÉS, J.M., HERNÁNDEZ-MORA, N. y MARTÍNEZ-CORTINA, L. (2001)."Aguas subterráneas. Retos y oportunidades". Fundación Marcelino Botín. Ediciones Mundi-Prensa Madrid, 529 pp.
- LLAMAS, M.R. (2005) "La revolución silenciosa de uso intensivo del agua subterránea y los conflictos hídricos en España". En: Libro Homenaje al Profesor D. Rafael Fernández Rubio. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, pp. 79-86
- LLAMAS, M.R. y MARTÍNEZ-SANTOS, P. (2005) "Intensive groundwater use: silent revolution and potential source of social conflicts". Journal Water Resources Planning and Management, pp. 337-341

- LLAMAS, M.R. (2008) "Aspectos éticos de los conflictos del agua en España". Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (España), 102 (1), pp. 161-184
- LOCKWOOD, H. (2004) "Scaling Up Community Management of Rural Water Supply. Thematic Overview". Paper. IRC International Water and Sanitation Centre, the Netherlands. Disponible en: <http://www.nl/page/8857>
- LÓPEZ, A. (2001). "Reutilización de aguas depuradas en la provincia de Almería: El caso del aprovechamiento para regadío agrícola en el Bajo Andarax". NIMBUS, 7-8, pp. 123-134
- LÓPEZ, J.A. y MURILLO, J.M. (2001) "Papel de los acuíferos en la gestión integral de los recursos hídricos", Jornadas sobre Agua. Universidad de Almería, pp. 93-106
- LÓPEZ, J.A., NAVARRO, J.A., GÓMEZ, J.DE D., ORTEGA, R., LINARES, L. y CILLANUEVA, L. (2001) "Simulación y optimización de la gestión conjunta de recursos hídricos en el sistema de la costa del sol occidental". Simposio de Hidrogeología. Asociación española de Hidrología Subterránea, Murcia. pp. 197-209. Disponible en: http://aguas.igme.es/igme/publica/sim_hidro_Murcia/tomo%20XXIII/17.pdf
- LÓPEZ, J.A., NAVARRO, J.A., LÓPEZ L. y PENDÁS, F. (2001) "La regulación de recursos hídricos mediante acuíferos. Posibilidades de integración de los acuíferos en la regulación del futuro trasvase Ebro-Levante-Sureste". 14 pp. Disponible en: http://www.igme.es/internet/web_aguas/igme/publica/pdfs/art_4linea8.pdf

LÓPEZ, J.A. y LÓPEZ, F. (2006) "Estado del conocimiento de las aguas subterráneas en España" Boletín Geológico y Minero, 117 (1), pp. 89-114

LÓPEZ-CAMACHO, B. (2005) "Estrategias de gestión y uso eficiente del agua en los abastecimientos urbanos: caso de la Comunidad de Madrid Equipamiento y servicios municipales". Revista equipamientos y Servicios municipales, 120, pp. 56-64

LÓPEZ-GUNN, E., ZORRILLA, P., PRIETO F., LLAMAS, M.R. (2012) "Lost in translation? Water efficiency in spanish agricultura". Agricultural Water Management, 108, pp. 83-95

LOUCKS, D. P., STEDINGER, J. R., y HAITH, D. A. (1981). "Water Resources System Planing and Analysis". Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.

LOUCKS, D. P., FRENCH, P. N., y TAYLOR, M. R. (1993). "IRAS An Interactive simulation of River-Aquifer System". Dept. of Civ. and Environmental Engrg., Cornell University, Ithaca, New York.

LOVELL, C., A. MANDONDO y MORIARTY, P. (2002). "The question of scale in integrated natural resource management". Conservation Ecology 5(2): 25. Disponible en: <http://www.consecol.org/vol5/iss2/art25/>

MAASS, A., HUFSCHMIDT, M., DORFMAN, R., THOMAS H., MARGLIN, S. y

FAIR, G. (1962) "Design of water resources systems" Harvard University Press. Cambridge, MA: Harvard University Press, 287 pp.

MADDOCK T. (1972) "Algebraic technological functions from a simulation model" Water Resources Research, 9(2), pp. 129-134

- MADRAMOOTOO, C. A. (2012) "Sustainable Groundwater use in agriculture". *Irrigation and Drainage*, 61 (1), pp. 26-33 (2012)
- MAGRAMA, (2013). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente [sitio web]. Disponible en: <http://www.magrama.gob.es/es/>
- MAKNOON, R. y BURGESS, S.J. (1978). "Conjunctive use of ground and surface water". *Journal American Water Works Association*, 70, pp. 419-424.
- MALIVA, R.G., GUO, W. y MISSIMER, T.M. (2006). "Aquifer Storage and Recovery: Recent Hydrogeological Advances and System Performance". *Water Environment Research*, 78, pp. 2428-2435.
- MANTOGLOU, A. (2003). "Pumping management of coastal aquifers using analytical models of salt water intrusion. *Water Resources Research*. 39, pp. 1-12.
- MANTOGLOU, A. y PAPANTONIOU, M. (2008). "Optimal design of pumping networks in coastal aquifers using sharp interface models". *Journal Hydrology*, 361, pp. 52-63.
- MARÍN J.M. , PLIEGO J.M. y MIRA F. (1978) "Recharge artificielle de l'aquifère karstique qui constitue le reservoir souterrain Boqueron, dans la province d'Albacete (Espagne)". X Congrès international des irrigations et du drainage. Comité national espagnol des irrigations et du drainage, 33 pp.
- MARIÑO, M.A. y SIMONAVIC, S.P. (2001). "Integrated Water Resources Management". International Association of Hydrological Sciences, Wallingford.
- MARTIN, Q. W. (1983). "Optimal operation of multiple reservoir system". *Journal of Water Resources Planning and Management*, 106(1) pp. 58-74.

- MARTÍNEZ, F.J. (1999). "Nudos gordianos de las políticas del agua en España". El agua a debate desde la Universidad: hacia una nueva cultura del agua: 1er Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación de Aguas, pp. 103-144
- MARTÍNEZ, L. y LLAMAS, M.R. (2000). "Gestión de las sequías en España. Papel de las aguas subterráneas". 21 pp. Disponible en: <http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/download/.../15963>
- MAYER, A.S., KELLEY, C.T. y MILLER, C.T., (2002). "Optimal design for problems involving flow and transport phenomena in saturated subsurface systems". Advances in Water Resources, 25, pp. 1233-1256.
- MIMAM, (1998). "Programa de ordenación de acuíferos sobreexplotados/salinizados". Serie Monografías, Secretaría de Estado para Aguas y Costas". Madrid, 66 pp. Disponible en: <http://hispagua.adasistemas.com/documentacion/documentos/libroazul/programa/programa.htm>
- MIMAM, (2000). "Libro Blanco del Agua en España". Secretaría de Estado de Aguas y Costas, Madrid. Disponible en: <http://www.chsegura.es/chs/planificacionydma/libroblancodelagua/>
- MC DONNELL, R. (2008) "Challenges for integrated water resources management: how do we provide the knowledge to support truly integrated thinking?". International Journal of Water Resources Development, 24(1), pp. 131 - 143.
- MONTOYA, F. (2001). "Ventajas del Aprovechamiento Conjunto de Aguas Superficiales y Subterráneas: El Ejemplo De Madrid". Jornadas técnicas sobre aguas subterráneas y abastecimiento urbano. ITGE. Madrid. España, 323, pp 303-316.

- MOLINA, J.L. (2009) Tesis Doctoral. Análisis integrado y estrategias de gestión de acuíferos en zonas semiáridas. Aplicación al caso de estudio del altiplano (Murcia, SE España) Universidad de Granada
- MOLINA, J.L., GARCÍA, J.L., BENAVENTE, J., VARELA, C., DE LA HERA, A. y LÓPEZ, J.A. (2009) "Aquifers Overexploitation in SE Spain: A Proposal for the Integrated Analysis of Water Management". *Water Resources Management*, 23, pp. 2737-2760
- MOPU (1975) "Normas para la Redacción de Proyectos de Abastecimiento y Saneamiento de Poblaciones". Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, España
- MOREL-SEYTOUX, H.J., YOUNG, R.A. y RADOSEVICH, H.E. (1973), "Systematic design of legal regulations for optimal surface groundwater usage" O.W.R.R. Completion Report, Colorado state University, 53, 81 pp.
- MOREL-SEYTOUX, H.J. (1985). "Conjunctive use of surface and ground waters. Artificial recharge of groundwater". Asano. Butterworth Publisher. Stoneham. United States of America, pp 35-67
- MORIARTY, P., BUTTERWORTH, J. y BATCHELOR, C. (2004) "Integrated Water Resources Management and the domestic water and sanitation sub-sector", Delft, the Netherlands, IRC Thematic Overview Paper. Disponible en: <http://www.irc.nl/page/10431>
- MOUATASIM, A.E. (2012). "Boolean integer nonlinear programming for water multireservoir operation". *Journal Water Resources Planning Management ASCE* 138, pp. 176-181.
- MURILLO, J.M. (2002). "Uso conjunto y recarga artificial de acuíferos. Su aplicación a Andalucía y en particular a la provincia de Jaén". *Presente y futuro de las aguas subterráneas en la provincia de Jaén*. IGME Madrid, pp. 117-136

MURILLO, J.M., DE LA ORDEN, J.A., GÓMEZ, J. y CASTAÑO S. (2002) “Desarrollo Metodológico para la gestión de cuencas mediante el uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas. Modelo de gestión del sistema Vinalopó-Alicantí. Construcción del modelo para el medio Vinalopó e implantación en el sistema general de recursos hídricos” IGME, 93 pp. Disponible en: http://www.igme.es/INTERNET/SIDIMAGENES/123000/502/123502_0000001.PDF

MURILLO, J. M. y NAVARRO, J. A. (2008). “Empleo de modelos de análisis global de recursos hídricos como primera actuación a emprender en propuestas de gestión que contemplen operaciones de recarga artificial de acuíferos”. Boletín Geológico y Minero, 119 (2) pp. 247-272

MURPHREE, M. W. (2000). “Boundaries and borders: the question of scale in the theory and practice of common property management”. VII Biennial Conference of the International Association for the Study of Common Property. Bloomington, Indiana, USA. pp. 1-18

NACE, R.L. (1973). “On a 1972 American Water Resources Association Meeting”, Ground Water, 11 (1), pp. 48-49.

OCHOA, J. C. (2002). Tesis doctoral. Modelo Estocástico de Redes Neuronales Para la Síntesis de Caudales Aplicados a la Gestión Probabilística de Sequías. Universidad Politécnica de Valencia.

ODENDAAL, P.E. (2002) “Integrated Resource Management (IWRM), with Special Reference to Sustainable Urban Water Management”. Conference Johannesburg, Sudáfrica. 9 pp. Disponible en:

<http://www2.gtz.de/Dokumente/oe44/ecosan/en-integrated-water-resources-management-sustainable-urban-water-management-2002.pdf>

ONU, (2000). "World Population Prospects: 2010 Revision Population Database"
Disponible en: <http://www.un.org/spanish/milenio/ares552.pdf>

ONU, (2010). "Declaración del Milenio". Disponible en:
<http://www.un.org/esa/population/unpop.htm>

O'MARA, G.T., (1988). "Efficiency in Irrigation: The Conjunctive Use of Surface and Groundwater Resources". World Bank, Washington, DC. 196 pp.

PALMER, R. N., WRIGHT, J. R., SMITH, J. A., COHON, J. L., y REVELLE, C. S.
(1980). "Policy analysis of reservoir operation in the Potomac river basin".
Water Resources Research Center, University of Maryland.

PAREDES, J., SOLERA, A. y ANDREU, J. (2007) "AQUATOOLDMA Entorno de desarrollo de sistemas de ayuda a la decisión en materia de planificación de la gestión de cuencas hidrográficas incluyendo utilización conjunta y criterios de calidad de aguas. Manual de usuario. Versión 1.0". Ed. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia. Disponible en:
http://www.iiama.upv.es:8080/aquatooldma/Members/asolera/ManUsuarioAquatooldma_V002.pdf

PAREDES, J., SOLERA, A. y ANDREU, J. (2007) "Modelo GESCAL de simulación de calidad de aguas. Manual de usuario v 1.0". Universidad Politecnica de Valencia, 111pp.

PAREDES, J., ANDREU J., MARTÍN, M. y SOLERA, A. (2010) "Water Quantity and Quality Models Applied to the Jucar River Basin, Spain". Water Resources Management, pp 2759-2779

PERNÍA, J.M., RUIZ, J.M., CASTAÑO, S. y GIMÉNEZ, E. (2010) "Actuaciones en Aguas Subterráneas para la Revisión de los Planes de Sequía" Las Aguas subterráneas en la planificación hidrológica, IGME, pp. 237-255

PHILBRICK, R.C. y KITANIDIS, P.K., (1999). "Limitations of deterministic optimization applied to reservoir operations". Journal Water Resources Planning Management ASCE 125, pp. 135-142.

RAMOS, A., SÁNCHEZ, P., FERRER, J.M., BARQUÍN, J. y LINARES, P. (2010).

"Modelos matemáticos de optimización". Universidad Pontificia de Comillas
Disponible en:
http://www.gams.com/docs/contributed/modelado_en_gams.pdf

RANI, D. y MOREIRA, M. (2010). "Simulation-Optimization Modeling: A Survey Water Resources and Potential Application in Reservoir Systems Operation". Water Resources Management 24 (6), pp. 1107-1138

RECA, J., ROLDÁN, J., ALCAIDE, M., LÓPEZ, R. y CAMACHO, E., (2001). "Optimisation model for water allocation in deficit irrigation systems. I. Description of the model". Agricultural Water Management, 48, pp. 103-116.

REGION, P. N. (2000). "River and Reservoir Operations Simulation of the Snake River, Application of MODSIM to the Snake River Basin". Technical report, Bureau of Reclamation U. S. Disponible en:
<ftp://ftp.dnr.ne.gov/Pub/cwmread/COHYST2010%20docs/references/MODSIM/Documentation/BureauRpt.pdf>

RODRÍGUEZ, T. (1979) "Geología e hidrogeología del sector de Alcaraz- Liétor-Yeste (prov. de Albacete): síntesis geológica de la zona Prebética". Servicio de Publicaciones, Ministerio de Industria y Energía, 290 pp.

RODRÍGUEZ DE LIÉBANA, J.P. (2002) Comentario a la ponencia “La clarificación jurídica de los acuíferos sobreexplotados. El caso de La Mancha”, en S. Del Saz, J.M. Fornés y M.R. Llamas (eds): Régimen jurídico de las aguas subterráneas. Fundación Marcelino Botín y Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, pp. 259-265.

SAHUQUILLO, A. LÓPEZ, J. y LÓPEZ, B. (1979) “Transient unidimensional digital models to simulate responses of an aquifer related with a wetland ecosystem” Computers in Simulation XXIV. North Holland Publication Company, pp. 161-172

SAHUQUILLO, A. (1983a) “El método de los autovalores”. Curso sobre Utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas. Servicio geológico de obras públicas. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, Castellón de la Plana. Documento B-8, pp. 1-8

SAHUQUILLO, A. (1983b) “An eigenvalue numerical technique for solving -unsteady linear ground water models continuously in time”, Water Resources Research, 19, pp. 87-93

SAHUQUILLO, A. (1985) “Criterios actuales para la gestión conjunta de aguas superficiales y subterráneas”. Revista de Obras públicas, pp. 231-250

SAMPER, J., HUGUET, L., ARES, J. y GARCÍA, M.A. (1999) “Manual del usuario del programa Visual Balan v. 1.0: Código interactivo para la realización de balances hidrológicos y la estimación de la recarga”. Publicación técnica de ENRESA 5 (99), Madrid. 205 pp.

