

Así, la zona donde se ubican las EDAR, que como se ha comentado corresponde a la zona metropolitana de Granada o subsistema de abastecimiento Sierra Nevada–Vega Sur, presenta unas demandas urbanas de 106.697 m³/d (38,94 hm³/a), lo que implica una producción de aguas residuales urbanas de 85.358 m³/d, volumen algo superior a la capacidad de tratamiento de que disponen las EDAR existentes (73.412 m³/d) (tabla 65).

| Subsistema de Abastecimiento | Demanda actual (m ³ /d) | Producción de aguas residuales urbanas (m ³ /d) | Capacidad de tratamiento de las EDAR | |
|--|------------------------------------|--|--------------------------------------|---|
| | | | EDAR | Capacidad Tratamiento (m ³ /d) |
| LA VEGA-SIERRA ELVIRA | 41.915 | 33.532 | | |
| MANCOMUNIDAD EL TEMPLE | 1.866 | 1.493 | | |
| SEPTENTRIONAL DE LA CORNISA | 9.265 | 7.412 | | |
| SIERRA NEVADA-VEGA SUR | 106.697 | 85.358 | Los Vados (Oeste) | 22.412 |
| | | | Churriana (Sur) | 51.000 |
| SISTEMA CORNISA-VEGA DE GRANADA | 159.743 | 127.795 | | 73.412 |

Tabla 65. Capacidad de tratamiento de las EDAR. Situación Actual

Considerando el global del Sistema Cornisa–Vega de Granada, sólo existe capacidad de tratamiento para un 57,44% de las aguas residuales urbanas generadas.

En el futuro existe un Plan de Saneamiento y Depuración para el Área Metropolitana de Granada (tabla 66) en el que se divide el área metropolitana de Granada en 6 agrupaciones de núcleos de población y se pretenden implantar una serie de nuevas depuradoras de aguas residuales urbanas.

La capacidad de depuración de aguas residuales urbanas del sistema ascenderá a 165.950 m³/d, superando el volumen actual de aguas residuales urbanas generadas (127.795 m³/d, el 80% de la demanda urbana, donde se incluyen las industrias conectadas a las redes de abastecimiento urbano), pero será inferior al volumen de

aguas residuales que se generará en un futuro, si se consideran los desarrollos urbanísticos previstos (270.546 m³/d, considerando un 80% de retorno de las demandas futuras estimadas en 338.183 m³/d –123,43 hm³/a–) (tabla 67).

| Agrupaciones | | | Instalaciones de depuración |
|--|---|---|---|
| A | Agrupación Monachil Población de 52.000 hab | Huétor-Vega Barrio de la Vega de Monachil Cájar La Zubia | <ul style="list-style-type: none"> Ampliación de la EDAR Sur hasta los 58.000 m³/d. Construcción de la depuradora Churriana II (24.200 m³/d). |
| B | Agrupación Sur Población de 38.000 hab | Ogijares Gójar Armillá (en parte) Granada | |
| C | Agrupación Dílar Población de 96.000 hab | Vegas del Genil (Purchil, Ambroz, Belicena) Cúllar Vega Churriana Armillá (en parte) Las Gabias Alhendín Otura Dílar | <ul style="list-style-type: none"> Ampliación de la EDAR Oeste hasta los 25.000 m³/d. Construcción de la depuradora Los Vados II (47.500 m³/d). |
| D | Agrupación Norte ^(a) Población de 77.000 hab | Albolote Atarfe Maracena Peligros Chaparral de la Cartuja El Cortijo del Aire | |
| E | Agrupación Genil Norte Población de 20.000 hab | Baños de Sierra Elvira Pinos Puente Anzola Casanueva Valderrubio Pedro Ruiz Fuente Vaqueros | <ul style="list-style-type: none"> Construcción de la depuradora Genil (11.250 m³/d). |
| F | Agrupación Genil Sur Población de 25.000 hab | Santa Fe El Jau Chauchina Romilla Cijuela Láchar Romilla La Nueva Peñuelas Trasmulas Fuensanta | |
| (a) Se excluyen los vertidos procedentes de los polígonos industriales Juncaril y Asegra | | | |

Tabla 66. Actuaciones del Plan de Saneamiento y Depuración para el Área Metropolitana de Granada

| Subsistema de Abastecimiento | Demanda actual (m ³ /d) | Producción de aguas residuales urbanas (m ³ /d) | Capacidad de tratamiento EDAR ACTUAL | | Demanda futura (m ³ /d) | Producción futura de aguas residuales urbanas (m ³ /d) | Capacidad futura de tratamiento mediante EDAR (m ³ /d) | |
|--|------------------------------------|--|--------------------------------------|--|------------------------------------|---|---|--|
| | | | EDAR | Capacidad de tratamiento (m ³ /d) | | | EDAR | Capacidad de tratamiento (m ³ /d) |
| LA VEGA-SIERRA ELVIRA | 41.915 | 33.532 | | | 139.862 | 111.889 | EDAR Genil | 11.250 |
| MANCOMUNIDAD EL TEMPLE | 1.866 | 1.493 | | | 1.866 | 1.493 | | |
| SEPTENTRIONAL DE LA CORNISA | 9.265 | 7.412 | | | 9.265 | 7.412 | | |
| SIERRA NEVADA-VEGA SUR | 106.697 | 85.358 | EDAR OESTE | 22.412 | 187.190 | 149.752 | EDAR OESTE | 25.000 |
| | | | EDAR SUR | 51.000 | | | EDAR Los Vados II | 47.500 |
| | | | | 73.412 | | | EDAR SUR | 58.000 |
| | | | | | | | EDAR Churririana SUR II | 24.200 |
| SISTEMA CORNISA-VEGA DE GRANADA | 159.743 | 127.795 | | 73.412 | 338.183 | 270.546 | | 165.950 |

| | Situación Actual | Situación Futura |
|---|------------------|------------------|
| % Depuración/Total Sistema Cornisa-Vega de Granada | 57,4% | 61,4% |
| % Depuración/Subsistema S ^a Nevada-La Vega | 86,0% | 103,3% |

Tabla 67. Capacidad de tratamiento de las EDAR. Situación Futura

No obstante, los planes futuros de depuración y saneamiento para la zona metropolitana de Granada (subsistema de abastecimiento Sierra Nevada–Vega Sur) aseguran que podrán depurarse la totalidad de las aguas residuales urbanas que se generen en este subsistema (149.752 m³/d), lo que constituye un recurso adicional muy interesante para su reutilización en el regadío de la Vega de Granada.

8.2.2 Posibilidades de reutilización en regadío

En función de la distribución geográfica de las infraestructuras de depuración de aguas residuales urbanas y la estructuración de los riegos en la Vega de Granada, resultaría aplicable la reutilización de aguas tratadas en las zonas regables de la Vega Alta y la Vegas Media MI (Figura 146), a partir de las aguas residuales depuradas en las depuradoras Sur (Churriana) y Oeste (Los Vados), las cuales puede suministrar un caudal punta de 83.000 m³/d. La primera de ellas está diseñada para tratar un caudal máximo de 58.000 m³/d, aunque la capacidad actual es de 51.000 m³/a; mientras que la segunda presenta una capacidad actual de 22.410 m³/d, aunque puede ampliarse hasta 25.000 m³/d.

Estas zonas regables presentan una demanda anual de 55 hm³/a (5.870 ha de regadío) de marcado carácter estacional. Mientras que las depuradoras presentan un funcionamiento de cierta regularidad con una producción máxima mensual de aguas tratadas de 2,2 hm³, lo que constituye un porcentaje de entre el 19–21% de la demanda en los meses de estío (julio–agosto) (Figura 144).

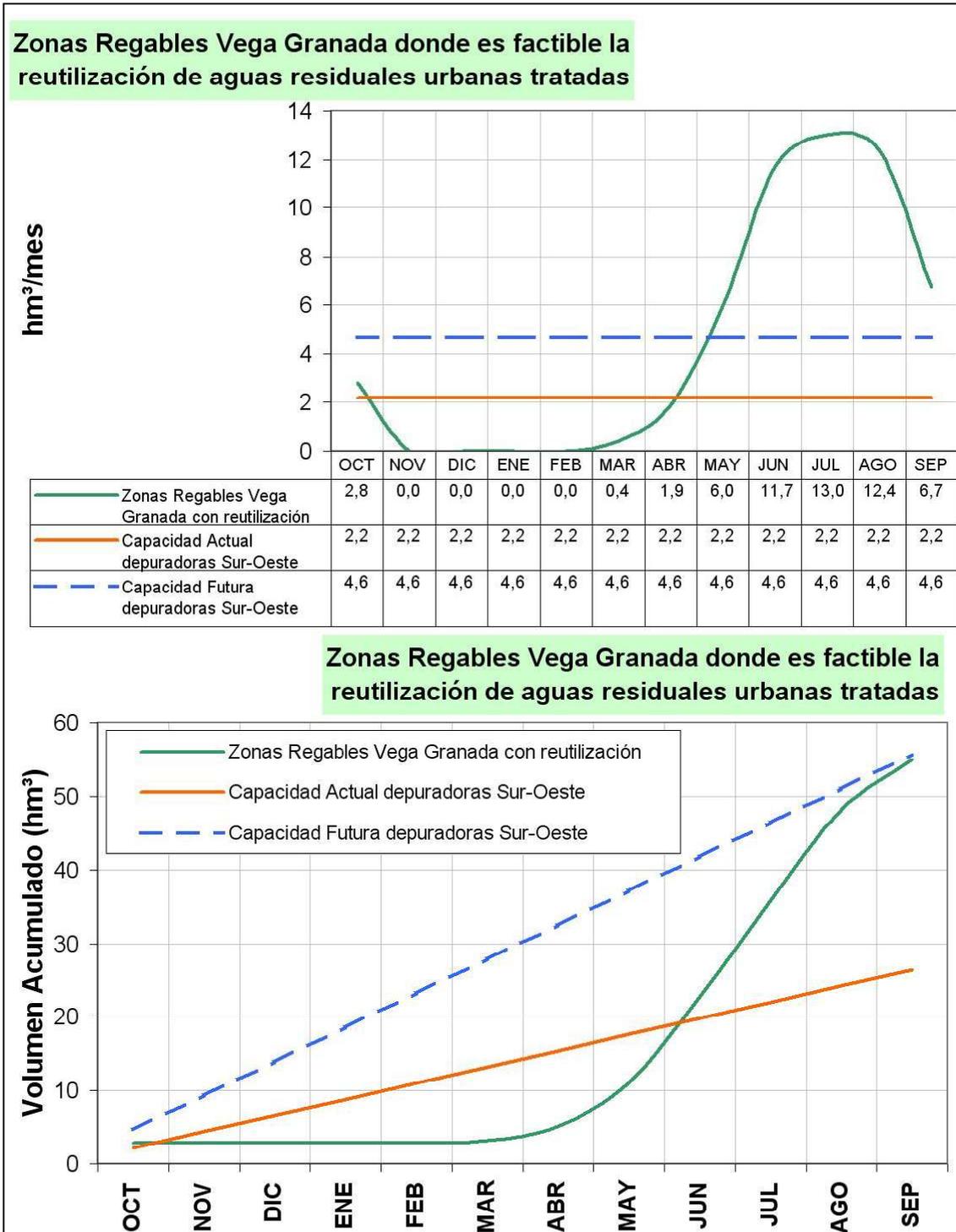


Figura 144. Comparativa de la capacidad de depuración y las necesidades de riego

Considerando que se lleven a efecto los planes de saneamiento y depuración que prevé la Junta de Andalucía para la zona metropolitana de Granada, el volumen total de aguas residuales depuradas de las que se dispondrá en un futuro (55,70 hm³/a) permitiría dotar las demandas agrícolas de las zonas regables de la Vega Alta y la Vegas Media MI (demanda anual de 55,0 hm³/a) (Figura 144).

No obstante, si se considera la distribución mensual de las demandas agrícolas y de producción de aguas residuales depuradas (Figura 144), se observa que el volumen medio mensual de aguas residuales depuradas disponibles para reutilización en riegos ascendería a 4,64 hm³ (tabla 67), aún inferior a las demandas mensuales que registran las zonas regables que pueden ser receptoras de estos recursos adicionales.

Por tanto, incluso considerando las previsiones futuras de depuración del plan de saneamiento y depuración que prevé implantar la Junta de Andalucía para el subsistema de abastecimiento Sierra Nevada-Vega Sur, sólo podría atenderse una parte de la demanda agrícola de las zonas regables de la Vega Alta y la Vegas Media MI con aguas residuales

depuradas (Figura 144), concretamente el 36% de la demanda punta mensual que se registra en el mes de julio (13,0 hm³).



Figura 145. Porcentaje de demanda agrícola que se podrá cubrir en un futuro con aguas residuales depuradas en la Vega de Granada

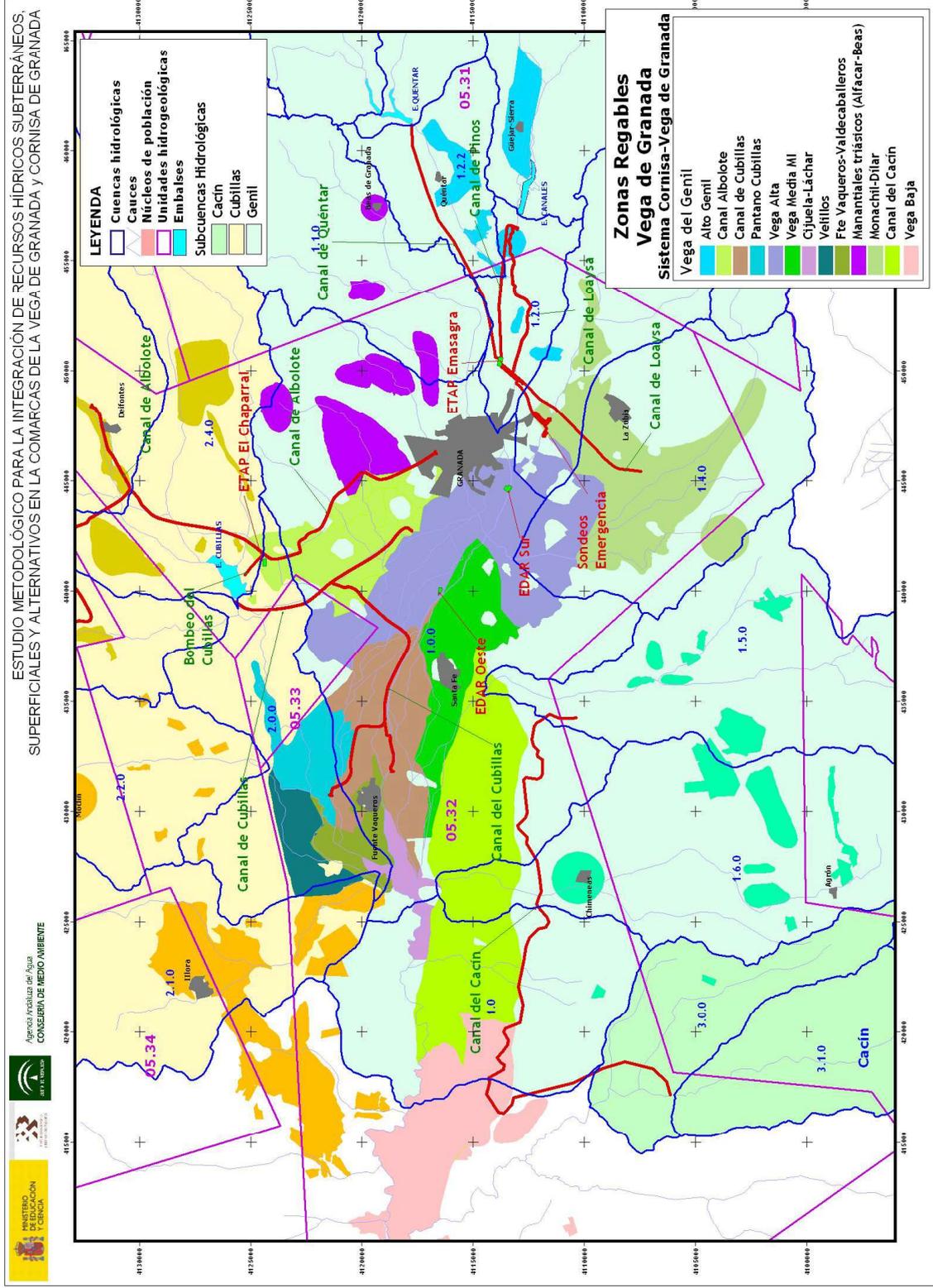


Figura 146. Zonas regables de la Vega de Granada e infraestructuras de depuración de aguas residuales urbanas

8.2.3 Condicionantes para la utilización de aguas residuales tratadas en el regadío de la Vega de Granada

Para la reutilización de aguas residuales tratadas procedentes de las EDARs de que dispone al empresa Emasagra en la zona suroeste de la Vega de Granada (EDAR Sur -51.000 m³/d de capacidad de tratamiento- y EDAR Oeste -22.412 m³/d) es necesario considerar varios aspectos:

- Necesidades de riego, considerando la variación mensual que esta registra estacionalidad de la demanda).
- Nivel de calidad requerido en las aguas que serán aplicadas en los riegos. Los parámetros que más influyen son la salinidad, el contenido en sodio, el exceso de cloro residual y algunos componentes minoritarios (vertidos industriales), aunque depende de cada tipo de cultivo.
- Diseño del sistema de distribución y monitorización, disponiendo elementos de control de la calidad de las aguas reutilizadas y de las aguas subterráneas que reciben la infiltración de estas aguas tratadas.

Atendiendo a aspectos legales, para que la reutilización sea segura desde el punto de vista sanitario y ambiental, es imprescindible que el agua residual se depure hasta que reúna las características de calidad apropiadas para su uso agrícola. Para ello es necesario considerar las normas de reutilización de aguas residuales tratadas de la OMS (basados en los criterios Engelberg) y que quedan resumidos en la tabla 68.

| Categoría | Condiciones de aprovechamiento | Grupo expuesto | Nematodos Intestinales (huevos/l) ⁽²⁾ | Coniformes fecales (UFC/100 ml) ⁽³⁾ | Tratamiento necesario |
|-----------|---|---|--|--|---|
| A | Riego de cultivos que se consumen crudos, campos de deporte y parques públicos ⁽⁴⁾ | Trabajadores, consumidores y público en general | <1 | <1.000 | Serie de laguna de estabilización o un tratamiento equivalente |
| B | Riego de cultivos de cereales industriales y forrajeros, praderas y árboles ⁽⁵⁾ | Trabajadores | < 1 | No se recomienda ninguna norma | Estancia en lagunas durante 8-10 días o tratamiento equivalente con eliminación de helmintos y coniformes fecales |
| C | Riego localizado de los cultivos en la categoría B cuando ni los trabajadores ni en público estén expuestos | Ninguno | No es aplicable | No es aplicable | Tratamiento previo de acuerdo con las exigencias de la técnica de riego, incluyendo al menos una sedimentación primaria |

(1) Deberán tenerse en cuenta las condiciones epidemiológicas, socioculturales y ambientales de cada caso concreto, modificando las directrices en consonancia.
 (2) Media aritmética. Especies de *Ascaris*, *Trichuris* y *Anquilostomas*.
 (3) Media geométrica durante el periodo de riegos.
 (4) Conviene establecer una directriz más estricta (200 coliformes/100 ml) para zonas de uso público donde las personas pueden entrar en contacto con la hierba.
 (5) En el caso de árboles frutales el riego debe interrumpirse dos semanas antes de iniciar la recolección de la fruta, debiendo estar prohibido la recogida de frutas que haya caído al suelo. No es conveniente regar por aspersión.

Tabla 68. *Directrices recomendadas sobre la calidad microbiológica de las aguas residuales utilizadas en agricultura*

Asimismo, en la tabla 69 se presentan los métodos de tratamiento aplicables según la Norma OMS para satisfacer los criterios sanitarios para el aprovechamiento de aguas residuales tratadas.

| Criterios de salud | RIEGOS | | |
|---|--|--------------------------|-------------------------|
| | Cultivos no destinados al consumo humano | Cultivos a comer cocidos | Cultivos a comer crudos |
| Extractos de la Normativa OMS (Génova-1973) | A+F | B+F o D+F | D+F |
| Tratamiento primario | Imprescindible | Imprescindible | Imprescindible |
| Tratamiento secundario | | Imprescindible | Imprescindible |
| Filtros de arena | | Necesario | Necesario |
| Desinfección | | | Imprescindible |
| Criterios de salud: | | | |
| A, exentos de sólidos gruesos | | | |
| B, exentos de sólidos gruesos e importante eliminación de bacterias | | | |
| D, Sólo 100 coliformes/100 ml en el 80% de las muestras | | | |
| F, No compuestos químicos capaces de irritar la piel o mucosas | | | |

Tabla 69. *Métodos de tratamiento recomendados para satisfacer criterios sanitarios establecidos por la Norma OMS-1973 para la reutilización de aguas depuradas*

Atendiendo a la legislación española no existe una normativa específica relativa a la reutilización de aguas tratadas, aunque se está desarrollando un reglamento que fije las condiciones básicas para la reutilización directa de las aguas residuales urbanas, donde se pretende agrupar la reutilización en 12 categorías según su uso urbano, agrícola, recreativo, en acuicultura o para la recarga de acuíferos.

Asimismo, este reglamento se dividiría en cuatro apartados: Niveles de exigencia en función de los usos a que se vaya a desestimar en agua residual depurada para cada una de las 14 categorías definidas; métodos de análisis; criterios de cumplimiento y frecuencias de muestreo.

La Junta de Andalucía, a través de la consejería de Salud y desde el año 1996, ha establecido unos criterios sanitarios mínimos que permitan evitar los riesgos potenciales que pudieran derivarse de la reutilización de aguas residuales urbanas depuradas en el riego agrícola y de zonas verdes, criterios que se fundamentan principalmente en las directrices fijadas por la OMS para el uso sin riesgos de aguas residuales depuradas en la agricultura.

Atendiendo a lo dispuesto por la Junta de Andalucía la reutilización de las aguas residuales (tabla 70) requiere el procedimiento administrativo establecido en la Ley 29/1985, de Aguas, y el Real Decreto 849/1986 por el que se aprueba el reglamento del dominio público hidráulico:

- Concesión administrativa (Confederación Hidrográfica)
- Informe sanitario vinculante (Consejería de Salud)
- Autorización de vertidos (Confederación Hidrográfica)

Asimismo, las aguas residuales urbanas depuradas destinadas al riego agrícola y de zonas verdes, deben cumplir unos requisitos de calidad microbiológica y físico-

química que se especifican en los anexos I y II, establecidos en función de los usos previstos:

- Cuando el uso del agua residual se destine al riego de campos deportivos, zonas verdes, viveros y cultivos no destinados al consumo humano o animal, se exceptiona la obligatoriedad de cumplir los requisitos de calidad exigidos para metales pesados y recogidos en el anexo II.
- Si el método de riego que se utiliza es la aspersión, hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones a fin de minimizar el grado de exposición humana:
- Los aerosoles no podrán alcanzar de forma permanente a los trabajadores, ni a vías públicas de comunicación y áreas habitadas.
- Se guardará una distancia de seguridad mínima de 150m a las áreas habitadas.
- Deben interponerse obstáculos o pantallas que limiten la propagación de los aerosoles a la vía pública.
- En el riego de campos deportivos y zonas verdes urbanas, deben instalarse aspersores de corto alcance o baja presión.
- Este método de riego no se utilizará en cultivos bajo cubierta.
- A fin de evitar situaciones de riesgo o accidentes, por norma general, en todas las zonas donde se utilicen para el riego aguas residuales urbanas depuradas, deben instalarse carteles o indicaciones que lo señalice con claridad.

| TIPO DE CULTIVO O ZONA A REGAR | CALIDAD DEL AGUA ⁽¹⁾ | METODO DE RIEGO QUE PUEDE UTILIZARSE | OTRAS CONDICIONES QUE DEBEN CUMPLIRSE |
|--|--|--|---|
| Riego de campos deportivos y zonas verdes de acceso público | Nº Nematodos intestinales ⁽¹⁾ : <1/l | Cualquiera | El riego no debe realizarse en horas de afluencia del público |
| | Nº Coliformes fecales : <200/100 ml | | |
| Riego de cultivos de consumo en crudo | Nº Nematodos intestinales ⁽¹⁾ : <1/l | Cualquiera | |
| | Nº Coliformes fecales: <1000/100 ml | | |
| Riego de cultivos industriales, madereros, forrajeros, cereales y semillas oleaginosas, viveros, cultivos destinados a industrias conserveras, productos vegetales que se consuman cocinados y árboles frutales | Nº Nematodos intestinales ⁽¹⁾ : <1/l | Cualquiera excepto: | El riego de árboles frutales con este tipo de agua debe suprimirse al menos dos semanas antes de la recolección y la fruta no debe ser recogida del suelo |
| | | Aspersión e inundación para el riego de hortalizas | El riego de pastos para consumo en verde debe cesar al menos dos semanas antes de que se permita apacentar al ganado |
| | | Aspersión para el riego de árboles frutales | |
| Riego de cultivos industriales, madereros, forrajeros, cereales, semillas oleaginosas y zonas verdes no accesibles al público | No se establecen límites pero se exige un tratamiento de, al menos, sedimentación primaria | Localizado | |
| ⁽¹⁾ Ascaris, Trichuris y Ancylostoma ⁽¹⁾ Se considerará que la calidad del agua es conforme con las condiciones requeridas si las muestras recogidas en un mismo punto, durante un año, cumplen que: <ul style="list-style-type: none"> • El 95% de las muestras no exceden del valor límite establecido para nematodos intestinales. • El 90% de las muestras no exceden del valor límite establecido para coliformes fecales. | | | |

Tabla 70. *Requisitos que deben cumplir las aguas residuales urbanas depuradas para el riego agrícola y de zonas verdes (Anexo I: Criterios sanitarios para la reutilización de aguas residuales urbanas depuradas en el riego agrícola y de zonas verdes–Junta de Andalucía)*

Los métodos de análisis y las frecuencias mínimas de muestreo y medición serán los que se fijan en las tablas 71 y 72.

| MÉTODO DE ANÁLISIS | | FRECUENCIA |
|------------------------|---|------------|
| NEMATODOS INTESTINALES | Método de Teichman (sedimentación, centrifugación y conteo al microscopio). | Semanal |
| COLIFORMES FECALES | Recuento del NMP o filtración y cultivo con identificación de colonias. | Semanal |

Tabla 71. *Métodos de análisis y las frecuencias mínimas de muestreo y medición (Anexo I: criterios sanitarios para la reutilización de aguas residuales urbanas depuradas en el riego agrícola y de zonas verdes–Junta de Andalucía)*

| Concentración (mg/l) | | METODO DE ANALISIS | FRECUENCIA |
|--|------|---|------------|
| Cadmio | 0,05 | Absorción atómica | Semestral |
| Cromo | 0,1 | Absorción atómica o espectrofotometría de absorción | Semestral |
| Cobre | 5,0 | Absorción atómica o espectrofotometría de absorción | Semestral |
| Mercurio | 0,1 | Absorción atómica | Semestral |
| Níquel | 2,0 | Absorción atómica | Semestral |
| Plomo | 0,5 | Absorción atómica | Semestral |
| Zinc | 10,0 | Absorción atómica o espectrofotometría de absorción | Semestral |
| <p>Se considerará que la calidad de las aguas es conforme con las condiciones requeridas si los análisis de las muestras en un mismo punto, durante un año, cumplen que:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El 95% de las muestras no exceden del valor límite de los parámetros. • El 5% de muestras que exceden del valor límite de los parámetros no sobrepasa en más del 50% dicho límite. | | | |

Tabla 72. Concentraciones máximas de metales en las aguas residuales urbanas depuradas destinadas al riego agrícola. Anexo II: criterios sanitarios para la reutilización de aguas residuales urbanas depuradas en el riego agrícola y de zonas verdes–Junta de Andalucía)

Los cultivos más comunes en la Vega de Granada corresponden a frutales, cultivos de huerta, cereales (cebada, trigo, triticale y verza) y plantas madereras (chopo), por lo que en cada caso será necesario considerar unas restricciones en la calidad de las aguas tratadas reutilizadas y en los métodos de aplicación del agua.

Las depuradoras Sur y Oeste disponen de tratamiento secundario, aunque está prevista la cloración como sistema de desinfección.

En el caso de la EDAR Sur se han registrado caudales punta de entrada de 60.000 m³/d, con un incremento de caudal bastante considerable en los últimos años, mientras que en la depuradora Oeste los caudales han permanecido estables, excepto por el incremento de caudal de tratamiento que supuso la depuración del vertido de la fábrica PULEVA (caudal de 5.000 m³/d con concentraciones en DBO₅ de 700 ppm).

Los datos relativos a la carga contaminante del agua de entrada muestran un progresivo incremento de la misma, lo que unido al aumento del caudal ha propiciado una reducción en el rendimiento de las instalaciones, de forma que los vertidos no suelen alcanzar los límites de concentración admisibles en DBO₅, DQO y SS exigidos por el RD 509/1996 para las aguas tratadas con tratamientos secundarios. Asimismo los datos relativos a la calidad del fango muestran valores muy inferiores a los límites establecidos por el RD 1310/1990, lo que puede ser indicio de la presencia de metales pesados en el agua depurada.

Considerando las recomendaciones que la Junta de Andalucía fija sobre la reutilización de aguas depuradas y la calidad de las aguas de vertido de estas depuradoras **no es viable actualmente la reutilización en los usos agrícolas**, siendo necesario acometer la mejora de las instalaciones de depuración.

9. FUENTES DE SUMINISTRO

El sistema Cornisa–Vega de Granada se caracteriza por lo complejo de los sistemas de satisfacción de las demandas, como consecuencia de la diversificación de las fuentes de suministros, la cuantía y multiplicidad de la demanda y la complejidad de los derechos en el uso de las aguas. En las tablas 73 y 75 se resume las fuentes de suministro correspondientes a cada demanda, segregando éstas según demandas urbanas y agrícolas.

Las demandas del Sistema Cornisa–Vega de Granada se satisfacen a partir de recursos que son regulados mediante infraestructuras de regulación de la escorrentía superficial y de regulación de embalses subterráneos, bajo un esquema de gestión dual basado en las siguientes pautas:

- La fuente principal de suministro procede de la regulación mediante infraestructuras superficiales (embalses y tomas directas en cauces) de la escorrentía superficial estricta mas la descarga a cauces de acuíferos. Las aguas subterráneas constituyen un recurso complementario en situaciones de escasez.
- Se utilizan exclusivamente las aguas subterráneas, mediante su captación directa en manantiales o mediante la construcción de infraestructuras de bombeo.

El primero de los esquemas se vincula con la comarca de la Vega de Granada, donde se concentran los mayores centros de demandas urbana y agrícola del sistema. Mientras que el segundo de los esquemas se vincula a las comarcas de la Cornisa, donde las demandas son de menor cuantía y están más aisladas.

| DEMANDAS | | FUENTES DE SUMINISTRO | | | | | |
|---|--|--|---|--|---|--|-----------------|
| URBANA | Consortio La Vega-Sierra Elvira | Bombos emb. subterráneo Vega de Granada | Descarga emb. subterráneo La Peza | Descarga emb. subterráneo S ^a Arana (Deifontes) | Descarga y bombos emb. subterráneo Colomera | Descarga y bombos emb. subterráneo Periarde-Moreda-Pinar | Canal del Cacín |
| | Consortio Sierra Nevada-Vega Sur | Sistema Canales-Quéntar | Bombos emb. subterráneo Vega de Granada | Descarga y bombos emb. subterráneo Padúl | Descarga y bombos emb. subterráneo La Peza | | |
| | Municipios de la zona septentrional | Descarga y bombos emb. subterráneos de la zona septentrional | Canal del Cacín | Descarga y bombos emb. subterráneos de la zona septentrional (UHS 28, 29, 30 y 34) | | | |
| RIEGOS | Mancomunidad del Temple | Albuñuelas | Canal del Cacín | | | | |
| | Comarcas de la Cornisa de Granada | Albuñuelas | Escorrentías río Agrón | | | | |
| | Comarca de Iznalloz | Descarga y bombos emb. subterráneos de la zona septentrional | | Descarga y bombos emb. subterráneos de la zona septentrional (UHS 29 y 34) | | | |
| | Vega de Granada-Alto Genil (Genil-Aguas Blancas) | Descarga emb. subterráneos La Peza y Padúl | | | | | |
| | Vega de Granada-Monachil-Díjar | Tomas directas en cauces (Monachil-Díjar) (descargas emb. subterráneo Padúl) | Bombos Vega de Granada | | | | |
| | Vega de Granada-Vega Alta | Sistema Canales-Quéntar | Bombos emb. subterráneo Vega de Granada | Aguas residuales depuradas | | | |
| | Vega de Granada-Vega Media MI | Descarga emb. subterráneo Vega de Granada | | | | | |
| | Vega Granada-Canal Albolote | Canal de Albolote (manantial Deifontes y Canal Colomera) | Bombeo embalse del Cubillas | | | | |
| | Vega de Granada-Alfacar-Beas de Granada | Descarga emb. subterráneo La Peza | | | | | |
| | Vega de Granada-Canal Cubillas | Canal del Cubillas (embalse del Cubillas) | Descarga emb. subterráneo Vega de Granada | Bombos emb. subterráneo Vega de Granada | | | |
| | Vega de Granada-Pantano de Cubillas | Embalse del Cubillas | Bombeo embalse del Cubillas | | | | |
| | Vega de Granada-Veillos | Tomas en río Veillos | Bombos emb. subterráneo Vega de Granada | | | | |
| Vega de Granada-Fte. Vaqueros-Valdecaballeros | Sobrantes río Genil | Bombos emb. subterráneo Vega de Granada | | | | | |
| Vega de Granada-Cijuela-Láchar | Sobrantes río Genil | | | | | | |
| Zona regable del Canal del Cacín | Canal del Cacín | | | | | | |
| Vega Baja de Granada | Sobrantes río Genil | | | | | | |

Tabla 73. Fuentes de Suministro según Demandas en el Sistema Cornisa-Vega de Granada

5 Se entiende por descarga de un embalse subterráneo a las salidas que se producen de forma natural desde éste hacia cauces a través de conexión directa o mediante manantiales.

| ORIGEN DEL RECURSO | FUENTE DE SUMINISTRO | DEMANDAS URBANAS | DEMANDAS AGRÍCOLAS |
|---|---|--|--|
| ESCORRENTÍA SUPERFICIAL y DESCARGA SUBTERRÁNEA a CAUCES regulados por EMBALSES | Embalse del Cubillas | | Vega de Granada-Pantano de Cubillas |
| | Sistema Canales-Quéntar | Consortio Sierra Nevada-Vega Sur | Vega de Granada-Vega Alta |
| | Canal de Albolote (manantial Deifontes y Canal Colomera) | | Vega Granada-Canal Albolote |
| | Canal del Cacin | Consortio La Vega-Sierra Elvira Mancomunidad del Temple | Zona regable del Canal del Cacin |
| | Canal del Cubillas (embalse del Cubillas) | | Vega de Granada-Canal Cubillas |
| | Bombeo embalse del Cubillas | | Vega Granada-Canal Albolote |
| | Tomas en río Veillos | | Vega de Granada-Pantano de Cubillas |
| | Escorrentías río Agrón | | Vega de Granada-Veillos |
| | Tomas directas en cauces (Monachil-Dílar) (descargas emb. subterráneo Padú) | | Comarca de Alhama |
| | Sobrantas río Genil | | Vega de Granada-Monachil-Dílar |
| | | | Vega de Granada-Fte Vaqueros-Valdecaballeros |
| | | | Vega de Granada-Cijuela-Láchar |
| | | | Vega Baja de Granada |

Tabla 74. Fuentes de suministro de origen superficial y reguladas por embalses del sistema Cornisa-Vega de Granada

| ORIGEN DEL RECURSO | FUENTE DE SUMINISTRO | DEMANDAS URBANAS | DEMANDAS AGRÍCOLAS |
|----------------------------|--|-------------------------------------|--|
| AGUAS SUBTERRÁNEAS | Bombes emb. subterráneo Vega de Granada | Consorcio La Vega-Sierra Elvira | Vega de Granada-Monachil-Dílar Vega de Granada-Vega Alta |
| | Drenajes emb. subterráneo Vega de Granada | Consorcio Sierra Nevada-Vega Sur | Vega de Granada-Canal Cubillas Vega de Granada-Veilllos Vega de Granada-Fte Vaqueros-Valdecaballeros |
| | Emb. subterráneo La Peza | Consorcio La Vega-Sierra Elvira | Vega de Granada-Vega Media MI |
| | Emb. subterráneo Padúl | Consorcio Sierra Nevada-Vega Sur | Vega de Granada-Canal Cubillas |
| | Descarga emb. subterráneo S ^a Arana (manantial Deifontes) | Consorcio Sierra Nevada-Vega Sur | Vega de Granada-Alto Genil (Genil-Aguas Blancas) |
| | Emb. subterráneo Albuñuelas | Consorcio La Vega-Sierra Elvira | Vega de Granada-Alfacar-Beas de Granada |
| | Emb. subterráneos de la zona Septentrional (UHs 28, 29, 30 y 34) | Municipios de la zona septentrional | Vega de Granada-Alto Genil (Genil-Aguas Blancas) |
| | EDARs Oeste y Sur | Mancomunidad del Temple | Vega de Granada-Monachil-Dílar |
| | | Municipios de la zona septentrional | Comarca de Alhama |
| | | | Comarca de Montefrío Comarca de Iznalloz |
| AGUAS RESIDUALES DEPURADAS | | | Vega de Granada-Vega Alta |

Tabla 75. Fuentes de suministro de origen subterráneo y residuales depuradas del sistema Cornisa-Vega de Granada

10. CONSTRUCCIÓN del MODELO de SIMULACIÓN de la GESTIÓN CONJUNTA

Como ya se ha comentado anteriormente en el apartado 4 (Metodología), un estudio de gestión conjunta de recursos hídricos requiere de la aplicación de una metodología que precisa de la realización de una serie de actividades concatenadas que se enumeran y describen en dicho apartado.

La primera de estas actividades se denomina “Caracterización hidrológica del Sistema Cornisa-Vega de Granada” y contempla la realización de las siguientes actuaciones:

- Cálculo de las aportaciones (superficiales y subterráneas) que registra el sistema en puntos significativos del mismo en régimen natural.
- Caracterización de las infraestructuras hidráulicas referidas tanto al almacenamiento superficial (embalses) como al subterráneo (acuíferos) y a las infraestructuras de conexión entre elementos.
- Análisis de las posibilidades de utilización de recursos no convencionales (aguas desaladas o regeneradas).
- Cuantificación de las demandas consuntivas y no consuntivas.