SARUWATARI, N. y YOMOTA, A. (1995). “Forecasting system of irrigation water on paddy field by fuzzy theory”. Agricultural Water Management, 28, pp. 163-178.

- SCHUSTER, R. J. (1987). "Colorado river simulation system executive summary". Technical report, U.S. Bureau of Reclamation, Engineering and Research Center Denver, Colorado, 10 pp.
- SCHWARZ, J. (1973), "Linear Model for groundwater management". Journal of Hidrology 28 (2/4)
- SENAPATI, P.C. (1988). Tesis Doctoral "Water resources planning for canal command areas of Orissa". Orissa University of Agriculture and Technology, Bhubaneswar, India.
- SENENT, M., LINARES, L. y BARBA-ROMERO, J. (1975). "El sistema hidrogeológico del Boquerón (Albacete); contribución a su estudio con un bombeo de ensayo de larga duración". Boletín Geológico y Minero. 86 (3), pp. 277-296.
- SHAH, T. (2005) "Groundwater and human development: Challenges and opportunities in livelihoods and environment". Water Science and technology, 8. pp. 27-37
- SHAMIR, U., BEAR, J. y GAMLIEL, A., (1984). "Optimal annual operation of a coastal aquifer". Water Resources Research, 20, pp. 435-444.
- SHELTON, R. A. (1979). "Management of TVA reservoir systems". Proceedings of national workshop on reservoir systems operations. pp. 318-335
- SHARP, J.M. (1991). "Aquifer overexploitation and reservoir depressurization and their effects in low-lying coastal areas: examples from the Gulf of Mexico Basin". Proceed. IAH, XXIII. International Congress, 1, pp. 167-170.
- SHIKLOMANOV, I. (1997) "Comprehensive assessment of the freshwater resources of the world" Informe ECN. 17/1997/9. Publicado por la Organización Meteorológica Mundial, 88 pp.

- SHIKLOMANOV, I. (1998). "World Water Resources. A new appraisal and assessment for the 21st century", UNESCO, 37 pp.
- SHRESTHA, P.R.O., (1991). Tesis doctoral "Planning and management models for the conjunctive use of surface and ground water resources under uncertainty", Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- SIEBER, J. SWARTZ, C. y HUBER-LEE, A. (2005). "User Guide for WEAP 21". Stockholm Environment Institute - Boston. Disponible en: http://unfccc.int/resource/cd_roms/na1/mitigation/Module_5/Module_5_1/b_tools/WEAP/Manuals/WEAP_User_Guide.pdf
- SIGVALDASON, O.T. (1976). "A Simulation Model for Operation a Multipurpose Multireservoir System". Water Resources Research, 12 (2), pp. 263-278
- SIMONOVIC, S. P. (2000). "Last resort algorithms for optimization of water resources systems". Water International, 25(1), pp. 76-88.
- SINGH, A., (2012a). Tesis doctoral "Optimization and simulation modelling for managing waterlogging in semi-arid region of Haryana, India". Agricultural and Food Engineering Department, Indian Institute of Technology, Kharagpur, India, 192 pp.
- SINGH, A. (2012b) "An overview of the optimization modeling applications". Journal of Hydrology, pp. 167-182
- SOPHOCLEOUS, M. (1997). "Managing water resources systems: why 'safeyield' is not sustainable". Ground Water, 35 (4), 361 pp.
- SOPHOCLEOUS, M. (2011) "The evolution of groundwater management paradigms in Kansas and possible new steps towards water sustainability". Journal of Hydrology 414-415, pp. 550-559

SOPHOCLEOUS, M. A., KOELIKER, J. K., GOVINDARAJU, R. S., BIRDIE, T., RAMIREDDYGARI, S. R. y PERKINS, S. P. (1999). "Integrated numerical modeling for basin-wide water management: the case of the Rattlesnake Creek basin in south Central Kansas". *Journal of Hydrology*, 214, pp. 179-196.

SREEKANTH, J. y DATTA, B. (2010). "Multi-objective management of saltwater intrusion in coastal aquifers using genetic programming and modular neural network based surrogate models. *Journal of Hydrology* 393, pp. 245-256.

TAN, Q., HUANG, G.H. y CAI, Y.P., (2011). "Radial interval chance-constrained programming for agricultural non-point source water pollution control under uncertainty". *Agricultural Water Management*. 98, pp. 1595-1606.

TOLMAN, C.F. (1937) "Ground Water". McGraw-Hill. 593 pp.

TOMÁS, R., GHERRERA, G., DELGADO, J. y PEÑA, F. (2009) "Subsidencia del terreno Enseñanza de las Ciencias de la Tierra" 17 (3), pp. 295-302

TWDB (1972). "Economic Optimization and simulation techniques for management of regional water resources systems: program SIMYLD-II". Texas Water Development Board, System Engineering Division.

VINCENT, L. y DEMPSEY, P., (1993). "Conjunctive water use for irrigation: Good theory, poor practice". *International Journal of Water Resources Development*, 9 (3), pp. 227-245

VISSCHER, J.T., BURY, P., GOULD, T., y Moriarty, P. (1999). "Integrated water resources management in water and sanitation projects: lessons from projects in

Africa, Asia and South America", Occasional Paper 31, IRC, Delft, Netherlands.

Disponible en: <http://www.irc.nl/products/publications/online/op31e>

VIVES, R. (2003) "Economics and Social Profitability of Water for Irrigation in Andalusia" *Water International*, 3, pp. 326-333.

VUT, (2001). "REALM User's Manual (Version W1.4h)". Victoria University of Technology and Department of Natural Resources and Environment

W ANAKULE, N., MAYS, L.W. y LASDON, L.S. (1986). "Optimal management of large-scale aquifers: methodology and applications". *Water Resources Research*, 22, pp. 447-465.

WANG, Y.C., YOSHITANI, J. y FUKAMI, K., (2005). "Stochastic multiobjective optimization of reservoirs in parallel". *Hydrological Processes*, 19, pp. 3551-3567.

WEF, (1998). "Layperson's guide to Groundwater", Sacramento: Water Education Foundation, California, pp. 1-20

WILLIS, R. y NEWMAN, B.A., (1977). "Management model for groundwater development". *Journal of Water Resources Planning Management*. ASCE 103, pp. 159-171.

WINTER, T.C., HARVEY, J.W., FRANKE, O.L. y ALLEY, W.M., (1998) "Ground water and surface water". A single resource: U.S. Geological Survey Circular, 1139, 79 pp.

WMO (1992) "The Dublin Statement and report of the conference. International Conference on Water and the Environment (ICWE)", Development issues for the 21st century, 26-31 January 1992, Geneva, Switzerland, World Meteorological Organization, Hydrology and Water Resources Department.

Disponible: <http://www.wmo.ch/web/homs/documents/hwrpdocs.html>
[accessed 24 June 2005]

WORLD BANK (2006). "Gestión sustentable del agua subterránea" Conceptos y herramientas.

WURBS, R. A. (1993). "Reservoir-system simulation and optimization models". Journal of Water Resources Planning and Management, 119(4) pp. 455–472.

WURBS, R. A. (1994). "Computer Models for Water Resources Planning and Management. Texas A&M University, Department of Civil Engineering, Environmental, Ocean and Water Resources Division) for U.S. Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Water Resources Support Center. 218 pp.

WURBS, R. A. (2005). "Modeling River/Reservoir System Management, Water Allocation, and Supply Reliability". Journal of Hydrology 300 (1-4), pp. 100 a 113

YANG, C.C., CHANG, L.C., YEH, C.H. y CHEN, C.S., (2007). « Multiobjective planning of surface water resources by multiobjective genetic algorithm with constrained differential dynamic programming". Journal Water Resources Planning Management ASCE 133, pp. 499–508.

YANG, C.C., CHANG, L.C., CHEN, C.S., YEH, M.S., (2009). "Multi-objective planning for conjunctive use of surface and subsurface water using genetic algorithm and dynamics programming ». Water Resources Management 23, pp. 417–437.

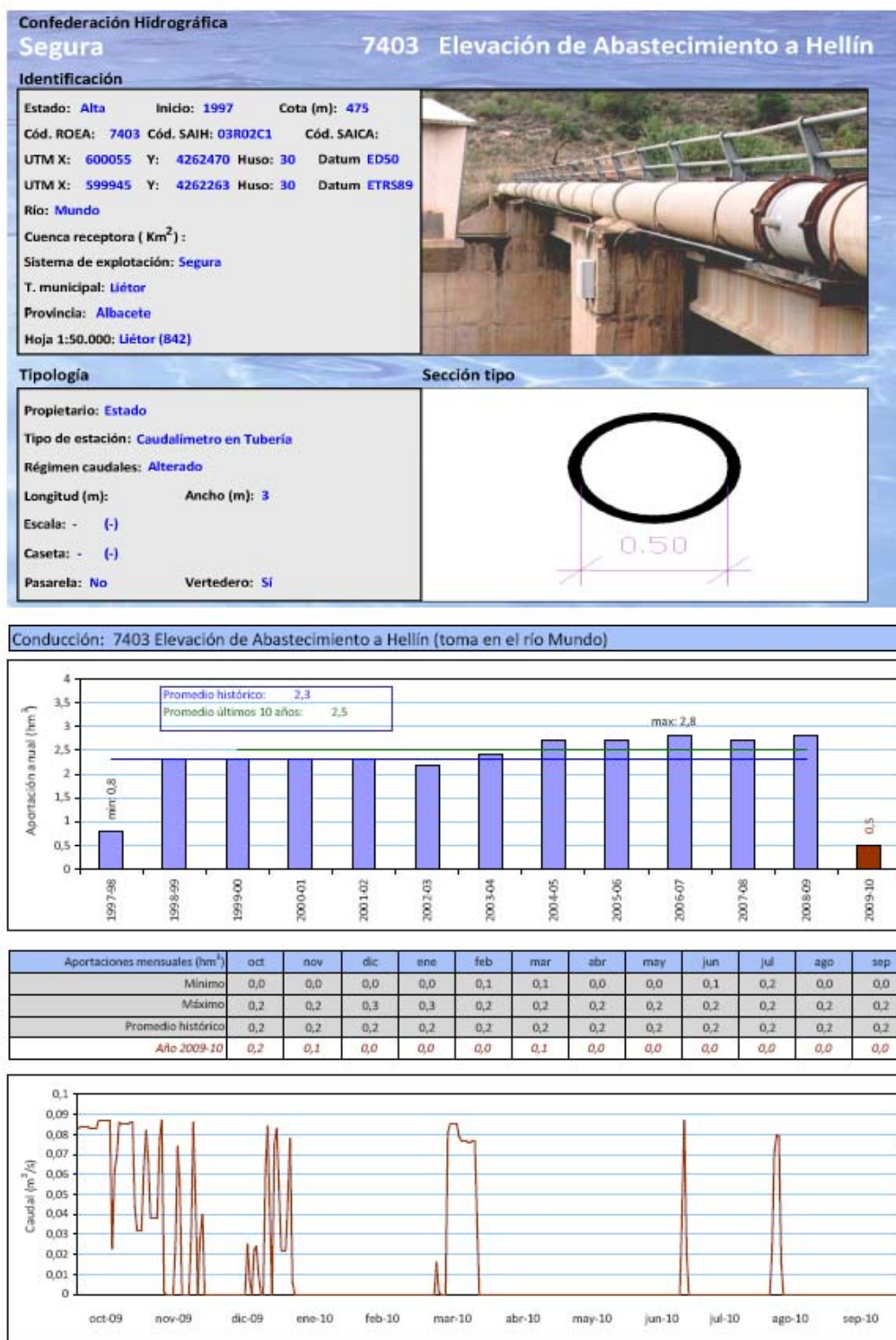
YEH, W. W.-G. (1985). "Reservoir management and operation models: A state-of-the-art review". Water Resources Research, 21(12) pp. 1797–1818

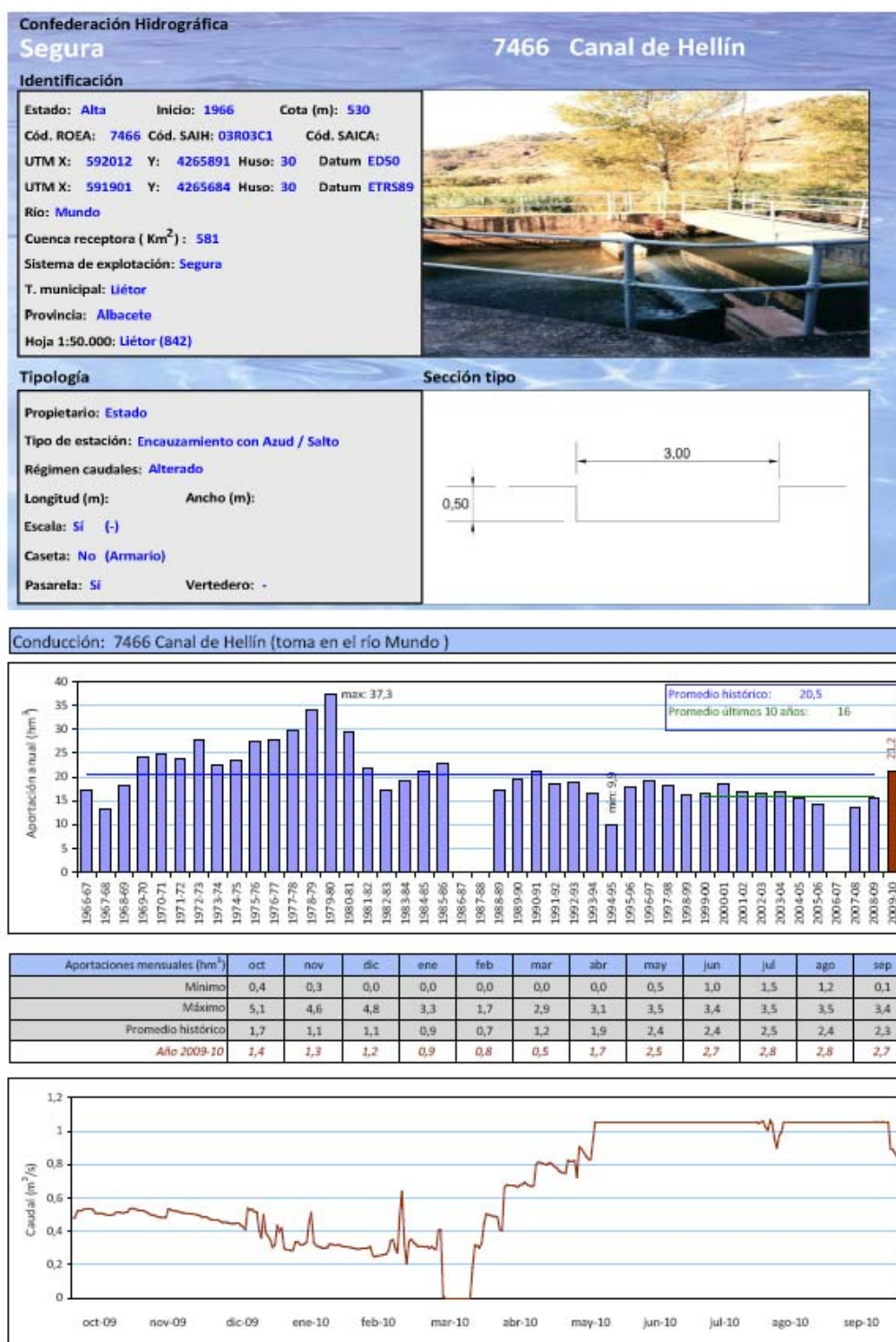
ZAGONA, E. A., FULP, T. J., GORANFLO, H. M., y SHANE, R. M. (1998).

“RIVERWARE: a general river and reservoir modeling environment”.
Proceedings of the First Federal Interagency Hydrologic Modeling Conference,
Las Vegas, Nevada. pp 113-120.

Anejos.

Anejo 1. Fichas oficiales de los recursos superficiales de Hellín.





Anejo 2. Concesiones de Confederación Hidrográfica del Segura del aprovechamiento de las aguas subterráneas del acuífero del Boquerón



MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE

CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL SEGURA
COMISARIA DE AGUAS

S/REF.

N/REF.

IPR-1804/89, IPR-1805/89, IPR-1880/89, IPC-107/89, IPC-148/89, IPC-149/89, IPC-150/89, IPC-805/97 e IPC-154/01

Sr. Comisario de Aguas

FECHA 20 de noviembre de 2006

ASUNTO **Inscripción de aprovechamiento en el Registro de Aguas de la cuenca.**

Con fecha 30 de diciembre de 1988 (**procedimiento IPR-1880/1989**) tuvo entrada en este Organismo un escrito de la Consejería de Agricultura de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha en el que comunicaba que de acuerdo con lo previsto por el Real Decreto 1079/1985, sobre traspaso de funciones en materia de reforma y desarrollo agrario y en aplicación del Decreto 68, de 27 de Mayo de 1986, solicitaba la inscripción en el Registro de Aguas de la Cuenca del aprovechamiento que tenía como punto de captación tres sondeos denominados Boquerón I, Boquerón II y Boquerón III, destinados al regadío de 742 ha de 511 propietarios de la zona de concentración de Isso en termino municipal de Hellín (Albacete).

Adicionalmente mencionaba que los sondeos se podían utilizar con destino al abastecimiento de la población de Hellín, así como para redotar una zona regable que cuantificaba en 1.905 ha de la Comunidad de Regantes Martínez Parras de Hellín, en la época de máximo consumo (julio y agosto).

La batería de los tres sondeos denominados Boquerón I, Boquerón II y Boquerón III había sido realizada en el año 1965, estando ubicados en un emplazamiento de coordenadas UTM 608823.4264044 a unos 10 m uno de otro. Junto con estas captaciones se construyó un embalse regulador con capacidad para unos 100.000 m3 del que partían tres conducciones:

- Tubería de abastecimiento al núcleo urbano de Hellín, para su uso en caso excepcional.
- Tubería conectada con la zona regable de la Comunidad de Regantes Martínez Parras de Hellín para redotarla en épocas de mayor consumo.
- Tubería conectada con la Fuente de Isso, desde donde parte la red de tuberías necesarias para el riego de las parcelas incluidas en la zona de concentración de Isso.

La superficie de riego de la zona de Isso era definida en el informe entonces evacuado por parte de personal técnico de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, siendo cuantificada en aquel momento en las 742 has ya indicadas.

También se concretaba en el valor de 2 hm3 anuales, el volumen máximo que en épocas de necesidad, podía ser destinado al abastecimiento del núcleo urbano de Hellín y su zona regable (Comunidad de Regantes Martínez Parras). El caudal máximo de explotación declarado de los sondeos era de 650 l/s, con una potencia instalada de 650 CV para el total de los tres sondeos.

En lo que respecta a las características técnicas de que disponen esos sondeos, es de mencionar que según obra en la documentación de que se dispone, el sondeo Boquerón I tiene una profundidad de 63 m, encontrándose entubados los primeros 57 m. Los sondeos

CORREO ELECTRONICO

PLAZA DE FONTES, 1
30.001 MURCIA
TEL.: 968 358890
FAX.: 968 211845

Boquerón II y Boquerón III tienen en ambos casos, una profundidad de 147 m encontrándose entubados en su totalidad.

El nivel piezométrico estático en esos sondeos se encontraba a la fecha de su ejecución (año 1965) a 29 m de profundidad, habiendo descendido éste nivel ya hasta los 41 m en el año 1988. Este descenso provocaba una disminución del caudal instantáneo de los sondeos, reducción que ha continuado hasta la actualidad. El descenso de niveles y la situación de explotación de reservas que viene sufriendo el acuífero del que captan 07.03.102. El Boquerón, determina que en la actualidad se hayan visto reducidos los caudales instantáneos de los sondeos por debajo del mencionado valor.

Adicionalmente a lo anterior y con esa misma fecha tuvo entrada en este Organismo un escrito de Antonio García Rech como representante y presidente de la S.A.T. Grupo de Regantes de la Fuente de Isso (**procedimiento IPR-1804/1989**), en el que solicitaba la inscripción en el Registro de Aguas de la Cuenca del Aprovechamiento que tenía como punto de captación la denominada como fuente de Isso con un caudal máximo instantáneo de 118 l/s y un volumen máximo anual utilizado de 3.600.000 m³. Las aguas de la fuente eran complementadas con los recursos procedentes de los sondeos del Boquerón (I, II y III).

Los derechos al aprovechamiento de la fuente constan en sus respectivas escrituras de propiedad como horas de agua perpetua semanal de la fuente principal del Heredamiento de Isso. Esa misma sociedad solicitaba la inscripción en el Registro de Aguas del aprovechamiento de los sondeos del Boquerón (**procedimiento IPR-1805/1989**), indicándose en la memoria entonces aportada que los mismos disponían de un caudal máximo utilizado de 250 l/s y un volumen máximo anual bombeado de 3.500.000 m³.

En fecha 31 de diciembre de 1988, Ana Fe Serra Lorenzo solicitó la inscripción en el Registro de Aguas del aprovechamiento destinado a una superficie de 1,6270 ha que eran regadas con 3 horas semanales de la Fuente de Isso y de los sondeos del Boquerón. (**expediente de referencia IPR-1627/1989**). De forma similar ocurre con las peticiones de anotación en el Catálogo de Aguas Privadas realizadas por María Luisa Precioso Estiguiñ y otros (**expedientes IPC-149/1989 e IPC-150/1989**), Cruz Baquero Baquero (**expediente IPC-148/1989**), Vicente García Asín (**procedimiento IPC-107/1989**) y Antonio García Rech y otros a título individual (**procedimiento IPC-805/1997**), entendiéndose que en todos los casos las declaraciones realizadas pretenden la inscripción y anotación de derechos individuales derivados del aprovechamiento de la fuente de Isso y de los sondeos de El Boquerón, quedando englobados dentro del aprovechamiento colectivo declarado tanto por la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha como por la sociedad agraria de transformación.

Por último y en fecha 18 de octubre de 2001 (**procedimiento IPC-154/2001**) fue solicitado por la Junta de Comunidades de Castilla La Mancha, la anotación del sondeo conocido como El Romeral, ubicado en un emplazamiento de coordenadas UTM 608640.4264225 en la parcela 42 del polígono 13 del término municipal de Hellín, con una profundidad de 156 m, un diámetro de 500 mm y en la actualidad sin explotación.

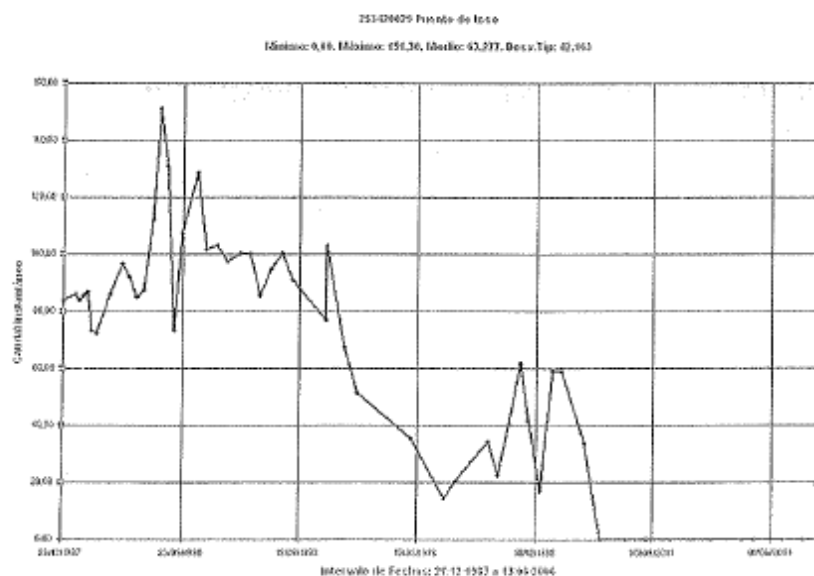
Consultada la información de que se dispone en este Organismo en relación con la mencionada fuente se comprueba que en el año 1987 la misma disponía de un caudal aproximado de aforo de unos 70 l/s (en fecha 26 de noviembre de 1987: 71,5 l/s). Dicho aforo aumentó hasta el entorno de los 90 l/s, durante la primera mitad de la década de los

90, con un máximo aforado el 13 de marzo de 1990 de 151 l/s, para desde dicha fecha ir disminuyendo paulatinamente su caudal hasta el año 2000, descenso éste consecuencia de la explotación global de las aguas subterráneas en el acuífero que drena a través de la fuente y los acuíferos a él vinculados comprendidos en su misma unidad hidrogeológica, sin que conste que con posterioridad al año 2000 hayan vuelto a brotar caudales de la fuente.

Los aforos oficiales que constan en este Organismo realizados en la fuente de Isso correspondientes a los años 1987, 1988 y 1989 son los siguientes:

fecha	caudal
26/10/1987	65,000 l/s
20/11/1987	71,500 l/s
28/12/1987	83,900 l/s
04/04/1988	86,010 l/s
09/05/1988	83,700 l/s
14/06/1988	85,500 l/s
19/07/1988	86,780 l/s
18/08/1988	73,500 l/s
07/10/1988	72,170 l/s
26/01/1989	86,000 l/s
02/05/1989	96,600 l/s
03/07/1989	92,000 l/s
01/09/1989	85,000 l/s
01/11/1989	87,500 l/s

Dichos aforos determinan un caudal instantáneo medio entre los años 1987 y 1989 en la fuente de 82 l/s. En todo caso la evolución de la fuente desde el año 1987 hasta la actualidad, en función de los aforos tomados por personal de esta Confederación es la siguiente:



Al margen de dichos aforos es de mencionar que en el Real Decreto 2765/1982, de 24 de septiembre (BOE nº264 de 3 de noviembre), en su exposición de motivos contempla que la Fuente de Isso proporcionaba un caudal continuo medio anual de 118 l/s, que podían ser utilizados íntegramente en los momentos necesarios mediante extracciones de pozos abiertos en el acuífero por el Instituto de Reforma y Desarrollo Agrario.

En las circunstancias establecidas el volumen que venía siendo utilizado para el riego tradicional de la zona de Isso, procedente del manantial, se vio a la entrada en vigor de la Ley de Aguas de 1985, complementado y finalmente sustituido, por las aguas extraídas de los sondeos del Boquerón (I, II y III), que en ausencia de la fuente, constituyen en la actualidad el único aprovechamiento posible de la mencionada zona de riego.

Se ha consultado el Inventario de Captaciones de este Organismo comprobándose que en visitas efectuadas con motivo del citado inventario en octubre de 1990 y febrero de 1991, la fuente y los sondeos se encontraban en explotación.

El derecho al uso de las aguas extraídas mediante la batería de sondeos queda acreditado por los antecedentes obrantes en la documentación aportada por la Consejería de Agricultura de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, que ampararon la puesta en riego del sector de Isso hasta el nivel en que se encontraba transformado a la entrada en vigor de la Ley de Aguas de 1985, y que ha permanecido sensiblemente sin modificación hasta la actualidad.

Dicho derecho procedía básicamente de los decretos y órdenes que amparaban su desarrollo y que fueron los siguientes:

1. Decreto 676/1973 de declaración de interés nacional de las actuaciones del IRYDA en la ampliación de la zona Regable de Hellín.
2. Decreto 2653/1974 de aprobación del plan general de transformación de la ampliación de la zona regable de Hellín, dividiéndose la zona en dos sectores, Agramón e Isso.
3. Orden Ministerial de fecha 16 de febrero de 1976, en la que se declara la utilidad pública y urgente ejecución parcelaria de la zona.
4. Plan de Obras y mejoras Territoriales aprobado por Orden Ministerial de 8 de Junio de 1977.

Todo ello en aplicación de la Ley de Reforma y desarrollo agrario, de 12 de enero de 1973.

Hay que indicar que la declaración del aprovechamiento por parte de la sociedad agraria de transformación en el año 1988, se hizo en función de una superficie de 1.350 ha, notoriamente superior a la evaluada en aquella fecha por el personal técnico de la Consejería de Agricultura en el informe entonces evacuado, entendiéndose que no se corresponde con la realidad del aprovechamiento en aquella fecha.

Como se ha venido indicando, y a excepción de las aguas que en concepto de socorro se suministran de los sondeos de El Boquerón (I, II y III) a la Comunidad de Regantes Martínez Parras de Hellín y al abastecimiento del núcleo urbano de Hellín, las superficies a las que se adscriben los sondeos de El Boquerón y la fuente de Isso son coincidentes en lo que respecta al sector de Isso, por cuanto los sondeos se constituyen como complementarios o alternativos de los caudales aportados por la fuente.

No cabe hablar por tanto de superficies distintas para la aplicación de las aguas de los sondeos y la fuente en lo que respecta al sector de Isso.

La disparidad observada entre la superficie declarada inicialmente por la sociedad agraria y la informada por el personal de la Consejería de Agricultura solo puede tener como justificación, la pretensión en el desarrollo de riego de superficies que no mantenían a la entrada en vigor de la Ley de Aguas de 1985, con carácter habitual un riego con las aguas de la fuente y los sondeos, y cuya puesta en explotación con posterioridad a dicha fecha constituiría una modificación de características del aprovechamiento y un incremento de los volúmenes utilizados, extremo éste que según lo establecido en las disposiciones transitorias de la Ley de Aguas, precisa de la correspondiente concesión que ampare la totalidad de la explotación.

Confrontado el aprovechamiento sobre el terreno por parte de personal técnico del Organismo se observa que los terrenos que se encuentran dentro del perímetro de riego del sector de Isso se dedican principalmente al cultivo de albaricoquero, melocotonero, olivar, y almendro, así como a hortalizas y cereales.

El volumen máximo anual que en el informe de la Junta de Comunidades se estimaba necesario para el riego del sector de Isso se establecía en el año 1988 en la cantidad de 5.000.000 m³. Dicho volumen aplicado en una superficie de 742 ha, determina una dotación media para el conjunto del aprovechamiento de 6.738 m³/ha/año.

Examinada la documentación contenida en el anejo de demanda agraria del Plan Hidrológico de la cuenca del Segura, se observa que se ha estimado para esos tipos de cultivos y en las zonas de riego de aguas subterráneas de Hellín y Tobarra y el canal de Hellín, las siguientes dotaciones por hectárea y año:

Frutal hueso	5.950 m ³ /ha/año
Almendro	900 m ³ /ha/año
Olivar	900 m ³ /ha/año
Cereal de invierno	2.700 m ³ /ha/año
Hortaliza bulbo	4.800 m ³ /ha/año
Hortaliza hoja	3.800 m ³ /ha/año
Hortaliza fruto	4.200 m ³ /ha/año

La aplicación de esas dotaciones para los tipos de cultivo actuales determinaría una dotación media por hectárea y año aproximada de 4.800 m³.

De la aplicación de dicha dotación a las 742 ha determinadas como de riego a la entrada en vigor de la Ley 29/1985, de 2 de agosto de aguas, se obtiene un volumen anual máximo de 3.710.000 m³, que demandaría el sector de Isso y en consecuencia la superficie cuya inscripción se realiza.

Los sondeos del Boquerón captan recursos del acuífero del mismo nombre (07.03.102), enclavado dentro de la unidad hidrogeológica de El Boquerón constituyendo uno de sus principales puntos de extracción y disminuyendo en estas condiciones los volúmenes que en régimen natural dicho acuífero drena a través de fuentes o manantiales, aportaciones subterráneas entre acuíferos y drenajes a cauces de aguas superficiales.