Los resultados de la realización de esta actividad se describen en los capítulos 5, 6, 7 y 8 de la presente memoria.

La segunda actividad que ha de contemplar un estudio de esta tipología se denomina “Construcción y elaboración de un modelo de uso Conjunto”, sobre el que puedan simularse distintas alternativas de gestión. La realización de dicha actividad en lo que se contempla en el presente capítulo.

Para afrontar esta actividad es preciso proceder a la realización del **esquema topológico** del sistema de explotación de recursos hídricos, segregados por subcuencas. En estos esquemas se han incluido los siguientes aspectos:

- Situación de embalses y acuíferos
- Puntos de toma para satisfacción de demandas
- Características de las conducciones.
- Nudos representativos de confluencias, derivaciones y retorno significativos.
- Relaciones río-acuífero.
- Puntos de control a considerar en los ríos (aportaciones de cabecera e intermedias).
- Situación espacial de la demanda, considerando la garantía de servicio requerida, las preferencias de utilización, orden de prioridad en su satisfacción, etc.
- Caracterización de los enlaces y vínculos entre los elementos descritos.

La herramienta informática utilizada para construir el modelo de simulación de la gestión conjunta del Sistema Cornisa-Vega de Granada ha sido AQUATOOL v 4.0, y más concretamente la aplicación SIMGES.

El paso de tiempo de la simulación considerado ha sido el mes, el cual viene impuesto por el software utilizado. Asimismo, el periodo de simulación se ha extendido desde el año 1951 al 2004 (53 años), en el cual se han registrado series de años secos y húmedos suficientemente representativos de la hidrología del área simulada.

10.1 GENERALIDADES DE LA HERRAMIENTA INFORMÁTICA AQUATOOL

Este software constituye una herramienta de pre y post-procesamiento de la aplicación SIMGES, que responde al esquema de un modelo general para la simulación de cuencas hidrográficas o de sistema de recursos hidráulicos complejos, presentando notables ventajas sobre otras aplicaciones en razón de la versatilidad para la simulación de las relaciones río-acuífero, la consideración de embalses superficiales y subterráneos y otra serie de elementos que intervienen en la gestión hídrica, tales como aportaciones, demandas (consuntivas y no consuntivas, así como consumos y retornos), caudales ecológicos, conducciones (canalizaciones y cauces de diferente forma de funcionamiento –gravedad, diferencia de potencial, etc.–), bombeos adicionales y dispositivos de recarga artificial.

La simulación se efectúa con paso de tiempo mensual, calculando el flujo en los subsistemas superficiales mediante la aplicación de la ecuación de conservación del balance, mientras que para los subsistemas subterráneos el flujo es simulado mediante modelos específicos.

En términos genéricos, el paquete AQUATOOL presenta ciertas características que lo hacen muy adecuado para la simulación y optimización de la gestión integrada de recursos hídricos, en referencia a las siguientes circunstancias:

- Permite la optimización de las diferentes alternativas de gestión integrada que se plantifiquen en el sistema Cornisa-Vega de Granada, ofreciendo resultado, en forma de garantía en la satisfacción de las demandas, que permitan valorar cuál de las alternativas resulta la más satisfactoria,
- Permite la gestión de sistemas complejos que incluyen elementos de regulación o almacenamiento superficiales y subterráneos, de captación, de transporte, de utilización y/o consumo y de dispositivos de recarga artificial.

- Permite la priorización en la satisfacción de las demandas.
- Permite establecer reglas de operación en sistemas de regulación superficial.
- Permite determinar las capacidades de embalse, de conducciones y de instalaciones de bombeo para unos determinados niveles de demanda y garantía de partida.
- Presenta una interfaz “amable” tanto para la generación de los esquemas topológicos del sistema de gestión, así como para la visualización y edición de los resultados de las alternativas simuladas, constituyendo una herramienta de decisión muy eficaz una vez que está instalada.
- Permite la actualización de las series de datos del sistema, así como el análisis de series sintéticas.
- Permite la integración de los acuíferos en el sistema de gestión mediante la simulación del funcionamiento de los mismos bajo diferentes alternativas de modelación, que van desde los sistemas más simples (tipo depósito) hasta los más complejos (parámetros distribuidos -> método de autovalores), pasando por modelos intermedios (unicelulares englobados y pluricelulares englobados).
- Permite la simulación de las conexiones río-acuífero con la simplificación exigible a modelos de gestión integrada, Es decir, que la simulación se realice mediante modelos agregados o de parámetros distribuidos simplificados (método de autovalores), sin tener que acudir a modelos de parámetros distribuidos de flujo más complejos (apoyados en métodos numéricos de diferencias finitas o elementos finitos), si bien, no es descartable que una vez identificada la situación de gestión más favorable, sea conveniente utilizar estas herramientas de simulación en casos concretos, Por otra parte, resulta necesario desarrollar o actualizar un modelo específico de estas características -diferencias finitas o elementos finitos- hasta disponer de uno debidamente calibrado y validado, como paso previo al desarrollo del método de autovalores.

- Permite que la información resultante pueda ser exportable tanto a sistemas SIG, como ser representada con facilidad y que su funcionamiento pueda ejecutarse en un PC.

En los capítulos 5, 6, 7 y 8 se han analizados los diferentes elementos a considerar en la gestión del Sistema Cornisa-Vega de Granada y todos ellos pueden ser tratados con garantía mediante el módulo SIMWIN (basado en el código SIMGES) del paquete AQUATOOL. Asimismo, la herramienta SIMGES permite simular diferentes esquemas de utilización conjunta de recursos hídricos, que pueden aplicarse y desarrollarse en las cuencas objeto de estudio, tales como:

- Utilización alternativa.
- Relación río-acuífero.
- Recarga artificial.
- Regulación de manantiales o drenajes de origen kárstico.

La utilización alternativa corresponde a un esquema de gestión que puede tener una importante aplicabilidad en el sistema Cornisa-Vega de Granada, ya que las condiciones hidrológicas presentes en este sistema de explotación obligan a analizar con detalle las posibilidades de complementar los recursos regulados por los embalses superficiales con los recursos subterráneos vinculados a los embalses subterráneos existentes en el sistema. En este sentido, cabe la posibilidad de explotar mas intensamente los embalses en los años húmedos y soslayar los fallos que se produzcan en los años secos mediante la utilización de las aguas subterráneas.

Otro aspecto que permite simular SIMGES coincide con las diferentes posibilidades que presenta la recarga artificial, tanto en lo que se refiere al almacenamiento de aguas excedentarias o residuales depuradas (retornos), como a la mejora de la calidad o la mitigación de los descensos piezométricos causados por la sobreexplotación local.

La regulación de manantiales kársticos es una práctica habitual para aumentar las disponibilidades de recursos hídricos, que puede tener una gran aplicabilidad en el Sistema Cornisa-Vega de Granada, en aquellos embalses subterráneos con drenajes puntuales significativos.

Asimismo, la utilización de la herramienta AQUATOOL impone la necesidad de establecer unas reglas de operación en los embalses considerados en el sistema.

Finalmente, es necesario indicar que la simulación y gestión del sistema global se efectúan, para cada paso del tiempo, mediante el uso de un algoritmo de optimización lineal de redes de flujo conservativo. El programa de cálculo (SIMGES) parte de un bloque de información que incluye entre otros parámetros la situación inicial, series hidrogeológicas, capacidades, resguardos de embalses, definición espacial y temporal de subsistemas, parámetros característicos de los acuíferos, etc. Operando mes a mes, y teniendo en cuenta las reglas previamente establecidas para satisfacer las demandas, determina las instrucciones para desembalses, establece las prioridades, los balances y comprobaciones correspondientes.

Los resultados del SIMGES incluyen la evolución de todas las variables de interés a nivel mensual, a nivel anual, valores medios del periodo de simulación, así como garantías. Mediante el paquete AQUATOL es factible evaluar el grado en que se conseguirán los diversos objetivos de demandas previstas, así como las garantías correspondientes para la satisfacción de las mismas.

10.2 PROCEDIMIENTO OPERATIVO EMPLEADO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN DE LA GESTIÓN CONJUNTA DEL SISTEMA CORNISA–VEGA DE GRANADA

El procedimiento operativo empleado responde a la necesidad de complementar los datos necesarios para el funcionamiento del código matemático empleado para la simulación de la gestión conjunta (SIMGES), considerando los elementos incluidos en el esquema topológico que describe el funcionamiento del Sistema de explotación de recursos hídricos Cornisa–Vega de Granada.

10.2.1 Demandas consideradas en SIMGES

Los valores considerados para las demandas en el modelo SIMGES corresponden a los máximos mensuales registrados en los sistemas de abastecimiento, independientemente del año en que se registren estos máximos mensuales, de tal manera que se asegura unos volúmenes de demanda máximos.

En principio las demandas existentes en el Sistema Cornisa–Vega de Granada se han catalogado de la siguiente forma:

Demandas Consuntivas

- Urbanas.
- Agrícolas.

Demandas No consuntivas

- Caudales ecológicos.

No se han considerado las demandas hidroeléctricas por corresponder a centrales de escasa potencia, que requieren caudales de escasa cuantía y porque, además, se ubican en cauces del Alto Genil (Darro, Genil, Monachil y Dílar), donde la propia demanda ecológica impuesta asegura que se dispondrá de los caudales necesarios para satisfacer dicha demanda hidroeléctrica.

El programa SIMGES permite ejecutar la simulación de los caudales ecológicos de dos formas: bien como demandas a satisfacer por los ríos, o bien como caudales mínimos circulantes por dichos cauces. Teniendo en cuenta que la simulación de los caudales ecológicos como demandas permite realizar la comparativa de las distintas simulaciones en términos de garantías del sistema se ha optado por efectuarla de esta forma.

En el estudio de caudales ecológicos se ha establecido un régimen mensual para los años tipo (años secos, medios y húmedos). En las simulaciones llevadas a cabo se ha optado por considerar el caudal ecológico correspondiente al año tipo seco, ya que se considera la situación más restrictiva.

Al objeto de priorizar la satisfacción de las demandas en la simulación de la gestión mediante SIMGES se ha optado por el siguiente orden⁶:

- Prioridad 0: demandas no consuntivas (caudales ecológicos).
- Prioridad 1: demandas urbanas.
- Prioridad 2: regadíos.

En la tabla 76 se muestran las demandas anuales consideradas en el modelo de gestión SIMGES. Estas demandas máximas han sido fijadas a partir de los datos de

⁶ El orden de prioridades establecido se justifica en el apartado de Criterios de Simulación. En SIMGES se satisface primero las demandas con indicativo de prioridad inferior

demandas (suministros a poblaciones, dotaciones riego, etc –analizados en el capítulo 5–) considerando los valores máximos mensuales, independientemente que éstos máximos se hayan producido en diferentes años, de tal manera que la suma de los máximos mensuales registrados constituye la demanda anual considerada en SIMGES.

En total, la demanda simulada asciende a 479,7 hm³/a, de los que 58,3 hm³ corresponden a demandas urbanas, 356,3 hm³ a demandas agrícolas y 65,1 hm³ a caudales ecológicos.

Los abastecimiento a la zona metropolitana de Granada y los núcleos de la Vega de Granada han sido agrupados en dos subsistemas: Consorcio de La Vega–Sierra Elvira y Consorcio Sierra Nevada–Vega Sur. El primero de ellos coincide prácticamente con el sistema que actualmente gestiona la empresa AGUASVIRA; mientras que en el segundo se incluye la ciudad de Granada y corresponde al sistema que gestiona EMASAGRA, adhiriéndose una serie de núcleos del Alto Genil.

El resto de demandas urbanas se han agrupado en el conjunto de municipios situados en el sector septentrional de la Cornisa de Granada y en los municipios de la Mancomunidad del Temple. Asimismo, ha sido necesario considerar los abastecimientos del valle del Cacín, que aunque externos al sistema analizado, consumen recursos del sistema (Canal del Cacín).

La demanda urbana de los consorcios de la Vega de Granada (La Vega–Sierra Elvira y Sierra Nevada–Vega Sur) aglutinan el 93% de la demanda urbana del sistema, constituyen, por tanto, los grandes centros de demanda para consumo humano e industrial.

| Prioridad en la satisfacción de la demanda | Tipo de demanda | | Demanda número ^(b) | Nº de tomas ^(b) | Demanda considerada en SIMGES | | | |
|--|-----------------------|---|--------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|---------|
| | | | | | Promedio Mensual (hm ³) | Máxima mensual (hm ³) | Anual (hm ³) | |
| 0 | Caudal ecológico | PN Sierra Huétor | Ríos Darro-Beas | 27 | 1 | 0,682 | 1,059 | 8,190 |
| | | PN Sierra Nevada | Río Aguas Blancas | 28 | 1 | 0,732 | 1,197 | 8,786 |
| | | | Río Genil | | 1 | 2,688 | 4,905 | 32,252 |
| | | | Río Monachil | 29 | 1 | 0,742 | 1,207 | 8,899 |
| | | | Río Dílar | 30 | 1 | 0,580 | 0,987 | 6,966 |
| 1 | Abastecimiento urbano | Consorcios Vega de Granada | Consorcio La Vega-Sierra Elvira | 1 | 2 | 1,275 | 1,671 | 15,299 |
| | | | Consorcio Sierra Nevada-Vega Sur | 2 | 3 | 3,245 | 3,429 | 38,944 |
| | | Sector Septentrional de la Cornisa de Granada | Moraleda de Zafayona | 5 | 1 | 0,282 | 0,373 | 3,382 |
| | | | Piñar-Torrecardela | 6 | 1 | | | |
| | | | Moclín | 10 | 1 | | | |
| | | | Deifontes | 11 | 1 | | | |
| | | | Montillana-Campotéjar | 12 | 2 | | | |
| | | | Iznalloz | 13 | 1 | | | |
| | | | Illora | 14 | 1 | | | |
| | | | Benalúa de las Villas | 32 | 1 | | | |
| | | Guadahortuna-Montejicar | 31 | 1 | | | | |
| | | Mancomunidad del Temple | 3 | 1 | 0,057 | 0,083 | 0,681 | |
| | | Valle del Cacín (externa al sistema) | 33 | 1 | 0,376 | 0,420 | 4,514 | |
| 2 | Dotación regadíos | Vega de Granada | Genil Vega Alta | 16 | 2 | 3,065 | 8,593 | 36,783 |
| | | | Riegos Monachil-Dílar | 17 | 2 | 2,485 | 6,840 | 29,819 |
| | | | Alto Genil | 18 | 3 | 2,186 | 8,585 | 26,232 |
| | | | Alfacar-Beas (manantiales triásicos) | 19 | 1 | 1,451 | 4,349 | 17,411 |
| | | | Vega Media Margen Izquierda | 20 | 2 | 1,514 | 4,430 | 18,171 |
| | | | Láchar-Cijuela | 21 | 1 | 0,275 | 0,749 | 3,297 |
| | | | Fte Vaqueros-Valderrubios | 22 | 1 | 0,525 | 1,706 | 6,301 |
| | | | ZR de Velillos | 23 | 1 | 0,452 | 1,551 | 5,419 |
| | | | ZR Pantano de Cubillas | 24 | 2 | 0,923 | 3,215 | 11,078 |
| | | | ZR Canal del Cubillas | 25 | 2 | 1,789 | 5,239 | 21,463 |
| | | | ZR Canal de Albolote | 26 | 1 | 1,593 | 4,777 | 19,118 |
| | | | ZR Canal del Cacín | 8 | 1 | 2,803 | 7,588 | 33,630 |
| | | | Vega Baja | 9 | 1 | 5,294 | 15,242 | 63,526 |
| | | Cornisa de Granada | Comarca Montefrío | 4 | 1 | 1,889 | 5,397 | 22,672 |
| | | | Comarca Alhama | 7 | 2 | 1,469 | 4,168 | 17,622 |
| | | Comarca Iznalloz | 15 | 4 | 1,978 | 6,142 | 23,734 | |
| TOTALES | CAUDALES ECOLÓGICOS | | | | | 5,424 | 9,354 | 65,092 |
| | URBANAS | Consorcios Vega de Granada | | | | 4,520 | 5,100 | 54,243 |
| | | Municipios de la Cornisa de Granada | | | | 0,339 | 0,457 | 4,063 |
| | | TOTAL URBANAS | | | | 4,859 | 5,556 | 58,306 |
| | | Externas (Valle del Cacín) | | | | 0,376 | 0,420 | 4,514 |
| | AGRÍCOLAS | Vega de Granada | | | | 24,354 | 72,865 | 292,249 |
| | | Cornisa de Granada | | | | 5,336 | 15,707 | 64,028 |
| | | TOTAL AGRÍCOLAS | | | | 29,690 | 88,572 | 356,277 |
| | | SUMA | | | | 39,973 | 103,482 | 479,675 |

^(a) Corresponde con el número asignado en SIMGES a dicha demanda en el esquema topológico

^(b) El número de tomas responde a las diferentes fuentes de suministro de que dispone la demanda

Tabla 76. Demandas consideradas en el modelo de simulación de la gestión

La demanda agrícola ha sido agrupada en grandes áreas de riegos: La Vega de Granada y zonas regables de la Cornisa de Granada (comarcas de Alhama de Granada, Iznalloz y Montefrío).

En la Vega de Granada se han diferenciado una serie de demandas agrícolas (hasta un total de 13) correspondientes a zonas regables cuya segregación atiende a las fuentes de suministro que las dotan.

Respecto a los caudales ecológicos considerados en el Sistema Cornisa-Vega de Granada (caudales ecológicos críticos calculados en los cauces vinculados a los Parques Naturales de Sierra Huétor y Sierra Nevada –Anejo 6–), se ha optado por la simulación como demandas por diversas razones:

- Equiparación de los caudales ecológicos a una demanda que debe suministrar el sistema, como otros tipos de demandas consuntivas y no consuntivas.
- Posibilidad de analizar índices de garantías y déficits. Si se hubiera simulado mediante un caudal mínimo a satisfacer en una conducción Tipo 1, a modo de una restricción, no hubiese sido factible realizar un análisis garantista de los caudales ecológicos.

10.2.2 Tomas

Para satisfacer cada una de las demandas consideradas en el sistema de simulación de la gestión es necesario definir una o varias "tomas" del sistema superficial.

Esto es así, por la exigencia que presenta la herramienta informática utilizada (SIMGES), la cual para cada demanda incluida en el esquema de simulación debe ser asignada, al menos, una toma, que debe partir de un nodo de la red topológica definida para representar el sistema de explotación de recursos hídricos, con la restricción que dicho nodo de partida debe corresponder a un elemento de la red superficial de dicho sistema.

Así, si se considera que una determinada demanda será satisfecha directamente desde un acuífero, es necesario considerar una toma ficticia para dicha demanda, a la que basta asignar valores nulos para que el modelo de simulación de la gestión SIMGES no cause error.

Asimismo, cuando se considera un bombeo adicional para satisfacer una determinada demanda, este no puede aplicarse directamente sobre la demanda, debe asignarse a un nodo en el que exista una toma correspondiente a dicha demanda.

El concepto de "toma" corresponde, en principio, a las diferentes fuentes de suministro que satisfacen la demanda correspondiente, pero también puede ser utilizado a efectos de gestión para distinguir prioridades, aunque el agua proceda del mismo punto, o incluso a suministros de distintos elementos dentro de la demanda considerada.

Esta versatilidad se consigue al definir para cada toma, además del "nudo de toma", un valor de "dotación anual", superado el cual no se utiliza dicha toma hasta el siguiente año hidrológico; valores de "puntas mensuales", diferentes, si se quiere, para cada mes y "números de prioridad" de cada toma, que guardan relación con los números de prioridad de las tomas del resto de las zonas de la demanda.

A efectos de simular la posterior evolución del agua utilizada, es necesario definir para cada toma dos coeficientes: un coeficiente de retorno (α), y un coeficiente de consumo (β). Con ello, el agua que vuelve al sistema en forma de retorno superficial -R- es:

$$R = \alpha \times S_{\text{sup}} \quad (13)$$

Donde S_{sup} corresponden con el suministro de la toma. Para contabilizar adecuadamente dicho retorno es necesario definir para cada toma el número del "elemento de retorno" al que se incorporan dichos volúmenes.

El agua que es consumida, y por tanto "sale" del sistema viene dada por la expresión:

$$X = \beta \times S_{\text{sup}} \quad (14)$$

El resto, se considera que constituye infiltración profunda, engrosando la recarga del acuífero subyacente, y viene dado por:

$$I = (1 - \alpha - \beta) \times S_{\text{sup}} \quad (15)$$

Para que ésta sea contabilizada adecuadamente es necesario que el usuario facilite al modelo los datos del "número de acuífero subyacente" y la "acción elemental" correspondiente a la recarga producida por infiltración de la zona.

En el caso de que el suministro superficial sea insuficiente, el resto de la demanda puede ser satisfecho mediante bombeos de un acuífero, que no tiene necesariamente que coincidir con el mismo acuífero al que las infiltraciones de la zona recargan. Por tanto es necesario facilitar el "número del acuífero del que la demanda puede bombear", así como el "número de la acción elemental" correspondiente a dicho bombeo. La decisión del bombeo viene además considerada por el estado del acuífero para lo cuál el usuario define el valor de un parámetro de control dado, a partir del cuál no se producirían bombeos. Los parámetros de control fijados para cada acuífero se definen en el apartado de modelación de acuíferos.

El suministro superficial por una determinada toma puede estar limitado, además, por otras condiciones físicas y/o de gestión:

- En el caso de las tomas conectadas a embalses se da como dato la cota de toma en el embalse. Así, solo puede derivarse agua por la toma cuando la lamina de agua en el embalse se encuentra por encima de la cota de la toma. Cuando a principio de mes la cota de agua en el embalse esta por encima de la de la toma y a fin de mes se encuentra por debajo, el volumen que puede suministrarse se calcula por integración, descontadas las restantes sueltas del embalse y sus perdidas.
- Cada toma de las demandas consuntivas puede llevar asociada un "indicador de alarma" del sistema. Estos indicadores suponen la reducción de la punta mensual de la toma cuando el volumen de agua almacenado en un determinado grupo de embalses se encuentra por debajo de ciertos umbrales definidos por el usuario. Se trata pues de una forma de restringir el consumo cuando la reserva hidráulica es inferior a lo normal.

En el modelo de simulación de la gestión del Sistema Cornisa-Vega de Granada han sido considerados un total de 49 tomas de demanda, para satisfacer un total de 33 demandas simuladas (4 de caudal ecológico, 13 urbanas y 16 de regadíos –tabla 76–).

Por lo general, el caudal mensual atorgado a las tomas es igual para todos los meses y la dotación corresponde con la demanda máxima anual asociada.

Para las demandas ecológicas el coeficiente de consumo es nulo y el de retorno unidad, de tal manera que todo el agua derivada por la toma, una vez satisfecha la demanda no consuntiva, revierte en su totalidad al sistema.

Para los abastecimientos urbanos se ha tomado, como regla general, un coeficiente de consumo de 0,2 y de retorno de 0,8, de forma que se permite la posibilidad de reutilización de aguas residuales urbanas en las simulaciones. En el supuesto que no se considere reutilización, las aguas se reincorporan al sistema hidrológico.

Para la reutilización de aguas residuales urbanas se plantean dos posibilidades, la reutilización directa (con o sin depuración previa, aspecto que no considera la herramienta de simulación) o la conducción hasta una EDAR, desde donde se satisface la demanda (en este supuesto, implícitamente, se asegura la simulación de reutilización con aguas regeneradas).

Para las tomas agrícolas asociadas a riegos por gravedad se ha establecido unos coeficientes de consumo y de retorno que pretende expresar la eficiencia de los regadíos. Así, en las zonas regables de la Vega de Granada se han establecido unos coeficientes de consumo de 0,55 a 0,60, con coeficientes de retorno de 0,10, lo que implica coeficiente de infiltración (retornos por regadío al acuífero Vega de Granada) de 0,30 a 0,35. En los regadíos de la Cornisa de Granada (comarcas de Alhama,

Iznalloz y Montefrío) las eficiencias de los regadíos son mayores, por lo que se han considerado coeficientes de retorno de 0,20 a 0,30 y de consumo de entre 0,70 a 0,80.

10.2.3 Aportaciones

Entendiendo como aportaciones las entradas de recursos hídricos al sistema, se han considerado dos categorías:

1. Aportaciones directas a cauces, procedente de la escorrentía superficial e hipodérmica derivada de la precipitación directa o la fusión de la nieve.
2. Aportaciones desde acuíferos, procedente de la recarga que reciben los acuíferos.

Estas aportaciones han sido calculadas mediante el modelo Precipitación-Escorrentía de Temez modificado que ha permitido valorar las mismas para el régimen natural (capítulo 6).

En el modelo de simulación de la gestión estas aportaciones no reciben ningún tratamiento diferenciado, simplemente que en el caso de las aportaciones a cauces se integran directamente al sistema, mientras que en el caso de las aportaciones desde acuíferos lo hacen a través del filtro (regulación) que supone el acuífero y las relaciones río-acuífero.

En total han sido simuladas 47 aportaciones (tabla 77), de ellas 25 corresponde a aportaciones a cauces y 22 a recargas de acuíferos. La aportación promedio o lluvia útil que recibe el sistema simulado es de 573,97 hm³/a, con oscilaciones más probables de entre 263,94 a 821,03 hm³, con un máximo de 1.674,55 hm³/a. La

recarga que registran los acuíferos por infiltración de agua de lluvia constituye el 29,4% de la total por término medio.

| Número Aportación SIMGES | Aportación | Volumen promedio anual (hm ³) | Rango de variación más probable | |
|--------------------------|------------------------------------|---|---------------------------------|-----------------------------|
| | | | Mínimo (hm ³ /a) | Máximo (hm ³ /a) |
| 1 | Darro(1.1.0) | 5,91 | 1,08 | 9,12 |
| 2 | Aguas Blancas(1.2.3+1.2.4) | 13,28 | 8,48 | 17,64 |
| 3 | Bajo Aguas Blancas(1.2.2) | 9,16 | 6,40 | 11,85 |
| 4 | Genil(1.2.1) | 62,92 | 45,52 | 81,50 |
| 5 | Bajo Genil (1.2.0) | 4,05 | 1,99 | 5,91 |
| 6 | Monachil(1.3.1) | 10,80 | 7,67 | 14,34 |
| 7 | Bajo Monachil(1.3.0) | 3,95 | 1,56 | 6,22 |
| 8 | Dílar(1.4.1) | 10,01 | 7,23 | 12,81 |
| 9 | Bajo Dílar (1.4.0) | 3,98 | 0,02 | 6,07 |
| 10 | A°Salado(1.5.0) | 3,23 | 0,00 | 4,93 |
| 11 | Agrón(1.6.0) | 2,42 | 0,00 | 2,72 |
| 12 | Alto Cacin(3.2.0) | 30,12 | 15,44 | 42,90 |
| 13 | Bajo Cacin(3.1.0) | 3,08 | 0,37 | 4,32 |
| 14 | La Zahora(3.0.0) | 2,79 | 0,29 | 4,42 |
| 15 | Vega Baja(1.0) | 5,91 | 1,08 | 9,12 |
| 16 | Beiro(1.1.0) | 13,69 | 6,34 | 18,28 |
| 17 | A°Escóznar(2.1.0) | 12,61 | 3,56 | 19,75 |
| 18 | Velillos(2.2.1) | 32,85 | 8,48 | 53,33 |
| 19 | Bajo Velillos(2.2.0) | 8,15 | 2,22 | 11,88 |
| 20 | Colomera(2.3.1) | 27,16 | 4,16 | 42,32 |
| 21 | Bajo Colomera(2.3.0) | 5,65 | 0,84 | 8,76 |
| 22 | Cubillas(2.4.1) | 63,00 | 20,06 | 94,88 |
| 32 | Bermejo-Blanco(2.4.0) | 17,76 | 6,63 | 26,65 |
| 44 | Vega(1.0.0+2.0.0) | 42,95 | 14,46 | 64,34 |
| 46 | Derivación río Alhama | 10,03 | 6,53 | 13,54 |
| SUMA | | 405,44 | 170,41 | 587,58 |
| 23 | Inf S ^a Arana | 25,92 | 15,11 | 34,89 |
| 24 | Inf S ^a Colomera | 1,32 | 0,22 | 2,12 |
| 25 | Inf Madrid-Parapanda | 2,06 | 0,67 | 3,30 |
| 26 | Inf S ^a Tejeda-Almijara | 42,22 | 28,18 | 56,93 |
| 27 | Inf Albuñuelas | 0,79 | 0,00 | 1,26 |
| 28 | Inf Padúl-Dílar | 5,35 | 3,93 | 6,78 |
| 29 | Inf Padúl-Canales | 5,05 | 3,62 | 6,34 |
| 30 | Inf La Peza-Bermejo | 1,09 | 0,46 | 1,54 |
| 31 | Inf Vega de Granada | 22,37 | 10,61 | 32,35 |
| 47 | Inf Zona Urb Vega Granada | 1,16 | 0,55 | 1,67 |
| 33 | Inf Periarte | 3,73 | 1,38 | 5,60 |
| 34 | Inf Alta Coloma | 5,25 | 0,92 | 8,22 |
| 35 | Inf Montejícar | 2,76 | 1,01 | 4,13 |
| 36 | Inf Pozuelo-Las Cabras | 8,34 | 3,09 | 12,50 |
| 37 | Inf Los Morrones | 2,48 | 0,78 | 3,69 |
| 38 | Inf Parapanda | 2,34 | 0,75 | 3,74 |
| 39 | Inf Despeñadero | 1,19 | 0,50 | 1,68 |
| 40 | Inf La Peza-Darro | 10,25 | 5,74 | 13,69 |
| 41 | Inf La Peza-Quéntar | 9,56 | 6,84 | 12,37 |
| 42 | Inf La Peza Canales | 5,85 | 4,15 | 7,51 |
| 43 | Inf Padul-Monachil | 7,11 | 4,02 | 9,85 |
| 45 | Transf Despeñ-S ^a Arana | 2,34 | 0,98 | 3,30 |
| SUMA | | 168,53 | 93,53 | 233,45 |
| TOTAL | | 573,97 | 263,94 | 821,03 |

Tabla 77. Aportaciones consideradas en el modelo de simulación (aportaciones en régimen natural obtenidas mediante la aplicación del método de Temez modificado)

Los resultados de las simulaciones mediante el método de Temez deben analizarse bajo la óptica de que se trata de una aproximación a la realidad por cuanto se pretende reproducir una realidad muy compleja donde intervienen diversos factores mediante ecuaciones matemáticas donde intervienen pocos parámetros (modelo agregado).

Asimismo, ese método no es adecuado para el cálculo de regímenes extremos (mínimo y máximos), pero sí para evaluar valores promedio o los rangos de aportaciones más probables.

Además, en el Alto Genil ha sido necesario introducir un modelo agregado para reproducir el proceso de la fusión de la nieve simple en el propio modelo P-E de Temez, lo cual constituye una aproximación a la realidad, donde interviene diversos factores que no son considerados en los modelos de fusión.

No obstante, se han conseguido buenos ajustes entre las series sintéticas generadas mediante el modelo agregado P-E de Temez y las series reales, constatadas mediante los coeficientes de correlación conseguidos entre las series de aportaciones mensuales reproducidas para el régimen natural por los modelos P-E de Temez desarrollados y las series foronómicas registradas en estaciones de aforos o las series de aportaciones a embalses ofrecidas por la CH Guadalquivir, incluso entre las series sintéticas de Temez y las series sintéticas generadas por las OP-CHG para el Plan Hidrológico de la Cuenca del Guadalquivir.

10.2.4 Conducciones

El modelo de simulación SIMGES permite considerar un total de 5 conducciones diferentes, mediante las que se pueden simular los diferentes tipos de conexiones que existen entre nudos.

Las conexiones o conducciones son siempre orientadas, es decir, el agua fluye por ellas siempre en un sentido, desde el nudo definido como "nudo inicial" al nudo definido como "nudo final", Mediante los números correspondientes a dichos nudos queda definida la conducción dentro del sistema,

Los 5 tipos diferentes de conducciones que permite simular SIMGES responden a los siguientes criterios:

- Conducción simple: se la denomina también "tramo de río tipo 1" , se presuponen que son conservativas y que no es posible definir más de una conducción tipo 1 con los mismos nudos inicial y final, ni con el inicial y final intercambiado. Se utilizan para simular cauces, canales, acequias, etc., en definitiva, son conducciones que no presentan conexión con acuíferos.

Las conducciones de tipo 1, pueden llevar asociado un Indicador de Alarma, cuya función es reducir la capacidad máxima en aquellos meses en que el volumen embalsado en determinados grupos de embalses del sistema sea reducido.

Para las conducciones tipo 1 es necesario definir un "caudal máximo mensual", que puede ser distinto para cada mes, y análogamente un "caudal mínimo mensual". En la simulación de la gestión el modelo no violará nunca los caudales máximos.

En cambio los caudales mínimos son tomados no como limitaciones físicas, sino como limitaciones de gestión, y el modelo tratará de respetarlos dentro de las prioridades establecidas, pero si no fuera posible y el caudal mínimo hubiera de ser violado, se hará así sin que ello suponga ningún contratiempo en la ejecución del modelo.

Este tipo de conducciones también ha sido utilizado para simular los cauces sin conexión a acuíferos y las conducciones por gravedad y/o en carga. En total se han dispuesto **109 conducciones de este tipo.**

- **Conducción con filtraciones:** mediante este tipo de conducción es posible simular la presencia de pérdidas, que se consideran función del caudal circulante $-Q$ a la entrada del tramo según la siguiente ley:

$$P = a + b Q^c \quad (16)$$

Siendo a , b y c parámetros requeridos por el modelo. A estas conducciones se les denomina como "conducciones de tipo 2" o "tramos de río tipo 2".

En el modelo construido se ha considerado una de estas conducciones para simular dos situaciones:

- La recarga que reciben los acuíferos por infiltración de agua de lluvia, tomando como parámetros los siguientes: $a=0$; $b=1$; $c=1$.
- La recarga diferida que recibe el embalse subterráneo Vega de Granada desde cauces hidráulicamente conectados (Dílar, Monachil y Genil). En estos casos se han impuesto los siguientes parámetros:

| Cauce perdedor | Acuífero receptor de la recarga diferida | Parámetros de la recarga diferida (Conducción Tipo 2) | | |
|----------------|--|---|------|------|
| | | a | b | c |
| Genil | Vega de Granada | 0,00 | 0,20 | 1,00 |
| Dílar | | 0,00 | 0,20 | 1,00 |
| Monachil | | 0,00 | 0,20 | 1,00 |

Tabla 78. *Parámetros de recarga diferida considerados en las conducciones Tipo 2*

- Conducción conectada hidráulicamente con acuífero: Es aquella conducción cuyo lecho atraviesa un acuífero existiendo conexión hidráulica entre los dos, y por tanto la posibilidad tanto de filtraciones desde el lecho del río hacia el acuífero (río perdedor o influente) como drenaje del acuífero hacia el río (río ganador o efluente), dependiendo de la situación de los niveles piezométricos en el acuífero y la cota de la lámina de agua en el río.

Para su definición es necesario indicar qué acuífero es el que está conectado con la conducción, e identificar, de entre las respuestas de simulación del acuífero (parámetros de control) cual es aquella que cuantifica el flujo entre los dos,

A estas conducciones se las denomina también "tramo de río tipo 3". Se han utilizado un total de 20 conducciones de este tipo, conectadas a cada uno de los acuíferos simulados.

A modo de resumen, en el modelo de simulación de la gestión considerado para el Sistema Cornisa-Vega de Granada **se han considerado un total de 154 conducciones** (109 conducciones Tipo 1, 25 conducción Tipo 2 y 20 conducciones Tipo 3) .

10.2.5 Retornos

En el modelo de simulación de la gestión que se ha desarrollado los elementos de retorno empleados responden a tres tipologías:

- Retornos de demandas consuntivas.
- Retornos de demandas no consuntivas.
- Retornos ficticios.

Los retornos correspondientes a demandas consuntivas pretenden simular los volúmenes de agua que retornan al sistema procedentes de los centros de demanda, Para su simulación se ha considerado el siguiente convenio:

- Los retornos procedentes de demandas consuntivas urbanas corresponden al 80% de los recursos captados.
- La cuantía de los retornos procedentes de demandas consuntivas agrícolas depende de la eficiencia del riego.

Los retornos correspondientes a demandas no consuntivas (caudales ecológicos) se han tratado considerando que los volúmenes retornados a los cauces públicos constituyen el 100% del demandado.

En el modelo de simulación creado se han incluido un total de 13 elementos de retorno.

Las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) y aprovechamientos de Aguas Residuales Urbanas (ARU) han sido simuladas como retornos, dirigiendo el punto de vertido aguas arriba de las tomas asociadas a las demandas que se nutren de

estas aguas residuales (zonas regables de la Vega Alta y Vega Media MI, que pueden aprovechar estos recursos alternativos).

10.2.6 Bombeos adicionales

En modelo de simulación de la gestión conjunta desarrollado para el Sistema Cornisa-Vega de Granada se han considerado 2 bombeos adicionales que pretenden simular los siguientes supuestos:

- Bombeo en sondeos para dotar regadíos de la Comarca de Montefrío instalados en el embalse subterráneo Madrid-Pelada-Obéilar (acuífero 1 en SIMGES) perteneciente a la U.H. 05.34/Madrid-Parapanda). El bombeo adicional se define con un caudal máximo de bombeo de 0,5 hm³.
- Bombeos de la Ronda Sur de Granada para abastecimiento en situaciones de emergencia a la zona metropolitana de Granada. Este campo de sondeos presenta una capacidad de bombeo de 2 hm³/mes (*Delgado García, J. et al-1996*).

10.2.7 Recarga Artificial de Acuíferos

La recarga artificial de acuíferos constituye una técnica muy útil en la gestión conjunta de recursos superficiales y subterráneos, pues permite poner a disposición del gestor la capacidad de almacenamiento y regulación de los embalses subterráneos.

En el caso del Sistema Cornisa-Vega de Granada, existen numerosos acuíferos, algunos de ellos de gran interés estratégico, que presentan posibilidades de mejorar la

gestión de los recursos hídricos del sistema mediante la implantación de infraestructuras de recarga artificial programada de embalses subterráneos.

De las posibles alternativas de recarga artificial de acuíferos la que se antoja más plausible y efectiva sería aquella que implicaría los excedentes invernales de los ríos de Sierra Nevada (Aguas Blancas, Monachil, Dílar y Genil) y el acuífero detrítico de la Vega de Granada.