Se ha identificado el aprovechamiento declarado sobre las fotografías aéreas oficiales de que se dispone en este Organismo, correspondiente a los años 1986 y 1997, identificándose las parcelas declaradas, que se encontraban cultivadas a la entrada en vigor de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas. De dicha verificación se deduce una existencia de explotación de regadío en la superficie informada por la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, no comprobándose la existencia de tal regadío en parcelas declaradas por la sociedad agraria de transformación.

Adicionalmente a lo anterior, hay que mencionar que con fecha 28 de septiembre de 2004, Manuel Sánchez Blázquez, como propietario de la finca denominada Cerro Molinero y ubicada en el término municipal de Hellín, comunicó que podrían verse afectados sus intereses con motivo de la inscripción del aprovechamiento y solicitó que se le tuviera por personado en el expediente y se le considerase parte interesada en el mismo.

La disposición transitoria tercera de la Ley de Aguas de 1985 establecía que quienes conforme a la legislación que se derogaba fueran titulares de algún derecho sobre aguas privadas procedentes de pozos o galerías en explotación, podrán acreditar en el plazo de tres años, a partir de la entrada en vigor de la Ley y ante el Organismo de cuenca correspondiente, para su inscripción en el Registro de Aguas, como aprovechamiento temporal de aguas privadas, tanto su derecho a la utilización del recurso como la no afección, en su caso a otros aprovechamientos legales preexistentes. La administración respetará el régimen de explotación de los caudales en virtud de título legítimo, teniendo derecho preferente para la obtención de la correspondiente concesión administrativa, de conformidad con lo previsto en la citada Ley.

El carácter opcional de la alternativa que se regula en este apartado excluye cualquier obligación compensatoria de la Administración a favor de quien la ejerce, como consecuencia de la transformación del derecho.

No consta que en la actualidad los sondeos de El Boquerón hayan sido objeto de cesión por parte de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha a los propietarios de las tierras de riego.

Pudiendo existir interesados con derechos legítimos afectados por el procedimiento ahora instruido, se ha evacuado trámite de información pública mediante exposición de la nota anuncio correspondiente en la que se recogían básicamente las características de los expedientes instruidos, en el Boletín Oficial de la Provincia de Albacete, y en el tablón de edictos del Ayuntamiento de Hellín.

Dicho trámite ha concluido sin que se tenga constancia de que se hayan presentado alegaciones en relación con el procedimiento ahora instruido, ni hayan comparecido en el expediente otros interesados distintos de los peticionarios.

Otorgada audiencia a los distintos peticionarios con carácter previo a la propuesta de resolución, se han recibido en este Organismo alegaciones por parte de la S.A.T. de Isso (6 de septiembre de 2006), Comunidad de Regantes Juan Martínez Parras de Hellín (31 de agosto de 2006), Comunidad de Regantes de Isso (1 de septiembre de 2006) y Consejería de Agricultura de la Junta de Comunidades de Castilla La Mancha (1 de septiembre de 2006).

En las alegaciones de éstas dos últimas, cuyo contenido es coincidente, se indica que el caudal medio equivalente que debe figurar en la inscripción del aprovechamiento vinculado a

la fuente de Isso, se correspondete con el valor de 118 l/s, lo que implica un volumen máximo anual de 3.721.248 m³.

Adicionalmente se indica que la dotación hídrica que debe reflejar la inscripción de la fuente principal debe ser de 5.000 m³/ha/año frente a la de 3.485,1 m³/ha/año establecida en el informe, totalizando esta dotación conjuntamente con la de los sondeos un valor de 5.573 m³/ha/año.

La Comunidad de Regantes Martínez Parras alega por su parte, que los sondeos del Boquerón se hicieron en su momento para incrementar la dotación concedida a esa comunidad de las aguas del río Mundo, oponiéndose al reconocimiento del aprovechamiento con un caudal instantáneo conjunto de 280 l/s y proponiéndose el que indican de aforo, que es de 650 l/s.

Adicionalmente consideran que el volumen máximo anual que corresponde a esa comunidad procedente de dichos sondeos es el de 4 hm³, y no de 2 hm³.

Por último Antonio García Rech como presidente de la sociedad agraria de transformación nº2970 de Isso, alega que la extensión de los regadíos reconocidos (742 ha) comprende exclusivamente los regadíos tradicionales, antes de que se produjesen las sucesivas ampliaciones (hasta 1.350 ha) promovidas y auspiciadas por la Administración autonómica. Indica que en los años setenta dicha superficie de riego se elevaba ya a 1.055 ha.

Entre otros y como documento con el que pretende acreditar tal extremo, alude a que sendos expedientes sancionadores incoados en este Organismo por ampliaciones de riego en los parajes de Lomas de Juan Murcia, El Cuco-Carbonel-Casas Romeral, fueron sobreseídos, lo que implicaría que por esta Confederación se hubiese reconocido esa superficie como de riego con las aguas de la fuente y los sondeos.

Se indica que el volumen máximo anual asignado a los usuarios de la fuente Principal debe de ser de 3.600.000 m³, que sumados a los correspondientes a los sondeos de El Boquerón deben totalizar 7.100.000 m³, los cuales permitirían el riego de una superficie de 1.350 ha con una dotación de 5.295,25 m³/ha/año.

Por último indica que la servidumbre de uso que los sondeos tienen con destino al abastecimiento de la población de Hellín debe recaer exclusivamente sobre los usuarios de la Comunidad de Regantes Martínez Parras, y en ningún caso en perjuicio de los usuarios de la fuente.

Verificadas las anteriores alegaciones, se ha procedido a examinar el contenido de las mismas en relación con el resto de documentación de que se dispone en este Organismo.

A la vista de las alegaciones realizadas sobre el aprovechamiento vinculado a la fuente principal de Isso es de mencionar, que el volumen máximo anual reconocido en la propuesta de inscripción, se corresponde con el máximo total que aportó la fuente en los años siguientes a la entrada en vigor de la Ley de Aguas de 1985 (1987, 1988 y 1989), obtenido éste como se ha indicado a partir de los aforos oficiales realizados sobre la fuente de Isso, por personal de esta Confederación en aquellos años.

22

Año 1988 que por otra parte se corresponde con la fecha en que se declara el aprovechamiento para su inscripción en el Registro de Aguas.

En estas circunstancias no es posible cuestionar el volumen máximo anual objeto de aprovechamiento con la fuente en dicha fecha, sino es cuestionando a su vez la validez de los aforos oficiales en aquellos años realizados, cosa que en ninguna de las alegaciones realizadas se ha hecho.

La insuficiencia para atender con las aguas de la fuente, el total de la superficie de riego vinculada a la misma, es algo que igualmente se ha considerado probado durante la instrucción del procedimiento, por cuanto justifica el hecho de que ya en aquellos años, existieran volúmenes procedentes de aguas subterráneas, que eran obtenidos a partir de la explotación de los sondeos de El Boquerón.

Si bien no puede ponerse en duda que con anterioridad a dicha fecha la fuente pudiera haber aportado en algunas épocas un caudal medio anual superior al mencionado de 82 l/s cuya existencia habría quedado recogida en la exposición de motivos del Real Decreto 2765/1982 que se menciona (118 l/s), si se considera acreditado que éste valor se había visto ya reducido en los años 1987, 1988 y 1989 hasta el medio equivalente indicado de 82 l/s.

Es enteramente razonable que a efectos de la inscripción de un aprovechamiento en el Registro de Aguas como temporal de aguas privadas, no se otorgue protección administrativa a caudales o volúmenes de naturaleza privada, que ya habían desaparecido con anterioridad a la entrada en vigor de la Ley de Aguas de 1985.

Todo ello por cuanto la citada Ley respetaba íntegramente los derechos preexistentes en función del contenido efectivo o utilidad real de los mismos, congelándolos en su alcance material a la fecha de su entrada en vigor y limitándolos a los caudales totales utilizados, de suerte que cualquier incremento de los mismos requeriría a partir de entonces la oportuna concesión.

La no utilización de aforos realizados en el año 1986 (fecha de la entrada en vigor de la Ley de Aguas) es consecuencia exclusiva de que en ese año este Organismo aun no procedía a efectuar mediciones sistemáticas de caudal en la fuente principal de Iiso, extremo éste que inició en octubre de 1987.

A pesar de lo anterior se considera, que de haber existido éstos y a la vista de la situación observada en esos años, el caudal de la fuente debió haber arrojado en aquel año, incluso un caudal medio inferior al indicado (82 l/s), por cuanto los valores inferiores detectados en el periodo 1987/1989 se produjeron al inicio del mismo, observándose a lo largo del año 1987 una tendencia ascendente.

La Sentencia 227/1988, de 29 de noviembre, del Tribunal Constitucional mencionaba que las Disposiciones transitorias segunda y tercera de la citada Ley, equiparon a las concesiones los derechos de aprovechamiento temporal de aguas privadas, en lo que se refiere a la protección administrativa.

En relación con la superficie regable es de mencionar que hasta que las correspondientes Comunidades de Regantes de la zona se hiciesen cargo de la explotación de los sondeos y en virtud de lo establecido en el Decreto 865/1963, de 18 de abril, correspondía al Instituto de

Colonización Interior (hoy facultades transferidas a la Administración Autonómica) la gestión directa de éstos, entendiéndose que esa Administración se constituye en la mejor conocedora en relación con la explotación de los aprovechamientos afectados.

Tanto en informes de fecha 23 de diciembre de 1988 como de 4 de octubre de 2001, se nos ha concretado la superficie de riego vinculada a esos aprovechamientos (fuente principal de Isso y sondeos El Boquerón en la zona de Isso), en la cantidad de 742 ha, y no en las 1.350 ha que se mencionan en sus alegaciones por parte del representante de la sociedad agraria de transformación nº2970 de Isso.

La resolución con orden de archivo de los expedientes sancionadores de referencia D-195/2003 y D-120/2003 incoados contra Antonio García Rech por la realización de una ampliación de regadíos conjunta de unas 89 ha, se realizó en base, entre otros, a la certificación de que el entonces denunciado era socio de la sociedad agraria así como al hecho de que se consideró que no se podía probar dicha ampliación de regadíos, puesto que esta Confederación no había resuelto las características finales de la inscripción de los aprovechamientos afectados (procedimientos actuales), considerándose imposible, en ausencia de ésta, probar los hechos denunciados.

No es posible que la ausencia de prueba en relación con la existencia o no de actuaciones constitutivas de infracción administrativa a la Ley de Aguas, ante una denuncia por puesta en riego de nuevas zonas hasta ese momento de secano, pueda considerarse como título legítimo suficiente para la acreditación de derechos de naturaleza privada derivados de la Ley de Aguas de 1879.

Adicionalmente no consta en la documentación examinada en los diversos expedientes instruidos, ningún oficio por el que se haya otorgado a la sociedad agraria de transformación, la titularidad del derecho al aprovechamiento de las aguas de la fuente principal o los sondeos de El Boquerón.

En relación con la dotación en metros cúbicos por hectárea y año, se indica en las alegaciones de la Consejería de Agricultura de Castilla-La Mancha que los cálculos realizados, referidos a la alternativa de cultivo establecen una dotación media de 4.800 m³/ha/año, dotación que menciona no ajustarse a lo establecido en la unidad de demanda agraria nº7 definida en el Plan Hidrológico de la cuenca del Segura; unidad ésta para la que, como bien se menciona, se ha estimado en el mismo una distribución de cultivos de un 45% para herbáceos frente a un 55% de leñosos.

Examinada la página 111 del anejo de demanda agraria del citado plan, se comprueba que para la unidad de demanda agraria nº7 se establece en el mismo unas dotaciones en metros cúbicos hectárea y año de 3.497 (neta) y de 4.114 (bruta).

Dichas dotaciones, que se refieren a la media del conjunto de explotaciones vinculadas a la unidad, y que no pueden trasladarse sin más a la actual explotación, son en todo caso inferiores a las que se contienen en la propuesta inicial sometida a trámite de audiencia.

A la vista del escrito realizado por la Comunidad de Regantes Martínez Parras de Hellín, se observa que la cuantificación del volumen máximo anual correspondiente al aprovechamiento vinculado a las aguas superficiales del canal de Hellín, en los términos en que se ejercía a la entrada en vigor de la Ley de Aguas, fue realizado en virtud del informe de fecha 23 de

diciembre de 1988 por el entonces Jefe de Servicio Provincial de Estructuras Agrarias, el cual fue remitido a esta Confederación por el Delegado Provincial de la Consejería de Agricultura.

No consta ahora aportada ninguna documentación que permita determinar que los volúmenes que eran objeto de aprovechamiento por la citada comunidad en aquellos años, eran mayores que los que se mencionan en el mismo (2 hm³/año).

En relación con los caudales instantáneos que aportaban los sondeos, hay que indicar que en el citado informe se determinaba como caudal máximo de explotación declarado de los sondeos el valor de 650 l/s, correspondiente a una potencia instalada de 650 CV para el total de los tres sondeos.

En relación con este extremo se nos ha facilitado una nota informativa de fecha 23 de noviembre de 2005 sobre el acuerdo de entrega de dos de dichos sondeos a la Comunidad de Regantes de Isso de Hellín, por parte de la Consejería de Agricultura de la Junta de Comunidades de Castilla La Mancha, en los que se establecen las características exactas de los grupos electrobombas sumergidos instalados en los sondeos y los caudales por ellos aportados.

De su lectura se observa que en la actualidad el caudal instantáneo aportado según placas es de 9.000 l/minuto para el sondeo Boquerón I, equipado con una bomba INDAR 453-2 de 110 CV de potencia y de 7.500 l/minuto para los otros dos, equipados con bombas de 185 CV de potencia a 82 m.c.a. Dichos valores denotan en la actualidad la existencia de un caudal (400 l/s) sensiblemente superior a los 280 l/s que se recogen en el informe, caudal éste que como se ha mencionado y con motivo del descenso piezométrico del acuífero debe de haberse visto considerablemente reducido con respecto al que existía en el año 1986, considerándose que puede admitirse como válido el valor de 650 l/s, que fue declarado en el año 1988.

En consecuencia, por todo lo anterior, ultimado el expediente de referencia, confrontado el aprovechamiento sobre el terreno y otorgada audiencia con carácter previo a la propuesta de resolución, se informa favorablemente la inscripción en la sección C del Registro de Aguas de los aprovechamientos que presentan las siguientes características y condiciones:

Aprovechamiento de la fuente principal de Isso:

TITULARES: Usuarios de la fuente principal del Heredamiento de Isso

PARAJE: Isso

TERMINO MUNICIPAL: Hellín .

PROVINCIA: Albacete

ACUIFERO: 07.03.102. El Boquerón.

USO: Regadío

SUPERFICIE REGABLE: 742 ha

DOTACION MEDIA: 3.485,1 m³/ha/año.

VOLUMEN MÁXIMO ANUAL: 2.585.952 m³

CAUDAL MEDIO EQUIVALENTE: 82 l/s

TITULO FECHA AUTORIDAD: Notoriamente preexistente a la entrada en vigor de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de aguas. Real Decreto 2765/1982 de 24 de septiembre. Inscripciones en el Registro de la Propiedad como horas de agua perpetua semanal de la que produce la Fuente Principal del Heredamiento de Isso.

CAUDAL INSTANTÁNEO: Fuente de Isso: 118 l/s. (Real Decreto 2765/1982 de 24 de septiembre).

COORDENADAS U.T.M.: Fuente de Isso: 608841.4262187

CONDICIONES ESPECÍFICAS:

Fuente o manantial principal de Isso. Las aguas se distribuyen en horas de agua perpetua semanal entre los inicialmente 511 usuarios del Heredamiento de Isso. El destino de las aguas es el riego de una superficie de 742 ha, incluidas dentro del denominado Sector de Isso de la primera ampliación de la zona regable de Hellín.

El caudal instantáneo se corresponde con el establecido en la exposición de motivos del Real Decreto 2765/1985, de 24 de septiembre

Las aguas de la fuente de Isso, que se aprovechan en su totalidad, se ven complementadas hasta el total de la dotación necesaria, en función de los tipos de cultivos mayoritarios existentes en la zona (frutal hueso, almendro, cereal de invierno, olivar y hortaliza), precisando una dotación media de 4.800 m³/ha/año, mediante la utilización de los recursos procedentes de tres sondeos, propiedad de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, denominados Boquerón I, Boquerón II y Boquerón III, los cuales restituyen y complementan el caudal aportado por la fuente, totalmente seca desde el año 2000.

Los caudales aportados por los sondeos de El Boquerón se vierten y acumulan en un embalse de regulación de unos 100.000 m³ de capacidad, ubicado en la rambla del Boquerón, del que parte entre otras, una conducción de aguas hasta el entorno de la fuente principal de Isso.

Aprovechamiento de los sondeos de El Boquerón:

TITULARES: Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha
Usuarios de la fuente principal del Heredamiento de Isso
Comunidad de Regantes Martínez Parras

PARAJE: Rambla del Boquerón-Isso-Canal de Hellín

TERMINO MUNICIPAL: Hellín.

PROVINCIA: Albacete

ACUIFERO: 07.03.102. El Boquerón.

USO: Regadío

SUPERFICIE REGABLE: 3.580 ha (742 ha de la zona regable de la fuente principal de Isso y 2.838 ha de la zona regable del canal de Hellín)

DOTACION MEDIA: 1.554 m³/ha/año regadío (hasta 4.800 m³/ha/año en la zona regable de la fuente principal de Isso complementariamente con las aguas de la fuente y hasta 705 m³/ha/año en la zona regable del canal de Hellín complementariamente con los recursos aportados por la toma superficial de la Comunidad de Regantes Martínez Parras en el río Mundo)

VOLUMEN MÁXIMO ANUAL: 5.561.600 m³ (3.561.600 m³ en la zona regable de la fuente principal de Isso y 2.000.000 m³ en la zona regable del canal de Hellín)

CAUDAL MEDIO EQUIVALENTE: 176,36 l/s

TITULO FECHA AUTORIDAD: Decreto 676/1973, de 15 de Marzo, de declaración de Interés Nacional para la Transformación en Regadío de la Zona Regable de Hellín. Decreto 2653/1974, de 9 de agosto por la que se aprueba el Plan General de Transformación de la zona regable de Hellín, sectores de Isso y Agramón. Orden Ministerio de Agricultura de 16 de Febrero de 1979, sobre declaración utilidad pública y urgente ejecución de la concentración parcelaria de la zona regable de Hellín. Informes de la Delegación de Agricultura de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha de fecha 23 de diciembre de 1988 y 4 de octubre de 2001.

DIÁMETRO DE LOS SONDEOS: sondeo El Boquerón I, II y III y El Romeral: 500 mm.
PROFUNDIDAD DE LOS SONDEOS sondeo Boquerón I: 63 m, sondeo Boquerón II: 147 m, sondeo Boquerón III: 147 m, sondeo El Romeral: 156 m
POTENCIA INSTALADA: sondeo Boquerón I: 180 CV, sondeo Boquerón II: 310 CV, sondeo Boquerón III: 310 CV, sondeo El Romeral: sin instalación elevadora
CAUDAL INSTANTÁNEO: sondeo Boquerón I: 150 l/s, sondeo Boquerón II: 250 l/s, sondeo Boquerón III: 250 l/s, sondeo El Romeral: sin instalación elevadora
COORDENADAS U.T.M.: Sondeos Boquerón I, II y III: 608823.4264044: sondeo El Romeral: 608640.4264225

CONDICIONES ESPECÍFICAS:

Las aguas de los sondeos Boquerón I, II y III, complementan (1.315 m³/ha/año) y restituyen (hasta 3.485 m³/ha/año) las aportadas por la fuente principal de Isso, en la zona de concentración de Isso, hasta completar la dotación necesaria de 4.800 m³/ha/año para los tipos de cultivo mayoritariamente existentes que son frutal hueso, almendro, cereal de invierno, olivar y hortalizas.

Las aguas de los sondeos Boquerón I, II y III complementan adicionalmente hasta un máximo de 705 m³/ha/año las aguas superficiales derivadas del río Mundo en el azud existente en Lietor y conducidas a través del Canal de Hellín hasta la zona regable de la Comunidad de Regantes Martínez Parras, cuando los caudales derivados, en los meses de verano, no permiten el mantenimiento del aprovechamiento en los términos del derecho de que dispone. El caudal máximo instantáneo de toma de la Comunidad de Regantes Martínez Parras en el río Mundo es de 900 l/s con destino exclusivo al regadío.

El sondeo El Romeral se encuentra sin instalación elevadora y en reserva

La propiedad actual de los sondeos Boquerón I, II y III y El Romeral es de la Junta de Comunidades de Castilla La Mancha, habiéndose ejecutado y alumbrado sus aguas como parte de las obras de infraestructura para el desarrollo y transformación de la zona regable de Hellín.

El aprovechamiento dispone de un embalse de regulación de aproximadamente 100.000 m³ ubicado en la rambla del Boquerón al que vierten los sondeos, del que parten tres conducciones de distribución, una a la zona regable de la fuente principal de Isso, otra al casco urbano de Hellín y la última a la zona de riego de la Comunidad de Regantes Martínez Parras.

Los sondeos disponen de una servidumbre de uso reconocida por las partes a favor del Ayuntamiento de Hellín, con destino al abastecimiento de esa población, en situaciones excepcionales y ante la insuficiencia del resto de recursos de los que para el citado abastecimiento dispone ese Ayuntamiento (aguas superficiales del río Mundo), hasta un máximo anual de 1.000.000 m³, a deducir proporcionalmente entre los usuarios de los volúmenes destinados al regadío.

Estos sondeos constituyen el principal punto de extracción del acuífero El Boquerón disminuyendo los volúmenes que en régimen natural dicho acuífero drena a través de fuentes o manantial, aportaciones subterráneas entre acuífero o drenajes a cauces de aguas superficiales.

Además de las anteriores condiciones, deben cumplirse las siguientes prescripciones:

PRIMERA.- No se podrá derivar más caudal del fijado. Cualquier incremento de dicho caudal, así como la modificación de las características, obras, instalaciones, destino, usos o régimen del aprovechamiento, deberá solicitarse en esta Confederación Hidrográfica como concesión que ampare la totalidad de la explotación. Ha de tenerse en cuenta que cualquier

modificación que no haya sido autorizada previamente por el Organismo de cuenca puede ocasionar la extinción del derecho con anulación de esta inscripción.

La utilización de las aguas extraídas y que son objeto de la presente inscripción, queda adscrita exclusivamente a las superficies definidas en los planos que se incluyen en el expediente. Cualquier modificación en cuanto a las mismas, precisará la tramitación de la correspondiente concesión que ampare la totalidad de la explotación.

SEGUNDA.- En el plazo de DOS MESES deberán instalarse medidores volumétricos de caudal de agua fría, debidamente homologados según las prescripciones técnicas recogidas en la Orden del Ministerio de Obras Públicas de 28 de diciembre de 1.988. Dichos medidores se instalarán en sitio visible, embridado en los sondeos a la tubería de impulsión y lo más cerca posible de éstos. Cuando se instalen deberán ser comunicados a este Organismo para que nuestro personal lo revise y precinte.

Asimismo, y para comprobar los volúmenes de agua de que dispone, el titular autoriza al Organismo de cuenca para que obtenga información de los empresa suministradora de energía en relación con los consumos existentes en los períodos que la Administración Hidráulica decida verificarlos.

Cuando la Administración haga uso de esta facultad de comprobación lo comunicará de forma inmediata al titular.

TERCERA.- Cualquier cambio de titularidad se deberá comunicar por escrito a este Organismo y acompañar la documentación que proceda para ese fin. Las aguas alumbradas no podrán utilizarse en usos distintos del reconocido.

CUARTA.- La Administración respetará el actual régimen de aprovechamiento por un total de CINCUENTA AÑOS desde la fecha de entrada en vigor de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas.

QUINTA.- El uso del agua de los sondeos con destino al abastecimiento de poblaciones requerirá la correspondiente autorización de la Administración Sanitaria.

Examinado y conforme
El Jefe del Área de Gestión
del Dominio Público Hidráulico,

Gonzalo Aragón Morales

El Ingeniero Jefe de Servicio

Jesús García Martínez

Examinado y conforme:
Elévese la propuesta al Sr. Presidente
El Comisario de Aguas

Manuel Aldeguez Sánchez

Anejo 3. Parámetros utilizados en AQUIVAL para la validación del modelo del acuífero del Boquerón

Datos discretización situación régimen natural (1976)

TITULO : Acuífero El Boquerón

DATOS GENERALES :

Nº de filas : 8

Nº de columnas : 16

Nº de celdas activas : 75

Nº de celdas inactiva : 53

Nº de celdas nivel externo : 0

Nº de celdas nivel constante : 0

DIMENSIONES DE FILAS Y COLUMNAS constante

Ancho filas = 1000

Ancho columnas = 1000

MATRIZ DE TRANSMISIVIDAD Tx

Fila : 1

0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
0.000 0.000 200.000 0.000 0.000 0.000 0.000
0.000 300.000

Fila : 2

0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
0.000 200.000 200.000 200.000 300.000 300.000 0.000
0.000 300.000

Fila : 3

100.000 100.000 100.000 100.000 100.000 100.000 100.000
150.000 200.000 200.000 200.000 300.000 300.000 200.000
200.000 300.000

Fila : 4

100.000 100.000 100.000 100.000 100.000 100.000 100.000

150.000 200.000 200.000 200.000 200.000 0.000 0.000
0.000 0.000

Fila : 5

0.000 0.000 100.000 200.000 200.000 200.000 200.000
200.000 200.000 200.000 0.000 0.000 0.000 300.000
300.000 300.000

Fila : 6

0.000 0.000 0.000 100.000 200.000 200.000 200.000
300.000 300.000 300.000 300.000 300.000 300.000 300.000
300.000 300.000

Fila : 7

0.000 0.000 0.000 0.000 100.000 100.000 100.000
300.000 300.000 300.000 300.000 300.000 300.000 300.000
300.000 300.000

Fila : 8

0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
150.000 200.000 200.000 0.000 0.000 0.000 0.000
0.000 0.000

MATRIZ DE TRANSMISIVIDAD Ty

Fila : 1

0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
0.000 0.000 200.000 0.000 0.000 0.000 0.000
0.000 300.000

Fila : 2

0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
0.000 200.000 200.000 200.000 300.000 300.000 0.000
0.000 300.000

Fila : 3

100.000 200.000 200.000 200.000 200.000 200.000 100.000
150.000 200.000 200.000 200.000 300.000 300.000 200.000
200.000 300.000

Fila : 4

```
-----
100.000 100.000 200.000 200.000 200.000 200.000 100.000
150.000 200.000 200.000 200.000 200.000 0.000 0.000
0.000 0.000
-----
```

Fila : 5

```
-----
0.000 0.000 100.000 200.000 200.000 200.000 200.000
150.000 200.000 200.000 0.000 0.000 0.000 300.000
300.000 300.000
-----
```

Fila : 6

```
-----
0.000 0.000 0.000 100.000 200.000 200.000 200.000
300.000 300.000 200.000 200.000 200.000 300.000 300.000
300.000 300.000
-----
```

Fila : 7

```
-----
0.000 0.000 0.000 0.000 100.000 100.000 100.000
300.000 300.000 200.000 200.000 200.000 300.000 300.000
300.000 300.000
-----
```

Fila : 8

```
-----
0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
150.000 200.000 200.000 0.000 0.000 0.000 0.000
0.000 0.000
-----
```

MATRIZ DE COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO

Fila : 1

```
-----
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
0.00000 0.03000 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000 0.03000
-----
```

Fila : 2

```
-----
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
0.03000 0.03000 0.03000 0.03000
0.03000 0.00000 0.00000 0.03000
-----
```

Fila : 3

```
-----
0.03000    0.03000    0.03000    0.03000
0.03000    0.03000    0.03000    0.03000
0.03000    0.03000    0.03000    0.03000
0.03000    0.03000    0.03000    0.03000
```

Fila : 4

```
-----
0.03000    0.03000    0.03000    0.03000
0.03000    0.03000    0.03000    0.03000
0.03000    0.03000    0.03000    0.03000
0.00000    0.00000    0.00000    0.00000
```

Fila : 5

```
-----
0.00000    0.00000    0.03000    0.03000
0.03000    0.03000    0.03000    0.03000
0.03000    0.03000    0.00000    0.00000
0.00000    0.03000    0.03000    0.03000
```

Fila : 6

```
-----
0.00000    0.00000    0.00000    0.03000
0.03000    0.03000    0.03000    0.03000
0.03000    0.03000    0.03000    0.03000
0.03000    0.03000    0.03000    0.03000
```

Fila : 7

```
-----
0.00000    0.00000    0.00000    0.00000
0.03000    0.03000    0.03000    0.03000
0.03000    0.03000    0.03000    0.03000
0.03000    0.03000    0.03000    0.03000
```

Fila : 8

```
-----
0.00000    0.00000    0.00000    0.00000
0.00000    0.00000    0.00000    0.03000
0.03000    0.03000    0.00000    0.00000
0.00000    0.00000    0.00000    0.00000
```

MATRIZ DE CONDUCTIVIDAD VERTICAL

Fila : 1

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000					

Fila : 2

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000					

Fila : 3

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000					

Fila : 4

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000					

Fila : 5

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000					

Fila : 6

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000					

Fila : 7

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000					

Fila : 8

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000					

MATRIZ DE ALTURAS INICIALES

Fila : 1

0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	590.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	650.00					

Fila : 2

0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	590.00	580.00	580.00	580.00	600.00	0.00
0.00	650.00					

Fila : 3

610.00	610.00	605.00	600.00	600.00	590.00	590.00
580.00	580.00	580.00	580.00	580.00	640.00	640.00
640.00	640.00					

Fila : 4

610.00	610.00	605.00	600.00	590.00	585.00	580.00
570.00	570.00	570.00	570.00	570.00	0.00	0.00
0.00	0.00					

Fila : 5

0.00	0.00	605.00	600.00	590.00	580.00	580.00
560.00	560.00	550.00	0.00	0.00	0.00	515.00
515.00	515.00					

Fila : 6

0.00	0.00	0.00	590.00	590.00	575.00	570.00
550.00	550.00	510.00	510.00	510.00	510.00	510.00
510.00	510.00					

Fila : 7

0.00	0.00	0.00	0.00	580.00	575.00	570.00
540.00	540.00	510.00	510.00	510.00	510.00	510.00
510.00	510.00					

Fila : 8

0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
530.00	530.00	510.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00					

MATRIZ DE NIVELES EXTERNOS

Fila : 1

0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00

Fila : 2

0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00

Fila : 3

0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00

Fila : 4

0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00

Fila : 5

0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00

Fila : 6

0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00

Fila : 7

0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00

Fila : 8

0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00

Acciones elementales

Acciones Elementales del Ejemplo : Acuífero El Boquerón

Nº de Acciones Elementales : 8

Nº 1 :Transf. Umbría

Afecta a 7 celdas . Reparto de pesos proporcional al factor de almacenamiento

FILA	COL	PESO	FILA	COL	PESO	FILA	COL	PESO
3	8	0.142857	3	7	0.142857	3	6	0.142857
3	5	0.142857	3	9	0.142857	2	9	0.142857
1	10	0.142857						

Nº 2 :Rec. Lluvia

Afecta a 34 celdas . Reparto de pesos proporcional al área

FILA	COL	PESO	FILA	COL	PESO	FILA	COL	PESO
3	1	0.029412	4	1	0.029412	5	3	0.029412
6	4	0.029412	4	2	0.029412	6	5	0.029412
6	6	0.029412	6	7	0.029412	6	9	0.029412
6	11	0.029412	6	12	0.029412	6	13	0.029412
7	5	0.029412	7	6	0.029412	7	8	0.029412
7	10	0.029412	8	8	0.029412	8	9	0.029412
5	4	0.029412	5	5	0.029412	5	7	0.029412
4	6	0.029412	4	7	0.029412	4	8	0.029412
4	9	0.029412	3	2	0.029412	3	5	0.029412
3	6	0.029412	3	10	0.029412	3	14	0.029412
3	15	0.029412	2	11	0.029412	1	16	0.029412
2	16	0.029412						

Nº 3 :CR Martinez Parras

Afecta a 1 celdas . Reparto de pesos proporcional al área

FILA	COL	PESO	FILA	COL	PESO	FILA	COL	PESO
6	13	1.000000						

Nº 4 :SAT Ojeado

Afecta a 1 celdas . Reparto de pesos proporcional al factor de almacenamiento

FILA	COL	PESO	FILA	COL	PESO	FILA	COL	PESO
6	13	1.000000						

Nº 5 :CR Fuente Isso

Afecta a 1 celdas . Reparto de pesos proporcional al área

FILA	COL	PESO	FILA	COL	PESO	FILA	COL	PESO

6	13	1.000000						

Nº 6 :CR Norte

Afecta a 1 celdas . Reparto de pesos proporcional al factor de almacenamiento

FILA	COL	PESO	FILA	COL	PESO	FILA	COL	PESO

3	11	1.000000						

Nº 7 :Demanda Urbana

Afecta a 1 celdas . Reparto de pesos proporcional al factor de almacenamiento

FILA	COL	PESO	FILA	COL	PESO	FILA	COL	PESO

6	13	1.000000						

Nº 8 :Rec. Artificial

Afecta a 1 celdas . Reparto de pesos proporcional al factor de almacenamiento

FILA	COL	PESO	FILA	COL	PESO	FILA	COL	PESO

7	12	1.000000						

Parámetros de control

Parámetros de Control del Ejemplo : Acuífero El Boquerón

Nº de Parámetros de Control : 11

Nº 1 :Piez0210

Tipo : Altura piezométrica en un conjunto de celdas.