De hecho, la escorrentía asociada a estos cauces alimenta el acuífero de la Vega de Granada a favor de un proceso de recarga diferida desde estos cauces en el sector suroriental del acuífero. Así, los cauces de los ríos Genil, Monachil y Dílar se convierten en ríos perdedores y alimentan de forma natural al acuífero Vega de Granada.

Considerando esta circunstancia natural podría plantarse la disposición de una infraestructura de desvío y conducción de las aguas excedentarias de los ríos Genil, Monachil o Dílar, para su recarga artificial programada en el acuífero de la Vega de Granada, en una zona del acuífero donde existe una fuerte explotación ocasional como consecuencia de los campos de pozos de abastecimiento en situaciones de emergencia a la zona metropolitana de Granada (Campos de Pozos de la Ronda Sur).

La infraestructura de recarga artificial debería contar con los siguientes elementos:

- Obra de desvío en los cauces, mediante la construcción de azudes de desvío en los cauces de los ríos Genil, Monachil y Dílar.
- Obras de conducción de los excedentes invernales a las plantas de recarga artificial.
- Planta de recarga artificial que, a su vez, dispondría de los siguientes elementos:
 - Planta de pretratamiento, que permita eliminar los elementos que acompañando al agua de recarga puedan ocasionar problemas de colmatación. Esta planta de tratamiento debería contar, posiblemente, con los siguientes elementos: desarenadores, tanques de coagulación-floculación, tanques de decantación, lechos filtrantes y tanques de desinfección.
 - Planta de inyección, mediante la construcción de pozos de inyección. La posibilidad de construir pozos de inyección se plantea por existir pozos de bombeo (Ronda Sur). Sin bien, la alternativa más correcta sería plantear **sondeos tipo ASR** (almacenamiento subterráneo con recuperación), de manera que los sondeos sirven al mismo tiempo de inyección y extracción.
 - Planta de monitorización y control de la recarga artificial, mediante la que se controle la evolución de la piezometría y la calidad de las aguas subterráneas.

Los caudales excedentarios de los ríos Genil, Monachil y Dílar que pueden ser utilizados en la operación de recarga artificial del acuífero Vega de Granada, se pueden determinar mediante el modelo de gestión conjunta que se ha desarrollado en el presente estudio para el Sistema Cornisa-Vega de Granada, ya que antes de realizar

esta operación es necesario satisfacer previamente las necesidades hídricas que dependen del subsistema Canales–Quéntar.

Por otro lado, en el modelo de simulación de la gestión conjunta del sistema Cornisa–Vega de Granada se ha considerado la posibilidad de simular la recarga artificial del embalse Vega de Granada con excedentes invernales de los ríos Genil, Monachil y Dílar.

Para la simulación de la recarga artificial se ha considerado la posibilidad de modificar los parámetros que fijan el caudal de filtraciones desde éstos cauces al embalse subterráneo Vega de Granada, utilizando el modelo de autovalores desarrollado para analizar la respuesta del embalse subterráneo.

10.2.8 Modelación de Embalses Subterráneos en SIMGES

Considerando la dispar capacidad de regulación que presentan los diversos embalses subterráneos implicados en el Sistema Cornisa–vega de Granada, se han establecido diferentes tipos de modelos matemáticos de simulación de la respuesta de estos embalses subterráneos ante los diferentes escenarios de gestión analizados.

Así, los embalses subterráneos de moderada, baja y muy baja capacidad de regulación se han simulado mediante modelos unicelulares, mientras que para los embalses de elevada capacidad de regulación se han utilizado modelos pluricelulares. Para el caso particular del embalse subterráneo de la Vega de Granada se ha utilizado un modelo de parámetros distribuidos (modelo de autovalores) que ha permitido simular las diferentes acciones a que queda sometido este embalse como consecuencia de la compleja gestión de sus recursos subterráneos.

10.2.8.1 Sector Septentrional de la Cornisa de Granada

En el sector septentrional de la Cornisa de Granada se ubican los embalses subterráneos definidos en las unidades hidrogeológicas 05.28/Montes Orientales, 05.29/Sierra Colomera, 05.30/Sierra Arana y 05.34/Madrid-Parapanda.

Excepto el embalse subterráneo de Sierra Arana (30b) que presenta una capacidad de regulación elevada, el resto de embalses subterráneos de este sector se han simulado mediante modelos unicelulares (UH 05.28/Montes Orientales: 28a-Montillana y 28bc-Alta Coloma UH; 05.29/Sierra Colomera : 29a-Los Morrones, 29b-Colomera y 29c Pozuelo-Las Cabras; 05.30/Sierra Arana: 30a-Moreda-Piñar y 30c-Despeñadero-Cañamaya; UH 05.34/Madrid-Parapanda: 34a-Sierra Pelada, 34b-Sierra Madrid, 34c-Sierra Obéilar y 34d-Sierra Parapanda).

| EMBALSES SUBTERRÁNEOS | | Superf. Afloram. (km ²) | Parámetros Modelo de Temez | | | | | | | Resultados Modelo P-E Temez Serie 1951-2004 | |
|----------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|---|------|---------------------|-------------------------|-----------------------------------|---|---------------------------------|
| | | | α (días ⁻¹) | H _{max} (mm/mes) | l _{max} sup. Permeab. (mm/mes) | C | H _o (mm) | q _o (l/s/ha) | V _o (hm ³) | Volumen almac. (hm ³) | Esc. Subt. (hm ³ /a) |
| UH 05.28/Montes Orientales | 28a Montillana | 27,64 | 0,00650 | 250 | 450 | 0,35 | 0 | 0,078 | 2,87 | 1,27 | 2,96 |
| | 28b Manzanillo | 14,20 | 0,00650 | 250 | 500 | 0,35 | 0 | 0,078 | 1,47 | 0,99 | 2,31 |
| | 28c Montejicar | 12,89 | 0,00650 | 250 | 500 | 0,35 | 0 | 0,078 | 1,34 | 1,19 | 2,77 |
| UH 05.29/Sierra Colomera | 29a Los Morrones | 23,49 | 0,00650 | 250 | 450 | 0,35 | 0 | 0,078 | 2,44 | 1,07 | 2,50 |
| | 29b Colomera | 15,22 | 0,00650 | 250 | 450 | 0,35 | 0 | 0,078 | 1,58 | 0,57 | 1,34 |
| | 29c Pozuelo-Las Cabras | 59,23 | 0,00650 | 250 | 450 | 0,35 | 0 | 0,078 | 6,14 | 3,59 | 8,38 |
| UH 05.30/Sierra Arana | 30a Periarde-Moreda-Piñar | 17,68 | 0,00550 | 250 | 450 | 0,35 | 0 | 0,078 | 2,17 | 1,90 | 3,76 |
| | 30c Despeñadero-Cañamaya | 6,96 | 0,00550 | 100 | 500 | 0,30 | 0 | 0,078 | 0,85 | 1,18 | 1,20 |
| UH 05.34/Madrid- Parapanda | 34a Sierra Pelada | 4,58 | 0,00650 | 200 | 350 | 0,35 | 0 | 0,078 | 0,47 | 0,23 | 0,53 |
| | 34b Sierra Madrid | 10,21 | 0,00650 | 200 | 450 | 0,35 | 0 | 0,078 | 1,06 | 0,52 | 1,22 |
| | 34c Sierra Obéilar | 2,80 | 0,00850 | 200 | 350 | 0,35 | 0 | 0,078 | 0,22 | 0,11 | 0,32 |
| | 34d Sierra Parapanda | 7,10 | 0,00550 | 200 | 450 | 0,30 | 0 | 0,078 | 0,87 | 1,20 | 0,63 |

Tabla 79. *Parámetros modelación embalses subterráneos sector septentrional Cornisa de Granada. Modelos unicelulares*

| UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS | EMBALSES SUBTERRÁNEOS | ACUÍFEROS SIMGES (Número en el Esquema Topológico y Nombre) | | V _o (hm ³) | α (mes ⁻¹) |
|-----------------------------|---------------------------|---|-------------------------------|-----------------------------------|------------------------|
| 05.28/Montes Orientales | 28a-Montillana | 11 | Alta Coloma-Montillana | 4,34 | 0,195 |
| | 28b-Manzanillo | | | | |
| | 28c-Montejícar | 12 | Montejícar | 1,34 | 0,195 |
| 05.29/Sierra Colomera | 29a-Los Morrones | 14 | Los Morrones | 2,44 | 0,195 |
| | 29b-Colomera | 2 | Colomera | 1,58 | 0,195 |
| | 29c-Pozuelo-Las Cabras | 13 | Pozuelo-Las Cabras | 6,14 | 0,195 |
| 05.30/Sierra Arana | 30a-Periarte-Moreda-Piñar | 10 | Periarte-Moreda-Piñar | 2,17 | 0,165 |
| | 30b-Sierra Arana | 3 | Sierra Arana | - | - |
| | 30c-Despeñadero-Cañamaya | 16 | Despeñadero-Cañamaya | 0,85 | 0,165 |
| 05.34/Madrid- Parapanda | 34a-Sierra Pelada | 1 | Madrid-Pelada-Obéilar | 1,76 | 0,2020 |
| | 34b-Sierra Madrid | | | | |
| | 34c-Sierra Obéilar | | | | |
| | 34d-Sierra Parapanda | 15 | Parapanda | 0,87 | 0,165 |

Tabla 80. *Acuíferos considerados en SIMGES. Sector septentrional Cornisa de Granada*

El **acuífero de Sierra Arana** ha sido simulado mediante un modelo tipo manantial de 3 celdas (manantial multicelda) con las siguientes características:

| Celda n° | Parámetro agotamiento | | Coef. Reparto | Caudal inicial (l/s) | Volumen inicial (hm ³) | Acciones Elementales | |
|----------|-----------------------|------------------------|---------------|----------------------|------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|
| | α (d ⁻¹) | α (mes ⁻¹) | | | | Infiltración Lluvia | Transf. Lateral Despeñadero-Cañamaya |
| 1 | 0,00020 | 0,0060 | 0,45 | 389 | 35,360 | 0,45 | 0,55 |
| 2 | 0,00085 | 0,0255 | 0,35 | 302 | 27,502 | 0,35 | 0,30 |
| 3 | 0,00250 | 0,0750 | 0,20 | 173 | 15,715 | 0,20 | 0,15 |
| | | Sumas | 1,00 | 864 | 78,577 | 1,00 | 1,00 |

Tabla 81. *Parámetros simulación acuífero Sierra Arana*

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LA RESPUESTA QUE OFRECE EL USO CONJUNTO ANTE LA DUALIDAD PRECIO-DEMANDA. COMPARACIÓN CON OTRAS FILOSOFÍAS DE GESTIÓN HÍDRICA. APLICACIÓN A LA CORNISA DE LA VEGA DE GRANADA

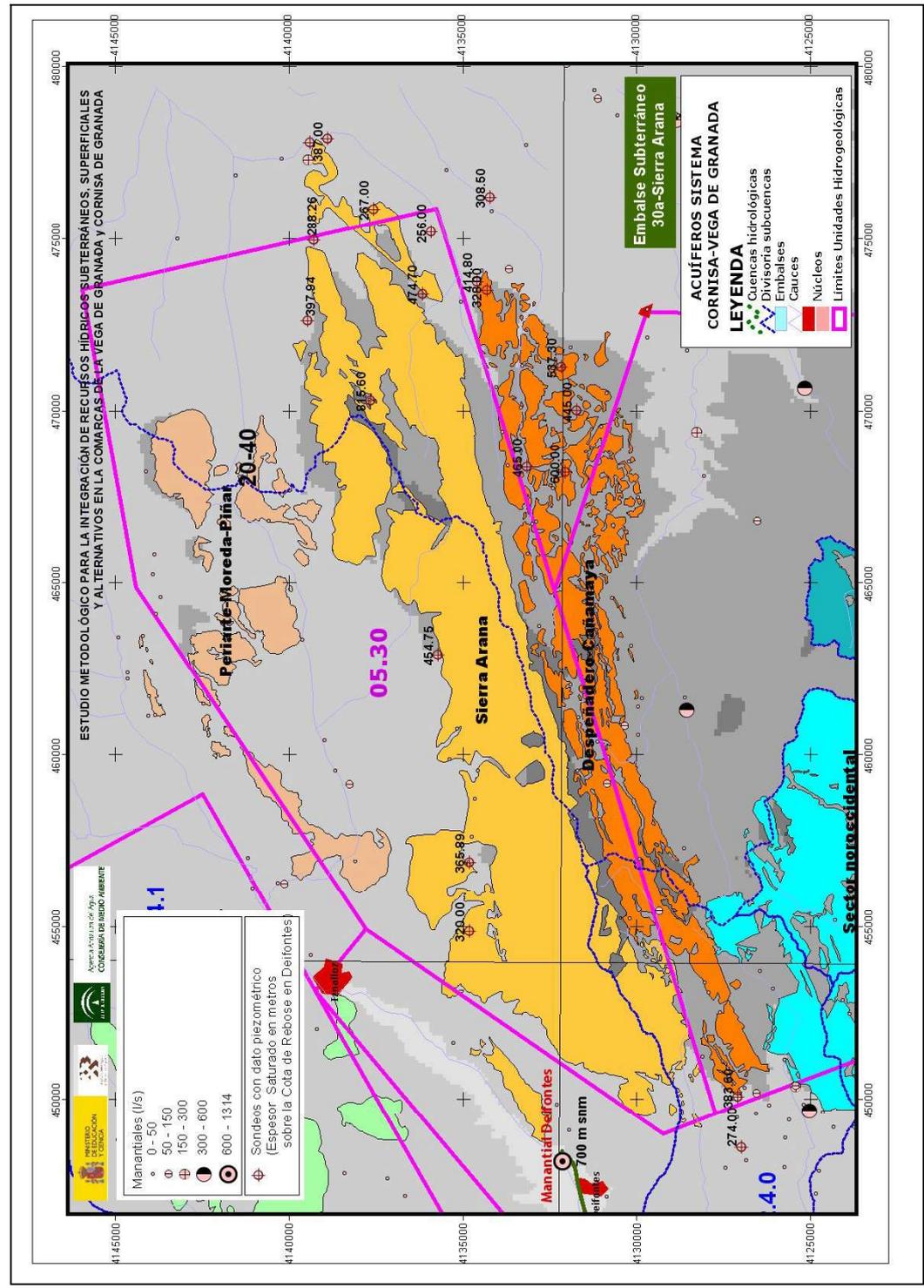


Figura 148. Embalse subterráneo de Sierra Arana. Datos piezométricos (espesor saturado sobre la cota de rebose)

El parámetro fundamental es el coeficiente de agotamiento concedido a las celdas. Según los datos bibliográficos procedentes de la interpretación de los hidrogramas correspondientes a la descarga del manantial de Deifontes (principal punto de descarga de este embalse subterráneo) el valor del coeficiente de agotamiento se fija en $0,58 \text{ año}^{-1}$ (IGME–Atlas Hidrogeológico de Granada), lo que equivale a $0,0483 \text{ mes}^{-1}$ ($0,00161 \text{ días}^{-1}$).

Según el modelo P–E de Temez descrito en el capítulo 6.9.6 se obtiene un parámetro de agotamiento único de $0,00095 \text{ días}^{-1}$ ($0,0285 \text{ mes}^{-1}$), algo inferior al parámetro de agotamiento que aparece en la bibliografía.

Según el modelo de agotamiento descrito en el capítulo 6.9.6, los parámetros de agotamiento fijados oscilan entre $0,00105$ y $0,00380 \text{ días}^{-1}$.

Para el modelo pluricelular implementado en SIMGES los parámetros de agotamientos concedidos a las tres celdas consideradas oscilan entre $0,00020$ y $0,0025 \text{ días}^{-1}$.

| Valores del parámetro de agotamiento en mes^{-1} . Embalse Subterráneo Sierra Arana | | | | | |
|--|------------------|--|--------|----------------------------|--------|
| Interpretación tramos del hidrograma | Modelo P–E Temez | Modelo de agotamiento basado en el modelo P–E Temez modificado | | Modelo pluricelular SIMGES | |
| 0,0483 | 0,0285 | α_n | 0,0315 | α_1 | 0,0060 |
| | | α_g | 0,0105 | α_2 | 0,0255 |
| | | α_r | 0,1140 | α_3 | 0,0750 |

Tabla 82. *Valores del parámetro de agotamiento para el embalse subterráneo de Sierra Arana*

No obstante, se obtienen unos resultados muy similares para las series de descarga del manantial de Deifontes considerando el modelo de agotamiento basado en el modelo agregado P–E de Temez modificado, como para el modelo tipo pluricelular de 3 celdas considerado en el SIMGES (Figuras 149 y 150).

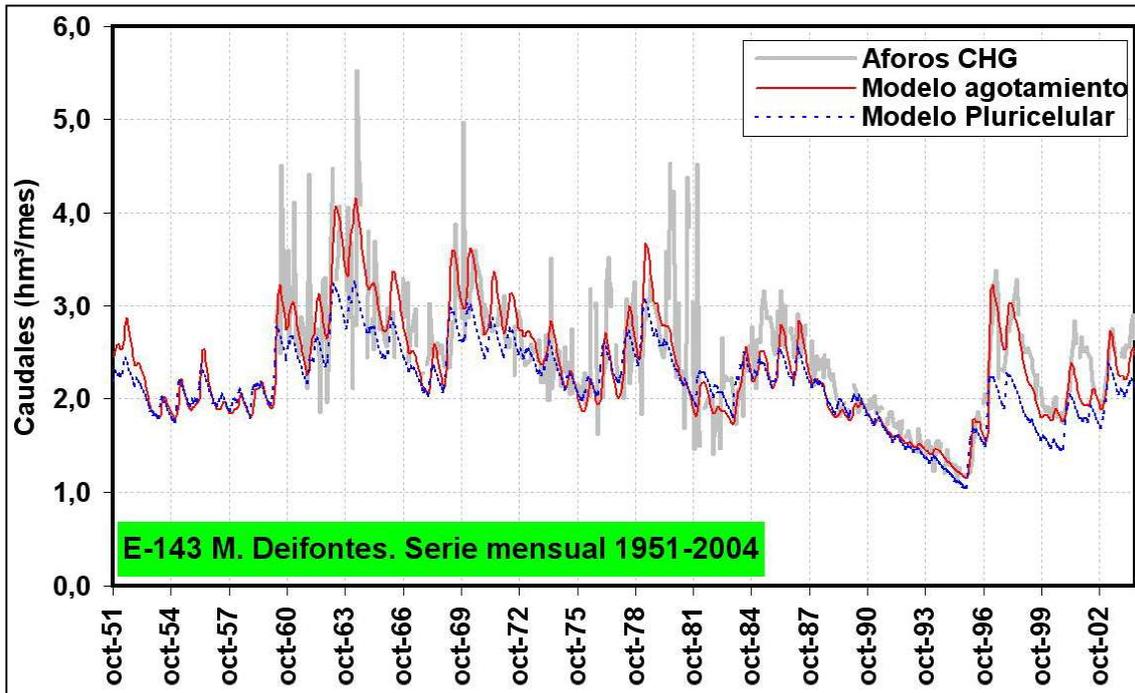


Figura 149. Simulación de la descarga del manantial Deifontes (30a-Sierra Arana). Compartiva Modelo Pluricelular con Modelo Agotamiento Serie Mensual

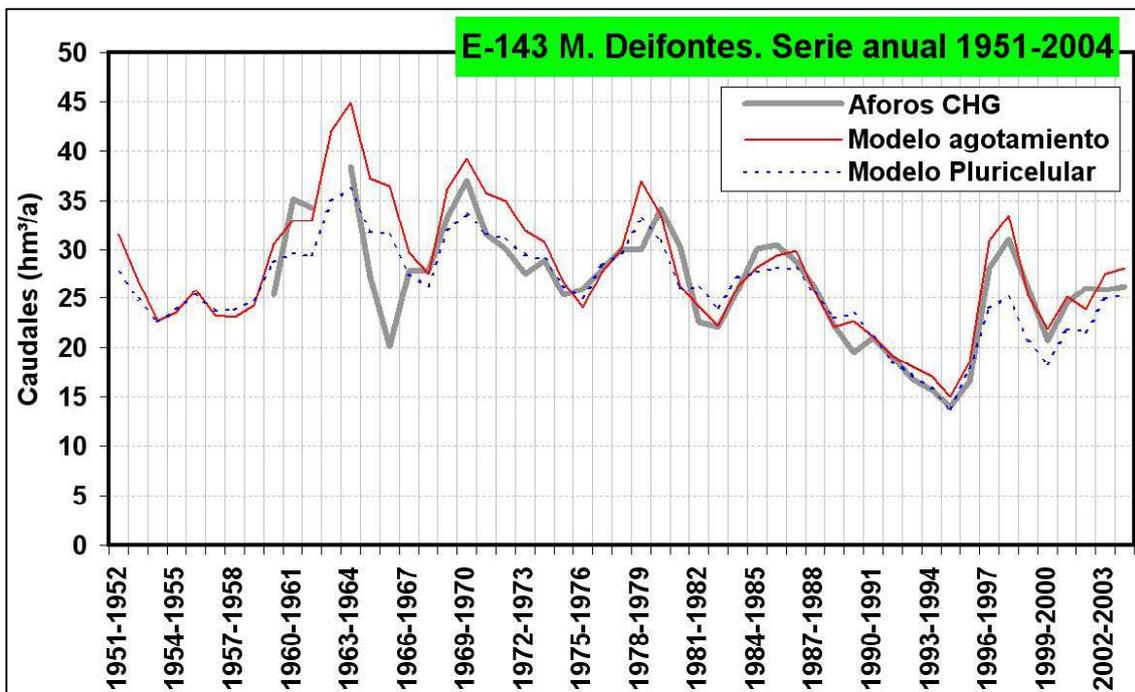


Figura 150. Simulación de la descarga del manantial Deifontes (30a-Sierra Arana). Compartiva Modelo Pluricelular con Modelo Agotamiento Serie Anual

En la tabla 83 se muestran los coeficientes de correlación obtenidos para las series mensuales y anuales según los modelos de simulación empleados.

| R^2 Series mensuales | Aforos CHG | Modelo Pluricelular SIMGES | Modelo Agotamiento |
|--|--------------|----------------------------|--------------------|
| Modelo Temez modificado | 0,747 | 0,981 | 0,957 |
| Modelo Agotamiento | 0,752 | 0,924 | |
| Modelo Pluricelular SIMGES | 0,714 | | |
| R^2 Series anuales | Aforos CHG | Modelo Pluricelular SIMGES | Modelo Agotamiento |
| Modelo Temez modificado | 0,840 | 0,992 | 0,958 |
| Modelo Agotamiento | 0,843 | 0,937 | |
| Modelo Pluricelular SIMGES | 0,830 | | |

Tabla 83. *Coeficiente correlación series mensuales y anuales descarga manantial Deifontes*

Las diferencias aparecen cuando se calcula el volumen de reservas de aguas subterráneas existentes en el acuífero por encima de la cota de rebose (manantial de Deifontes).

Para el modelo P-E de Temez modificado, con un coeficiente de agotamiento de $0,0285 \text{ mes}^{-1}$, el volumen de agua almacenado mensual promedio por encima de la cota de rebose de $83,14 \text{ hm}^3$, lo que supone un espesor saturado promedio de $153,97 \text{ m}$ por encima de la cota de rebose⁷.

Para el modelo de agotamiento desarrollado en el capítulo 6.9.6 (donde se consideran tres parámetros de agotamiento, según el estado dinámico del embalse subterráneo), el volumen de agua almacenado mensual promedio por encima de la

cota de rebose de 75,03 hm³, lo que supone un espesor saturado promedio de 138,94 m por encima de la cota de rebose.

Para el modelo pluricelular implementado en SIMGES, el volumen de agua almacenado mensual promedio por encima de la cota de rebose de 202,94 hm³, lo que supone un espesor saturado promedio de 375,82 m por encima de la cota de rebose.

No se dispone de series piezométricas de Sierra Arana, que permitan fijar cuál de los volúmenes calculados es más correcto, sólo se tienen datos piezométricos aislados que indican un elevado gradiente hidráulico en el embalse subterráneo (3% ver Figura 148), lo que en cierta medida es congruente con la respuesta hidrodinámica que este sistema hidrogeológico ofrece a través del manantial de Deifontes, reflejada por coeficientes de agotamiento bajos que muestran un sistema hidrogeológico de elevada inercia (el tiempo de semi-agotamiento de entre 1,5 a 9,5 años).

No obstante, es posible que en el entorno de la descarga de Deifontes se produzca una elevada pérdida de carga por cuestiones de tipo geoestructural (disposición estructural del acuífero jurásico, levantamiento del impermeable de base - facies Keuper, aparición de materiales terciarios de baja permeabilidad, etc.) que condicionan una reducción del espesor en el acuífero. De forma que el gradiente hidráulico en el resto del embalse subterráneo tendría un valor inferior.

⁷ El embalse subterráneo de Sierra Arana dispone de unos afloramientos permeables de 108 km², se considera una porosidad eficaz del 0,5% y la cota de rebose se asocia al manantial de Deifontes (700 m snm).

10.2.8.2 Sector Sierra Huétor–Sierra Nevada

Este sector incluye los embalses subterráneos asociados a las unidades hidrogeológicas 05.31 /La Peza y 05.65/Padúl.

| EMBALSES SUBTERRÁNEOS | | Superf. Afloram. (km ²) | Parámetros Modelo de Temez | | | | | | | Resultados Modelo P-E Temez Serie 1951-2004 | |
|---------------------------|----------------------|-------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|---|------|---------------------|-------------------------|-----------------------------------|---|---------------------------------|
| | | | α (días ⁻¹) | H _{max} (mm/mes) | l _{max} sup. Permeab. (mm/mes) | C | H _o (mm) | q _o (l/s/ha) | V _o (hm ³) | Volumen almac. (hm ³) | Esc. Subt. (hm ³ /a) |
| UH 05.31/La Peza | 31a Noroccidental | 52,88 | 0,0045 | 200,00 | 400,00 | 0,35 | 0,00 | 0,08 | 7,92 | 14,44 | 12,28 |
| | 31b Aguas Blancas | 32,04 | 0,0045 | 150,00 | 500,00 | 0,30 | 0,00 | 0,08 | 4,80 | 4,54 | 7,33 |
| | 31c A° Padules | 13,72 | 0,0045 | 150,00 | 500,00 | 0,30 | 0,00 | 0,08 | 2,05 | 2,06 | 3,32 |
| | 31d Gúejar-Sierra | 30,17 | 0,0035 | 150,00 | 500,00 | 0,30 | 0,00 | 0,08 | 5,81 | 6,19 | 7,77 |
| | 31e Cerro Carcabal | 3,26 | 0,0035 | 150,00 | 500,00 | 0,30 | 0,00 | 0,08 | 0,63 | 0,57 | 0,71 |
| UH 05.65/Sierra del Padúl | 65a Genil | 16,52 | 0,0035 | 150,00 | 500,00 | 0,30 | 0,00 | 0,08 | 3,18 | 4,00 | 5,03 |
| | 65b Víboras-Monachil | 43,34 | 0,0035 | 150,00 | 500,00 | 0,30 | 0,00 | 0,08 | 8,34 | 5,70 | 7,16 |
| | 65c Dílar | 22,83 | 0,0035 | 150,00 | 500,00 | 0,30 | 0,00 | 0,08 | 4,40 | 4,26 | 5,35 |

Tabla 84. *Parámetros modelación embalses subterráneos sector Huétor–Sierra Nevada. Modelos unicelulares*

Estos embalses subterráneos han sido simulados mediante modelos unicelulares estableciendo agrupaciones en función de la relación que guardan con las vertientes de aguas superficiales, esto es, en función de los cauces que reciben la descarga de estos embalses subterráneos. Así, en el modelo de simulación SIMGES se han fijados los acuíferos que se incluyen en la tabla 84 y cuyos parámetros de modelación se muestran en la tabla 85.

| UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS | EMBALSES SUBTERRÁNEOS | ACUÍFEROS SIMGES (Número en el Esquema Topológico y Nombre) | | V _o (hm ³) | α (mes ⁻¹) |
|-----------------------------|--------------------------|---|-----------------|-----------------------------------|------------------------|
| | | | | | |
| 05.31 / La Peza | 31a-Noroccidental | 17 | La Peza-Darro | 6,34 | 0,135 |
| | | 4 | La Peza-Bermejo | 1,58 | 0,135 |
| | 31b-Aguas Blancas | 18 | La Peza-Quéntar | 7,48 | 0,133 |
| | 31c-Arroyo Padules | | | | |
| | 31e-Cerro Carcabal | | | | |
| 31d-Güejar-Sierra | 19 | La Peza-Canales | 5,81 | 0,105 | |
| 05.65/Padúl | 65a-Genil | 5 | Padúl-Canales | 3,18 | 0,105 |
| | 65b-Víboras-Monachil | 20 | Padúl-Monachil | 8,34 | 0,105 |
| | 65c-Dílar | 6 | Padúl-Dílar | 4,40 | 0,105 |

Tabla 85. Acuíferos considerados en SIMGES. Sector Huétor-Padúl

10.2.8.3 Sector Meridional de la Cornisa de Granada

Este sector incluye los embalses subterráneos de la unidad hidrogeológica 05.42/Tejeda-Almijara. Los parámetros característicos de estos embalses subterráneos se muestran en la tabla 86.

| EMBALSES SUBTERRÁNEOS | Superf. Afloram. (km ²) | Parámetros Modelo de Temez | | | | | | | Resultados Modelo P-E Temez Serie 1951-2004 | | |
|---|---|----------------------------|------------------------------|---|--------|---------------------|----------------------------|-----------------------------------|---|------------------------------------|-------|
| | | α (días ⁻¹) | H _{max} (mm/mes) | l _{max} sup. Permeab. (mm/mes) | C | H _o (mm) | q _o (l/s/ha) | V _o (hm ³) | Volumen almac. (hm ³) | Esc. Subt. (hm ³ /a) | |
| UH 05.42/Sierra Tejeda- Almijara | 42a Sierra Tejeda | 94,29 | 0,0035 | 150,00 | 500,00 | 0,30 | 0,00 | 0,08 | 18,16 | 16,55 | 20,77 |
| | 42b Almijara | 73,17 | 0,0035 | 150,00 | 500,00 | 0,30 | 0,00 | 0,08 | 14,09 | 12,84 | 16,12 |
| | 42c Agrón | 73,69 | 0,0035 | 200,00 | 450,00 | 0,35 | 0,00 | 0,08 | 14,19 | 6,82 | 6,48 |

Tabla 86. Parámetros modelación embalses subterráneos sector Meridional de la Cornisa de Granada. Modelos unicelulares

El embalse subterráneo 42c-Agrón ha sido simulado mediante un modelo unicelular, mientras que el acuífero que aglutina a los embalses subterráneos de 42a-

Sierra Tejeda y 42b-Almijara ha sido simulado mediante un modelo tipo manantial de 2 celdas.

| UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS | EMBALSES SUBTERRÁNEOS | ACUÍFEROS SIMGES (Número en el Esquema Topológico y Nombre) | | V _o (hm ³) | α (mes ⁻¹) |
|-----------------------------|--------------------------|---|-----------------|-----------------------------------|------------------------|
| 05.42/Tejeda-Almijara | 42a-Sierra Tejeda | 8 | Tejeda-Almijara | 32,24 | 0,105 |
| | 42b-Almijara | | | | |
| | 42c Agrón | 7 | Albuñuelas | 14,19 | 0,105 |

Tabla 87. *Acuíferos considerados en SIMGES-Sector Huétor-Padúl. Parámetros modelo P-E de Temez modificado*

Los parámetros de modelación en SIMGES del acuífero Tejeda-Almijara (que aglutina los embalses subterráneos de Sierra Tejeda -vertiente Cacín- y Almijara -vertiente Cacín-) se han determinado a partir del análisis de las series de aportación que registra el embalse de Los Bermejales, donde se regulan la mayor parte de las descargas que registran estos embalses subterráneos.

Asimismo, se han analizado las curvas de agotamiento correspondientes a las series de aforo de que dispone la CHG en los manantiales de Játar (punto de descarga natural del embalse subterráneo de Sierra Tejeda-vertiente Cacín). El análisis de las curvas de recesión de los manantiales de Játar (Gordo -184340005, La Cueva -184340006- y Menudo -184340002-) ha permitido fijar el coeficiente de agotamiento para estas surgencias (tabla 88).

| Manantial | NIPA IGME | Coeficiente de agotamiento α (días ⁻¹) | | |
|----------------|-----------|---|--------|--------------------|
| M. CUEVA | 184340006 | 0,0019 | 0,0008 | |
| M. GORDO | 184340005 | 0,0020 | 0,0015 | 0,0008 |
| M. MENUDO | 184340002 | 0,0040 | 0,0020 | |
| Valor promedio | | | 0,0019 | días ⁻¹ |
| | | | 0,0577 | mes ⁻¹ |

Tabla 88. *Coeficiente de agotamiento manantiales Játar- embalse subterráneo de Sierra Tejeda-vertiente Cacín*

La aplicación del modelo de Temez modificado a la cuenca de recepción del embalse Los Bermejales, ha permitido establecer un coeficiente de agotamiento para el conjunto de embalses subterráneos vinculados a esta zona de $0,105 \text{ mes}^{-1}$. Esta cifra es algo superior a la calculada a partir de los aforos de la CHG en los manantiales de Játar ($0,0577 \text{ mes}^{-1}$). Lo que se justifica considerando que la escorrentía que recibe el embalse no sólo procede del acuífero de Sierra Tejada, sino también del acuífero de Almijara, que presentará otros parámetros hidrodinámicos diferentes.

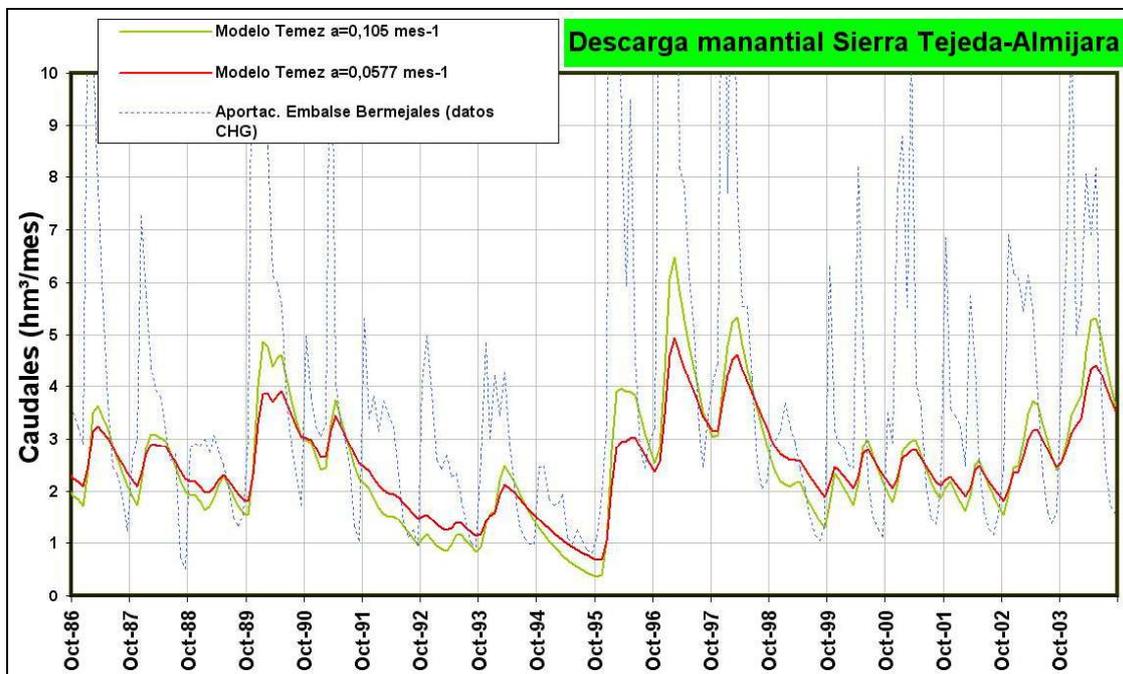


Figura 151. Comparativa de la simulación de la descarga de los manantiales de Játar (S^a Tejada) según el coeficiente de agotamiento

Como se observa en la Figura 151, se consigue un mejor ajuste utilizando el parámetro de agotamiento $0,105 \text{ mes}^{-1}$ para el acuífero Tejada-Almijara. Para la simulación del embalse subterráneo Tejada-Almijara (Figura 152) en SIMGES se ha dispuesto un modelo tipo manantial de 2 celdas con las siguientes características que se muestran en la tabla 89.

| Celdas | Coef. Reparto | V _o (hm ³) | α (mes ⁻¹) |
|--------|---------------|-----------------------------------|------------------------|
| 1 | 0,50 | 16,123 | 0,0577 |
| 2 | 0,50 | 16,123 | 0,1050 |
| | | 32,245 | |

Tabla 89. Parámetros de simulación del embalse subterráneo Tejada-Almijara en SIMGES

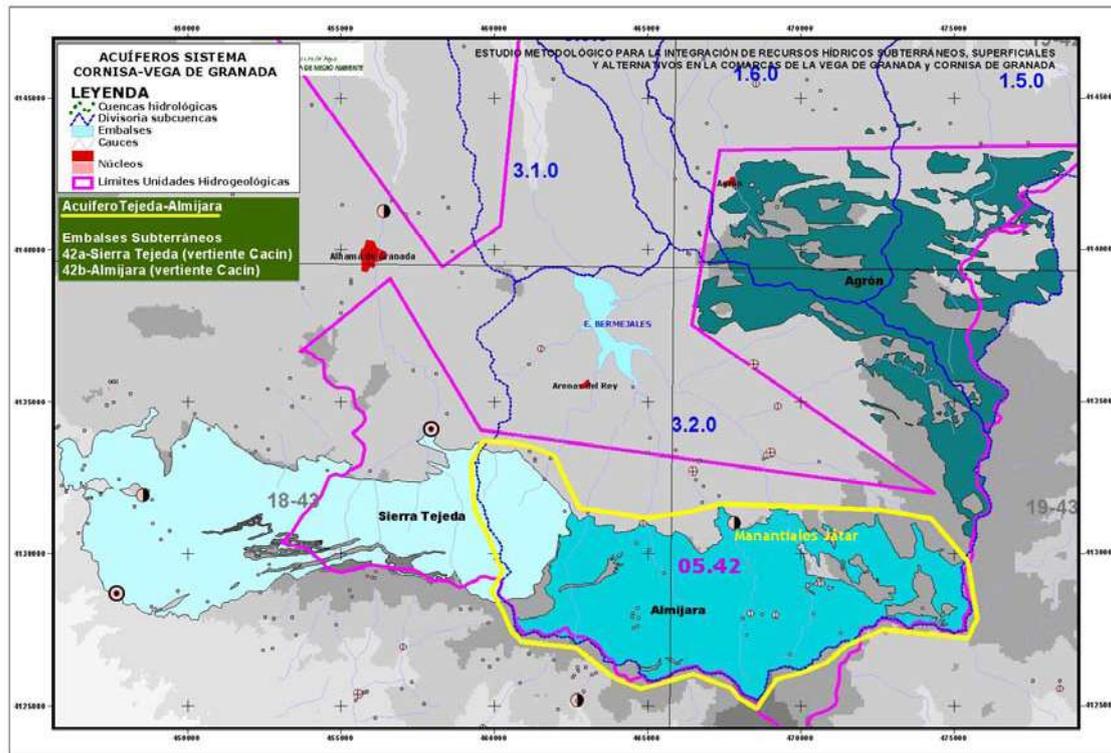


Figura 152. Embalses subterráneos S^a Tejada y Almijara. Acuífero Tejada-Almijara

Con este modelo matemático para el embalse subterráneo Tejada-Almijara se consigue un ajuste bastante bueno entre la serie generada por SIMGES para la aportación al embalse de Bermejales (generada a partir del modelo de Temez modificado) y los registros de la CHG, como puede observarse en la Figura 153 (coeficiente de correlación del 83,6% para la series mensuales y del 96,2% para las series anuales). Los valores de esorrentía obtenidos mediante el modelo son algo superiores a los registrados en el embalse, esto se debe a que los valores máximos no

suelen ser correctamente registrados en el embalse debido a la gran superficie que presenta.