FILA	COL	PESO	FILA	COL	PESO	FILA	COL	PESO
2	10	1.000000						

Nº 2 :Piez0301

Tipo : Altura piezométrica en un conjunto de celdas.

FILA	COL	PESO	FILA	COL	PESO	FILA	COL	PESO
3	1	1.000000						

Nº 3 :Piez0311

Tipo : Altura piezométrica en un conjunto de celdas.

FILA	COL	PESO	FILA	COL	PESO	FILA	COL	PESO
3	11	1.000000						

Nº 4 :Piez0316

Tipo : Altura piezométrica en un conjunto de celdas.

FILA	COL	PESO	FILA	COL	PESO	FILA	COL	PESO
3	16	1.000000						

Nº 5 :Piez0404

Tipo : Altura piezométrica en un conjunto de celdas.

FILA	COL	PESO	FILA	COL	PESO	FILA	COL	PESO
4	4	1.000000						

Nº 6 :Piez0506

Tipo : Altura piezométrica en un conjunto de celdas.

FILA	COL	PESO	FILA	COL	PESO	FILA	COL	PESO
5	6	1.000000						

Nº 7 :Piez0509

Tipo : Altura piezométrica en un conjunto de celdas.

FILA	COL	PESO	FILA	COL	PESO	FILA	COL	PESO
5	9	1.000000						

Nº 8 :Piez0613

Tipo : Altura piezométrica en un conjunto de celdas.

FILA	COL	PESO	FILA	COL	PESO	FILA	COL	PESO
6	13	1.000000						

Nº 9 :Piez0709

Tipo : Altura piezométrica en un conjunto de celdas.

FILA	COL	PESO	FILA	COL	PESO	FILA	COL	PESO
7	9	1.000000						

Nº 10 :Piez0712

Tipo : Altura piezométrica en un conjunto de celdas.

FILA	COL	PESO	FILA	COL	PESO	FILA	COL	PESO
7	12	1.000000						

Nº 11 :Volumen Acuífero

Tipo : Variación total del volumen almacenado.

Archivo de simulación

mes	Rec. Umbría	Rec. Lluvia	Mt Parras	Ojeado	Fte Iso	Peñarrubia	Urbano	Rec Artificial
1	0.00	0.43	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
2	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.25	0.16	0.00	0.00	0.00	-0.02	0.00	0.00
6	0.46	0.30	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
7	0.21	0.13	0.00	0.00	0.00	-0.06	0.00	0.00
8	0.07	0.05	0.00	0.00	0.00	-0.08	0.00	0.00
9	0.00	0.00	-0.33	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
10	0.00	0.00	-0.33	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
11	0.00	0.00	-0.33	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.05	0.00	0.00
13	0.66	0.43	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
14	0.08	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	0.25	0.16	0.00	0.00	0.00	-0.02	0.00	0.00
18	0.46	0.30	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
19	0.21	0.13	0.00	0.00	0.00	-0.06	0.00	0.00
20	0.07	0.05	0.00	0.00	0.00	-0.08	0.00	0.00
21	0.00	0.00	-0.33	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
22	0.00	0.00	-0.33	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
23	0.00	0.00	-0.33	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.05	0.00	0.00
25	0.66	0.43	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
26	0.08	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29	0.25	0.16	0.00	0.00	0.00	-0.02	0.00	0.00
30	0.46	0.30	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
31	0.21	0.13	0.00	0.00	0.00	-0.06	0.00	0.00
32	0.07	0.05	0.00	0.00	0.00	-0.08	0.00	0.00
33	0.00	0.00	-0.33	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
34	0.00	0.00	-0.33	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
35	0.00	0.00	-0.33	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.05	0.00	0.00
37	0.66	0.43	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
38	0.08	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

41	0.25	0.16	0.00	0.00	0.00	-0.02	0.00	0.00
42	0.46	0.30	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
43	0.21	0.13	0.00	0.00	0.00	-0.06	0.00	0.00
44	0.07	0.05	0.00	0.00	0.00	-0.08	0.00	0.00
45	0.00	0.00	-0.33	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
46	0.00	0.00	-0.33	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
47	0.00	0.00	-0.33	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.05	0.00	0.00
49	0.66	0.43	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
50	0.08	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
52	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
53	0.25	0.16	0.00	0.00	0.00	-0.02	0.00	0.00
54	0.46	0.30	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
55	0.21	0.13	0.00	0.00	0.00	-0.06	0.00	0.00
56	0.07	0.05	0.00	0.00	0.00	-0.08	0.00	0.00
57	0.00	0.00	-0.33	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
58	0.00	0.00	-0.33	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
59	0.00	0.00	-0.33	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.05	0.00	0.00
61	0.66	0.43	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
62	0.08	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
64	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
65	0.25	0.16	0.00	0.00	0.00	-0.02	0.00	0.00
66	0.46	0.30	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
67	0.21	0.13	0.00	0.00	0.00	-0.06	0.00	0.00
68	0.07	0.05	0.00	0.00	0.00	-0.08	0.00	0.00
69	0.00	0.00	-0.33	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
70	0.00	0.00	-0.33	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
71	0.00	0.00	-0.33	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.05	0.00	0.00
73	0.66	0.43	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
74	0.08	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
76	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
77	0.25	0.16	0.00	0.00	0.00	-0.02	0.00	0.00
78	0.46	0.30	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
79	0.21	0.13	0.00	0.00	0.00	-0.06	0.00	0.00
80	0.07	0.05	0.00	0.00	0.00	-0.08	0.00	0.00
81	0.00	0.00	-0.33	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
82	0.00	0.00	-0.33	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
83	0.00	0.00	-0.33	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.05	0.00	0.00

85	0.66	0.43	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
86	0.08	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
88	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
89	0.25	0.16	0.00	0.00	0.00	-0.02	0.00	0.00
90	0.46	0.30	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
91	0.21	0.13	0.00	0.00	0.00	-0.06	0.00	0.00
92	0.07	0.05	0.00	0.00	0.00	-0.08	0.00	0.00
93	0.00	0.00	-0.33	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
94	0.00	0.00	-0.33	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
95	0.00	0.00	-0.33	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.05	0.00	0.00
97	0.66	0.43	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
98	0.08	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
101	0.25	0.16	0.00	0.00	0.00	-0.02	0.00	0.00
102	0.46	0.30	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
103	0.21	0.13	0.00	0.00	0.00	-0.06	0.00	0.00
104	0.07	0.05	0.00	0.00	0.00	-0.08	0.00	0.00
105	0.00	0.00	-0.33	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
106	0.00	0.00	-0.33	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
107	0.00	0.00	-0.33	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
108	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.05	0.00	0.00
109	0.66	0.43	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
110	0.08	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
111	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
112	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
113	0.25	0.16	0.00	0.00	0.00	-0.02	0.00	0.00
114	0.46	0.30	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
115	0.21	0.13	0.00	0.00	0.00	-0.06	0.00	0.00
116	0.07	0.05	0.00	0.00	0.00	-0.08	0.00	0.00
117	0.00	0.00	-0.33	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
118	0.00	0.00	-0.33	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
119	0.00	0.00	-0.33	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
120	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.05	0.00	0.00
121	0.66	0.43	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
122	0.08	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
123	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
124	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
125	0.25	0.16	0.00	0.00	0.00	-0.02	0.00	0.00
126	0.46	0.30	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
127	0.21	0.13	0.00	0.00	0.00	-0.06	0.00	0.00
128	0.07	0.05	0.00	0.00	0.00	-0.08	0.00	0.00

129	0.00	0.00	-0.17	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
130	0.00	0.00	-0.17	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
131	0.00	0.00	-0.17	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
132	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.05	0.00	0.00
133	0.66	0.43	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
134	0.08	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
135	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
136	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
137	0.25	0.16	0.00	0.00	0.00	-0.02	0.00	0.00
138	0.46	0.30	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
139	0.21	0.13	0.00	0.00	0.00	-0.06	0.00	0.00
140	0.07	0.05	0.00	0.00	0.00	-0.08	0.00	0.00
141	0.00	0.00	-0.17	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
142	0.00	0.00	-0.17	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
143	0.00	0.00	-0.17	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
144	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.05	0.00	0.00
145	0.66	0.43	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
146	0.08	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
147	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
148	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
149	0.25	0.16	0.00	0.00	0.00	-0.02	0.00	0.00
150	0.46	0.30	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
151	0.21	0.13	0.00	0.00	0.00	-0.06	0.00	0.00
152	0.07	0.05	0.00	0.00	0.00	-0.08	0.00	0.00
153	0.00	0.00	-0.17	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
154	0.00	0.00	-0.17	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
155	0.00	0.00	-0.17	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
156	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.05	0.00	0.00
157	0.66	0.43	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
158	0.08	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
159	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
160	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
161	0.25	0.16	0.00	0.00	0.00	-0.02	0.00	0.00
162	0.46	0.30	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
163	0.21	0.13	0.00	0.00	0.00	-0.06	0.00	0.00
164	0.07	0.05	0.00	0.00	0.00	-0.08	0.00	0.00
165	0.00	0.00	-0.17	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
166	0.00	0.00	-0.17	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
167	0.00	0.00	-0.17	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
168	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.05	0.00	0.00
169	0.66	0.43	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
170	0.08	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
171	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
172	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

173	0.25	0.16	0.00	0.00	0.00	-0.02	0.00	0.00
174	0.46	0.30	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
175	0.21	0.13	0.00	0.00	0.00	-0.06	0.00	0.00
176	0.07	0.05	0.00	0.00	0.00	-0.08	0.00	0.00
177	0.00	0.00	-0.17	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
178	0.00	0.00	-0.17	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
179	0.00	0.00	-0.17	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
180	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.05	0.00	0.00
181	0.66	0.43	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
182	0.08	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
183	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
184	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
185	0.25	0.16	0.00	0.00	0.00	-0.02	0.00	0.00
186	0.46	0.30	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
187	0.21	0.13	0.00	0.00	0.00	-0.06	0.00	0.00
188	0.07	0.05	0.00	0.00	0.00	-0.08	0.00	0.00
189	0.00	0.00	-0.17	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
190	0.00	0.00	-0.17	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
191	0.00	0.00	-0.17	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
192	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.05	0.00	0.00
193	0.66	0.43	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
194	0.08	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
195	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
196	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
197	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	-0.02	0.00	0.00
198	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
199	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	-0.06	0.00	0.00
200	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	-0.08	0.00	0.00
201	0.00	0.00	-0.17	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
202	0.00	0.00	-0.17	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
203	0.00	0.00	-0.17	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
204	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.05	0.00	0.00
205	0.00	0.43	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
206	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
207	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
208	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
209	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	-0.02	0.00	0.00
210	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
211	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	-0.06	0.00	0.00
212	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	-0.08	0.00	0.00
213	0.00	0.00	-0.17	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
214	0.00	0.00	-0.17	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
215	0.00	0.00	-0.17	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00
216	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.05	0.00	0.00

217	0.00	0.43	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
218	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
219	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
220	0.00	0.16	0.00	0.00	-0.02	0.00	0.00	0.00
221	0.00	0.16	0.00	0.00	-0.02	-0.02	0.00	0.00
222	0.00	0.30	0.00	0.00	-0.05	-0.03	0.00	0.00
223	0.00	0.13	0.00	0.00	-0.07	-0.06	0.00	0.00
224	0.00	0.05	0.00	0.00	-0.14	-0.08	0.00	0.00
225	0.00	0.00	-0.17	0.00	-0.14	-0.16	0.00	0.00
226	0.00	0.00	-0.17	0.00	-0.14	-0.16	0.00	0.00
227	0.00	0.00	-0.17	0.00	-0.04	-0.16	0.00	0.00
228	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.03	-0.05	0.00	0.00
229	0.00	0.43	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
230	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
231	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
232	0.00	0.16	0.00	0.00	-0.02	0.00	0.00	0.00
233	0.00	0.16	0.00	0.00	-0.02	-0.02	0.00	0.00
234	0.00	0.30	0.00	0.00	-0.05	-0.03	0.00	0.00
235	0.00	0.13	0.00	0.00	-0.07	-0.06	0.00	0.00
236	0.00	0.05	0.00	0.00	-0.14	-0.08	0.00	0.00
237	0.00	0.00	-0.17	0.00	-0.14	-0.16	0.00	0.00
238	0.00	0.00	-0.17	0.00	-0.14	-0.16	0.00	0.00
239	0.00	0.00	-0.17	0.00	-0.04	-0.16	0.00	0.00
240	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.03	-0.05	0.00	0.00
241	0.00	0.43	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
242	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
243	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
244	0.00	0.16	0.00	0.00	-0.02	0.00	0.00	0.00
245	0.00	0.16	0.00	0.00	-0.02	-0.02	0.00	0.00
246	0.00	0.30	0.00	0.00	-0.05	-0.03	0.00	0.00
247	0.00	0.13	0.00	0.00	-0.07	-0.06	0.00	0.00
248	0.00	0.05	0.00	0.00	-0.14	-0.08	0.00	0.00
249	0.00	0.00	-0.17	0.00	-0.14	-0.16	0.00	0.00
250	0.00	0.00	-0.17	0.00	-0.14	-0.16	0.00	0.00
251	0.00	0.00	-0.17	0.00	-0.04	-0.16	0.00	0.00
252	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.03	-0.05	0.00	0.00
253	0.00	0.43	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
254	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
255	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
256	0.00	0.16	0.00	0.00	-0.02	0.00	0.00	0.00
257	0.00	0.16	0.00	0.00	-0.02	-0.02	0.00	0.00
258	0.00	0.30	0.00	0.00	-0.05	-0.03	0.00	0.00
259	0.00	0.13	0.00	0.00	-0.07	-0.06	0.00	0.00
260	0.00	0.05	0.00	0.00	-0.14	-0.08	0.00	0.00