En la simulación realizada en SIMGES se ha considerado la aportación al embalse de Bermejales procedente del trasvase del río Alhama (Figura 154), que se ha reconstruido como un porcentaje a partir de la serie sintética que generó la Oficina de Planificación de la CHG mediante el modelo P-E Sacramento para la cuenca del río Alhama.

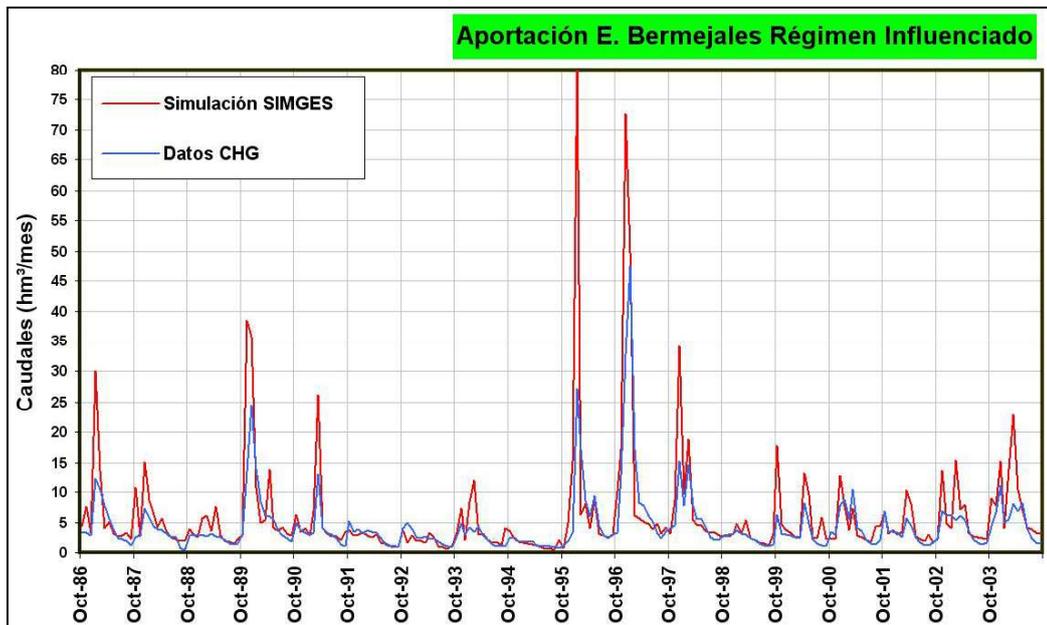


Figura 153. Comparativa de la aportación al embalse de Bermejales. Serie obtenida mediante SIMGES y la registrada por la CHG

A tal efecto se ha considerado que el trasvase corresponde a un 55% de la escorrentía que registra la cabecera del río Alhama, lo que implica un caudal promedio anual de trasvase de 10,03 hm³.

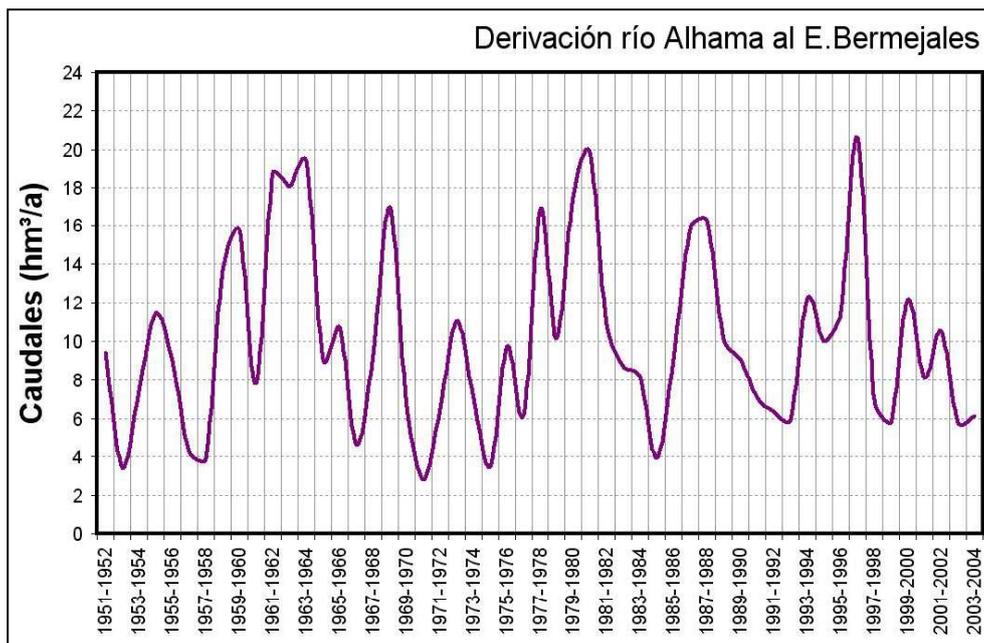


Figura 154. Serie de caudales utilizada en SIMGES para simular el trasvase desde el río Alhama al embalse de Bermejales

10.2.8.4 Sector Vega de Granada

Este sector hidrogeológico acoge los embalses subterráneos Vega de Granada y Sierra Elvira, ambos hidráulicamente conectados. Por esta razón han sido modelados de forma conjunta, de manera que el embalse subterráneo Vega de Granada ha sido simulado mediante un modelo de parámetros distribuidos (método de autovalores), considerando al embalse subterráneo de Sierra Elvira en este modelo como una transferencia lateral al embalse subterráneo Vega de Granada.

El método de autovalores (Andreu, J. y Sauquillo, A., 1987) permite la simulación de la respuesta de un embalse subterráneo, al que se le supone que presenta un comportamiento lineal, cuando interesa conocer la respuesta en determinadas zonas del sistema hidrogeológico (parámetros de control) y sobre el que

se ejerzan una serie de acciones que puedan ser descritas como combinaciones lineales de unas acciones unitarias predeterminadas (acciones elementales).

Para el desarrollo del modelo de simulación del embalse subterráneo Vega de Granada mediante el método de autovalores se ha utilizado el software AQUIVAL, incluido en el paquete AQUATOOL, y se ha seguido la siguiente metodología:

1. Confección de una malla de diferencias finitas adaptada a la forma del acuífero (**discretización espacial del embalse subterráneo**).
2. **Definición de las características hidrodinámicas del acuífero** (transmisividades, coeficiente de almacenamiento), así como de su geometría y de las condiciones de contorno e iniciales. Para establecer estos parámetros de simulación se ha construido previamente un modelo en diferencias finitas utilizando MODFLOW del embalse subterráneo Vega de Granada, apoyado en el modelo desarrollado en 1983 por el IGME, calibrado en régimen permanente, que correspondería al régimen natural del sistema hidrogeológico
3. **Construcción del modelo de autovalores** y validación del mismo tomando como referencia el modelo en diferencias finitas en régimen permanente desarrollado.
4. Definición de las **acciones elementales** (recarga por infiltración de agua de lluvia y en cauces influentes, retornos de regadíos y bombeos).
5. Definición de los **parámetros de control** que permiten analizar la respuesta del modelo de autovalores (evolución de la piezometría, caudales efluentes en cauces y transferencias laterales).
6. Obtención de las **matrices** necesarias para incluir el **modelo de autovalores** desarrollado en el modelo para simulación de la gestión conjunta del sistema Cornisa-Vega de Granada.

10.2.8.4.1 Discretización espacial del embalse subterráneo

El modelo en diferencias finitas consta de una sola capa de flujo, cuyo muro ha sido definido en función de la información disponible, trazando el mapa de isopacas y el de isobatas considerando el modelo digital del terreno disponible.

El mallado en diferencias finitas establecido corresponde a celdas cuadrangulares de 1kmx1km de extensión que permite, junto con las superficie de techo (superficie del terreno) y muro del acuífero, la discretización espacial del embalse subterráneo.

Este mallado en diferencias finitas se ha utilizado en el modelo numérico en diferencias finitas empleado (MODFLOW) y en el modelo de autovalores. Por tanto, en ambos modelos coincide la discretización espacial utilizada.

En la Figura 155 se muestra el mallado en diferencias finitas utilizado para la simulación del embalse subterráneo Vega de Granada.

En las Figuras 156 y 157 se muestran, respectivamente, los mapas de isopacas e isobatas, del acuífero que define el embalse subterráneo Vega de Granada.

10.2.8.4.2 Construcción del modelo matemático en diferencias finitas (MODFLOW)

Este modelo se ha calibrado en régimen permanente, que corresponde al régimen natural del sistema hidrogeológico, utilizando para ellos los datos piezométricos de que dispone el IGME y los datos del balance hidrogeológico que aparecen en diferentes publicaciones.

Las condiciones de contorno consideradas corresponden a los siguientes criterios (Figura 159):

- **Transferencias laterales subterráneas** procedentes del acuífero de Sierra Elvira y las formaciones cuaternarias de La Zubia (borde suroriental) y de la Formación Alhambra (borde nororiental). Estas transferencias laterales subterráneas han sido simuladas mediante condiciones tipo General Head Boundary (HGB) con los siguientes parámetros de simulación:

| Condición de borde | Conductancia (m ² /d) | Potencial constante (m snm) | Caudal transferido en Régimen Permanente (m ³ /d) |
|--|----------------------------------|-----------------------------|--|
| Transferencia lateral de Sierra Elvira | 500 | 570 | 18.870 |
| Transferencia lateral del Cuaternario Fm. Alhambra | 100–2.500 | 665–715 | 14.342 |
| Transferencia lateral del Cuaternario Fm. La Zubia | 1.500 | 685–690 | 20.275 |
| Suma | | | 53.487 |

Tabla 90. *Parámetros empleados para simular la transferencia lateral subterránea en la modelación del embalse subterráneo Vega de Granada*

En el modelo en diferencias finitas (MODFLOW) se ha pretendido que las transferencias laterales subterráneas que recibe el embalse subterránea Vega de Granada se aproximen a las cifras que aparecen en la tesis doctoral “Estudio hidroquímico del acuífero de la Vega de Granada, A. Castillo–1986).

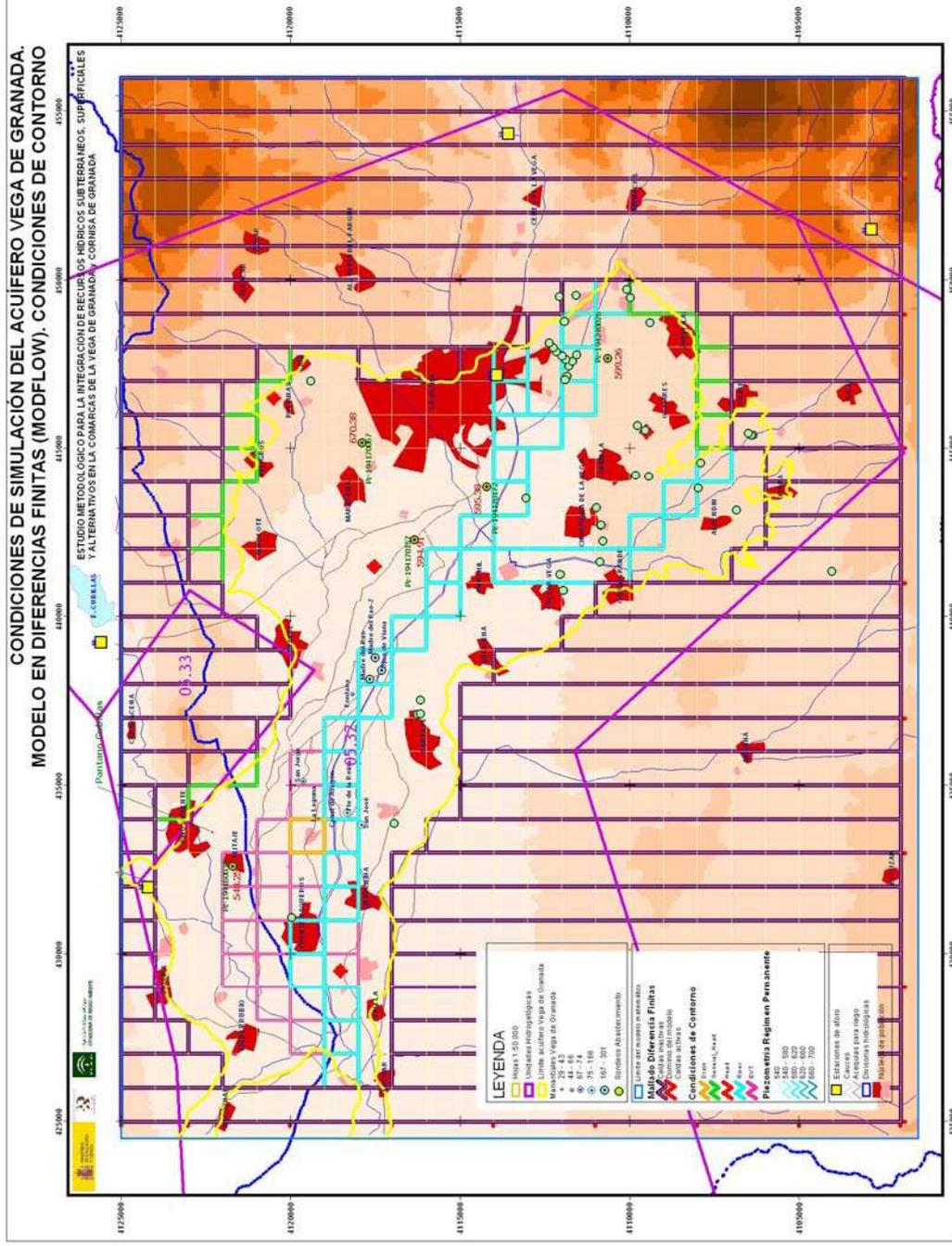


Figura 159. Condiciones de contorno consideradas en el modelo diferencias finitas (MODFLOW) del embalse subterráneo Vega de Granada

- **Relación río-acuífero.** Se ha simulado mediante el paquete RIVER del MODFLOW, imponiendo condición tipo río a los cursos fluviales del Genil, Monachil y Dílar, con un nivel de base para las celdas con condición de río correspondiente a la cota topográfica obtenida de los mapas 1:10.000 y unos valores de conductancia adecuados para conseguir el efecto de drenaje hacia el río en el sector occidental (zona de descarga –río ganador–) y de recarga desde los cauces en el sector oriental (zona de recarga –río perdedor–).

La alimentación que recibe el embalse subterráneo procedente de los cauces superficiales (Dílar, Monachil y Genil) la calcula el paquete MODFLOW considerando la cota topográfica de la base del río (tomada de los mapas 1:10.000), una altura de lámina de agua en el río que por término medio se ha fijado en 0,50 m y una conductancia para el substrato del río que se ha considerado muy elevada (7.500 m²/d para los ríos Dílar y Monachil y 10.000 m²/d para el Genil).

Considerando el procedimiento de cálculo de que dispone MODFLOW para la condición tipo río, que el acuífero en la zona de recarga de los cauces (sector oriental) se encuentra desconectado hidráulicamente del río (efecto ducha) y los condicionantes de cálculo señalados, el caudal de escorrentía superficial que se transfiere desde el río al acuífero correspondería a:

$$Q_{\text{río}} = C_{\text{río}} \cdot \Delta h$$

donde:

$Q_{\text{río}}$, caudal de recarga desde el cauce al embalse subterráneo (m³/d)

$C_{\text{río}}$, conductancia del lecho del río (m²/d)

$$C_{\text{río}} = K_{\text{río}} \frac{L \cdot W}{M}$$

donde:

$K_{\text{río}}$, permeabilidad del lecho del río (m/d)

L , longitud del río (m) en la celda considerada

W , anchura del río (m) en la celda considerada

M , espesor del lecho del río (m)

Δh , lámina de agua en el río (m)

| Cauces | $K_{\text{río}}$ (m/d) | L (m) | W (m) | M (m) | C (m ² /d) | Δh (m) | $Q_{\text{río}}$ (m ³ /d) | $Q_{\text{río}}$ (l/s.100m) |
|----------|------------------------|---------|---------|---------|-------------------------|----------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| Genil | 0,500 | 1.000 | 10 | 0,50 | 10.000 | 0,50 | 5.000 | 5,79 |
| Dílar | 0,375 | 1.000 | 5 | 0,25 | 7.500 | 0,50 | 3.750 | 4,34 |
| Monachil | 0,375 | 1.000 | 5 | 0,25 | 7.500 | 0,50 | 3.750 | 4,34 |

Tabla 91. *Parámetros simulación condición tipo río (efecto ducha-MODFLOW paquete river) en el embalse Vega de Granada*

Para la zona oriental del embalse subterráneo, donde los ríos recargan según un “efecto ducha” se cifra la alimentación que recibe de la escorrentía superficial en 85.000 m³/d (31,03 hm³/a).

En la zona central del embalse subterráneo (Atarfe-Santa Fé) el río presenta un comportamiento dual ganador-perdedor, ya que en esta zona existe conexión hidráulica entre el río y el acuífero (para el régimen permanente representado). En este caso la recarga que recibe el embalse subterráneo desde el río se calcula en función de la conductancia del lecho del cauce y la diferencia de carga hidráulica que se establece entre la lámina de agua en el río ($H_{\text{río}}$, 0,50 m por encima de la cota topográfica del lecho) y la piezometría en el acuífero (h).

$$Q_{\text{río}} = K_{\text{río}} \frac{L \cdot W}{M} \cdot (H_{\text{río}} - h)$$

En este tramo intermedio del río Genil se cifra la recarga desde el cauce en 6.413 m³/d (2,34 hm³/a). Por tanto, la recarga diferida que recibe el embalse subterráneo por infiltración de escorrentía superficial en los cauces se cifra en 33,37 hm³/a, un 19% de la escorrentía promedio que registran estos cauces según los datos del modelo Temez modificado desarrollado en el presente estudio (Genil estación de aforos n^o100: 131,60 hm³/a; río Monachil: 24,22 hm³/a; y río Dílar: 19,44 hm³/a).

- **Zona de evapotranspiración**, correspondiente al sector occidental del acuífero, que es donde se concentran las mayores explotaciones de plantas freatofitas, las cuales favorecen los procesos de evapotranspiración desde la zona saturada del acuífero, cuando el nivel piezométrico se sitúa muy superficial. Las condiciones de simulación consideradas corresponden a una tasa de evapotranspiración de 0,0011 m/d (que equivale a una tasa anual de 400 mm) y a una profundidad de extinción de la zona de evapotranspiración de 5m, de manera que si el nivel piezométrico se sitúa a una profundidad mayor que estos 5 m, no se produce evapotranspiración desde el embalse subterráneo por acción de las plantas.

Considerando la distribución de permeabilidad que aparece en la Figura 160 y las condiciones de contorno descritas (Figura 159), se ha obtenido la piezometría en régimen permanente del embalse subterráneo Vega de Granada (Figura 165), la que se ha cotejado con los mapas piezométricos trazados para años en lo que los bombeos eran prácticamente inexistentes (junio de 1969, Figura 166).

Partiendo de esta piezometría para el régimen permanente (que aproxima la situación piezométrica para el régimen natural del embalse subterráneo y mediante la que se fija el espesor saturado, considerando el

muro del acuífero) y considerando la distribución de permeabilidades por celdas se ha calculado la distribución de transmisividades, por celdas, que exige el modelo de autovalores.

Al objeto de comprobar la validez del modelo en diferencias finitas MODFLOW se ha calculado el balance general del acuífero que correspondería al régimen natural (sin bombeos).

| MODELO DIFERENCIAS FINITAS MODFLOW (RÉGIMEN PERMANENTE sin bombeos) | | | | DATOS BIBLIOGRÁFICOS (hm ³ /a) | | | |
|--|-------------------|----------------------|--------------------|---|---------------|-------------------|------------|
| SALIDAS | m ³ /d | hm ³ /mes | hm ³ /a | FAO-IGME 1972 | JEREZ 1983 | CASTILLO, 1986 | IGME, 1989 |
| Descarga Genil | 335.340 | 10,20 | 122,40 | 40-60 | 130 | 100 | 196 |
| Drenes (manants. río Genil) | 5.795 | 0,18 | 2,12 | | | | |
| EVT | 18.273 | 0,56 | 6,67 | - | | 7 | 4 |
| Bombeos | - | - | - | 9-14 | 20 | 32 | 32 |
| | 359.408 | 10,93 | 131,18 | 57-98 | 150 | 184 | 232 |
| ENTRADAS | | | | | | | |
| Recarga Inf. Lluvia | 65.350 | 1,96 | 23,53 | 2-10 | 20 | 24 | 30 |
| Retornos Riegos | 149.968 | 4,59 | 55,06 | 51-86 | 130 | 141 | 190 |
| Aliment. Ríos | 91.413 | 2,78 | 33,37 | | | | |
| Transf. S ^o Elvira | 18.870 | 0,57 | 6,89 | 6 | 5 | 7 | 12 |
| Transf.Q-Alhambra | 14.342 | 0,44 | 5,23 | | | 5 | |
| Transf.Q-LaZubia | 20.275 | 0,62 | 7,40 | | | 7 | |
| | 360.218 | 10,96 | 131,48 | 59-102 | 155 | 184 | 232 |

Tabla 92. Balance del embalse Vega Granada régimen natural (sin bombeos) según el modelo en diferencias finitas MODFLOW (régimen permanente)

El cálculo de la recarga por infiltración de agua de lluvia procede del modelo de Temez modificado, con una tasa de infiltración promedio anual de 114 mm, oscilando el rango más probable entre 54 y 269 mm/a.

La cifra de retornos de riegos se ha fijado considerando la demanda agrícola asociada a las zonas regables que se sitúan sobre el acuífero de la Vega de Granada y la eficiencia de los riegos.

La eficiencia de los riegos de la Vega de Granada se cifra en un promedio del 68,12%, de manera que se ha fijado que la infiltración hacia el acuífero infrayacente a través de las pérdidas en las acequias de riegos y en la propia aplicación del riego, constituye entre un 30 y un 35% de la demanda. En el balance considerando destaca la escasa cuantía de los retornos de riegos (55,06 hm³) respecto a las cifras consideradas en los balances que aparecen publicados en la bibliografía consultada. No obstante la cifra considerada en el modelo constituye un 32,6 % de la demanda considerada para los riegos de la Vega de Granada que se ubican sobre el acuífero (169,86 hm³/a, ver tabla 93), lo que implica una eficiencia en los riegos del 67,4%, cifra muy similar a la fijada por el Inventario de Regadíos de Andalucía y la CHG.

| Zona Regable | Superficie regable (ha) | Demanda (hm ³ /a) | % Superf. Regable en el acuífero | RETORNOS DE RIEGOS | | |
|---------------------------|-------------------------|------------------------------|----------------------------------|----------------------|-------------------|--------------------|
| | | | | hm ³ /mes | m ³ /d | hm ³ /a |
| Canal Albolote | 2.013 | 19,12 | 73,6% | 0,48 | 15.932 | 5,74 |
| Vega Alta | 3.931 | 36,78 | 100,0% | 1,07 | 35.761 | 12,87 |
| Dílar-Monachil | 3.152 | 29,82 | 83,0% | 0,87 | 28.991 | 10,44 |
| Vega Media MI | 1.939 | 18,17 | 86,1% | 0,45 | 15.143 | 5,45 |
| Canal Cubillas | 2.283 | 21,46 | 100,0% | 0,54 | 17.886 | 6,44 |
| Pantano Cubillas | 1.140 | 11,08 | 95,0% | 0,28 | 9.232 | 3,32 |
| Velillos | 772 | 5,42 | 81,4% | 0,14 | 4.516 | 1,63 |
| Láchar-Cijuela | 376 | 3,30 | 99,9% | 0,08 | 2.748 | 0,99 |
| Fte Vaqueros-Valderrubios | 657 | 6,30 | 100,0% | 0,16 | 5.251 | 1,89 |
| Alfacar-Beas | 2.164 | 17,41 | 25,0% | 0,44 | 14.509 | 5,22 |
| Suma | 18.427 | 169,86 | 82,9% | 9,40 | 313.273 | 112,78 |

Tabla 93. Retornos de riegos embalse subterráneo Vega de Granada

| Zonas Regables (Sistema Cornisa-Vega de Granada) | Superf. regada (ha) | Demanda (hm ³) | Consumo (hm ³) | Eficiencia | Dotación (m ³ /ha/a) | Necesidad Hídrica (m ³ /ha/a) |
|--|---------------------|----------------------------|----------------------------|--------------|---------------------------------|--|
| Comarca de Alhama | 2.771 | 23,7 | 21,4 | 90,2% | 8.565 | 7.730 |
| Comarca Iznalloz | 7.710 | 23,7 | 21,4 | 90,2% | 3.078 | 2.778 |
| Comarca Montefrío | 3.915 | 22,7 | 22,4 | 98,8% | 5.791 | 5.720 |
| Comarca Vega Granada | 21.408 | 195,1 | 132,9 | 68,1% | 9.113 | 6.208 |
| Comarca Vega Baja Granada | 6.614 | 63,5 | 42,6 | 67,0% | 9.605 | 6.439 |
| Z.R. Cacín | 4.475 | 33,6 | 21,7 | 64,6% | 7.515 | 4.853 |
| Sistema Cornisa-Vega de Granada | 46.893 | 356,3 | 254,9 | 71,5% | 7.598 | 5.435 |

Tabla 94. Datos de zonas regables del Sistema Cornisa-Vega de Granada

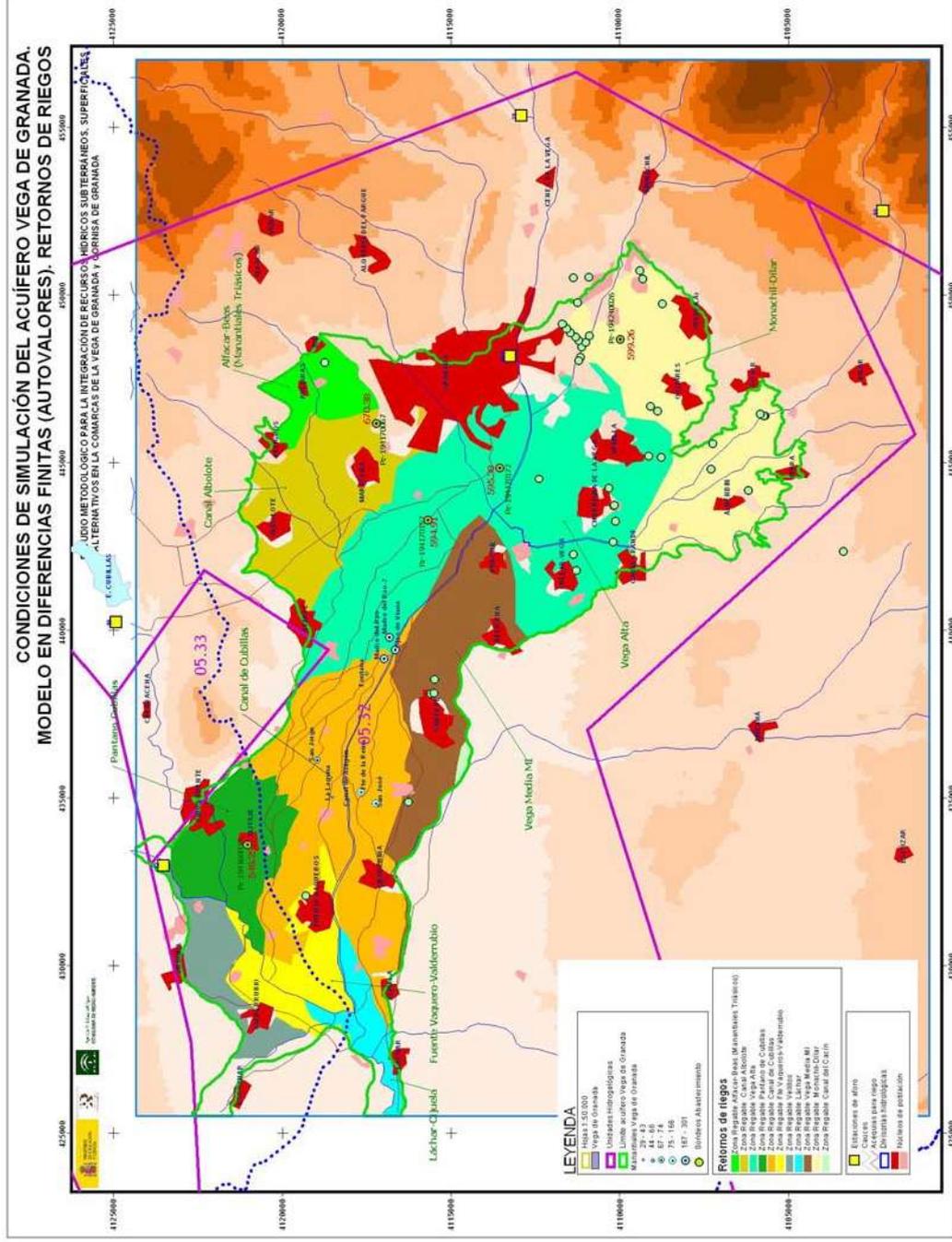


Figura 162. Distribución de zonas regables Vega de Granada. Retornos de riegos.

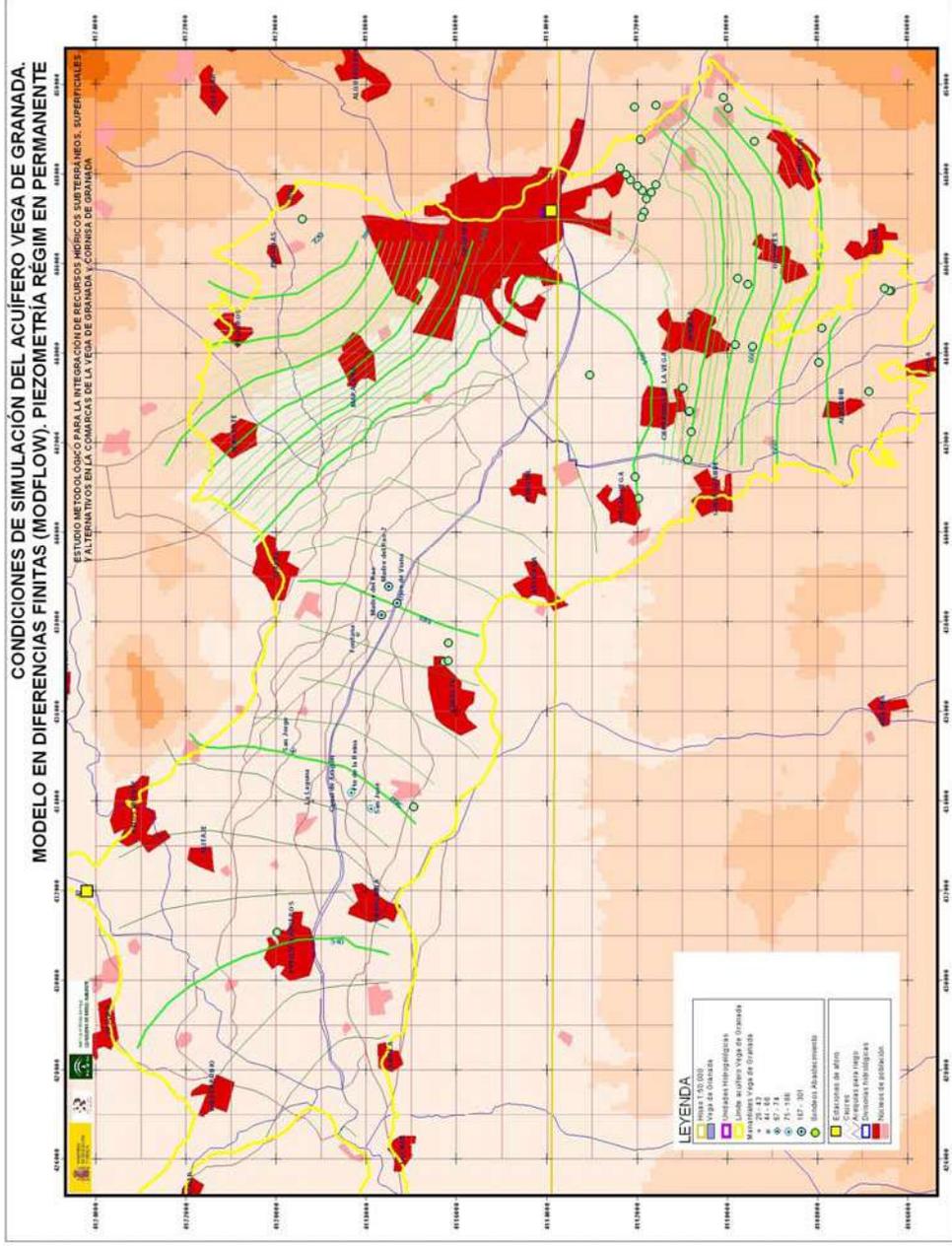


Figura 163. Piezometría obtenida mediante el modelo en diferencias finitas (MODFLOW) para el embalse subterráneo vega de Granada en régimen permanente

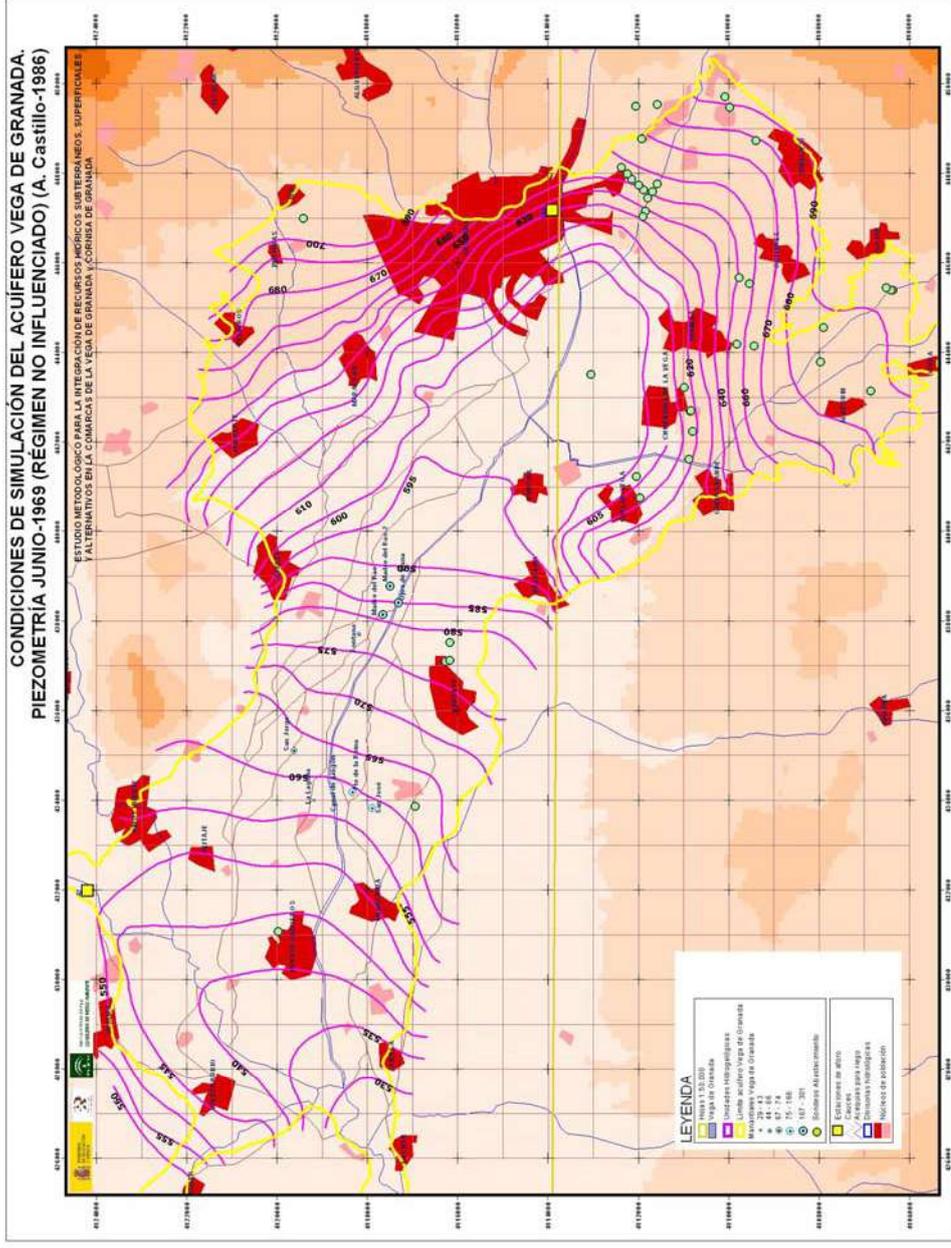


Figura 164. Piezometría Junio-1969 acuífero Vega de Granada (A. Castillo-1986)

10.2.8.4.3 Obtención de los autovalores y autovectores

Para la obtención de los parámetros que definen el modelo de autovalores (autovectores y autovectores) se ha utilizado el software AQUIVAL, definiéndose un modelo que presenta las siguientes características:

- Mallado en diferencias finitas regular de 1.000 x 1.000 m (1 km²) coincidente con el mallado en diferencias finitas del modelo desarrollado en MODFLOW, que dispone de 225 celdas activas.
- Valores de transmisividad (T_{xx} y T_{yy}) concordantes con los obtenidos en el modelo en diferencias finitas realizado con MODFLOW (Figura 165), considerando la distribución de permeabilidades concedida a este modelo y el espesor saturado que ofrece el resultado de este modelo para la simulación en régimen permanente (Figura 166).
- Valores de porosidad eficaz coherentes con las consideradas en el modelo en diferencias finitas desarrollado sobre MODFLOW (Figura 167).
- Condiciones de contorno que corresponden a (Figura 169):
 - Drenaje río Genil, se ha impuesto el valor correspondiente a la cota piezométrica del resultado obtenido en el modelo realizado en diferencias finitas -MODFLOW-, para el régimen permanente, para las celdas declaradas en este modelo como tipo río en el tramo final del río Genil que actúan como drenes del embalse subterráneo. Se han definido un total de 15 celdas con condición de este tipo (Figura 168).
 - Transferencia lateral de Sierra Elvira, Cuaternario Fm Alambra y Cuaternario Fm La Zubia. Simulada como celdas de potencial constante externo, estableciendo unos valores de potencial constante similares a los declarados en el modelo en diferencias finitas-MODFLOW (Figura 168) y los siguientes valores para el parámetro Factor de Goteo (días⁻¹): 0,0035 Sierra Elvira; 0,005 a 0,0075 Cuaternario Fm. Alambra; y 0,005 Cuaternario Fm. La Zubia, obtenidos por calibración utilizando AQUIVAL.

| T | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | |
|----|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-----|-----|
| 1 | 0 | 0 | 550 | 880 | 770 | 550 | 660 | 3.740 | 3.630 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 550 | 770 | 5.940 | 5.060 | 4.180 | 4.950 | 3.850 | 5.500 | 4.510 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 330 | 440 | 440 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 550 | 880 | 5.060 | 7.150 | 6.380 | 5.830 | 7.040 | 5.390 | 5.280 | 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 440 | 330 | 330 | 440 | 550 | 110 | 110 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 660 | 5.390 | 6.380 | 8.690 | 7.920 | 7.920 | 8.580 | 7.370 | 7.590 | 110 | 110 | 0 | 0 | 440 | 550 | 440 | 440 | 440 | 110 | 110 | 110 | 110 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 4.400 | 6.710 | 8.140 | 10.340 | 10.560 | 10.120 | 10.670 | 9.680 | 9.790 | 9.900 | 8.800 | 9.130 | 8.250 | 1.320 | 1.210 | 550 | 440 | 440 | 110 | 110 | 110 | 110 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 5.170 | 7.810 | 9.570 | 8.690 | 7.920 | 8.580 | 11.000 | 12.760 | 12.650 | 12.320 | 12.100 | 11.330 | 10.670 | 9.350 | 1.650 | 990 | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 | 0 | 0 |
| 7 | 5.940 | 7.370 | 7.920 | 7.370 | 110 | 110 | 1.650 | 9.900 | 10.450 | 11.990 | 12.540 | 12.980 | 13.310 | 11.770 | 11.000 | 7.480 | 1.100 | 110 | 110 | 110 | 110 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.430 | 8.030 | 10.010 | 8.910 | 11.440 | 12.760 | 13.640 | 64.020 | 47.410 | 7.370 | 1.320 | 110 | 110 | 110 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.100 | 8.030 | 6.710 | 8.690 | 10.120 | 11.880 | 66.880 | 58.850 | 52.470 | 7.810 | 110 | 110 | 110 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7.590 | 9.020 | 10.890 | 64.460 | 63.140 | 49.170 | 8.690 | 1.650 | 220 | 220 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.210 | 1.650 | 10.340 | 66.770 | 61.270 | 54.120 | 10.340 | 1.980 | 220 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 110 | 1.210 | 1.760 | 11.550 | 13.090 | 12.210 | 11.660 | 11.440 | 11.220 | 2.200 | 0 | 0 |
| 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 110 | 1.650 | 2.310 | 2.420 | 2.420 | 11.990 | 11.990 | 12.210 | 2.420 | 220 | 220 |
| 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 110 | 220 | 220 | 220 | 1.980 | 1.980 | 2.310 | 220 | 220 | 220 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 110 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 |
| 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 110 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 110 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 |
| 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 110 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 | 0 |

Figura 165. Distribución de transmisividades ($T_{xx} = T_{yy}$) consideradas en el modelo de autovalores del embalse subterráneo Vega de Granada

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.05 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 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 | |
| 2 | 0.00 | 0.01 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 3 | 0.01 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 4 | 0.05 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 5 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 6 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 7 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.10 | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 8 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.10 | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.10 | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 11 | 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 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 12 | 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 | 0.01 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.00 | 0.00 |
| 13 | 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 | 0.01 | 0.05 | 0.05 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.01 | 0.01 |
| 14 | 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 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 15 | 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 | 0.01 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 16 | 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 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 17 | 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 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 |
| 18 | 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 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

Figura 167. Distribución de porosidad eficaz considerada en el modelo de autovalores del embalse subterráneo Vega de Granada

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 560 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 562 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 659 | 668 | 679 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 562 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 678 | 693 | 703 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 705 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 535 | 539 | 0 | 0 | 556 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 525 | 527 | 530 | 0 | 0 | 544 | 550 | 557 | 562 | 568 | 574 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 581 | 586 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 596 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 669 |
| 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 672 |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 672 | 673 | 674 | 675 | 0 | 0 |
| 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Figura 168. Valores establecidos en el modelo de autovalores en las celdas con nivel constante

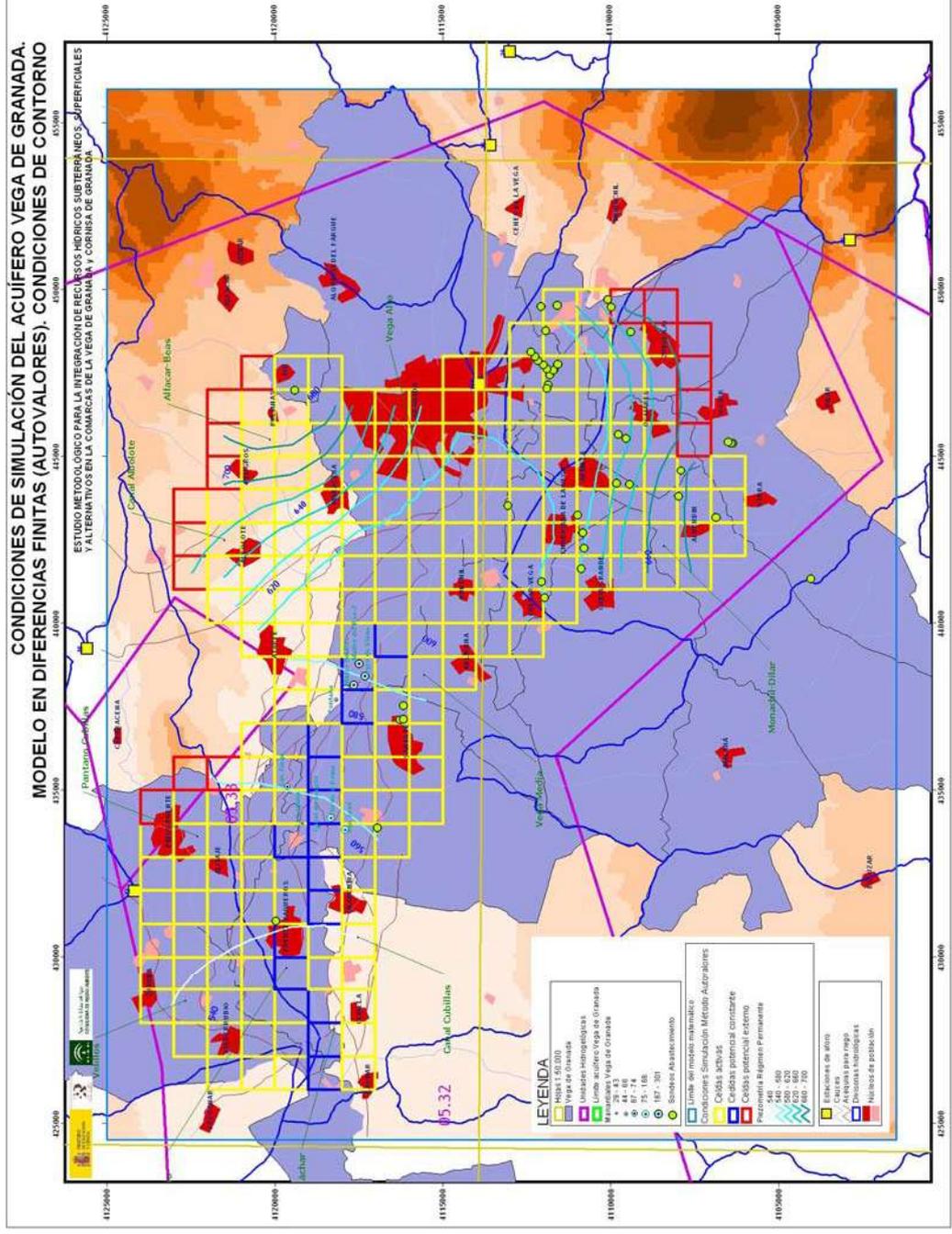


Figura 169. Condiciones de contorno consideradas en el modelo de autovalores (AQUIVAL)

10.2.8.4.4 Definición de las acciones elementales

Cada acción elemental es un vector con un valor no nulo en el elemento correspondiente a la celda donde actúa y un valor nulo en las demás. Las acciones elementales definidas en el modelo de autovalores del embalse subterráneo de la Vega de Granada se muestran en la tabla 95.

| Acciones elementales | | hm ³ /mes | m ³ /d | hm ³ /a |
|---|----|----------------------|-------------------|--------------------|
| Infiltración Lluvia | 1 | 1,86 | 62.141 | 22,37 |
| Infiltración Lluvia Zona Urbana | 2 | 0,10 | 3.209 | 1,16 |
| Retornos Riegos Canal Albolote | 3 | 0,48 | 15.932 | 5,74 |
| Retornos Riegos Vega Alta | 4 | 1,07 | 35.761 | 12,87 |
| Retornos Riegos Dílar-Monachil | 5 | 0,87 | 28.991 | 10,44 |
| Ret.Riegos Vega Media Margen Izquierda | 6 | 0,45 | 15.143 | 5,45 |
| Retornos Riegos Canal Cubillas | 7 | 0,54 | 17.886 | 6,44 |
| Retornos Riegos Pantano Cubillas | 8 | 0,28 | 9.232 | 3,32 |
| Retornos Riegos Com.Regantes Velillos | 9 | 0,14 | 4.516 | 1,63 |
| Retornos Riegos Láchar-Cijuela | 10 | 0,08 | 2.748 | 0,99 |
| Retornos Riegos FteVaq.-Valderrubio | 11 | 0,16 | 5.251 | 1,89 |
| Retornos Riegos Alfacar-Beas | 12 | 0,44 | 14.509 | 5,22 |
| Bombeo Urbano Aguasvira | 13 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| Bombeo Urbano Emasagra | 14 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| Bombeo Agrícola CR Velillos | 15 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| Bombeo Agrícola Canal Cubillas | 16 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| Bombeo Agrícola Vega Alta | 17 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| Bomb.Agrícola Vega Media Margen Izquierda | 18 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| Bombeo Agrícola Fte Vaq-Vald. | 19 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| Bombeo Agrícola Dílar-Monachil | 20 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| Recarga Río Monachil | 21 | 0,42 | 13.857 | 4,99 |
| Recarga Río Dílar | 22 | 0,36 | 12.132 | 4,37 |
| Recarga Río Genil | 23 | 2,16 | 71.967 | 25,91 |
| Bombeo Urbano Ronda Sur | 24 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| Bombeo Agrícola Alfacar | 25 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| Sumas | | 9,40 | 313.273 | 112,78 |

Tabla 95. *Acciones elementales consideradas en el modelo de autovalores Vega de Granada*

La distribución en celdas de las acciones elementales corresponde a las consideradas en el modelo en diferencias finitas realizado con MODFLOW.

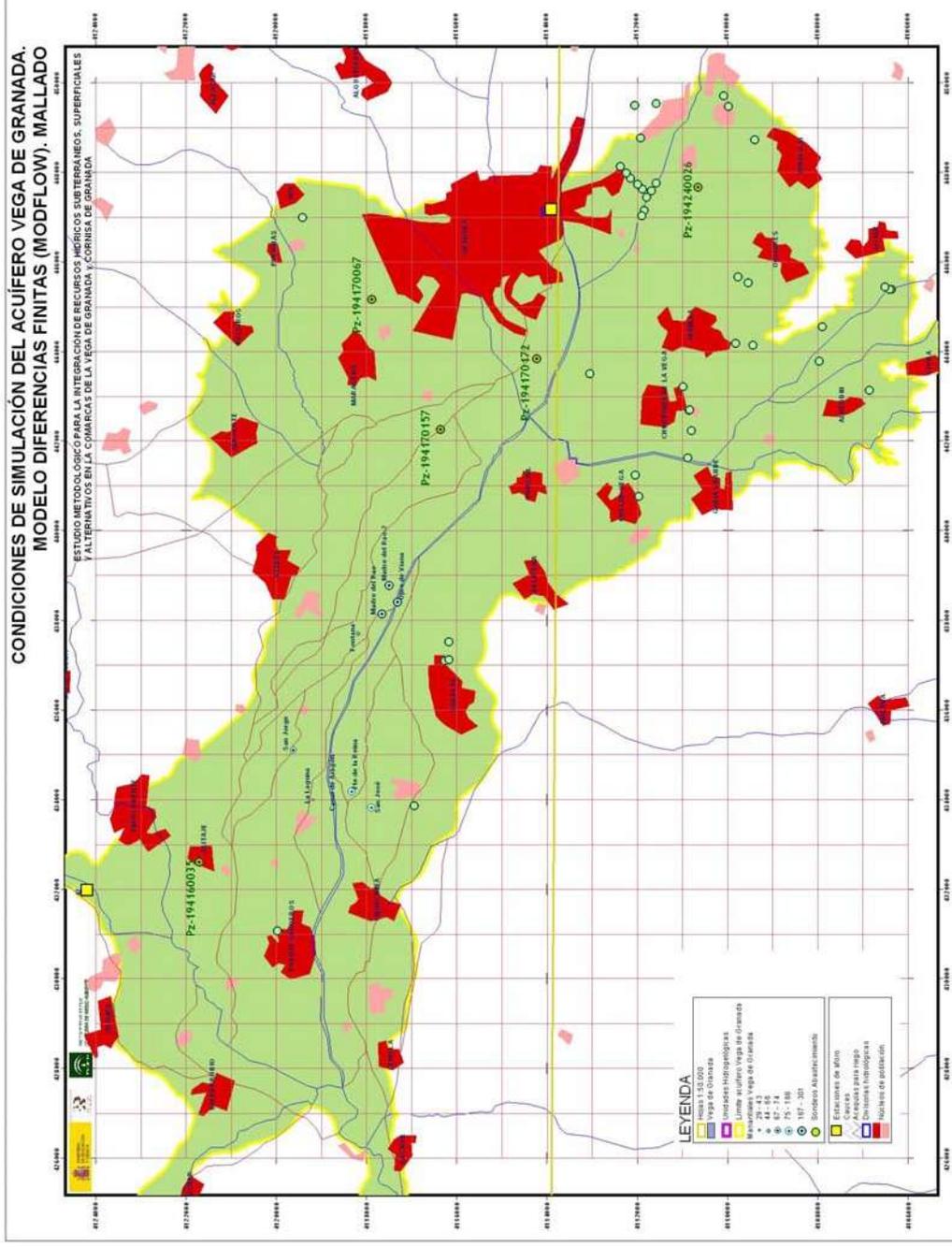
10.2.8.4.5 Definición de los parámetros de control

Un parámetro de control puede ser un nivel en una celda, una media de niveles, un volumen en una zona, un caudal a través de un segmento de frontera río-acuífero, etc). Los parámetros de control considerados se indican en la tabla 96.

| Parámetros de Control | | Observaciones |
|-----------------------|-------------------------------|---|
| PC1 | Descarga Genil | Descarga del embalse subterráneo Vega de Granada al río Genil en el tramo que éste se comporta como ganador |
| PC2 | Transf. S ^a Elvira | Transferencia lateral subterránea procedente del acuífero de Sierra Elvira |
| PC3 | Transf.Q-LaZubia | Transferencia lateral subterránea procedente de la Fm. La Zubia |
| PC4 | Transf.Q-Alhambra | Transferencia lateral subterránea procedente de la Fm. Alhambra |
| PC5 | Pz-194160035 | Piezómetro del IGME |
| PC6 | Pz-194170157 | Piezómetro del IGME |
| PC7 | Pz-194170067 | Piezómetro del IGME |
| PC8 | Pz-194170172 | Piezómetro del IGME |
| PC9 | Pz-194240026 | Piezómetro del IGME |
| PC10 | Flujo Total | Flujo total de salida que registra el embalse subterráneo |

Tabla 96. *Parámetros de control considerados en el modelo de autovalores Vega de Granada.*

La situación de los piezómetros considerados como parámetros de control en el modelo de autovalores se indica en la Figura 170. Corresponden a piezómetros de la red oficial de control de las aguas subterráneas de la Unidad Hidrogeológica 05.32/Vega de Granada.



10.2.8.4.6 Obtención de las matrices del modelo de autovalores

La matriz $[A^R]$ es la denominada "matriz A reducida" (Andreu, J. y Sahuquillo, A. 1987), que tiene una fila por cada parámetro de control. Será pues de $n_p \times n_a$ donde n_p (10 parámetros de control) es el número de parámetros de control y n_a el número de autovalores considerado (210 autovalores -225 celdas activas menos 15 celdas con potencial constante consideradas para simular el drenaje hacia el río Genil-).

La matriz $[\alpha]$ es la matriz diagonal que contiene los autovalores, por lo tanto sólo los n_a elementos de la diagonal principal son distintos de cero.

La matriz $[\psi]$ es la matriz de modificación de estado, de forma que las ecuaciones vectoriales que se utilizan en el modelo **SIMGES** son las siguientes:

$$\text{Vector de estado de los parámetros de control: } \{c_n\} = [A^R] \{L_n\}$$

$$\text{Vector de estado del acuífero: } \{L_n\} = [E - \alpha \Delta t] \{L_{n-1}\} + [\psi] \{B\}$$

donde:

$\{E\}$ es la matriz identidad.

$\{B\}$ es un vector que contiene las intensidades de las acciones elementales para el mes en cuestión, por lo tanto con n_e elementos (tantos como acciones elementales se han definido).

$\{L_n\}$ es el vector de estado del acuífero que contiene n_a elementos.

La matriz $[\psi]$ es por lo tanto de $n_a \times n_e$ elementos, con una columna por cada acción elemental. Los datos necesarios para el modelo de autovalores de **SIMGES**, que se han obtenido mediante el modelo desarrollado en **AQUIVAL** corresponden a:

- La matriz [α] (diagonal) o autovalores (210 autovalores).
- El vector {L} para el estado inicial, {L₀}.
- Las filas de la matriz [A^R] (cada fila corresponde a un parámetro de control).
- Las columnas de la matriz [ψ] (cada columna corresponde a una acción elemental).

Para analizar la calibración del modelo de autovalores desarrollado, se han comparado los resultados obtenidos mediante este modelo, utilizando el paquete AQUIVAL y el modelo en diferencias finitas desarrollado sobre MODFLOW, considerando unas intensidades para las acciones elementales idénticas en ambos casos.

En lo referente a la piezometría, para los 4 parámetros de control definidos en el modelo de autovalores, se obtiene una correlación aceptable con los datos ofrecidos por el modelo realizado con MODFLOW, con un error cuadrático medio del 2,58%. (Figura 171).

Con relación a los datos de caudales ofrecidos por el modelo de autovalores y el modelo realizado con MODFLOW, la comparación de ambos resultados se resume en la tabla 97.

| Parámetro de control | AUTOVALORES | | | MODFLOW (hm ³ /a) |
|-------------------------------|-------------------|----------------------|--------------------|---------------------------------|
| | m ³ /d | hm ³ /mes | hm ³ /a | |
| Descarga Genil | 366.047 | 11,13 | 133,61 | 131,18 |
| Transf. S ^a Elvira | 20.839 | 0,63 | 7,61 | 6,89 |
| Transf. Q-LaZubia | 20.165 | 0,61 | 7,36 | 7,40 |
| Transf. Q-Alhambra | 15.578 | 0,47 | 5,69 | 5,23 |

Tabla 97. Comparativa entre los datos de caudales obtenidos mediante el modelo de autovalores y el modelo MODFLOW (régimen permanente)

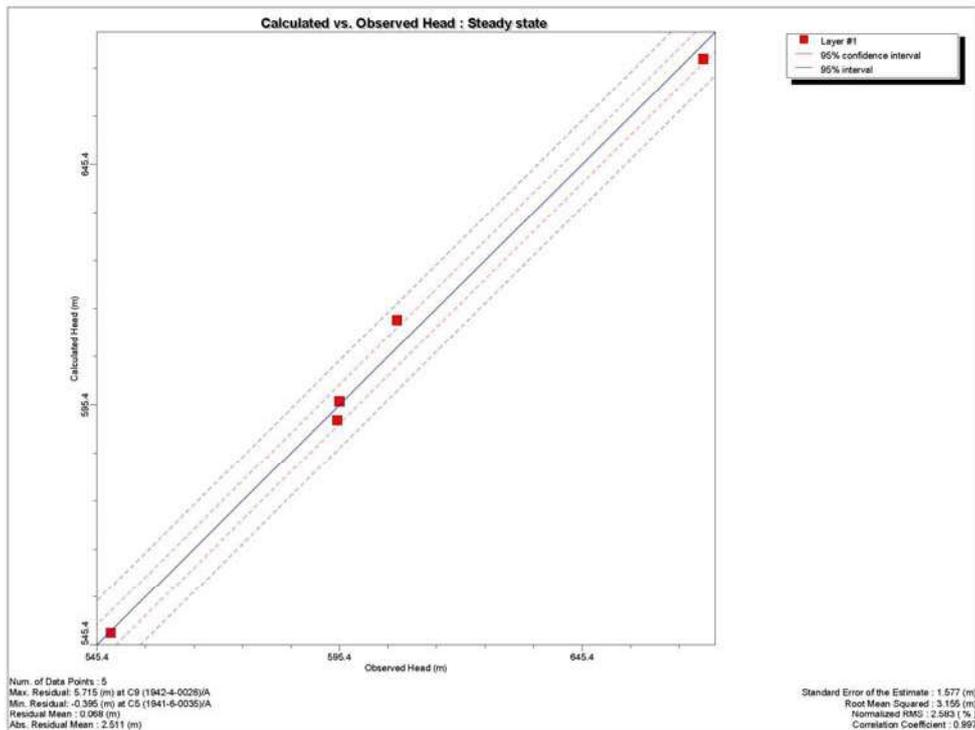


Figura 171. Correlación entre los datos piezométricos obtenidos mediante el modelo de autovalores y el modelo MODFLOW (régimen permanente)

La calibración de los datos piezométricos y la concordancia de los datos de caudal permiten asegurar un correcto funcionamiento del modelo de autovalores, que se ha utilizado en SIMGES para simular la respuesta del embalse subterráneo Vega de Granada.

10.2.9 Criterios de Garantía utilizados

Para valorar la satisfacción conseguida en la distribución de los recursos hídricos según las demandas existentes, se han considerado las garantías que ofrece el propio código SIMWIN, que corresponden a las siguientes:

- Garantía mensual (G_m), donde se identifica el número de meses en lo que se produce fallo en la satisfacción de una demanda (déficit mensual, considerando como tal la existencia de un déficit que suponga un valor A% de la demanda mensual). La aplicación ofrece el máximo déficit en un mes y en dos meses.
- Garantía volumétrica (G_v), cociente entre el déficit acumulado y la demanda total a satisfacer en el periodo de cálculo (51 años).
- Criterio Plan Hidrológico (G_{CPH}), se considera como fallos aquellos años en que se produce una de las dos circunstancias siguientes: en algún mes el déficit supera B% de la demanda mensual o el déficit en un año supera el C% de la demanda.
- Criterio UTAH-DWR, considera como fallo cuando se produce una de las circunstancias siguientes: el déficit en un año supera el D% de la demanda, el déficit en dos años consecutivos supera el E% de la demanda y el déficit en diez años consecutivos supera el F% de la demanda.

Los valores de déficit (A, B, C, D, E, F y G) pueden ser fijados por el usuario. En el presente estudio se han considerado los que se expresan en la tabla 98.

Para las demandas agrícolas los fallos fijados en la garantía mensual corresponden a fallos de clase 1, según la clasificación de Maas (*Estrada Lorenzo, F. 1994*). Un fallo de un 10% en la demanda agrícola, entendiéndose como tal la pérdida del 10% de la producción agrícola, se admite como un riesgo aceptable según estudios de la FAO (*Estrada Lorenzo, F. 1994*).

Para el criterio UTAH-QWR considerado, en el caso de las demandas ecológicas se ha fijado un criterio DEF15, en las urbanas se ha fijado un criterio de garantía DEF25, en las agrícolas DEF50 y en las aisladas DEF70. Estos valores corresponden a unos criterios de garantías que se puede catalogar como estrictos.

| Tipo de demanda | Número de Prioridad | Valores de los índices de déficit | | | | | | |
|------------------|---------------------|-----------------------------------|------------------|----|----|----------|-----|--|
| | | G _m | G _{CPH} | | | UTAH-DWR | | |
| | | A% | B% | C% | D% | E% | F% | |
| Caudal Ecológico | 0 | 0 | 10 | 5 | 15 | 30 | 50 | |
| Urbanas | 1 | 0 | 20 | 10 | 25 | 50 | 75 | |
| Agrícolas | 2 | 10 | 30 | 15 | 50 | 75 | 100 | |

Tabla 98. *Valores de déficits utilizados en los cálculos de garantías*

10.2.10 Criterios de Simulación

El software SIMGES que se ha utilizado para simular escenarios de gestión en el sistema Cornisa-Vega de Granada permite la optimización de la gestión a partir de los siguientes aspectos:

- Las aportaciones mensuales suministradas al modelo corresponden al régimen natural.
- Las demandas a satisfacer precisan del establecimiento de una serie de criterios para priorizar la entrega de recursos hídricos a las mismas desde las fuentes de suministro.
- Se pueden establecer restricciones a las conducciones (limitaciones de caudal).
- El manejo del agua almacenada en los embalses se realiza en función de los criterios establecidos para la prioridad en el almacenamiento.

Los **criterios de prioridad** establecidos para las demandas consideradas en el sistema corresponden al siguiente esquema:

- **Prioridad 0** a las demandas ecológicas, si bien, una vez satisfechas éstas se han considerado unos elementos de retornos que permiten la devolución íntegra de los recursos hídricos de nuevo al sistema.
- **Prioridad 1** para las demandas urbanas.
- **Prioridad 2** para las demandas agrícolas.

Las prioridades concedidas para las demandas consuntivas derivan de lo expresado en el propio Plan de Cuenca de la Cuenca del Guadalquivir. De hecho en el ANEXO III (Criterios de prioridad y compatibilidad de usos) del Plan Hidrológico de la Cuenca del Guadalquivir (en adelante PHCG) se fijan los siguientes niveles de prioridad en la satisfacción de demandas:

PRIMERA PRIORIDAD

- En todos los casos y zonas, el **abastecimiento urbano** con los límites de dotaciones que se establezcan, salvo en los embalses con concesión a entidades o particulares para otro fin. Se incluye la industria de poco consumo vinculada a la red de abastecimiento urbano.

SEGUNDA PRIORIDAD

- El **caudal ecológico** establecido, el elevado nivel de preferencia deriva de que, al igual que el abastecimiento de poblaciones, afecta a la vida humana.

TERCERA PRIORIDAD

- Los **regadíos** constituyen el siguiente nivel prioritario, salvo las excepciones que se indican a continuación. Las excepciones que afectan al sistema Cornisa-Vega de Granada corresponden al uso recreativo de las cabeceras de los ríos Genil, Monachil y Dílar y afluentes regulados por encima del primer embalse.

Para los embalses la priorización en el almacenamiento se ha establecido atendiendo a los siguientes criterios:

- Sistema Canales-Quéntar (Genil), la calidad del agua en el embalse de Quéntar suele ser mejor que la de Canales, por lo que se reserva el embalse de Quéntar para abastecimiento urbano (Canal de Quéntar), otorgando una prioridad inferior al embalse de Quéntar que al de Canales, de forma que el sistema tiende a reservar el embalse de Quéntar.
 - Embalse de Canales: prioridad declarada valor 2
 - Embalse de Quéntar: prioridad declarada valor 1
- Sistema Cubillas-Colomera, se otorga una prioridad de almacenamiento inferior al embalse de Colomera que al de Cubillas, de manera que el sistema reserva el embalse de Colomera. La entrada en funcionamiento del proyectado embalse de Velillos se simula concediendo una prioridad similar al embalse de Colomera.
 - Embalse de Colomera: prioridad declarada valor 1
 - Embalse de Cubillas: prioridad declarada valor 2

11. SIMULACIÓN de ALTERNATIVAS de GESTIÓN

A continuación se resumen las características del modelo desarrollado para la simulación de la gestión conjunta de recursos hídricos del Sistema Cornisa–Vega de Granada.

11.1 CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE GESTIÓN SIMULADO

El Sistema Cornisa–Vega de Granada constituye el entramado de satisfacción de demandas hídricas más importante de la provincia de Granada y uno de los más significativos de la Comunidad Autónoma Andaluza, tanto por el volumen anual de demanda consuntiva satisfecho (414,60 hm³) como por el número de municipios (58 municipios) y número de habitantes a los que abastece (533.732 habitantes).

Las demandas urbanas se satisfacen con recursos propios del sistema de diferente procedencia (embalses de Canales, Quéntar y Bermejales⁸; y captaciones de aguas subterráneas), disponiendo de fuentes de suministro con capacidad de aportar los recursos hídricos suficientes, incluso en periodos de intensa sequía.

Los problemas de este sistema han estado secularmente asociados a una demanda agrícola muy importante (86% de la demanda total del sistema) que ha exigido de la ejecución de infraestructuras de regulación y conducción muy significativas (canales del Cubillas, Albolote y Loaysa y embalses de Canales, Cubillas, Colomera y Bermejales) y, por ende, de comprometer una ingente cantidad de los

⁸ Desde este embalse se satisface la demanda del valle del Cacín, que constituye una demanda externa al sistema Cornisa–Vega de Granada, pero que ha sido considerada en el presente estudio.

recursos regulados en el sistema a la satisfacción de la misma, por lo que las grandes infraestructuras hidráulicas del sistema pretenden la satisfacción de la demanda agrícola generada, teniendo que resolverse los problemas de abastecimiento urbano, en muchos casos, mediante el uso de las aguas subterráneas.

El hecho paradójico de que la mayor parte de la actividad agrícola asociada al sistema se desarrolla sobre los afloramientos permeables del principal embalse subterráneo (Vega de Granada), del que depende en gran medida el abastecimiento urbano, aún más en situaciones excepcionales de sequía, ha propiciado la continua degradación de la calidad de estos recursos subterráneos y la necesidad de hacer un nuevo planteamiento en la gestión de los recursos del sistema, aportando al creciente abastecimiento urbano aguas de mejor calidad.

Por otra parte, resulta interesante plantear la posible reutilización de aguas urbanas residuales renegreadas en los riegos de la Vega de Granada, pudiendo incluso disponer instalaciones de recarga artificial de esta agua regeneradas, para adecuar la producción de las mismas en las EDAR a las necesidades del riego en la Vega de Granada.

Por último, es necesario considerar el ingente ahorro de recursos de excelente calidad, procedente de los embalses del Genil y Cubillas-Colomera, que podrían liberarse si se implantan sistemas de riego mas eficaces en la Vega de Granada.

En principio la reutilización de aguas regeneradas, cuando se concluyan los planes de saneamiento que proyecta la Junta de Andalucía para el Consorcio Sierra Nevada-Vega Sur (gestionado por Emasagra), supondría una aportación suplementaria de un volumen de $53,91 \text{ hm}^3/\text{a}$ ($149.752 \text{ m}^3/\text{d}$), que podría emplearse en el regadío de la Vega de Granada. Asimismo, el ahorro de agua que se derivaría de una mejora en la eficiencia de los regadíos tradicionales de la Vega de Granada (pasando de una

eficiencia del 68% a una eficiencia del 85%) sería de 60,24 hm³/a (tabla 98). Estas cifras, supondrían una liberación de recursos en el Sistema Cornisa-Vega de Granada de 114,15 hm³/a (la demanda urbana actual del consorcio Sierra Nevada-Vega Sur se cifra en 38,9 hm³/a y la futura en 68,3 hm³/a).

| ZONA REGABLE | SUP.REGADA (ha) | Demanda (hm ³ /a) | Consumo (hm ³ /a) | Eficiencia | DOTACIÓN (m ³ /ha/a) | NECESIDAD HÍDRICA (m ³ /ha/a) |
|---------------------------|-----------------|---|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|--|
| Comarca Vega Granada | 21.408 | 195,09 | 132,90 | 68,12% | 9.113 | 6.208 |
| Comarca Vega Baja Granada | 6.614 | 63,53 | 42,59 | 67,04% | 9.605 | 6.439 |
| Z.R. Cacín | 4.475 | 33,63 | 21,72 | 64,58% | 7.515 | 4.853 |
| Vega de Granada | 32.497 | 292,25 | 197,21 | 67,48% | 8.993 | 6.068 |
| Eficiencia | 85,00% | <i>Mejora en las técnicas de regadíos tradicionales</i> | | | | |
| ZONA REGABLE | SUP.REGADA (ha) | Demanda (hm ³ /a) | DOTACIÓN (m ³ /ha/a) | AHORRO (hm ³ /a) | | |
| Comarca Vega Granada | 21.408 | 156,36 | 7.304 | 38,74 | | |
| Comarca Vega Baja Granada | 6.614 | 50,10 | 7.575 | 13,42 | | |
| Z.R. Cacín | 4.475 | 25,55 | 5.710 | 8,08 | | |
| Vega de Granada | 32.497 | 232,01 | 7.139 | 60,24 | | |

Tabla 99. Eficiencias regadíos Vega de Granada

De aquí que los escenarios de simulación planteados en el presente estudio hayan sido enfocados a los siguientes objetivos:

- **Hipótesis 1-Estado cero:** mediante este escenario de simulación se pretende reflejar la situación actual, considerando los elementos de regulación, conducción, potabilización y depuración de que dispone el sistema; y las demandas consuntivas existentes, sin considerar la necesidad de respetar unos caudales ecológicos en los cauces de los Parques Naturales de Sierra Huétor y Sierra Nevada.

- **Hipótesis 2–Régimen Caudales Ecológicos Críticos**: mediante este escenario de simulación se pretende analizar la situación actual, considerando los elementos de regulación, conducción, potabilización y depuración de que dispone el sistema; y las demandas consuntivas existentes, pero respetando el régimen de caudales ecológicos calculado para el mantenimiento hídrico de los cauces interrelacionados con los Parques Naturales de Sierra Huétor y Sierra Nevada (ver Figura 36–apartado 5.4).

Para el mantenimiento hídrico de estos cauces se han considerado varios escenarios para fijar el régimen de caudales ecológicos, calculados mediante la metodología IFIM (ver apartado 5.4), que corresponden con los siguientes criterios:

- Caudal crítico obtenido mediante la aplicación de la metodología IFIM (Hipótesis 2A).
 - Caudal correspondiente al 50% del caudal óptimo obtenido mediante la aplicación de la metodología IFIM (Hipótesis 2B).
- **Hipótesis 3–Régimen Caudales Ecológicos PHCG**: mediante este escenario de simulación se pretende analizar la situación actual, considerando los elementos de regulación, conducción, potabilización y depuración de que dispone el sistema; y las demandas consuntivas existentes, pero respetando el régimen de caudales ecológicos derivado del Plan Hidrológico de la Cuenca del Guadalquivir (Proyecto de Directrices).
 - **Hipótesis 4–Conducción El Chaparral**: esta simulación parte de la Hipótesis 2A (situación actual y régimen de caudales ecológicos calculados a partir del caudal crítico método IFIM) y se pretende analizar el efecto que sobre el sistema tendría la puesta en funcionamiento de la conducción y la ETAP El

Chaparral, proyecto objetivo de la Junta de Andalucía para mejorar el abastecimiento a la zona metropolitana de Granada, tomando recursos del manantial de Deifontes, actualmente comprometidos en la dotación de riegos de la Vega de Granada (Zona Regable Canal de Albolote).

- **Hipótesis 5–Embalse de Velillos:** partiendo de la simulación correspondiente a la Hipótesis 4–Conducción El Chaparral, se pretende analizar la influencia que tendría sobre el sistema, una vez derivados recursos desde Deifontes para abastecimiento a la zona metropolitana de Granada, la puesta en funcionamiento del embalse de Velillos, como complemento a la regulación que ejercen los embalses de Cubillas–Colomera en la cuenca del río Cubillas.
- **Hipótesis 6–Recarga artificial Vega de Granada:** partiendo de la simulación correspondiente a la Hipótesis 5–Embalse de Velillos, mediante esta simulación se pretende analizar la influencia que tendría sobre el sistema un aumento en la capacidad de regulación del embalse subterráneo Vega de Granada mediante la recarga artificial con excedentes invernales de los ríos Genil–Monachil–Dílar, una vez entraran en funcionamiento la conducción de El Chaparral y el embalse de Velillos.
- **Hipótesis 7–Incremento de la Demanda Urbana:** esta hipótesis pretende analizar la respuesta del sistema ante un aumento de la demanda urbana como consecuencia del desarrollo urbanístico previsto para el área metropolitana de Granada y los municipios de la Vega de Granada, considerando el conjunto de medidas para el incremento de la regulación incluidas en los escenarios de simulación previos.
- **Hipótesis 8– Mejora eficiencia riegos:** partiendo de la simulación correspondiente a la Hipótesis 6–Recarga artificial Vega de Granada, mediante

esta simulación se pretende analizar la influencia que tendría sobre un futuro sistema (Hipótesis 6), la reducción de la demanda agrícola tanto por la vía de la mejora en la eficiencia de los riegos como por la reutilización de aguas tratadas en las EDARs del sistema.

- **Hipótesis 9–Apoyo al abastecimiento de la Vega de Granada con recursos subterráneos de La Peza:** partiendo de la simulación correspondiente a la Hipótesis 4–Conducción El Chaparral, mediante esta simulación se pretende analizar la potencial mejora que adquiriría el abastecimiento al Consorcio Sierra Nevada–Vega Sur si se integran los recursos subterráneos de la Unidad Hidrogeológica La Peza en el sistema de abastecimiento que explota Emasagra, observando los caudales ecológicos fijados en los cauces vinculados a los parques naturales de Sierra Huétor y Sierra Nevada, en gran medida sustentados con la descarga subterránea procedente de los embalses subterráneos de la UH–La Peza.

| Hipótesis de simulación | | Infraestructuras | | | | | Demandas | | |
|-------------------------|---|---------------------|--------------------------------|------------------------------------|--|---|---|---|------------------------|
| | | Embalse de Velillos | Conducción y ETAP El Chaparral | Recarga artificial Vega de Granada | Mejora eficiencia riegos Vega de Granada | Explotación recursos subterráneos UH –La Peza | Caudales ecológicos PHCG ^(a) | Régimen de caudales ecológicos críticos | Desarrollo urbanístico |
| 1 | Estado cero | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO |
| 2 | Régimen Caudales Ecológicos Críticos | NO | NO | NO | NO | NO | NO | SI | NO |
| 3 | Caudales Ecológicos PHCG | NO | NO | NO | NO | NO | SI | NO | NO |
| 4 | Conducción El Chaparral | NO | SI | NO | NO | NO | NO | SI | NO |
| 5 | Embalse Velillos | SI | SI | NO | NO | NO | NO | SI | NO |
| 6 | Recarga artificial Vega Granada | SI | SI | SI | NO | NO | NO | SI | NO |
| 7 | Incremento demanda urbana | SI | SI | SI | NO | NO | NO | SI | SI |
| 8 | Mejora eficiencia riegos y reutilización aguas depuradas | SI | SI | SI | SI | NO | NO | SI | NO |
| 9 | Apoyo abastecimiento Sierra Nevada-Vega Sur con aguas subterráneas UH La Peza | NO | SI | NO | NO | SI | NO | SI | SI |

^(a) Caudales ecológicos considerados en el Plan Hidrológico de la Cuenca del Guadalquivir para los ríos asociados a los Parques Naturales de Sierra Huétor y Sierra Nevada (Darro-Beas, Aguas Blancas, Genil, Monachil y Dílar)

Tabla 100. Cuadro resumen de los escenarios de simulación contemplados

11.2 SIMULACIÓN ESCENARIOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos mediante la simulación de los escenarios de gestión contemplados en el apartado anterior.

11.2.1.1 Hipótesis-1 Estado Cero

Esta simulación corresponde al escenario actual, considerando las aportaciones que registra el sistema en régimen natural, las infraestructuras de regulación, conducción, potabilización y depuración de que actualmente dispone el sistema; y las demandas consuntivas calculadas (urbanas y agrícolas).

En este escenario de simulación se han considerado en el correspondiente esquema topológico las relaciones que existen actualmente en el sistema entre fuentes de suministro y demandas. De manera que las diferentes demandas incluidas en el sistema reciben sus suministros de las fuentes que tienen asignadas actualmente, aunque sin considerar criterios concesionales para primar que una determinada demanda tome preferentemente de una fuente de suministro u otra.

Bajo esta hipótesis de gestión se analiza la respuesta del sistema que ofrece SIMGES para la optimización de la gestión de los recursos hídricos considerando las prioridades impuestas en la satisfacción de las demandas y en el uso de los embalses (tabla 101).

| HIPÓTESIS 1. SITUACIÓN ACTUAL | | Consortio La Vega-S ^a Elvira | Consortio S ^a Nevada-Vega Sur | Mancom. del Temple | Municipios Sector Septentrional | Regadíos Vega Granada | Regadíos Cornisa | Caudales ecológicos |
|----------------------------------|-----------|--|--|-----------------------|---------------------------------------|--------------------------|---------------------|------------------------|
| Garantía mensual | Nº Fallos | 2 | 4 | 0 | 0 | 211 | 252 | - |
| | Gm | 99,7% | 99,4% | 100,0% | 100,0% | 66,8% | 60,4% | - |
| | Gv | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 88,1% | 74,7% | - |
| MDM (hm ³) | 1 mes | 0,090 | 0,162 | 0,000 | 0,000 | 56,087 | 10,631 | - |
| | 2 meses | 0,173 | 0,292 | 0,000 | 0,000 | 102,178 | 18,396 | - |
| PHN | Nº fallos | 0 | 0 | 0 | 0 | 53 | 53 | - |
| | Garantía | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 0,0% | 0,0% | - |
| DEF15 | | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | - |
| DEF25 | | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | - |
| DEF50 | | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | - |
| DEF75 | | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | - |

Gm : Garantía mensual

Gv : Garantía volumétrica

Tabla 101. Resultados de la simulación Hipótesis 1-Situación Actual

Según los resultados del modelo de gestión, los **abastecimientos urbanos** no sufrirían déficits gracias a la aportación que reciben de los bombeos que se realizan en los embalses subterráneos. De hecho, si se efectúa una simulación considerando que no existieran los sondeos del Campo de Pozos de la Ronda Sur para abastecimiento al Consorcio S^a Nevada-Vega Sur, los indicadores de garantía de esta demanda urbana corresponderían a los que se muestran en la tabla 102 (Figura 172).

| HIPÓTESIS 1 Sin Bombeos Ronda Sur | | Consortio S ^a Nevada-Vega Sur |
|---|-----------|--|
| Garantía mensual | Nº Fallos | 38 |
| | Gm | 94,0% |
| | Gv | 97,6% |
| MDM (hm ³) | 1 mes | 2.162 |
| | 2 meses | 4.292 |
| PHN | Nº fallos | 8 |
| | Garantía | 84,9% |
| | DEF15 | NO CUMPLE |
| | DEF25 | NO CUMPLE |
| | DEF50 | NO CUMPLE |
| | DEF75 | CUMPLE |

Tabla 102. Resultados de la simulación Hipótesis 1-Situación Actual sin

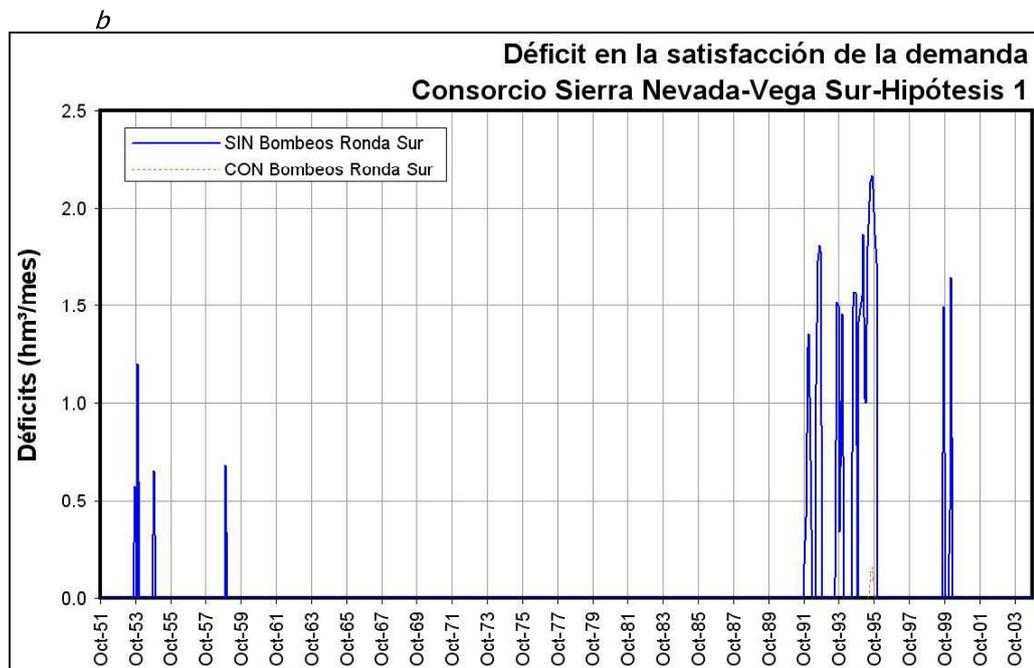


Figura 172. Déficit en la Demanda Urbana Sierra Nevada-Vega Sur Hipótesis 1-sin bombeos de la Ronda Sur

Según la procedencia del suministro de agua potable que se registra en el sistema para la Hipótesis-1 de simulación se observa que el caudal mensual promedio es de 5,149 hm³ y el anual de 61,793 hm³/a. De este caudal, un 63,2 % procede de infraestructuras de regulación superficial (sistema Canales-Quéntar y embalse Bermejales -39,079 hm³/a-) y el 36,8% restante de captaciones en embalses subterráneos (22,714 hm³/a). En la Figura 173 se presenta la distribución mensual del

suministro, segregando la que procede de embalses subterráneos de la procedente de infraestructuras superficiales.

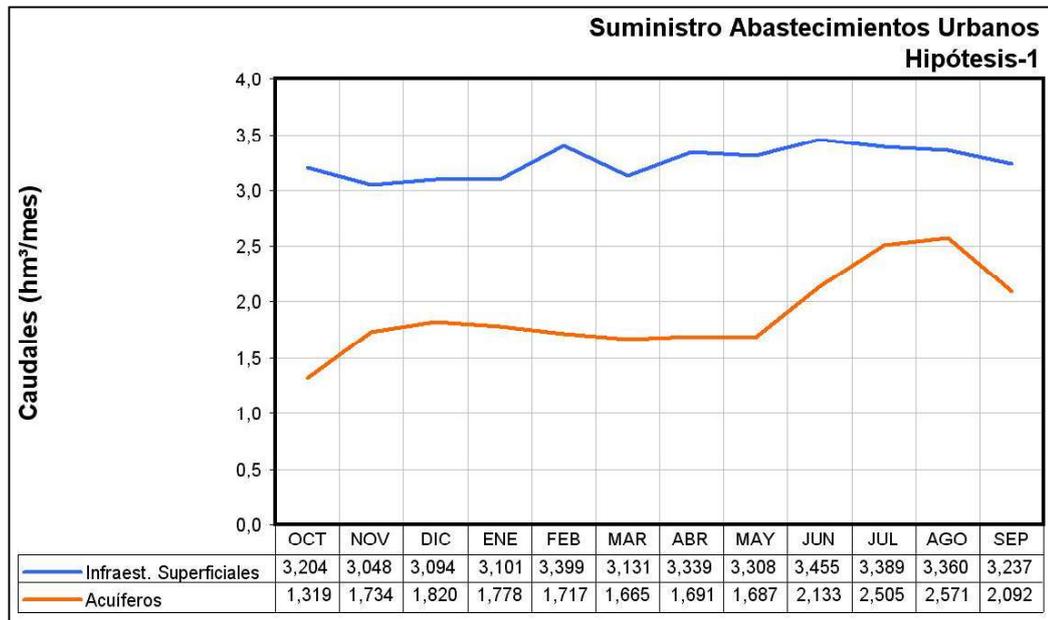


Figura 173. Suministro de agua para abastecimiento urbano Hipótesis-1

Las **demandas agrícolas** de la Vega de Granada registrarían unos indicadores de garantía en general aceptables, excepto en las zonas regables Alto Genil y Alfacar-Beas.

En el caso de la zona regable Alto Genil esto acontece por la competencia con el abastecimiento urbano, declarado como prioritario.

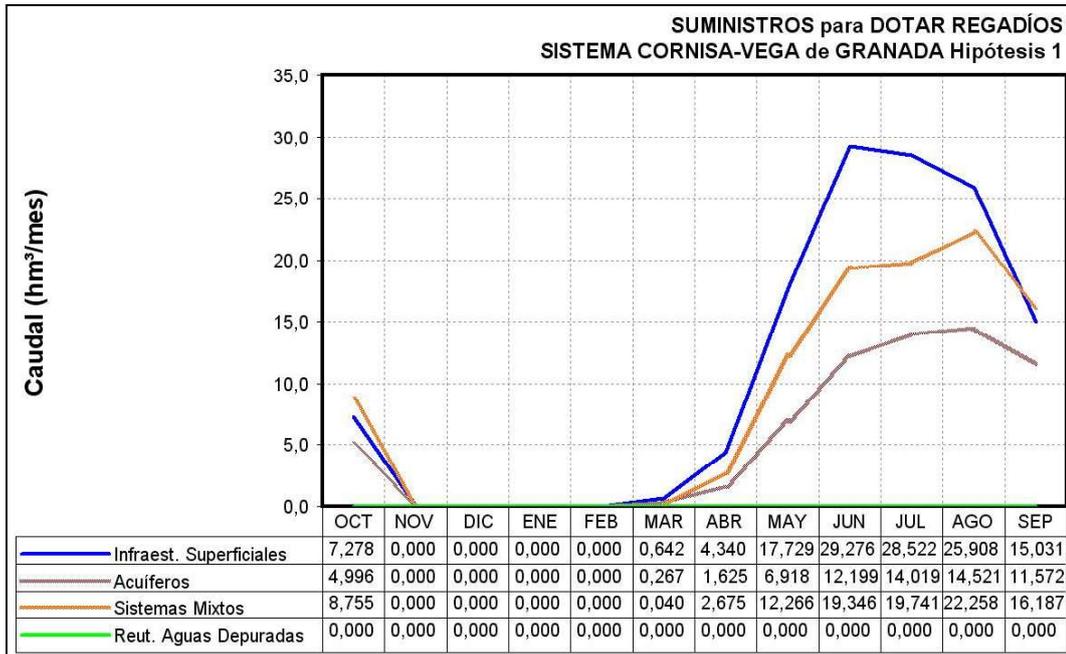
Para la zona regable de Alfacar-Beas (o de los Manantiales Triásicos), los datos de superficie regada del IRJA implican 2.164 ha con una dotación de 8.047 m³/ha/a; aunque considerando datos de otros informes (*Fundación Empresa-Universidad de Granada, 2004*), las Comunidades de Regantes adscritas a esta zona regable disponen de una superficie de riego de 1.283 ha con una dotación de 6.385 m³/ha/año. Esta disparidad de cifras deriva en unas demandas diferentes, que atendiendo a la fuente

de suministro que dota esta zona regable, parece más probable la superficie de riego indicada en el informe elaborado por Emasagra en 2004 (*Fundación Empresa-Universidad de Granada, 2004*). Por tanto, en las hipótesis simuladas se ha considerado una superficie de riego para esta demanda que supone el 60% de la fijada en el IRJA. No obstante, se producen un déficit significativo asociado a la competencia con el abastecimiento urbano, los limitados bombeos considerados (0,5 hm³/mes del embalse subterráneo Vega de Granada) y las dotaciones consideradas (8.047 m³/ha/a), algo elevadas.

| Demandas | Demanda (hm ³) | Nº Fallos | Garantía mensual (%) | Garantía Volum. % | Máximo Déficit Mensual | | CPH | | DEF50 |
|---|----------------------------|------------|----------------------|-------------------|--------------------------|----------------------------|-----------|-------------|------------------|
| | | | | | 1 mes (hm ³) | 2 meses (hm ³) | Nº Fallos | G (%) | |
| AGRICOLA | 349,19 | 252 | 60,4% | 85,4% | 122,807 | 222,760 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Regadíos Cornisa de Granada | 64,03 | 252 | 60,4% | 74,7% | 10,632 | 18,403 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Comarca Montefrío | 22,67 | 212 | 66,7% | 69,9% | 2,900 | 4,450 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Comarca Alhama | 17,62 | 252 | 60,4% | 67,6% | 2,094 | 3,385 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Comarca Iznalloz | 23,73 | 58 | 90,9% | 84,6% | 5,638 | 10,568 | 16 | 69,8% | NO CUMPLE |
| Regadíos Vega de Granada | 285,16 | 211 | 66,8% | 87,9% | 56,087 | 102,178 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Alto Genil | 26,23 | 184 | 71,1% | 40,4% | 8,580 | 16,190 | 51 | 3,8% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Vega Alta | 36,78 | 25 | 96,1% | 94,9% | 6,990 | 13,740 | 7 | 86,8% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Monachil-Dílar | 29,82 | 129 | 79,7% | 87,6% | 2,840 | 5,150 | 28 | 47,2% | NO CUMPLE |
| Zona Regable del Canal del Cacín | 33,63 | 14 | 97,8% | 97,1% | 7,458 | 12,898 | 7 | 86,8% | NO CUMPLE |
| Vega Baja del Genil | 63,53 | 13 | 98,0% | 97,7% | 12,347 | 20,436 | 5 | 90,6% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Alfacar-Beas (manantiales triásicos) | 10,32 | 211 | 66,8% | 59,8% | 2,079 | 4,142 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Vega Media MI | 18,17 | 73 | 88,5% | 88,2% | 3,930 | 7,460 | 14 | 73,6% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Cijuela-Láchar | 3,30 | 14 | 97,8% | 96,6% | 0,749 | 1,404 | 5 | 90,6% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Fte Vaqueros-Valdecaballeros | 6,30 | 6 | 99,1% | 99,2% | 0,673 | 1,191 | 2 | 96,2% | CUMPLE |
| Vega Granada-Velillos | 5,42 | 149 | 76,6% | 79,4% | 0,550 | 0,960 | 51 | 3,8% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Pantano Cubillas | 11,08 | 35 | 94,5% | 94,5% | 3,082 | 5,775 | 13 | 75,5% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Canal Cubillas | 21,46 | 11 | 98,3% | 98,6% | 2,128 | 3,933 | 5 | 90,6% | CUMPLE |
| Vega Granada-Canal Albolote | 19,12 | 58 | 90,9% | 86,9% | 4,680 | 8,899 | 18 | 66,0% | NO CUMPLE |

Tabla 103. Indicadores de garantía de las demandas para riego (Hipótesis-1)

Para el escenario de simulación considerado, el suministro total de agua para dotar los regadíos del sistema Cornisa-Vega de Granada asciende a un volumen promedio anual de 296,109 hm³, del que un 43,5% procede de recursos regulados mediante infraestructuras superficiales (128,725 hm³/a), un 22,3 % de la captación de recursos subterráneos (66,116 hm³/a) y el 34,2% restante de procedencia mixta (101,268 hm³/a, tomas en cauces donde se mezclan recursos superficiales y subterráneos -drenaje de acuíferos-).



*Figura 174. Procedencia de los recursos suministrado para riegos.
Hipótesis 1*

| Meses | Regadíos Cubillas-Colomera | Regadíos Vega Alta | Regadíos Vegas Media y Baja | Regadíos Canal Cacin | Regadíos Cornisa de Granada | DÉFICITS MEDIOS MENSUALES (hm³/mes) |
|-------|----------------------------|--------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| oct | 0,040 | 0,040 | 0,245 | 0,145 | 0,000 | 0,470 |
| nov | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| dic | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| ene | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| feb | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| mar | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 |
| abr | 0,000 | 0,002 | 0,023 | 0,000 | 0,004 | 0,029 |
| may | 0,005 | 0,202 | 0,168 | 0,000 | 0,211 | 0,585 |
| jun | 0,666 | 2,065 | 0,585 | 0,088 | 2,993 | 6,397 |
| jul | 1,437 | 8,165 | 0,694 | 0,103 | 3,608 | 14,007 |
| ago | 1,789 | 10,743 | 1,339 | 0,373 | 5,962 | 20,206 |
| sep | 0,585 | 4,144 | 0,746 | 0,254 | 3,407 | 9,135 |

Tabla 104. *Déficits medios mensuales (hm³) de las demandas agrícolas. Hipótesis 1*

En cuanto a la evolución del volumen de agua almacenado en los **embalses**, el modelo de simulación ofrece un resultado que muestra un estado de vaciamiento total del sistema Canales-Quéntar en el periodo de sequía 1993-95 (Figura 175), mientras que el sistema Cubillas-Colomera se muestra más vulnerable y ofrece un mayor número de situaciones de este tipo en diferentes periodos de la serie analizada (1951-2004) (Figura 176).

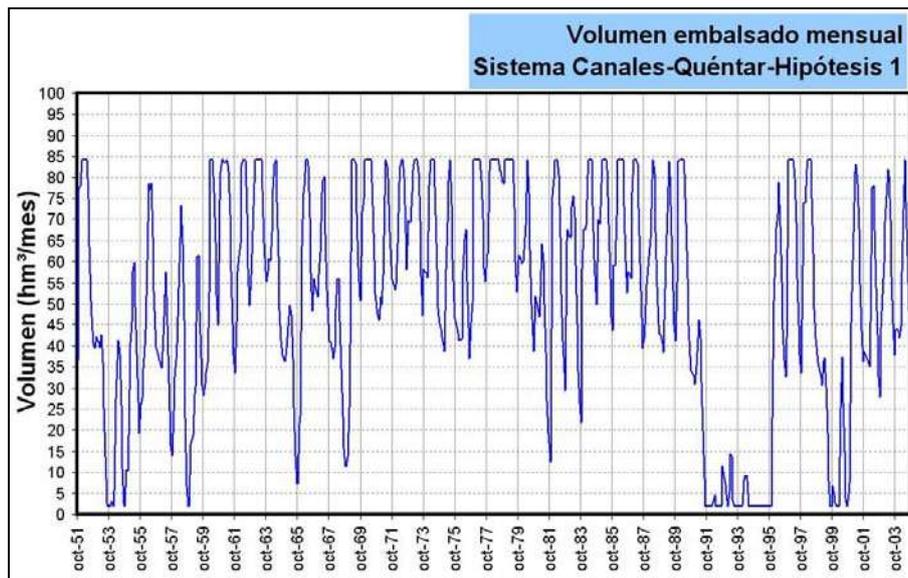


Figura 175. Evolución de los embalses del sistema Canales-Quéntar (Hipótesis 1)

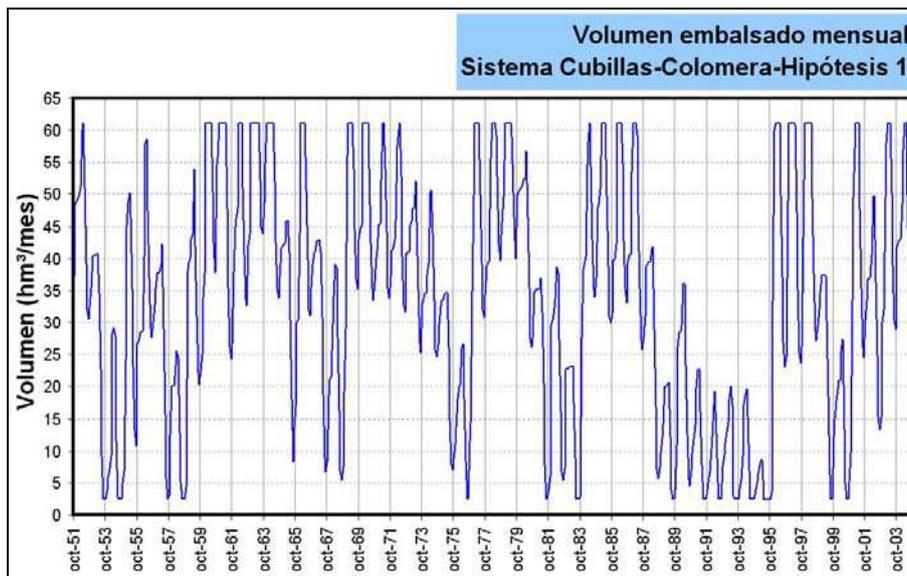


Figura 176. Evolución de los embalses del sistema Cubillas-Colomera (Hipótesis 1)

En la Figura 177 se muestra la evolución simulada para el embalse de Bermejales, que presenta una respuesta muy similar al sistema Canales-Quéntar.

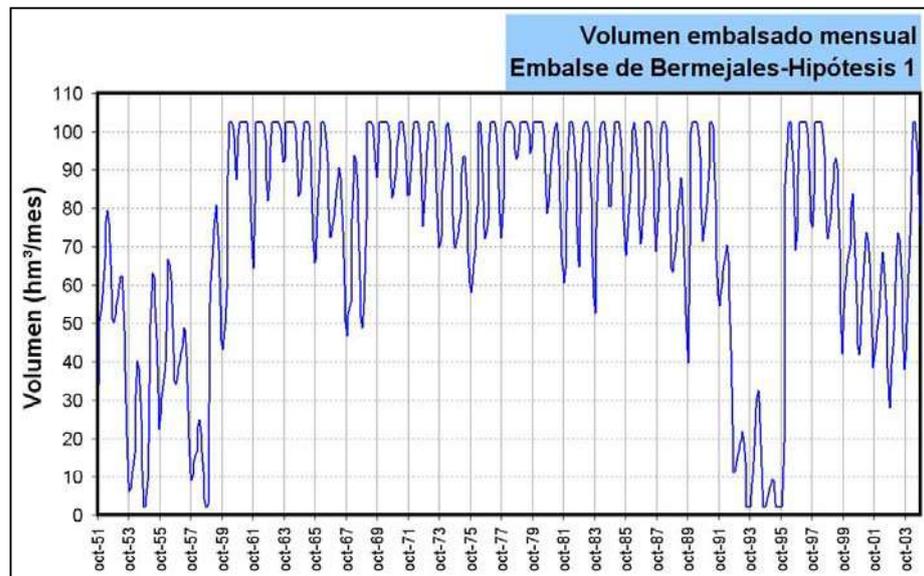


Figura 177. Evolución embalse Los Bermejales (Hipótesis 1)

La evolución del estado de llenado que presenta el **embalse subterráneo Vega de Granada** puede constatarse a través de los parámetros de control impuestos en el modelo de autovalores utilizado. Estos parámetros de control hacen referencia a los caudales que son drenados por el acuífero al río Genil y a las medidas piezométricas en determinados puntos de observación.

Respecto a la descarga que recibe el río Genil en régimen influenciado (Figura 178), el modelo de uso conjunto desarrollado para las condiciones de simulación de la Hipótesis 1, proporciona un drenaje promedio anual de 43,211 hm³, inferior al que se obtendría para el régimen natural (52,285 hm³/a), por lo que el balance comparativo de la recarga que recibe por infiltración de retornos de riegos respecto a las salidas asociadas a los bombeos resulta negativo, además de perjudicial en términos de calidad.

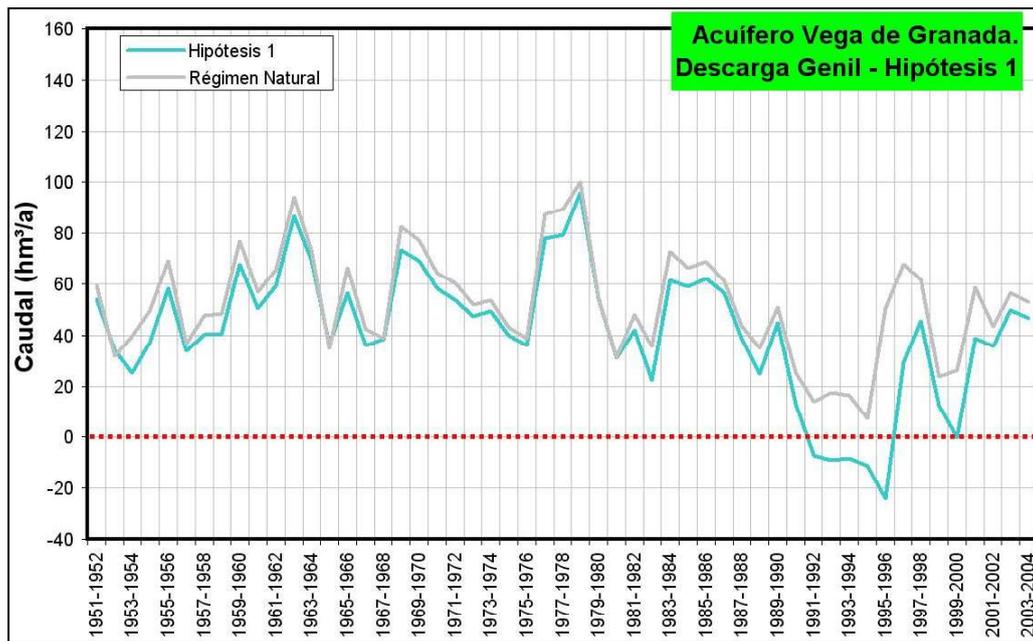


Figura 178. Simulación de la descarga que recibe el río Genil del embalse subterráneo Vega de Granada mediante el modelo de autovalores. Hipótesis 1

La simulación correspondiente a la Hipótesis 1 muestra que en el periodo 1993-1995 el río Genil modificó su relación hidráulica con el acuífero Vega de Granada, pasando de comportarse como un cauce ganador en régimen natural, a perdedor en régimen influenciado.

No obstante, la respuesta que ofrece el modelo de simulación para el acuífero de la Vega de Granada, una vez registrado este episodio de intensa sequía, es una relativamente rápida recuperación de niveles piezométricos en el acuífero y un retorno a la situación de río efluente o ganador.

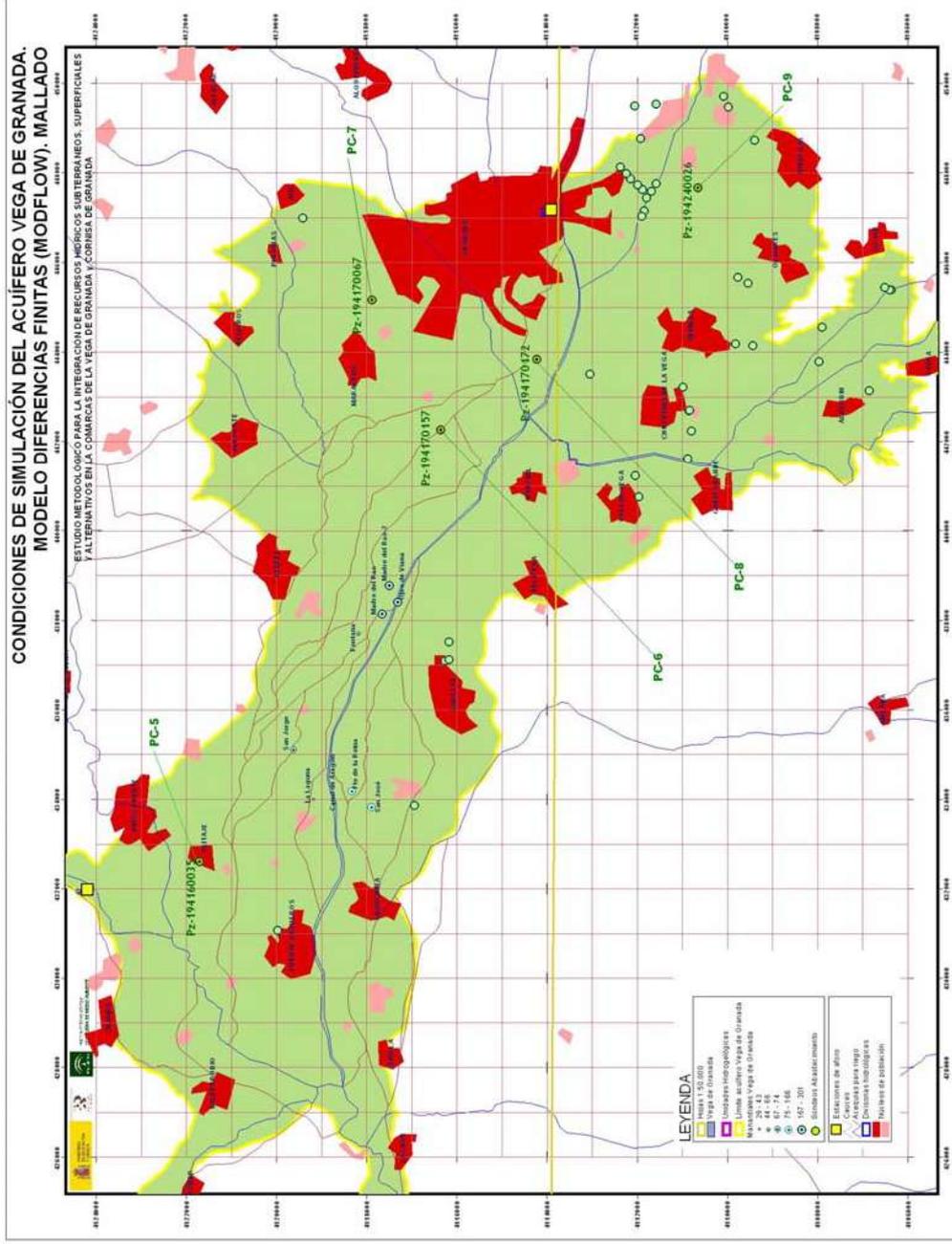
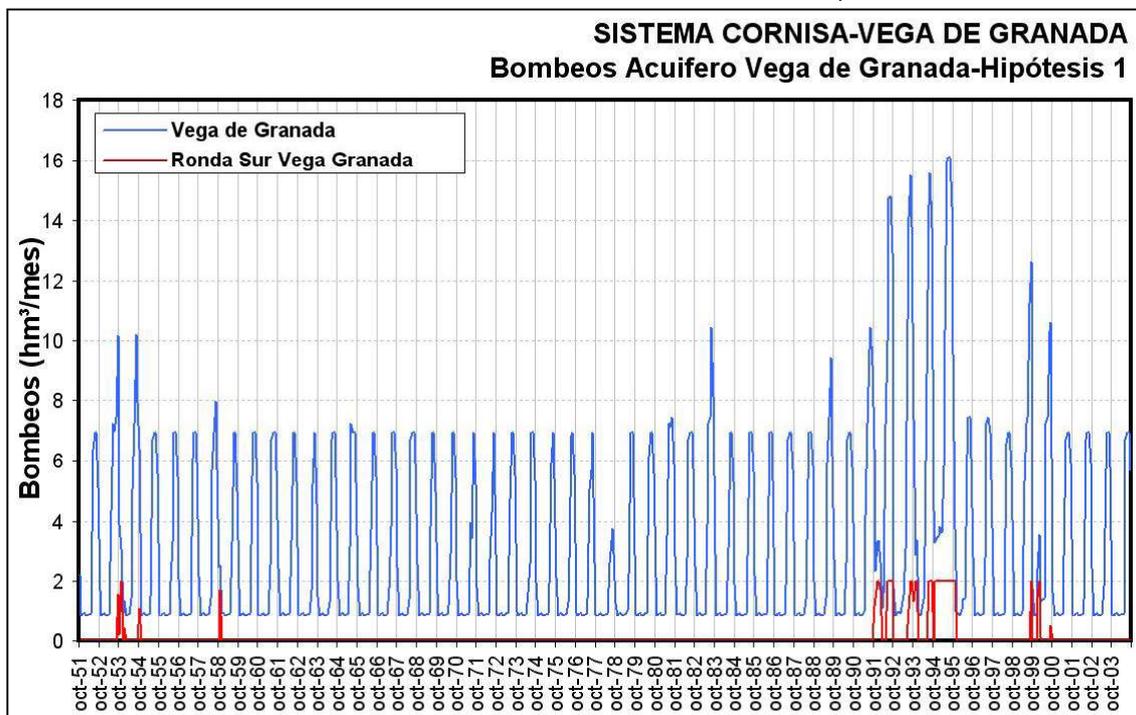


Figura 179. Piezómetros de control del embalse subterráneo Vega de Granada

El volumen promedio anual de bombeos que registra el embalse subterráneo es de 37,977 hm³ (13,204 hm³/a para abastecimiento urbano y el resto para consumo agrícola), con un máximo de 100,838 hm³ en el año 1994-95. La cifra promedio de bombeos que proporciona el modelo de uso conjunto desarrollado, para la hipótesis 1, se aproxima a la fijada en los balances hidrogeológicos que se han formulado en el embalse subterráneo Vega de Granada (32 hm³/a), por lo que las condiciones de simulación que se han establecido para este acuífero en la hipótesis de estado cero (Hipótesis 1) son similares a las realmente existentes.

En la Figura 180 se muestra la evolución simulada, mediante el modelo de uso conjunto desarrollado, de los bombeos mensuales en el acuífero Vega de Granada para la Hipótesis 1 (promedio mensual de 3,165 hm³ -1,22 m³/s de caudal continuo-, con un máximo de 16,100 hm³/mes -6,21 m³/s de caudal continuo-). También se incluyen los bombeos simulados para abastecimiento urbano a la zona metropolitana de Granada desde el Campo de Pozos de la Ronda Sur.

Figura 180. Bombeos simulados embalse subterráneo Vega de Granada. Hipótesis 1-escenario actual



En lo referente a la evolución piezométrica que registraría el embalse subterráneo vega de Granada, ante las condiciones de simulación impuestas por el escenario de gestión vinculado a la Hipótesis 1 (Figuras 181 a 184), los resultados obtenidos ofrecen una evolución similar a la realmente registrada en los piezómetros de las redes de control que mantenía el IGME, a pesar de las condiciones de simulación impuestas al modelo de uso conjunto, en lo que se refiere a la cuantía y distribución temporal de los bombeos, no corresponden con datos reales, sino que el modelo de simulación solicita del embalse subterráneo los bombeos necesarios para satisfacer las demandas bajo unos condicionantes de capacidad de bombeo máximas (Figura 180).