261	0.00	0.00	-0.17	0.00	-0.14	-0.16	0.00	0.00
262	0.00	0.00	-0.17	0.00	-0.14	-0.16	0.00	0.00
263	0.00	0.00	-0.17	0.00	-0.04	-0.16	0.00	0.00
264	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.03	-0.05	0.00	0.00
265	0.00	0.43	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
266	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
267	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
268	0.00	0.16	0.00	0.00	-0.02	0.00	0.00	0.00
269	0.00	0.16	0.00	0.00	-0.02	-0.02	0.00	0.00
270	0.00	0.30	0.00	0.00	-0.05	-0.03	0.00	0.00
271	0.00	0.13	0.00	0.00	-0.07	-0.06	0.00	0.00
272	0.00	0.05	0.00	0.00	-0.14	-0.08	0.00	0.00
273	0.00	0.00	-0.17	0.00	-0.14	-0.16	0.00	0.00
274	0.00	0.00	-0.17	0.00	-0.14	-0.16	0.00	0.00
275	0.00	0.00	-0.17	0.00	-0.04	-0.16	0.00	0.00
276	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.03	-0.05	0.00	0.00
277	0.00	0.43	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
278	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
279	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
280	0.00	0.16	0.00	0.00	-0.02	0.00	0.00	0.00
281	0.00	0.16	0.00	0.00	-0.02	-0.02	0.00	0.00
282	0.00	0.30	0.00	0.00	-0.05	-0.03	0.00	0.00
283	0.00	0.13	0.00	0.00	-0.07	-0.06	0.00	0.00
284	0.00	0.05	0.00	0.00	-0.14	-0.08	0.00	0.00
285	0.00	0.00	-0.33	0.00	-0.14	-0.16	0.00	0.00
286	0.00	0.00	-0.33	0.00	-0.14	-0.16	0.00	0.00
287	0.00	0.00	-0.33	0.00	-0.04	-0.16	0.00	0.00
288	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.04	-0.05	0.00	0.00
289	0.00	0.43	0.00	0.00	-0.03	-0.03	0.00	0.00
290	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
291	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
292	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
293	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	-0.02	0.00	0.00
294	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
295	0.00	0.13	0.00	0.00	-0.05	-0.06	0.00	0.00
296	0.00	0.05	0.00	0.00	-0.07	-0.08	0.00	0.00
297	0.00	0.00	-0.33	0.00	-0.14	-0.16	0.00	0.00
298	0.00	0.00	-0.33	0.00	-0.14	-0.16	0.00	0.00
299	0.00	0.00	-0.33	0.00	-0.14	-0.16	0.00	0.00
300	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.04	-0.05	0.00	0.00
301	0.00	0.43	0.00	0.00	-0.03	-0.03	0.00	0.00
302	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
303	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
304	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

305	0.00	0.16	0.00	0.00	-0.04	-0.02	0.00	0.00
306	0.00	0.30	0.00	0.00	-0.05	-0.03	0.00	0.00
307	0.00	0.13	0.00	0.00	-0.10	-0.06	0.00	0.00
308	0.00	0.05	0.00	0.00	-0.14	-0.08	0.00	0.00
309	0.00	0.00	-0.33	0.00	-0.27	-0.16	0.00	0.00
310	0.00	0.00	-0.33	0.00	-0.28	-0.16	0.00	0.00
311	0.00	0.00	-0.33	0.00	-0.28	-0.16	0.00	0.00
312	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.09	-0.05	0.00	0.00
313	0.00	0.43	0.00	0.00	-0.06	-0.03	0.00	0.00
314	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
315	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
316	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
317	0.00	0.16	0.00	0.00	-0.04	-0.02	0.00	0.00
318	0.00	0.30	0.00	0.00	-0.05	-0.03	0.00	0.00
319	0.00	0.13	0.00	0.00	-0.10	-0.06	0.00	0.00
320	0.00	0.05	0.00	0.00	-0.14	-0.08	0.00	0.00
321	0.00	0.00	-0.33	0.00	-0.27	-0.16	0.00	0.00
322	0.00	0.00	-0.33	0.00	-0.28	-0.16	0.00	0.00
323	0.00	0.00	-0.33	0.00	-0.28	-0.16	0.00	0.00
324	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.09	-0.05	0.00	0.00
325	0.00	0.43	0.00	0.00	-0.06	-0.03	0.00	0.00
326	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
327	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
328	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
329	0.00	0.16	0.00	0.00	-0.04	-0.02	0.00	0.00
330	0.00	0.30	0.00	0.00	-0.05	-0.03	0.00	0.00
331	0.00	0.13	0.00	0.00	-0.10	-0.06	0.00	0.00
332	0.00	0.05	0.00	0.00	-0.14	-0.08	0.00	0.00
333	0.00	0.00	-0.33	0.00	-0.27	-0.16	0.00	0.00
334	0.00	0.00	-0.33	0.00	-0.28	-0.16	0.00	0.00
335	0.00	0.00	-0.33	0.00	-0.28	-0.16	0.00	0.00
336	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.09	-0.05	0.00	0.00
337	0.00	0.43	0.00	0.00	-0.06	-0.03	0.00	0.00
338	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
339	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
340	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
341	0.00	0.16	0.00	0.00	-0.04	-0.02	0.00	0.00
342	0.00	0.30	0.00	0.00	-0.05	-0.03	0.00	0.00
343	0.00	0.13	0.00	0.00	-0.10	-0.06	0.00	0.00
344	0.00	0.05	0.00	0.00	-0.14	-0.08	0.00	0.00
345	0.00	0.00	-0.33	0.00	-0.27	-0.16	0.00	0.00
346	0.00	0.00	-0.33	0.00	-0.28	-0.16	0.00	0.00
347	0.00	0.00	-0.33	0.00	-0.28	-0.16	0.00	0.00
348	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.09	-0.05	0.00	0.00

349	0.00	0.43	0.00	0.00	-0.06	-0.03	0.00	0.00
350	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
351	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
352	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
353	0.00	0.16	0.00	0.00	-0.04	-0.02	0.00	0.00
354	0.00	0.30	0.00	0.00	-0.05	-0.03	0.00	0.00
355	0.00	0.13	0.00	0.00	-0.10	-0.06	0.00	0.00
356	0.00	0.05	0.00	0.00	-0.14	-0.08	0.00	0.00
357	0.00	0.00	-0.33	0.00	-0.27	-0.16	0.00	0.00
358	0.00	0.00	-0.33	0.00	-0.28	-0.16	0.00	0.00
359	0.00	0.00	-0.33	0.00	-0.28	-0.16	0.00	0.00
360	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.09	-0.05	0.00	0.00
361	0.00	0.43	0.00	0.00	-0.06	-0.03	0.00	0.00
362	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
363	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
364	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
365	0.00	0.16	0.00	0.00	-0.08	-0.02	0.00	0.00
366	0.00	0.30	0.00	0.00	-0.09	-0.03	0.00	0.00
367	0.00	0.13	0.00	0.00	-0.20	-0.06	0.00	0.00
368	0.00	0.05	0.00	0.00	-0.28	-0.08	0.00	0.00
369	0.00	0.00	-0.33	0.00	-0.55	-0.16	0.00	0.00
370	0.00	0.00	-0.33	0.00	-0.55	-0.16	0.00	0.00
371	0.00	0.00	-0.33	0.00	-0.55	-0.16	0.00	0.00
372	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.17	-0.05	0.00	0.00
373	0.00	0.43	0.00	0.00	-0.12	-0.03	0.00	0.00
374	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
375	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
376	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
377	0.00	0.16	0.00	0.00	-0.08	-0.02	0.00	0.00
378	0.00	0.30	0.00	0.00	-0.09	-0.03	0.00	0.00
379	0.00	0.13	0.00	0.00	-0.20	-0.06	0.00	0.00
380	0.00	0.05	0.00	0.00	-0.28	-0.08	0.00	0.00
381	0.00	0.00	-0.33	0.00	-0.55	-0.16	0.00	0.00
382	0.00	0.00	-0.33	0.00	-0.55	-0.16	0.00	0.00
383	0.00	0.00	-0.33	0.00	-0.55	-0.16	0.00	0.00
384	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.17	-0.05	0.00	0.00
385	0.00	0.43	0.00	0.00	-0.12	-0.03	0.00	0.00
386	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
387	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
388	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
389	0.00	0.16	0.00	0.00	-0.08	-0.02	0.00	0.00
390	0.00	0.30	0.00	0.00	-0.09	-0.03	0.00	0.00
391	0.00	0.13	0.00	0.00	-0.20	-0.06	0.00	0.00
392	0.00	0.05	0.00	0.00	-0.28	-0.08	0.00	0.00

393	0.00	0.00	-0.33	0.00	-0.55	-0.16	0.00	0.00
394	0.00	0.00	-0.33	0.00	-0.55	-0.16	0.00	0.00
395	0.00	0.00	-0.33	0.00	-0.55	-0.16	0.00	0.00
396	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.17	-0.05	0.00	0.00
397	0.00	0.43	0.00	0.00	-0.12	-0.03	0.00	0.00
398	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
399	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
400	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
401	0.00	0.16	0.00	0.00	-0.08	-0.02	0.00	0.00
402	0.00	0.30	0.00	0.00	-0.09	-0.03	0.00	0.00
403	0.00	0.13	0.00	0.00	-0.20	-0.06	0.00	0.00
404	0.00	0.05	0.00	0.00	-0.28	-0.08	0.00	0.00
405	0.00	0.00	-0.33	0.00	-0.55	-0.16	0.00	0.00
406	0.00	0.00	-0.33	0.00	-0.55	-0.16	0.00	0.00
407	0.00	0.00	-0.33	0.00	-0.55	-0.16	0.00	0.00
408	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.17	-0.05	0.00	0.00
409	0.00	0.43	0.00	0.00	-0.12	-0.03	0.00	0.00
410	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
411	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
412	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
413	0.00	0.16	0.00	0.00	-0.08	-0.02	0.00	0.00
414	0.00	0.30	0.00	0.00	-0.09	-0.03	0.00	0.00
415	0.00	0.13	0.00	0.00	-0.20	-0.06	0.00	0.00
416	0.00	0.05	0.00	0.00	-0.28	-0.08	0.00	0.00
417	0.00	0.00	-0.33	0.00	-0.55	-0.16	0.00	0.00
418	0.00	0.00	-0.33	0.00	-0.55	-0.16	0.00	0.00
419	0.00	0.00	-0.33	0.00	-0.55	-0.16	0.00	0.00
420	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.17	-0.05	0.00	0.00
421	0.00	0.43	0.00	0.00	-0.12	-0.03	0.00	0.00
422	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
423	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
424	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
425	0.00	0.16	0.00	0.00	-0.08	-0.02	0.00	0.00
426	0.00	0.30	0.00	0.00	-0.09	-0.03	0.00	0.00
427	0.00	0.13	0.00	0.00	-0.20	-0.06	0.00	0.00
428	0.00	0.05	0.00	0.00	-0.28	-0.08	0.00	0.00
429	0.00	0.00	-0.33	0.00	-0.55	-0.16	0.00	0.00
430	0.00	0.00	-0.33	0.00	-0.55	-0.16	0.00	0.00
431	0.00	0.00	-0.33	0.00	-0.55	-0.16	0.00	0.00
432	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.17	-0.05	0.00	0.00
433	0.00	0.43	0.00	0.00	-0.12	-0.03	0.00	0.00
434	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
435	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
436	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

437	0.00	0.16	0.00	0.00	-0.08	-0.02	0.00	0.00
438	0.00	0.30	0.00	0.00	-0.09	-0.03	0.00	0.00
439	0.00	0.13	0.00	0.00	-0.20	-0.06	0.00	0.00
440	0.00	0.05	0.00	0.00	-0.28	-0.08	0.00	0.00
441	0.00	0.00	-0.66	0.00	-0.55	-0.16	0.00	0.00
442	0.00	0.00	-0.66	0.00	-0.55	-0.16	0.00	0.00
443	0.00	0.00	-0.66	0.00	-0.55	-0.16	0.00	0.00
444	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.17	-0.05	0.00	0.00

Datos discretización situación actual (2012)

TITULO : Acuífero El Boquerón

DATOS GENERALES :

Nº de filas : 8

Nº de columnas : 16

Nº de celdas activas : 75

Nº de celdas inactiva : 53

Nº de celdas nivel externo : 0

Nº de celdas nivel constante : 0

DIMENSIONES DE FILAS Y COLUMNAS constante

Ancho filas = 1000

Ancho columnas = 1000

MATRIZ DE TRANSMISIVIDAD Tx

Fila : 1

```

0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000
0.000  0.000 200.000  0.000  0.000  0.000  0.000
0.000 300.000

```

Fila : 2

```

0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000
0.000 200.000 200.000 200.000 300.000 300.000  0.000
0.000 300.000

```

Fila : 3

```

-----
100.000 100.000 100.000 100.000 100.000 100.000 100.000
150.000 200.000 200.000 200.000 300.000 300.000 200.000
200.000 300.000
-----

```

Fila : 4

```

-----
100.000 100.000 100.000 100.000 100.000 100.000 100.000
150.000 200.000 200.000 200.000 200.000 0.000 0.000
0.000 0.000
-----

```

Fila : 5

```

-----
0.000 0.000 100.000 200.000 200.000 200.000 200.000
200.000 200.000 200.000 0.000 0.000 0.000 300.000
300.000 300.000
-----

```

Fila : 6

```

-----
0.000 0.000 0.000 100.000 200.000 200.000 200.000
300.000 300.000 300.000 300.000 300.000 300.000 300.000
300.000 300.000
-----

```

Fila : 7

```

-----
0.000 0.000 0.000 0.000 100.000 100.000 100.000
300.000 300.000 300.000 300.000 300.000 300.000 300.000
300.000 300.000
-----

```

Fila : 8

```

-----
0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
150.000 200.000 200.000 0.000 0.000 0.000 0.000
0.000 0.000
-----

```

MATRIZ DE TRANSMISIVIDAD Ty

Fila : 1

```

-----
0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
0.000 0.000 200.000 0.000 0.000 0.000 0.000
0.000 300.000
-----

```

Fila : 2

```

-----
0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
-----

```

0.000 200.000 200.000 200.000 300.000 300.000 0.000
0.000 300.000

Fila : 3

100.000 200.000 200.000 200.000 200.000 200.000 100.000
150.000 200.000 200.000 200.000 300.000 300.000 200.000
200.000 300.000

Fila : 4

100.000 100.000 200.000 200.000 200.000 200.000 100.000
150.000 200.000 200.000 200.000 200.000 0.000 0.000
0.000 0.000

Fila : 5

0.000 0.000 100.000 200.000 200.000 200.000 200.000
150.000 200.000 200.000 0.000 0.000 0.000 300.000
300.000 300.000

Fila : 6

0.000 0.000 0.000 100.000 200.000 200.000 200.000
300.000 300.000 200.000 200.000 200.000 300.000 300.000
300.000 300.000

Fila : 7

0.000 0.000 0.000 0.000 100.000 100.000 100.000
300.000 300.000 200.000 200.000 200.000 300.000 300.000
300.000 300.000

Fila : 8

0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
150.000 200.000 200.000 0.000 0.000 0.000 0.000
0.000 0.000

MATRIZ DE COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO

Fila : 1

0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
0.00000 0.03000 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000 0.03000

Fila : 2

0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.03000	0.03000	0.03000	0.03000
0.03000	0.00000	0.00000	0.03000

Fila : 3

0.03000	0.03000	0.03000	0.03000
0.03000	0.03000	0.03000	0.03000
0.03000	0.03000	0.03000	0.03000
0.03000	0.03000	0.03000	0.03000