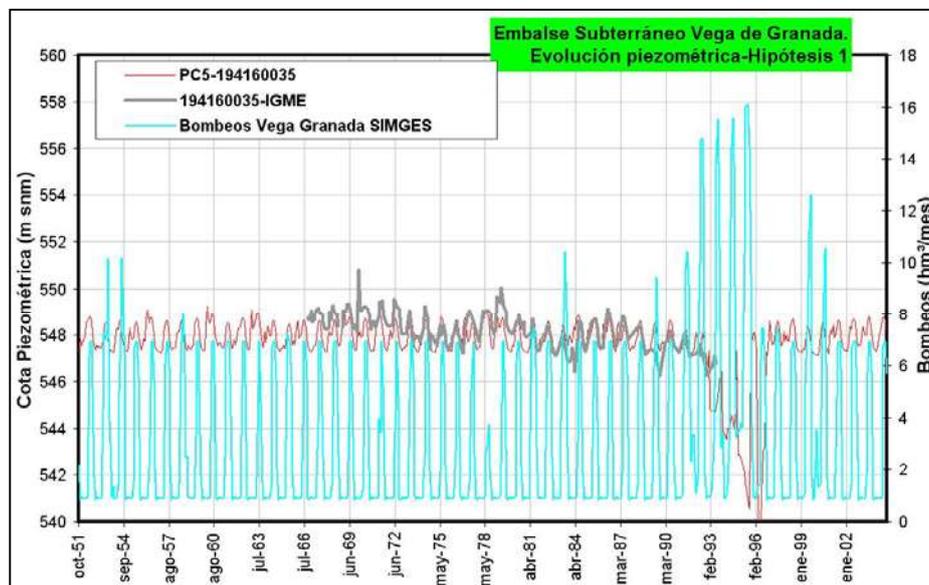


Figura 181. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 1.
Piezómetro 194160035

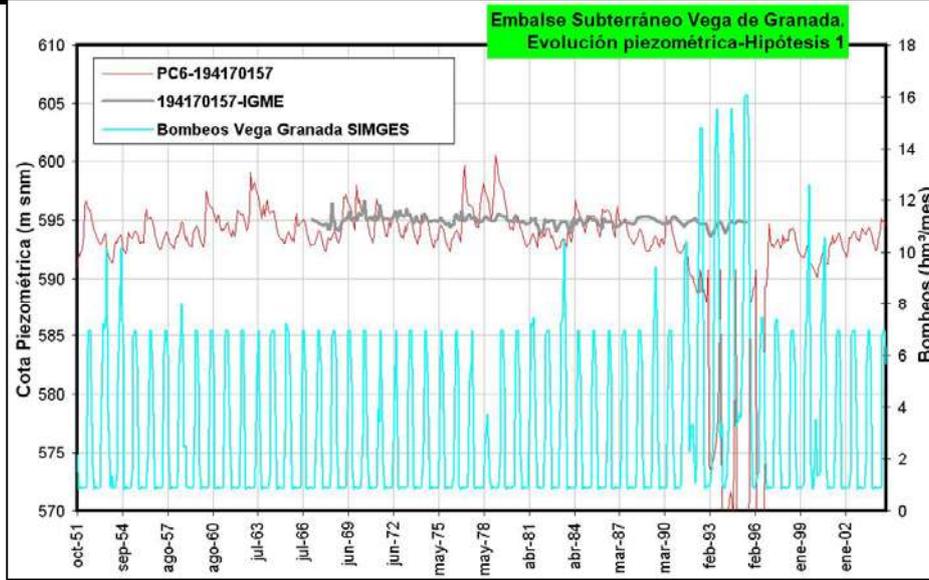


Figura 182. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 1. Piezómetro 194170157

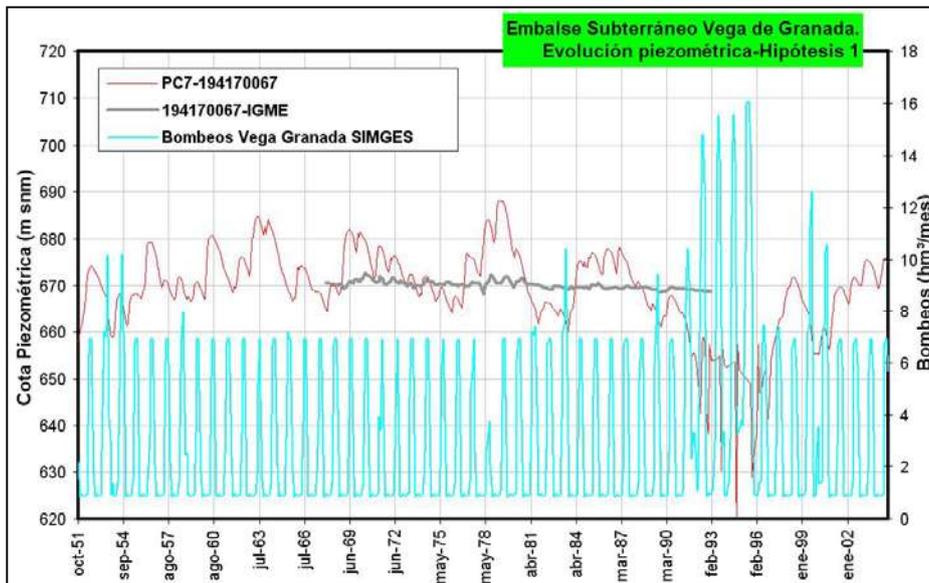


Figura 183. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 1. Piezómetro 194170067

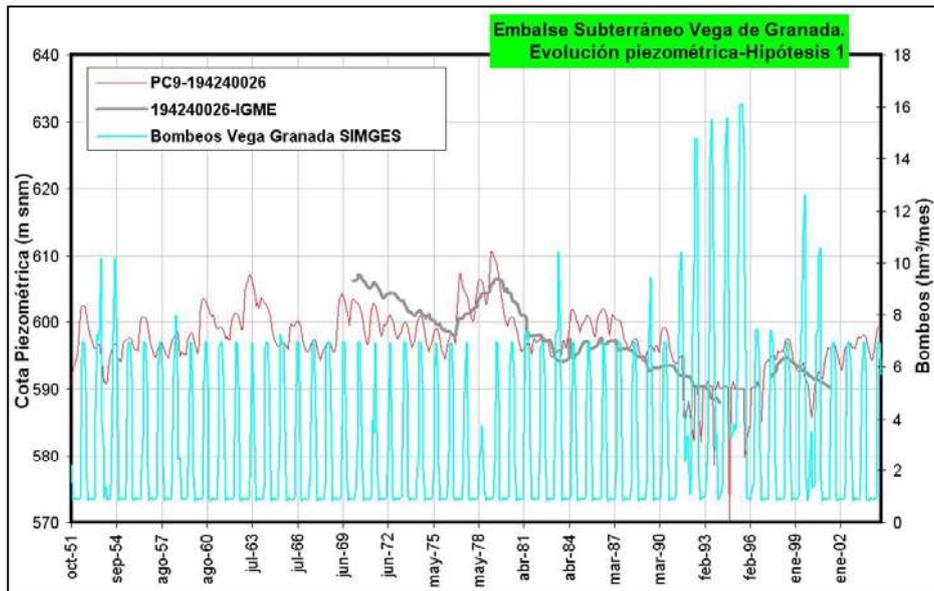


Figura 184. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 1. Piezómetro 194170026

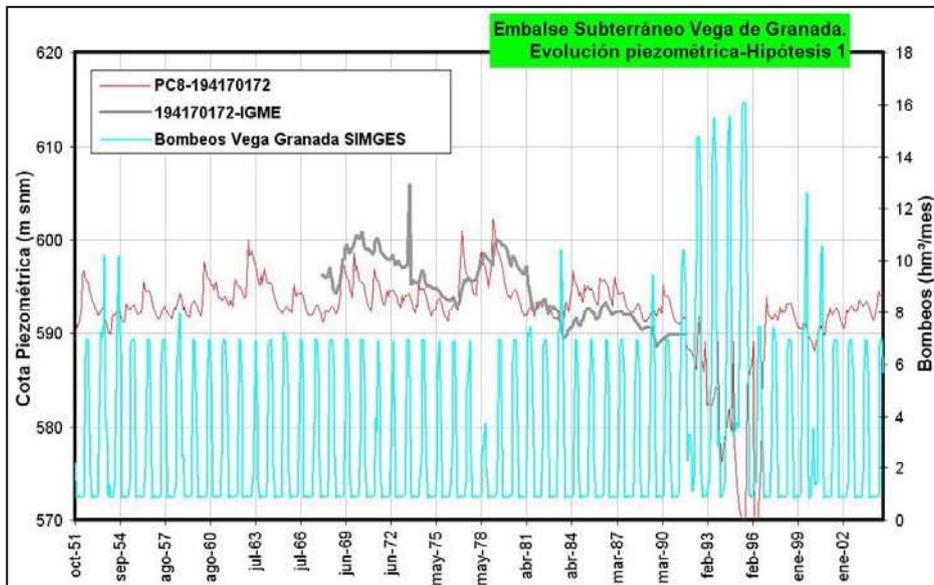


Figura 185. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 1. Piezómetro 194240172

El escenario de gestión simulado (hipótesis 1–escenario actual) ofrece unos sobrantes anuales promedio para el Sistema Cornisa–Vega de Granada de 337,3 hm³, que sería la aportación del sistema al embalse de Iznajar (río Genil). Esta aportación en régimen influenciado obtenida para la hipótesis 1 supone un 59,8% de la aportación en régimen natural (Figura 186).

El conjunto de demandas consuntivas anuales promedio servidas por el conjunto de infraestructuras del sistema se cifra en 361,2 hm³/a, un 87,7% de la demanda total máxima del sistema, lo que indicaría un déficit promedio anual de 50,85 hm³, vinculado, esencialmente, a las demandas agrícolas, ya que para el abastecimiento urbano se han obtenido déficits muy puntuales y de escasa cuantía.

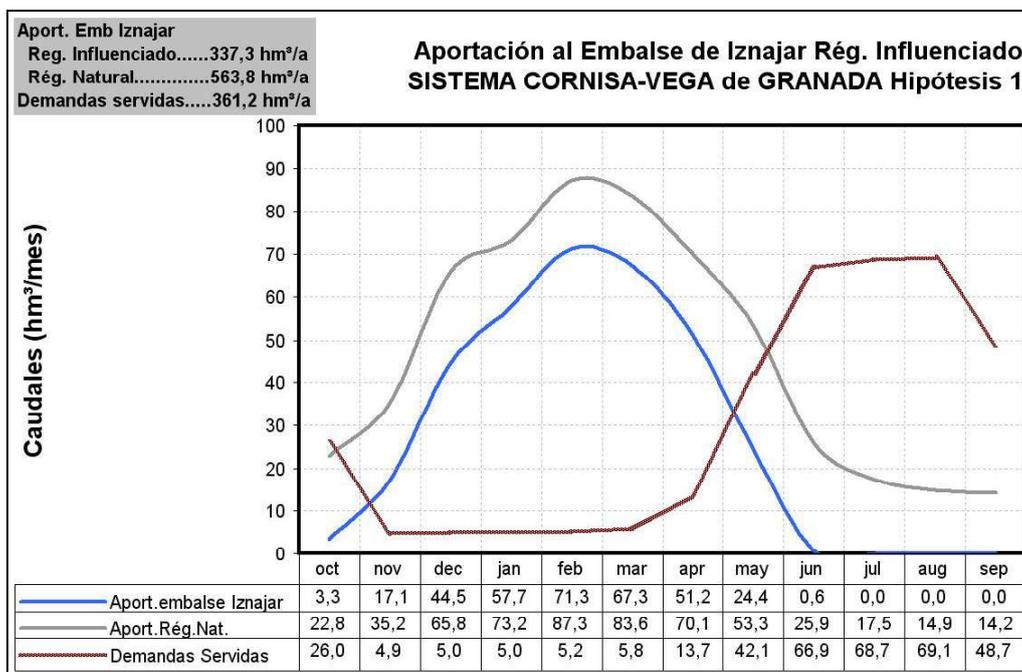


Figura 186. Aportación del Sistema Cornisa–Vega de Granada a Iznajar. Hipótesis 1

11.2.1.2 Hipótesis 2– Régimen Caudales Ecológicos Críticos

Esta simulación corresponde al escenario que se ha denominado como escenario actual (hipótesis 1), pero considerando las restricciones que impondrían al subsistema Quéntar–Canales el mantenimiento del régimen de caudales ecológicos calculado para los cauces vinculados a los parques naturales Sierra Huétor y Sierra Nevada (Darro, Aguas Blancas, Genil, Monachil y Dílar), partiendo de las aportaciones que registra el sistema en régimen natural, las infraestructuras de regulación, conducción, potabilización y depuración de que actualmente dispone el sistema; y las demandas consuntivas calculadas (urbanas y agrícolas).

Al igual que en la hipótesis 1 (escenario estado cero), para este escenario de simulación se han considerado en el correspondiente esquema topológico las relaciones que existen actualmente en el sistema entre fuentes de suministro y demandas. De manera que las diferentes demandas incluidas en el sistema reciben sus suministros de las fuentes que tienen asignadas actualmente, aunque sin considerar criterios concesionales para primar que una determinada demanda tome preferentemente de una fuente de suministro u otra.

Por otra parte, en la simulación de los regímenes ecológicos dependientes del subsistema Quéntar–Canales (régimen de caudales ecológicos fijados para los cauces Aguas Blancas y Genil) se ha optado por un modelo de gestión en el que los embalses participan en el mantenimiento de estos caudales ecológicos críticos, disponiendo estas demandas aguas abajo de estas infraestructuras de regulación superficial (Figura 187).

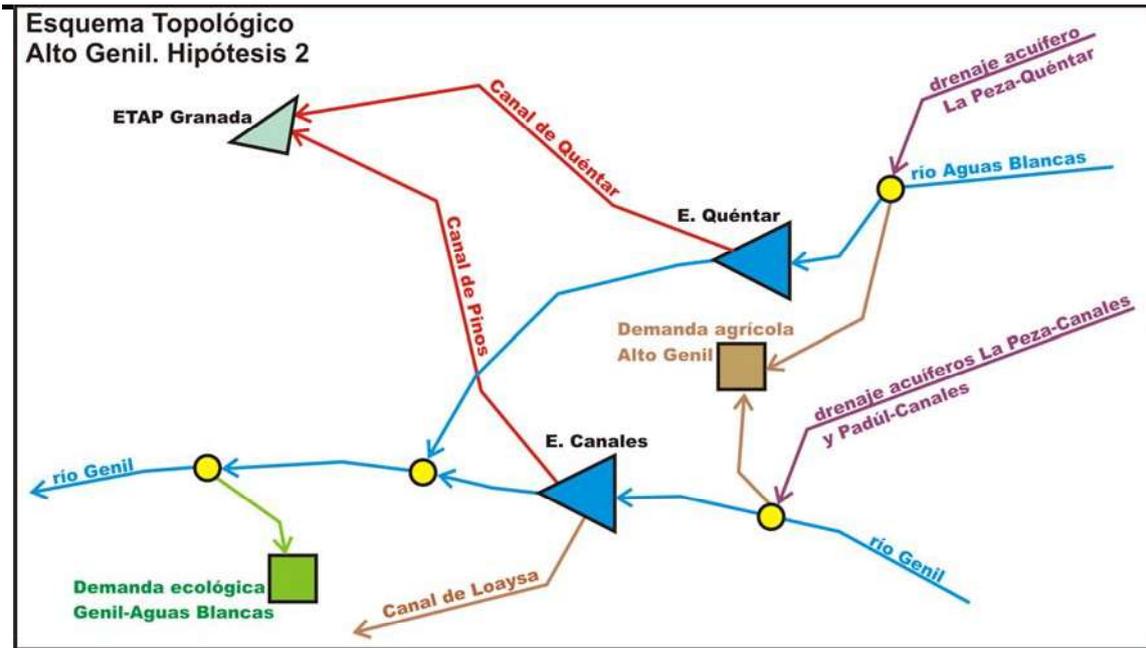


Figura 187. Esquema topológico del Alto Genil-Hipótesis 2

Bajo esta hipótesis de gestión se analiza la respuesta del sistema que ofrece SIMGES para la optimización de la gestión de los recursos hídricos considerando las prioridades impuestas en la satisfacción de las demandas y en el uso de los embalses.

| HIPÓTESIS 2. RÉGIMEN CAUDALES ECOLOG. | | Consorcio La Vega-S ^a Elvira | Consorcio S ^a Nevada-Vega Sur | Mancom. del Temple | Municipios Sector Septentrional | Regadíos Vega Granada | Regadíos Cornisa | Caudales ecológicos |
|---------------------------------------|-----------|---|--|--------------------|---------------------------------|-----------------------|------------------|---------------------|
| Garantía mensual | Nº Fallos | 35 | 117 | 0 | 0 | 245 | 252 | 203 |
| | Gm | 94,5% | 81,6% | 100,0% | 100,0% | 61,5% | 60,4% | 68,1% |
| | Gv | 99,5% | 98,6% | 100,0% | 100,0% | 85,4% | 74,9% | 90,2% |
| MDM (hm ³) | 1 mes | 0,171 | 0,429 | 0,000 | 0,000 | 56,055 | 10,623 | 7,993 |
| | 2 meses | 0,324 | 0,858 | 0,000 | 0,000 | 102,107 | 18,373 | 15,175 |
| PHN | Nº fallos | 0 | 0 | 0 | 0 | 53 | 53 | 32 |
| | Garantía | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 0,0% | 0,0% | 39,6% |
| | DEF15 | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| | DEF25 | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| | DEF50 | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| | DEF75 | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| | Gm : | Garantía mensual | | | | | | |
| | Gv : | Garantía volumétrica | | | | | | |

Tabla 105. Resultados de la simulación Hipótesis 2-Régimen Caudales Ecológicos Críticos

Según los resultados del modelo de gestión los **abastecimientos urbanos** de La Vega de Granada sufrirían unos déficits superiores a los de la Hipótesis 1 (tabla 105). Esto es consecuencia de una menor disponibilidad de recursos en el sistema Canales-Quéntar al tener éste que satisfacer una cierta demanda ecológica. No obstante, este déficit podría eliminarse si se incrementa el bombeo de aguas subterráneas desde el acuífero Vega de Granada.

Según los resultados que suministra SIMGES, para este escenario de simulación se precisa incrementar en 0,5 hm³/mes la capacidad de bombeo del Campo de Pozos de la Ronda Sur para asegurar el abastecimiento al Consorcio Sierra Nevada-Vega Sur (Figura 188).

La dependencia que muestra el abastecimiento urbano de las aguas subterráneas se ha evaluado efectuando una simulación que no considera los sondeos del Campo de Pozos de la Ronda Sur para apoyar el abastecimiento al Consorcio S^a Nevada-Vega Sur. Para esta simulación se obtiene los indicadores de garantía que se muestran en la tabla 106, que son notablemente inferiores a los obtenidos en la simulación que incluye estos bombeos (tabla 105). En la Figura 187 se muestran los déficits que se producirían en ambos supuestos.

| HIPÓTESIS 2. Sin bombeos en Ronda Sur | | Consorcio S ^a Nevada-Vega Sur |
|---|-----------|--|
| Garantía mensual | Nº Fallos | 143 |
| | Gm | 77,5% |
| | Gv | 85,7% |
| MDM (hm ³) | 1 mes | 2,429 |
| | 2 meses | 4,858 |
| PHN | Nº Fallos | 28 |
| | Garantía | 47,2% |
| | DEF15 | NO CUMPLE |
| | DEF25 | NO CUMPLE |
| | DEF50 | NO CUMPLE |
| | DEF75 | NO CUMPLE |

Tabla 106. Resultados de la simulación Hipótesis 2-Régimen Caudales Ecológicos Críticos sin bombeos Ronda Sur

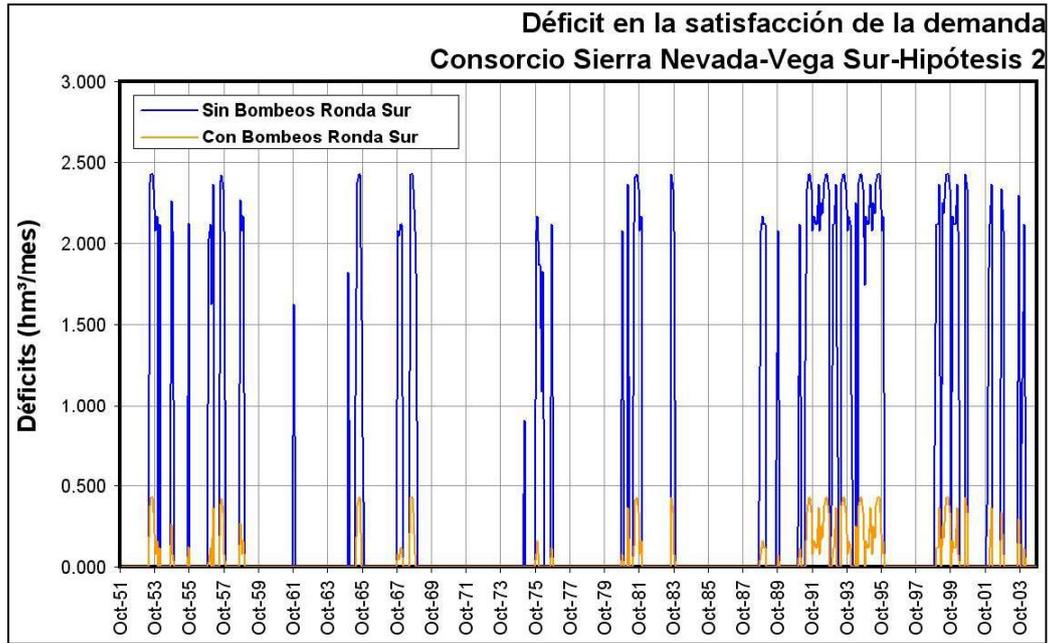


Figura 188. Déficits en la Demanda Urbana Sierra Nevada–Vega Sur Hipótesis 2–sin bombeos Ronda Sur

Según la procedencia del suministro de agua potable que se registra en el sistema para la Hipótesis-2 de simulación se observa que el caudal mensual promedio es de 5,048 hm³ y el anual corresponde a 60,577 hm³/a, del que un 54,5 % procede de infraestructuras de regulación superficial (sistema Canales–Quéntar y embalse Bermejales –33,024hm³/a–) y el 45,5% restante de la captación de aguas subterráneas en acuíferos (27,553 hm³/a). Si se considera la distribución mensual del suministro se observa como el proveniente de embalses subterráneos es superior en los meses de agosto y septiembre que el procedente de las infraestructuras superficiales (Figura 189).

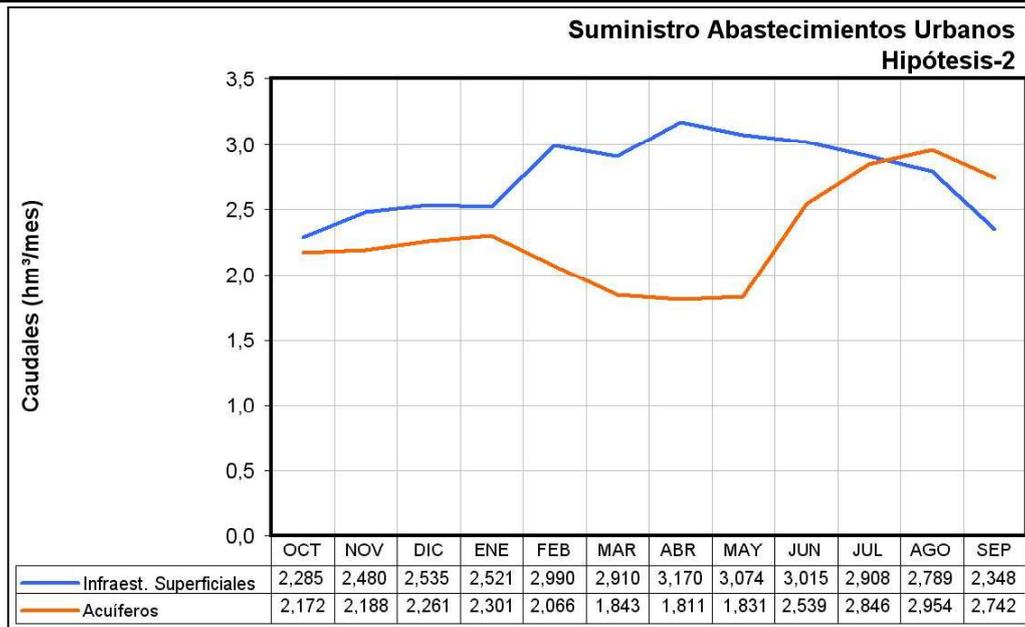


Figura 189. Suministro de agua para abastecimiento urbano Hipótesis-2

Las **demandas agrícolas** de la Vega de Granada registrarían unos indicadores de garantía aceptables, excepto los asociados a las zonas regables Alto Genil y Alfacar-Beas (manantiales triásicos), por las razones ya expuestas en la Hipótesis 1.

Asimismo, en la zona regable de Montefrío es posible que los bombeos que se ejercen sobre los acuíferos de las unidades hidrogeológicas 05.29/Sierra Colomera y 05.34/Madrid-Parapanda para dotar estos riegos sean superiores a los declarados en el modelo SIMGES, de aquí los índices de garantía obtenidos para esta demanda. Igualmente puede acontecer con la zona regable Alhama respecto a bombeos que puedan estar produciéndose sobre la UH 05.42/Tejeda-Almijara.

| Demandas | Demanda (hm ³) | Nº Fallos | Garantía mensual (%) | Garantía Volum. % | Máximo Déficit Mensual | | CPH | | DEF50 |
|---|----------------------------|-----------|----------------------|-------------------|--------------------------|----------------------------|-----------|-------|-----------|
| | | | | | 1 mes (hm ³) | 2 meses (hm ³) | Nº Fallos | G (%) | |
| AGRÍCOLA | 349,19 | 252 | 60,4% | 83,2% | 122,733 | 222,587 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Regadíos Cornisa de Granada | 64,03 | 252 | 60,4% | 74,9% | 10,623 | 18,373 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Comarca Montefrío | 22,67 | 212 | 66,7% | 69,9% | 2,900 | 4,450 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Comarca Alhama | 17,62 | 252 | 60,4% | 67,6% | 2,085 | 3,355 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Comarca Iznalloz | 23,73 | 57 | 91,0% | 85,2% | 5,638 | 10,568 | 16 | 69,8% | NO CUMPLE |
| Regadíos Vega de Granada | 285,16 | 245 | 61,5% | 85,0% | 56,055 | 102,107 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Alto Genil | 26,23 | 211 | 66,8% | 36,0% | 8,580 | 16,190 | 51 | 3,8% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Vega Alta | 36,78 | 89 | 86,0% | 82,8% | 6,990 | 13,740 | 21 | 60,4% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Monachil-Dílar | 29,82 | 126 | 80,2% | 88,5% | 2,744 | 4,947 | 16 | 69,8% | NO CUMPLE |
| Zona Regable del Canal del Cacín | 33,63 | 14 | 97,8% | 97,0% | 7,467 | 12,907 | 7 | 86,8% | NO CUMPLE |
| Vega Baja del Genil | 63,53 | 14 | 97,8% | 97,4% | 12,396 | 20,579 | 5 | 90,6% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Alfacar-Beas (manantiales triásicos) | 10,32 | 245 | 61,5% | 42,0% | 2,079 | 4,142 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Vega Media MI | 18,17 | 102 | 84,0% | 84,1% | 3,930 | 7,460 | 26 | 50,9% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Cijuela-Láchar | 3,30 | 15 | 97,6% | 95,9% | 0,738 | 1,394 | 7 | 86,8% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Fte Vaqueros-Valdecaballeros | 6,30 | 6 | 99,1% | 99,1% | 0,690 | 1,142 | 2 | 96,2% | CUMPLE |
| Vega Granada-Velillos | 5,42 | 149 | 76,6% | 79,4% | 0,550 | 0,960 | 51 | 3,8% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Pantano Cubillas | 11,08 | 35 | 94,5% | 94,1% | 3,088 | 5,802 | 15 | 71,7% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Canal Cubillas | 21,46 | 13 | 98,0% | 98,6% | 2,127 | 3,938 | 4 | 92,5% | CUMPLE |
| Vega Granada-Canal Albolote | 19,12 | 59 | 90,7% | 87,3% | 4,677 | 8,907 | 19 | 64,2% | NO CUMPLE |

Tabla 107. Indicadores de garantía de las demandas para riego (Hipótesis-2)

Para el escenario de simulación considerado, el suministro total de agua para dotar los regadíos del sistema Cornisa-Vega de Granada asciende a un volumen promedio anual de 287,502 hm³, del que un 42,5% procede de recursos regulados mediante infraestructuras superficiales (122,169 hm³/a), un 22,3 % de la captación de recursos subterráneos (64,102 hm³/a) y el 35,2% restante de procedencia mixta (101,231 hm³/a, tomas en cauces donde se mezclan recursos superficiales y subterráneos -drenaje de acuíferos-). En la Figura 190 se muestra la distribución mensual el suministro de agua para regadío según su procedencia.

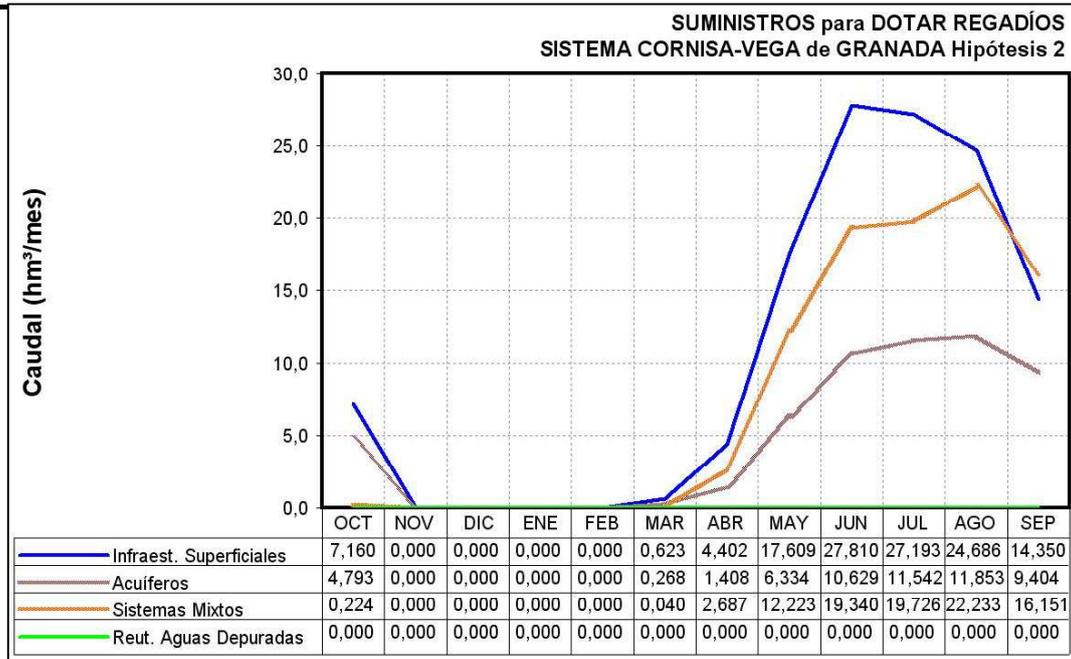


Figura 190. Procedencia de los recursos suministrado para riegos. Hipótesis 2

Las demandas ecológicas fijadas en los cauces del Alto Genil, cuyas cuencas de recepción se sitúan parcialmente en los parques naturales de Sierra Huétor y Sierra Nevada, presentan unos índices de garantía insatisfactorios (tabla 105), a pesar que estas demandas han sido declaradas como de máxima prioridad en el modelo de gestión SIMGES, por las siguientes razones:

- La cuantía de los caudales fijados para el régimen de caudales ecológicos calculado (suponen el 36,7% del caudal circulante por los cauces para el año tipo medio y el 95,5 % para el año tipo seco). El régimen ecológico crítico ha sido fijado en 65,09 hm³/a (río Darro: 8,19 hm³/a; río Aguas Blancas: 8,79 hm³/a; río Genil: 32,25 hm³/a; río Monachil: 8,90 hm³/a; y río Dílar: 6,97 hm³/a) (Figura 191), superando, en algunos meses de la serie considerada, a la aportación natural calculada (Figura 192). Esta situación provoca que sea imposible satisfacer la demanda ecológica fijada con índices de garantía del 100% (tabla 108).

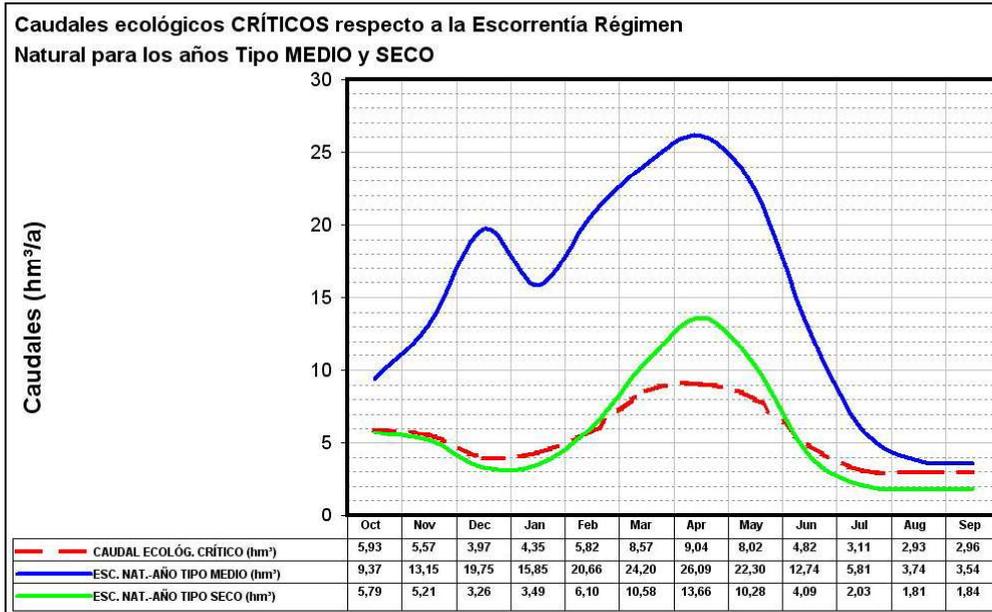


Figura 191. Régimen de caudales ecológicos calculados para el sistema Canales-Quéntar.

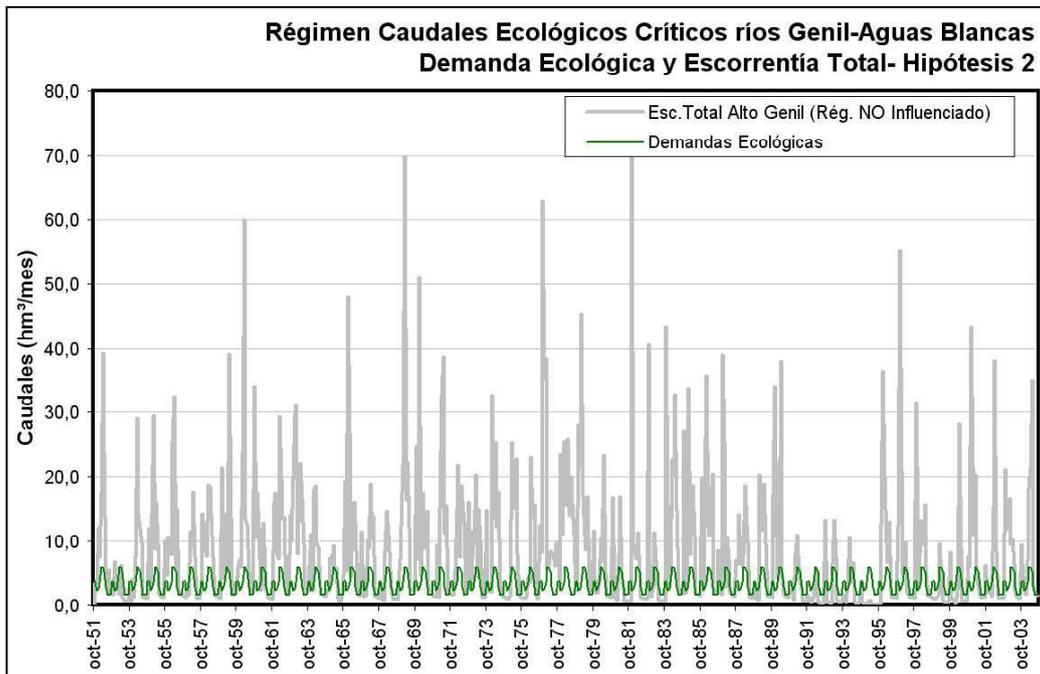


Figura 192. Comparación demanda ecológica y escorrentía total en régimen NO influenciado. Ríos Genil y Aguas Blancas

| Demandas | Demanda (hm ³) | Nº Fallos | Garantía mensual (%) | Garantía Volum. % | Máximo Déficit Mensual | | CPH | |
|---|----------------------------|------------|----------------------|-------------------|--------------------------|----------------------------|-----------|--------------|
| | | | | | 1 mes (hm ³) | 2 meses (hm ³) | Nº Fallos | G (%) |
| Régimen NO Influenciado | 65,09 | 203 | 68,1% | 95,7% | 2,890 | 5,298 | 32 | 39,6% |
| S ^a Huétor-Darro-Beas | 8,19 | 198 | 68,9% | 88,2% | 0,938 | 1,689 | 22 | 58,5% |
| S ^a Nevada-Aguas Blancas-Genil | 41,04 | 0 | 100,0% | 100,0% | 0,000 | 0,000 | 0 | 100,0% |
| S ^a Nevada-Monachil | 8,90 | 203 | 68,1% | 88,4% | 1,054 | 1,976 | 31 | 41,5% |
| S ^a Nevada-Dílar | 6,97 | 202 | 68,2% | 88,3% | 0,899 | 1,634 | 32 | 39,6% |
| HIPÓTESIS 2 | 65,09 | 203 | 68,1% | 90,2% | 7,993 | 15,175 | 32 | 39,6% |
| S ^a Huétor-Darro-Beas | 8,19 | 198 | 68,9% | 88,2% | 0,938 | 1,689 | 22 | 58,5% |
| S ^a Nevada-Aguas Blancas-Genil | 41,04 | 119 | 81,3% | 91,3% | 5,103 | 9,877 | 26 | 50,9% |
| S ^a Nevada-Monachil | 8,90 | 203 | 68,1% | 88,4% | 1,054 | 1,976 | 31 | 41,5% |
| S ^a Nevada-Dílar | 6,97 | 202 | 68,2% | 88,3% | 0,899 | 1,634 | 32 | 39,6% |

Tabla 108. Indicadores de garantía para la demanda ecológica en el Régimen NO Influenciado y en la Hipótesis 2

- La ingente cuantía del resto de demandas que dependen del sistema Canales-Quéntar (demandas urbanas -54,3 hm³/a- y agrícolas -292,2 hm³/a-), implica la aparición de déficits en la demanda ecológica superiores a los que se obtiene para el régimen no influenciado (tabla 108).