Fila : 4

0.03000	0.03000	0.03000	0.03000
0.03000	0.03000	0.03000	0.03000
0.03000	0.03000	0.03000	0.03000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

Fila : 5

0.00000	0.00000	0.03000	0.03000
0.03000	0.03000	0.03000	0.03000
0.03000	0.03000	0.00000	0.00000
0.00000	0.03000	0.03000	0.03000

Fila : 6

0.00000	0.00000	0.00000	0.03000
0.03000	0.03000	0.03000	0.03000
0.03000	0.03000	0.03000	0.03000
0.03000	0.03000	0.03000	0.03000

Fila : 7

0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.03000	0.03000	0.03000	0.03000
0.03000	0.03000	0.03000	0.03000
0.03000	0.03000	0.03000	0.03000

Fila : 8

0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.03000
0.03000	0.03000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

MATRIZ DE CONDUCTIVIDAD VERTICAL

Fila : 1

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000					

Fila : 2

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000					

Fila : 3

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000					

Fila : 4

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000					

Fila : 5

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000					

Fila : 6

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000					

Fila : 7

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000					

Fila : 8

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000					

MATRIZ DE ALTURAS INICIALES

Fila : 1

0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	570.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	590.00					

Fila : 2

0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	570.00	565.00	565.00	565.00	565.00	0.00
0.00	580.00					

Fila : 3

595.00	590.00	590.00	585.00	580.00	580.00	575.00
570.00	565.00	560.00	560.00	560.00	550.00	565.00
570.00	570.00					

Fila : 4

595.00	590.00	587.00	582.00	580.00	575.00	570.00
565.00	560.00	550.00	545.00	540.00	0.00	0.00
0.00	0.00					

Fila : 5

0.00	0.00	585.00	580.00	577.00	575.00	570.00
560.00	550.00	545.00	0.00	0.00	0.00	505.00
505.00	505.00					

Fila : 6

0.00	0.00	0.00	580.00	575.00	570.00	560.00
550.00	540.00	520.00	510.00	500.00	500.00	500.00

500.00 500.00

Fila : 7

0.00 0.00 0.00 0.00 575.00 570.00 560.00
540.00 530.00 510.00 500.00 500.00 485.00 495.00
495.00 500.00

Fila : 8

0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
530.00 520.00 510.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00

MATRIZ DE NIVELES EXTERNOS

Fila : 1

0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00

Fila : 2

0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00

Fila : 3

0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00

Fila : 4

0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00

Fila : 5

0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00

Fila : 6

0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00

0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00					

Fila : 7						

0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00					

Fila : 8						

0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00					

Índice de tablas.

Tabla 1. Balance de aguas subterráneas en la Cuenca del Segura.	29
Tabla 2. Balance de aguas en la Cuenca del segura.	32
Tabla 3. Principios de la Declaración de Dublín.	51
Tabla 4. Evolución de la población en Hellín por sectores económicos.	101
Tabla 5. Evolución del suelo útil en Hellín.	103
Tabla 6. Usos del suelo en el municipio de Hellín.	104
Tabla 7. Superficies de regadío en Hellín según la unidad de demanda agraria.	107
Tabla 8. Superficies netas de cultivo en Hellín.	108
Tabla 9. Dotaciones netas de las unidades de demanda agraria en Hellín.	109
Tabla 10. Distribuciones mensuales de las dotaciones hídricas de las unidades de demanda agraria en Hellín.	109
Tabla 11. Retornos de las unidades de demanda agraria en Hellín.	109
Tabla 12. Distribución porcentual del consumo de agua potable en Hellín	110
Tabla 13. Características de las unidades hidrogeológicas bajo el término municipal de Hellín.	128
Tabla 14. Características de la estación termopluviométrica Hellín I.L.	139
Tabla 15. Temperaturas mensuales registradas en la estación Hellín I.L.	141
Tabla 16. Precipitaciones medias mensuales en la estación Hellín I.L.	141
Tabla 17. Evapotranspiración potencial mensual estación Hellín I.L.	143
Tabla 18. Explotaciones actuales sobre el acuífero del Boquerón.	166
Tabla 19. Características de los pozos de extracción del acuífero del Boquerón.	166
Tabla 20. Extracciones anuales del acuífero del Boquerón por la CR Fuente de Isso.	168
Tabla 21. Características hidráulicas del acuífero del Boquerón.	171

Tabla 22. Red de control de la calidad de MASub Boquerón	172
Tabla 23. Permeabilidad estimada del acuífero del Boquerón.	183
Tabla 24. Evolución de los niveles piezométricos en los sondeos del Boquerón.	189
Tabla 25. Aportaciones medias del canal de Hellín.	196
Tabla 26. Aportaciones de la impulsión de Hellín	197
Tabla 27. Parámetros utilizados en el model Visual Balan para la recarga del acuífero del Boquerón.	199
Tabla 28. Recarga media mensual del acuífero del Boquerón.	200
Tabla 29. Recarga media mensual del acuífero del Umbría.	202
Tabla 30. Demanda mensual de la CR Martínez Parras.	205
Tabla 31. Recursos subterráneos de la CR Martínez Parras .	205
Tabla 32. Demanda mensual de la CR Fuente de Isso.	207
Tabla 33. Demanda mensual de la SAT Ojeado.	207
Tabla 34. Demanda mensual de la CR Peñarrubia.	208
Tabla 35. Distribución mensual de la demanda urbana en Hellín .	210

Índice de figuras.

Figura 1. Agua perdida en las redes de distribución en España.	11
Figura 2. Relación aportaciones/demanda hídrica media en los regadíos del canal de Hellín.	13
Figura 3. Diagrama complejo de gestión conjunta de recursos hídricos.	16
Figura 4. Esquema funcionamiento sistema ASR.	18
Figura 5. Niveles de desarrollo del agua subterránea.	28
Figura 6. Tipos de gestión en acuíferos.	44
Figura 7. Esquema SIMGES de la Cuenca del Segura.	72
Figura 8. Esquema de definición de un embalse en SIMGES.	77
Figura 9. Ubicación y límites del municipio de Hellín.	96
Figura 10. Distribución de población en Hellín.	97
Figura 11. Evolución de población en Hellín.	98
Figura 12. Pirámide de población de Hellín.	99
Figura 13. Evolución del paro en Hellín.	100
Figura 14. Evolución del paro en Hellín.	103
Figura 15. Unidades de demanda agraria en Hellín.	105
Figura 16. Unidades de demanda agraria en Hellín.	108
Figura 17. Localización del embalse de Talave.	112
Figura 18. Cuenca de la presa del Talave.	113
Figura 19. Localización del embalse de Camarillas.	115
Figura 20. Localización del embalse del Boquerón.	117
Figura 21. Ubicación de los embalses en el entorno de estudio.	118
Figura 22. Trazado de canal de Hellín	120
Figura 23. Aportaciones del canal de Hellín.	120

Figura 24. Origen del agua potable en Hellín.	122
Figura 25. Aportaciones de la elevación del abastecimiento a Hellín.	123
Figura 26. Localización de la ETAP de Hellín.	123
Figura 27. Esquema de funcionamiento de la ETAP de Hellín.	124
Figura 28. Localización de EDAR de Hellín.	125
Figura 29. Hidrología superficial en el término municipal de Hellín.	127
Figura 30. Unidades hidrogeológicas bajo el término municipal de Hellín.	127
Figura 31. Relación entre el canal de Hellín y el acuífero del Boquerón.	129
Figura 32. Localización del acuífero del Boquerón .	131
Figura 33. Distribución superficial del acuífero del Boquerón.	131
Figura 34. Unidades hidrogeológicas de la cuenca del Segura.	132
Figura 35. Delimitación de acuíferos en la MASb Boquerón.	133
Figura 36. Geomorfología del entorno del acuífero del Boquerón.	134
Figura 37. Mapa de pendientes.	135
Figura 38. Localización de unidades hidrogeológicas.	136
Figura 39. Sectorización de la unidad hidrogeológica de Albacete .	137
Figura 40. Distribución de zonas y evolución de los niveles piezométricos en la unidad hidrogeológica de Albacete.	138
Figura 41. Localización estación termopluviométrica Hellín I.L.	140
Figura 42. Comparativa temperatura-pluviometría en la estación Hellín I.L.	142
Figura 43. Comparativa ETP-Pluviometría de la estación de Hellín I.L.	143
Figura 44. Mapa geológico de la zona de estudio.	144
Figura 45. Columna estratigráfica y localización de la Muela de Peñarrubia.	148
Figura 46. Corte geológico Norte-Sur del acuífero del Boquerón.	149
Figura 47. Límites del acuífero del Boquerón según CHS e IGME.	155
Figura 48. Mapa de isopiezas del acuífero del Boquerón en régimen natural.	157

Figura 49. Mapa de isopiezas actual del acuífero del Boquerón.	157
Figura 50. Ubicación de piezómetro PA2845.	158
Figura 51. Evolución piezómetro PA2845.	159
Figura 52. Localización de la fuente de Isso .	160
Figura 53. Hidrometría de la fuente de Isso .	160
Figura 54. Superficie permeable del acuífero del Boquerón.	162
Figura 55. Mapa de isopacas del acuífero del Boquerón en régimen natural.	165
Figura 56. Localización de los pozos de extracción de aguas subterráneas del Boquerón.	167
Figura 57. Evolución media mensual excedentes-déficits del canal de Hellín.	167
Figura 58. Distribución de regadíos asociados al acuífero del Boquerón.	169
Figura 59. Distribución piezómetros en ensayo de bombeo de larga duración.	170
Figura 60. Ubicación de la red de control de calidad de MASub Boquerón.	173
Figura 61. Evolución de la calidad del agua en MASub Boquerón.	173
Figura 62. Localización ensayo de recarga artificial del acuífero del Boquerón.	174
Figura 63. Sondeo pozo de recarga acuífero del Boquerón.	175
Figura 64. Discretización del acuífero del Boquerón.	182
Figura 65. Sondeos y piezómetros de control en el Boquerón	186
Figura 65. Celdas de control de nivel piezométrico.	192
Figura 66. Valores medios anuales del balance hidrológico en el acuífero del Boquerón.	198
Figura 67. Comparativa entre precipitación y recarga media mensual en el acuífero del Boquerón.	200
Figura 68. Evolución de dotaciones uso urbano en España.	209
Figura 69. Limitación de bombeos en extracciones de acuífero.	214
Figura 70. Integración mediante método de los autovalores del acuífero del Boquerón en SIMGES.	215

Figura 71. Esquema en SIMGES de escenario 1: gestión actual.	219
Figura 72. Esquema en SIMGES de escenario 2: gestión conjunta .	221
Figura 73. Mapa de isopiezas inicial de la simulación.	224
Figura 74. Mapa de isopiezas actual en el Boquerón.	225
Figura 75. Comparativa de evolución piezométrica en Peñarrubia real y modelizada.	226
Figura 76. Comparativa de evolución piezométrica en batería del Boquerón real y modelizada.	226
Figura 77. Suministro superficial a Demanda Urbana con prioridad 1.	228
Figura 78. Suministro subterráneo a Demanda Urbana con prioridad 2.	229
Figura 79. Déficit de suministro a Demanda Urbana con prioridad 2.	229
Figura 80. Garantías de suministro a Demanda Urbana con prioridad 2.	230
Figura 81. Suministro superficial de la CR Martínez Parras en escenario 1	230
Figura 82. Suministro subterráneo de la CR Martínez Parras en escenario 1	231
Figura 83. Déficit de suministro a la demanda de CR Martínez en escenario 1.	231
Figura 84. Garantías de suministro a la demanda de CR Martínez en escenario 1.	232
Figura 85. Déficit de suministro a la demanda de CR Fuente de Isso en escenario 1.	233
Figura 86. Garantías de suministro a la demanda de Fuente de Isso en escenario 1.	234
Figura 87. Déficit de suministro a la demanda de SAT Ojeado en escenario 1.	234
Figura 88. Garantías de suministro a la demanda de SAT Ojeado en escenario 1.	235
Figura 89. Déficit de suministro a la demanda de Peñarrubia en 30 años en escenario 1	236
Figura 90. Garantías de suministro a la demanda de Peñarrubia en 30 años en escenario 1.	237
Figura 91. Evolución piezométrica del pozo de la Losa en escenario 1.	238

Figura 92. Evolución piezométrica de la batería del Boquerón en escenario 1.	238
Figura 93. Mapa de isopiezas del Boquerón en 20 años en escenario 1.	239
Figura 94. Mapa de isopiezas del Boquerón en 20 años en escenario 1 sin limitación de profundidad de bombeo.	240
Figura 95. Evolución del volumen de agua almacenada en el Boquerón en escenario 1.	240
Figura 96. Suministro subterráneo de la CR Martínez Parras en escenario 2.	242
Figura 97. Déficit de suministro a la demanda de CR Martínez en escenario 2.	242
Figura 98. Déficit de suministro a la demanda de CR Martínez en escenario 2.	243
Figura 99. Déficit de suministro a la demanda de CR Martínez en escenario 2 sin límite de concesión	244
Figura 100. Evolución piezométrica del pozo de la Losa en escenario 2.	246
Figura 101. Evolución piezométrica de la batería del Boquerón en escenario 2.	247
Figura 102. Evolución piezométrica de la zona de recarga del Boquerón en escenario 2	248
Figura 103. Mapa de isopiezas del Boquerón en 20 años en escenario 2.	248
Figura 104. Evolución del volumen de agua almacenada en el Boquerón en escenario 2.	249

Índice de fotografías.

Fotografía 1. Embalse del Talave.	114
Fotografía 2. Embalse de Camarillas.	116
Fotografía 3. Azud de Liétor.	119
Fotografía 4. Canal de Hellín en la cabecera de regadíos de Hellín	119
Fotografía 5. Inicio y caudalímetro de canal de Hellín.	121
Fotografía 6. Fuente de Isso.	156
Fotografía 7. Medidor Parshall de la hidrometría de la fuente de Isso.	161
Fotografía 8. Localización de batería de bombeo de ensayo de larga duración.	170
Fotografía 9. Recarga artificial del acuífero del Boquerón.	177

Acrónimos utilizados.

ALBERCA: Actualización de Libros de Registro y Catálogo	GIRH: Gestión Integral de Recursos Hídricos
ARYCA: Actualización de Registros y Catálogos de Aprovechamientos	GWP: Global Water Partnership
ASR: Almacenamiento subterránea con recuperación	ICLEI: International Council for Local Environmental Initiatives
CHS: Confederación Hidrográfica del Segura	IGME: Instituto Geológico y Minero de España
CHG: Confederación Hidrográfica del Guadalquivir	INE: Inistituto Nacional de Estadística
CHT: Confederación Hidrográfica del Tajo	JCCM: Junta de Comunidades de Castilla y La Mancha
CR: Counidad de regantes	MAGRAMA: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente
DAS: Directiva de Aguas Subterráneas	MIMAM: Ministerio de Medio Ambiente
DGOH: Dirección General de Obras Hidráulicas	ONU: Organizaciones de las Naciones Unidas
DMA: Directiva Marco de Agua	PHCS: Plan hidrológico de la cuenca del Segura
EDAR: Estación Depuradora de Aguas Residuales	PES: Plan especial ante situaciones de alerta y eventual sequía
ETAP: Estación de Tratamiento de Agua Potable	RBF: Bancos de Filtración
ETP: Evapotranspiración potencial	SAT: Sociedad Agraria de TRansformación
FAO: Food and Agriculture Organization of United Nations	SSD: Sistema de Soporte de Decisiones

TRLA: Texto refundido de la ley de aguas	WEF: Water Education Foundation
UDA: Unidad de Demanda Agraria	WMO: World Meteorological Organization
UPV: Universidad Politécnica de Valencia	