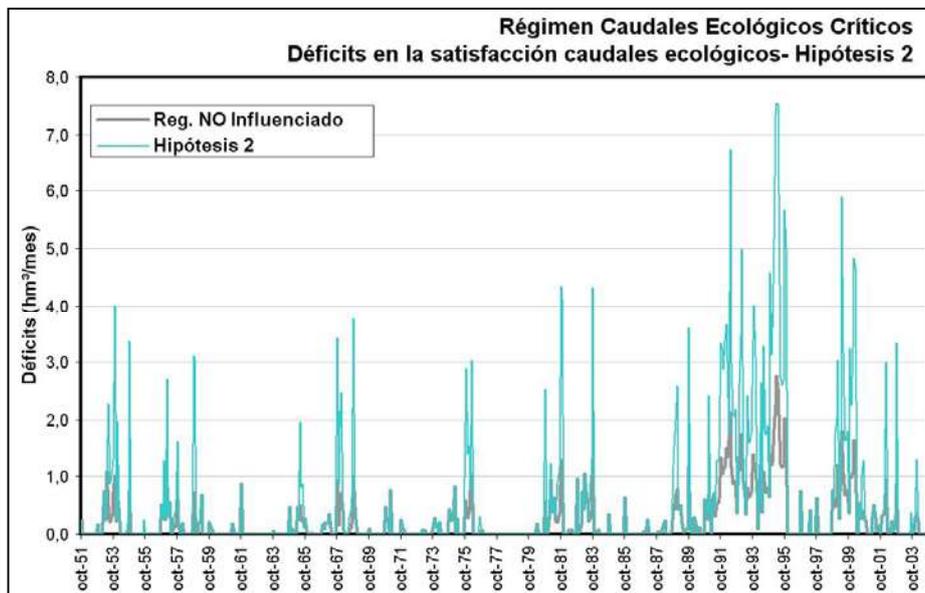


Figura 193. Déficit asociados a la demanda en caudales ecológicos sistema Canales-Quéntar. Hipótesis 2

Se han realizado simulaciones calculando el régimen de caudales ecológicos considerando el 50% y el 80% de los caudales ecológicos óptimos calculados para los

diferentes cauces (Figura 194). Los resultados comparativos se muestran en la tabla 109.

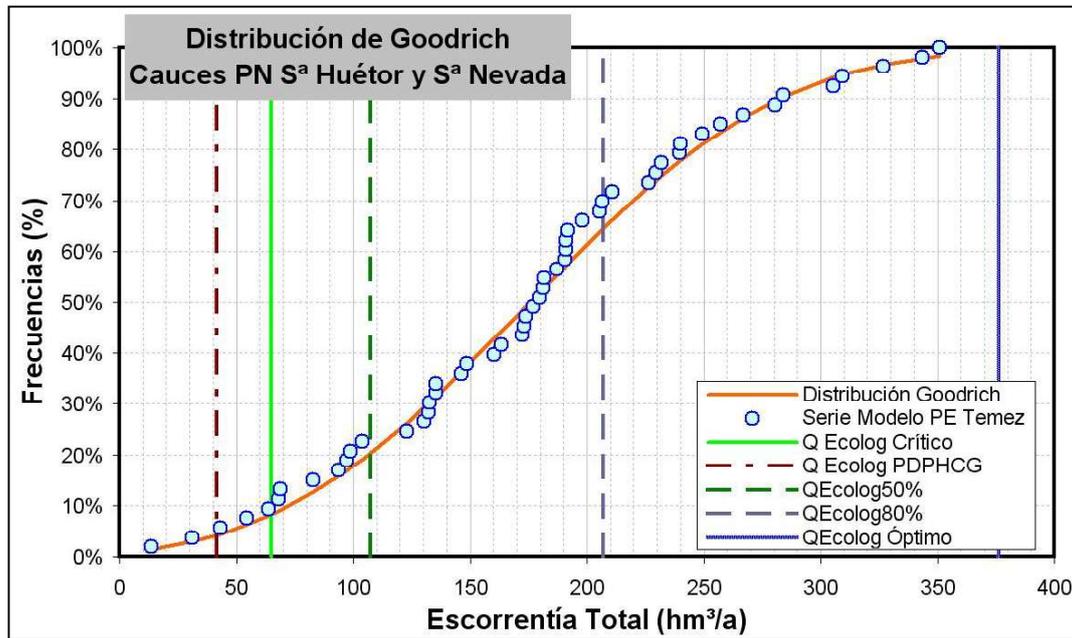


Figura 194. Régimen de caudales ecológicos en el Alto Genil

| Demandas | Demanda (hm ³) | Nº Fallos | Garantía mensual (%) | Garantía Volum. % | Máximo Déficit Mensual | | CPH | |
|-------------------------|----------------------------|-----------|----------------------|-------------------|--------------------------|----------------------------|-----------|-------|
| | | | | | 1 mes (hm ³) | 2 meses (hm ³) | Nº Fallos | G (%) |
| Régimen NO influenciado | 65,09 | 203 | 68,1% | 95,7% | 2,890 | 5,298 | 32 | 39,6% |
| Caudal crítico | 65,09 | 203 | 68,1% | 90,2% | 7,993 | 15,175 | 32 | 39,6% |
| Caudal 50% Óptimo | 107,53 | 421 | 33,8% | 66,6% | 13,951 | 26,538 | 51 | 3,8% |
| Caudal 80% Óptimo | 207,15 | 421 | 33,8% | 89,5% | 13,978 | 26,565 | 51 | 3,8% |

Tabla 109. Indicadores de garantía para la demanda ecológica en el Régimen NO Influenciado y en la Hipótesis 2

En cuanto a la evolución del volumen almacenado en los **embalses**, el modelo de simulación ofrece un resultado que muestra un estado de vaciamiento total para los sistemas Canales–Quéntar (Figura 195) y Cubillas–Colomera (Figura 196), en diferentes periodos de la serie analizada (1951–2004).

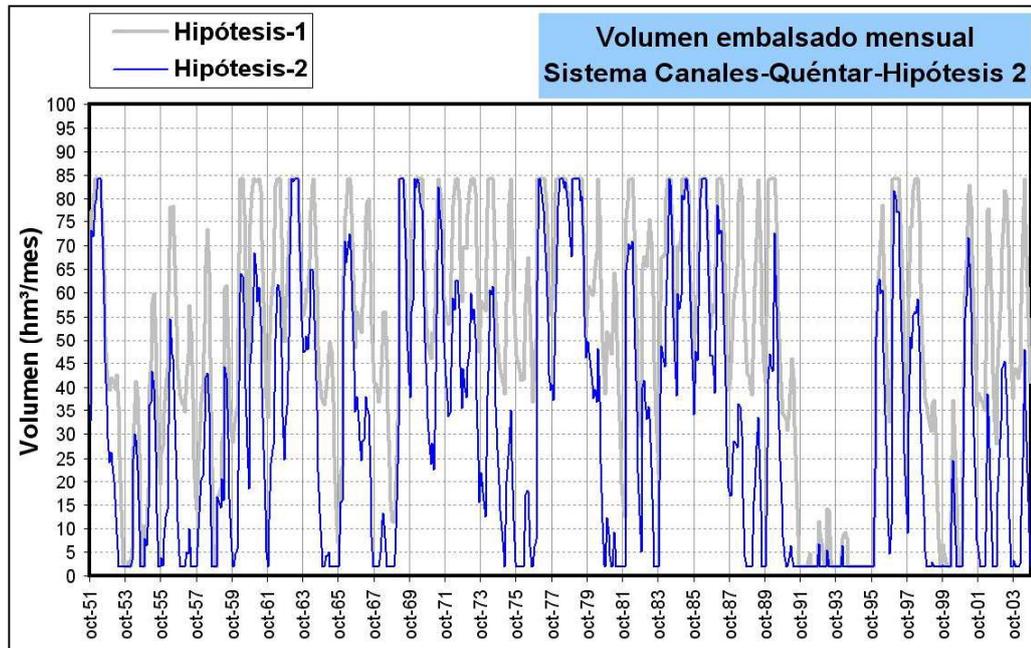


Figura 195. Evolución de los embalses del sistema Canales–Quéntar (Hipótesis 2)

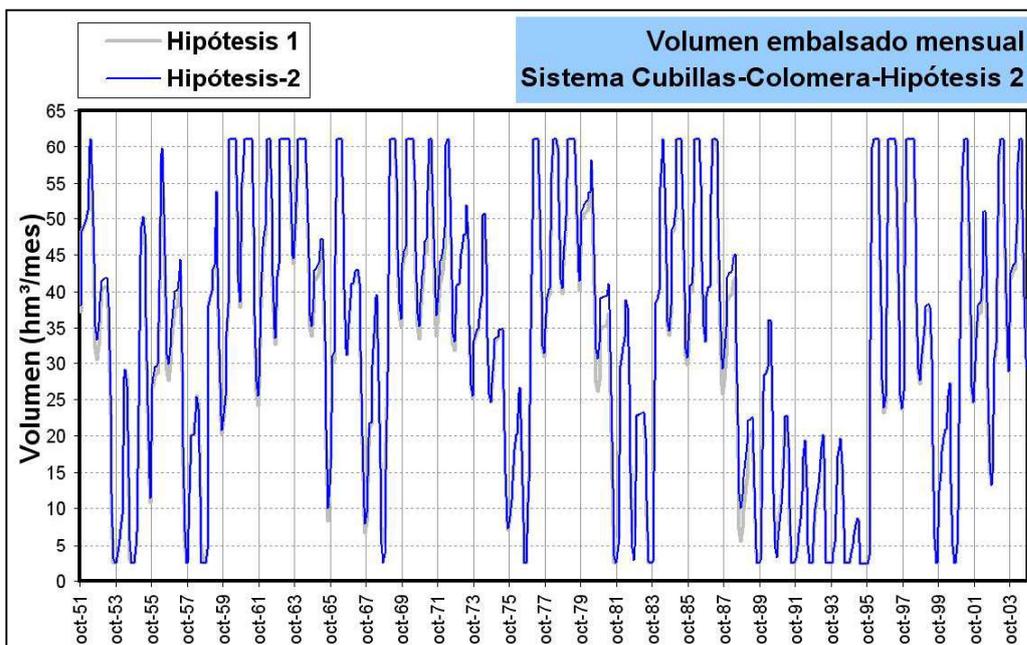


Figura 196. Evolución de los embalses del sistema Cubillas–Colomera (Hipótesis 2)

En el embalse de Bermejales este hecho sólo se presenta para el periodo de sequías que tuvo lugar a principio de la década de 1990–2000 (Figura 197).

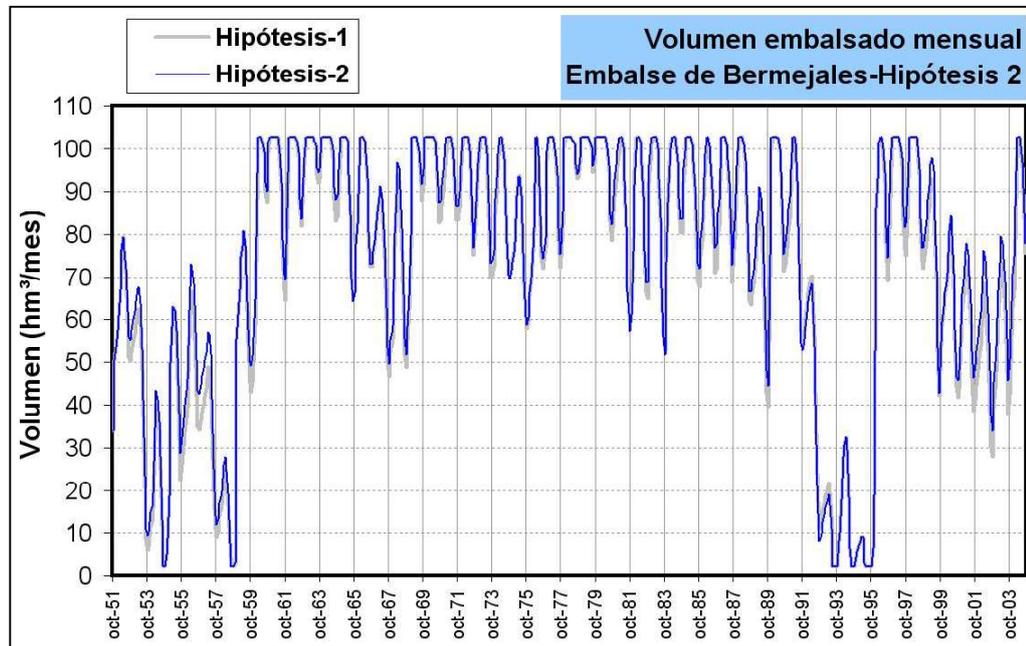


Figura 197. Evolución de los embalses del sistema Bermejales (Hipótesis 2)

El mantenimiento de un régimen de caudales ecológicos en el sistema Canales–Quéntar, como el propuesto (caudales ecológicos críticos), origina que el sistema de regulación superficial sea más vulnerable que para la hipótesis 1 (estado actual sin caudales ecológicos) (Figura 195).

En el conjunto de embalses del sistema Cubillas–Colomera el vaciado de los embalses se debe a la necesidad de satisfacer las demandas agrícolas de la Vega de Granada, tanto en la hipótesis 1 (estado actual sin considerar caudales ecológicos), como en la 2 (estado actual con caudales ecológicos en el Alto Genil).

La evolución del estado de llenado que presenta el embalse subterráneo Vega de Granada se puede constatar a través de los parámetros de control impuestos en el modelo de autovalores que se ha utilizado. Estos parámetros de control hacen referencia a los caudales que son drenados por el acuífero al río Genil y a las medidas

piezométricas en determinados puntos de la red oficial de control de las aguas subterráneas.

Respecto a la descarga que recibe el río Genil en régimen influenciado (Figura 200), el modelo de uso conjunto desarrollado para las condiciones de simulación de la Hipótesis 2, proporciona un drenaje promedio anual de 41,303 hm³, inferior al que se obtendría para el régimen natural (52,285 hm³/a), por lo que el balance comparativo de la recarga que recibe por infiltración de retornos de riegos respecto a las salidas asociadas a los bombeos resulta negativo, además de perjudicial en términos de calidad.

El volumen promedio anual de bombeos que registraría el embalse subterráneo sería de 48,427 hm³, con un máximo de 108,471 hm³ (Figura 198). La cifra promedio de bombeos resulta superior a la fijada para la hipótesis 1 (37,977 hm³/a), ya que el abastecimiento urbano se garantizaría mediante un incremento en el régimen de bombeos del embalse subterráneo Vega de Granada.

Así, el volumen promedio anual de bombeos proveniente del Campo de Pozos de la Ronda Sur ascendería a 5,39 hm³/a para la hipótesis 2 (frente a los 1,354 hm³/a de la hipótesis 1), con un máximo anual de 24 hm³/a (máxima capacidad asignada) (Figura 199).

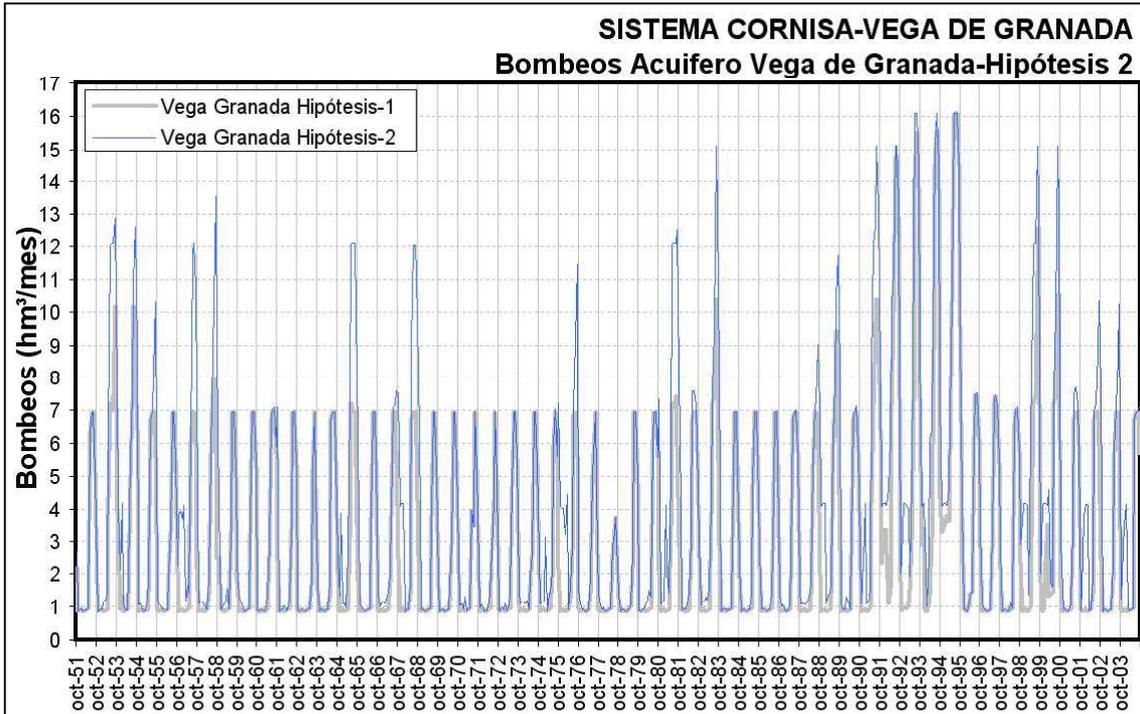


Figura 198. Bombeos en el embalse subterráneo Vega de Granada. Hipótesis 2

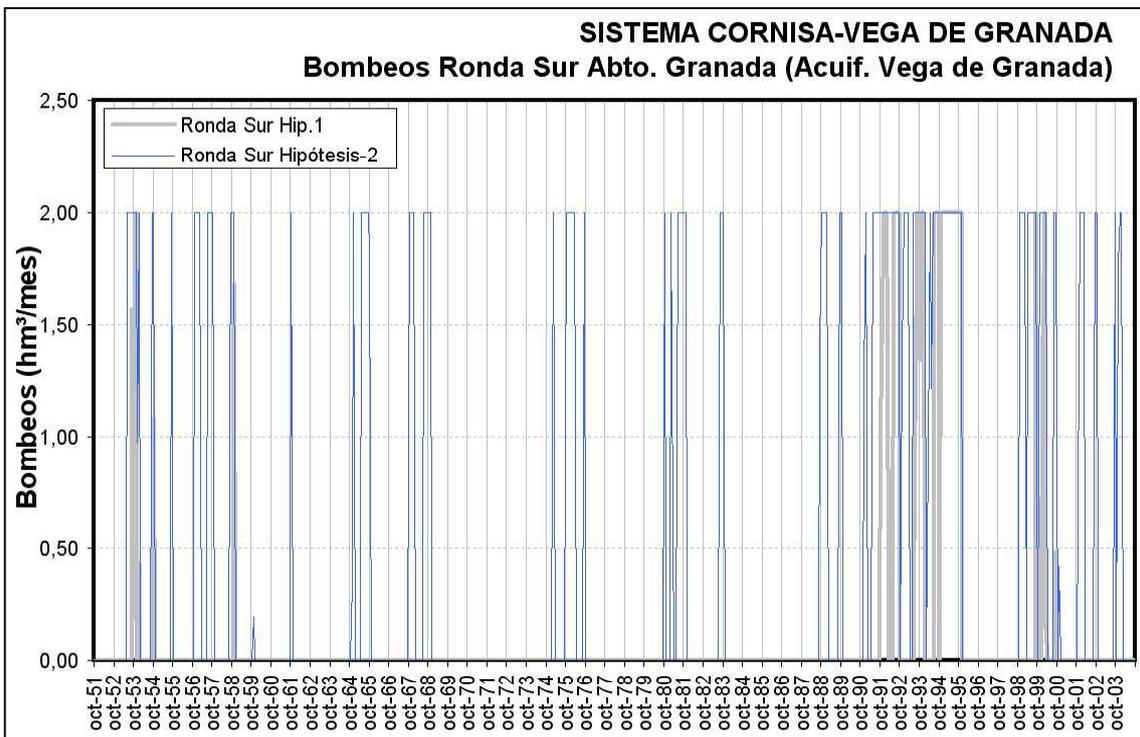


Figura 199. Bombeos en el Campo de Pozos Ronda Sur (embalse subterráneo Vega de Granada). Hipótesis 2

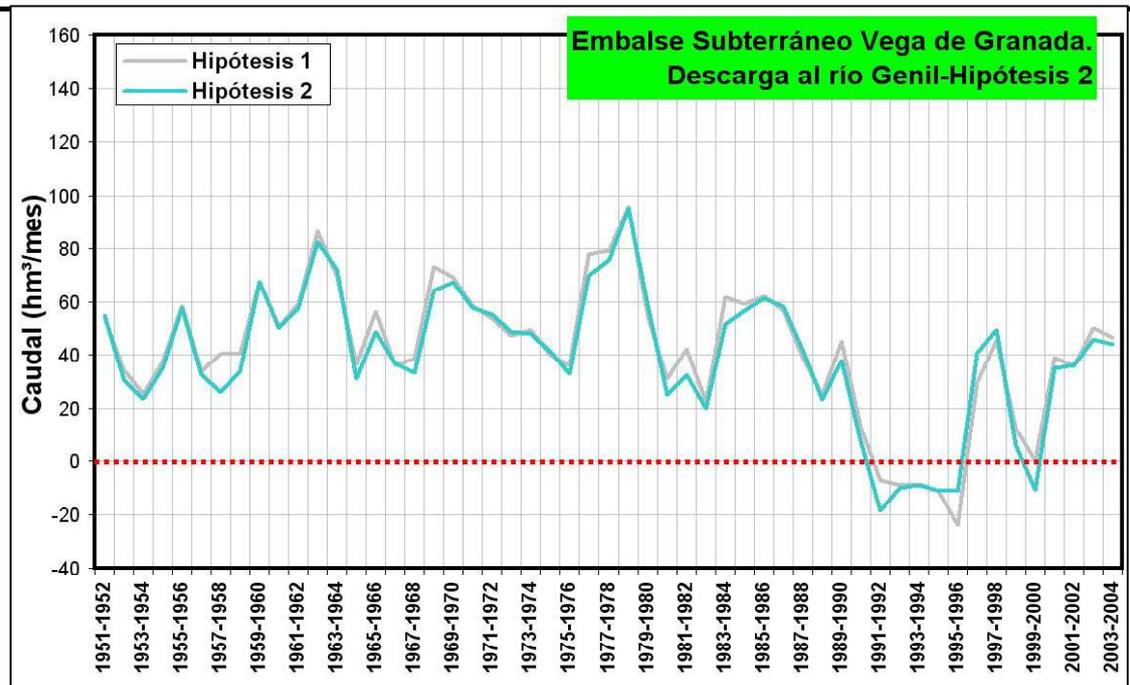


Figura 200. Simulación de la descarga que recibe el río Genil del embalse subterráneo Vega de Granada mediante el modelo de autovalores. Hipótesis 2

En lo referente a la evolución piezométrica que registraría el embalse subterráneo Vega de Granada, ante las condiciones de simulación impuestas por el escenario de gestión vinculado a la Hipótesis 2 (Figuras 201 a 204), los resultados obtenidos muestran descensos piezométricos acusados en los periodos de más intenso bombeo (sequía 1993–95), aunque la recuperación que tiene lugar posteriormente es bastante rápida.

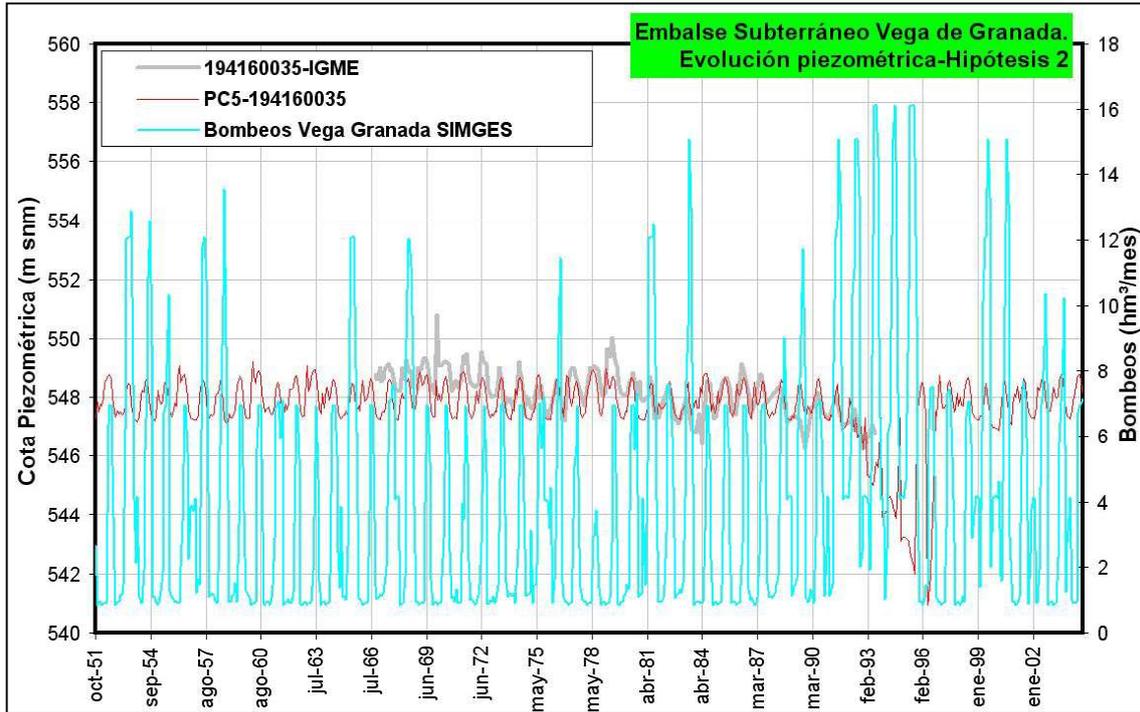


Figura 201. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 2. Piezómetro 194160035

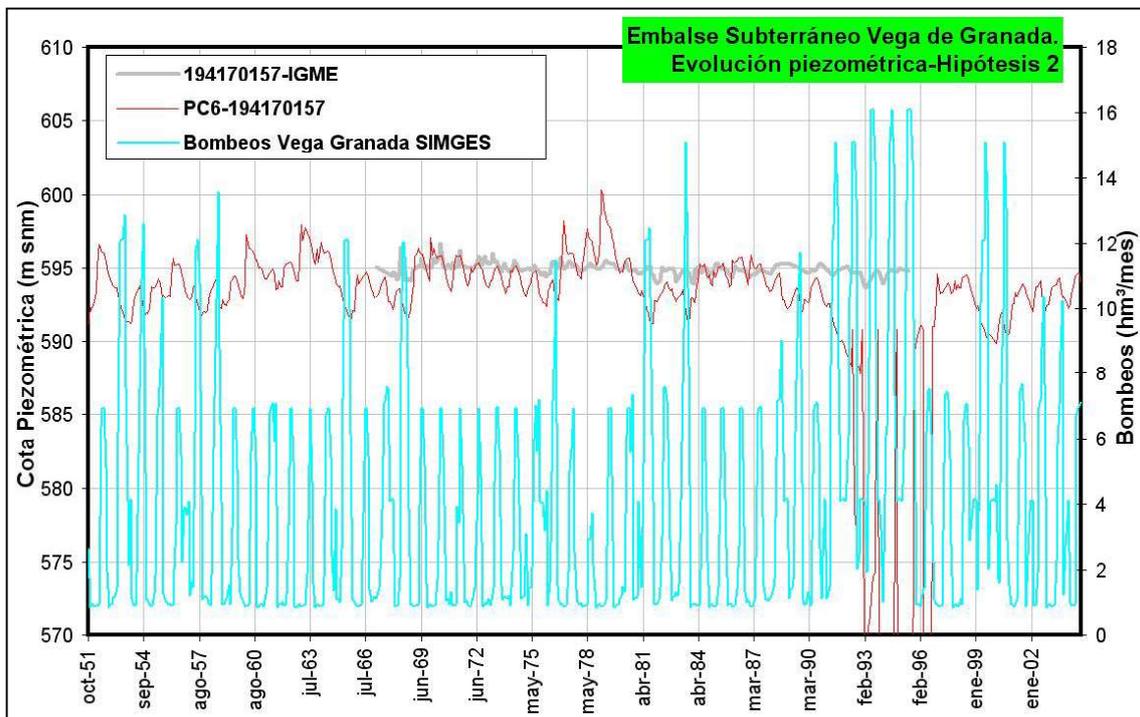


Figura 202. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 2. Piezómetro 194170157

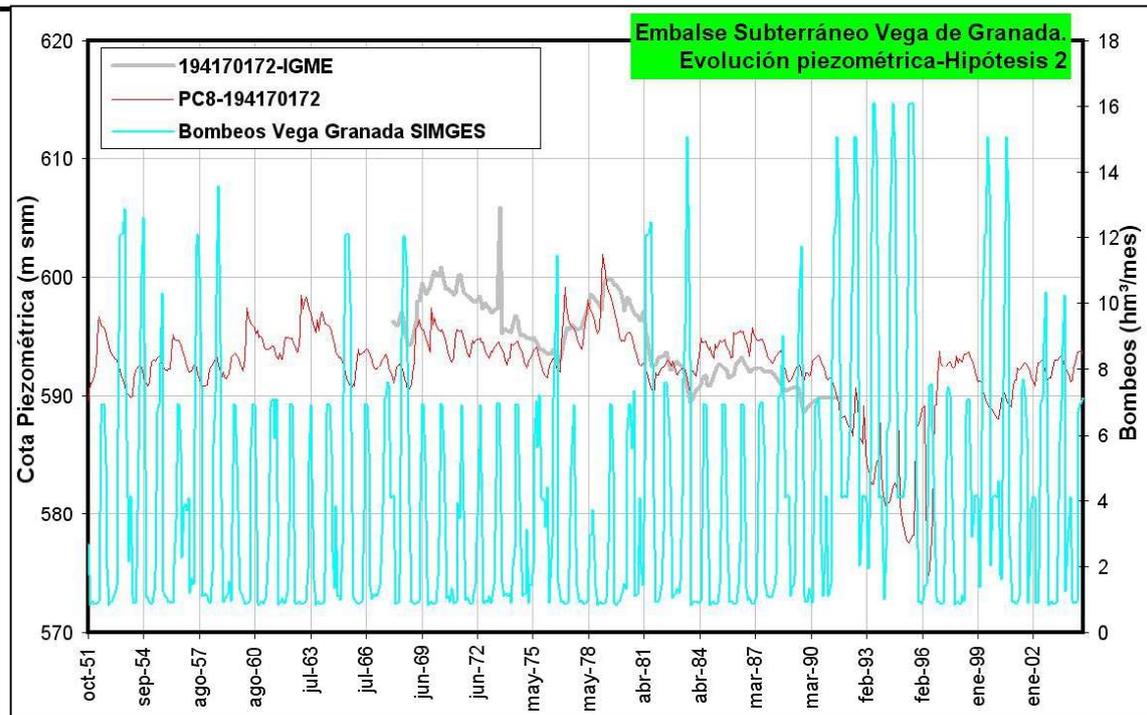


Figura 203. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 2. Piezómetro 194170172

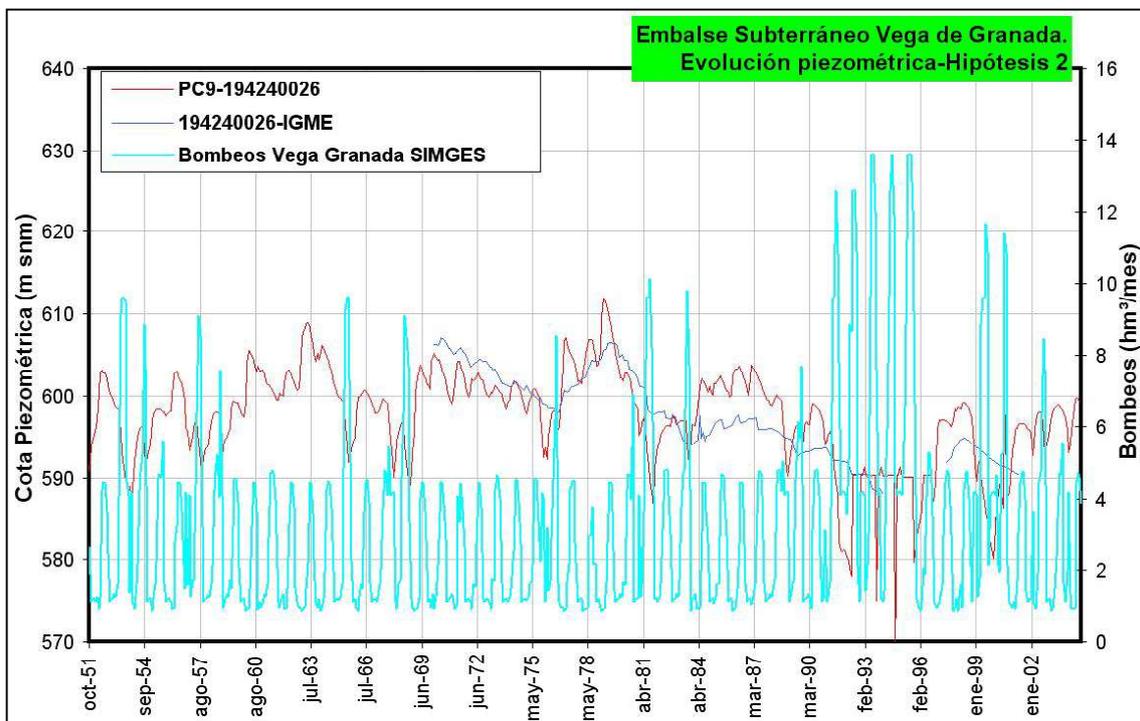


Figura 204. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 2. Piezómetro 194240026

El escenario de gestión simulado (hipótesis 2–régimen caudales ecológicos) ofrece unos sobrantes anuales promedio para el Sistema Cornisa–Vega de Granada de 343,8 hm³, que sería la aportación del sistema al embalse de Iznajar (río Genil). Esta aportación en régimen influenciado obtenida para la hipótesis 1 supone un 61,0% de la aportación en régimen natural (563,8 hm³/a) (Figura 205).

El conjunto de demandas consuntivas anuales promedio servidas por el conjunto de infraestructuras del sistema se cifra en 352,5 hm³/a un 85,6% de la demanda total máxima del sistema, lo que indicaría un déficit promedio anual de 59,46 hm³, vinculado, esencialmente, a las demandas agrícolas, ya que para el abastecimiento urbano se han obtenido déficits muy puntuales y de escasa cuantía.

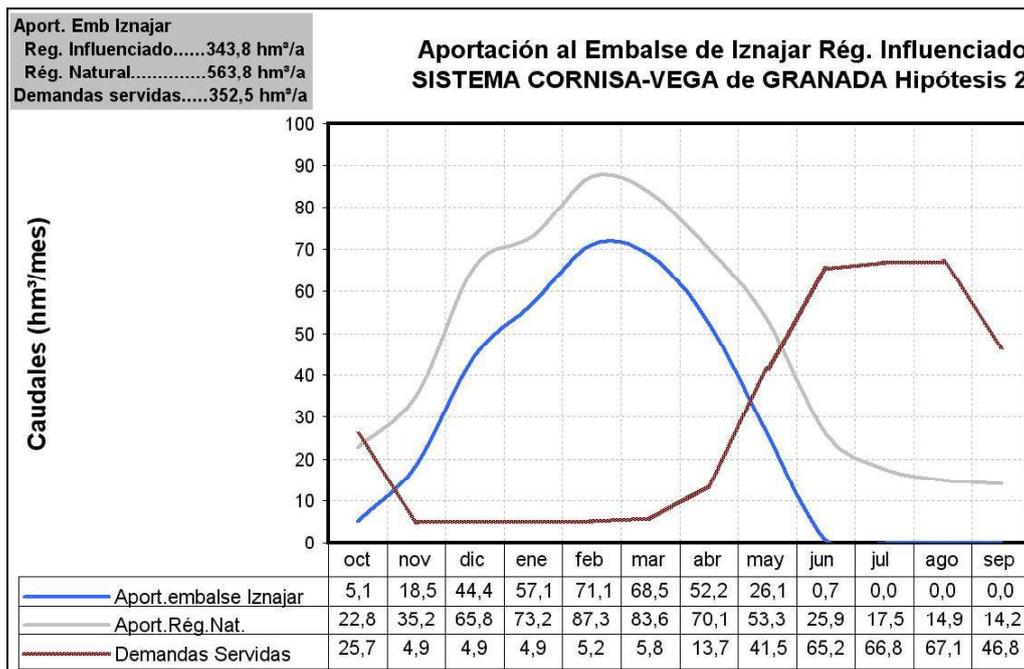


Figura 205. Aportación del Sistema Cornisa–Vega de Granada a Iznajar. Hipótesis 2

11.2.1.3 Hipótesis 3– Caudales Ecológicos PHCG

Esta simulación pretende comparar la respuesta del sistema hidráulico Cornisa–Vega de Granada ante la restricción que supone el mantenimiento de un régimen de caudales ecológicos en los cauces relacionados a los parques naturales Sierra Huétor y Sierra Nevada (Darro, Aguas Blancas, Genil, Monachil y Dílar), según se consideren los caudales fijados por los cálculos efectuados para el presente estudio (apartado 5.4–Caudales Ecológicos) o los que se derivan de la aplicación del Plan Hidrológico de la Cuenca del Guadalquivir (PHCG).

La consideración de caudales ecológicos en estos cauces deviene de la posible utilización de aguas subterráneas de los embalses subterráneos de La Peza–Padúl para complementar el abastecimiento a la zona metropolitana de Granada, lo que puede afectar al régimen de caudales de los cauces, ya que estos funcionan como ganadores respecto al acuífero. El objetivo es fijar una propuesta de aprovechamiento de aguas subterráneas que minimice el impacto ecológico en los cauces del Alto Genil.

Al igual que en la hipótesis 1 (escenario estado cero), para este escenario de simulación se han considerado en el correspondiente esquema topológico las relaciones que existen actualmente en el sistema entre fuentes de suministro y demandas. De manera que las diferentes demandas incluidas en el sistema reciben sus suministros de las fuentes que tienen asignadas actualmente, aunque sin considerar criterios concesionales para primar que una determinada demanda tome preferentemente de una fuente de suministro u otra.

En la simulación de los regímenes ecológicos dependientes del subsistema Quéntar–Canales (régimen de caudales ecológicos fijados por el PHCG) se ha optado por un modelo de gestión en el que los embalses participan en el mantenimiento de estos caudales ecológicos críticos, disponiendo estas demandas aguas abajo de los embalses, ya que en el propio PHCG se cita textualmente: “... *las obras de regulación y*

derivación deben garantizar un caudal remanente en el río y, por otra, que parte de este remanente no tendrá otra utilización y constituirá una demanda de agua” (apartado 5.1–Anexo VIII).

Asimismo, en el Proyecto de Directrices del Plan Hidrológico de Cuenca (PD–PHCG) se establece el principio de que “ *parte del agua disponible en la cuenca debe destinarse a asegurar el mantenimiento de un caudal ecológico mínimo en los ríos y zonas húmedas que asegure la permanencia de la biota existente*”. En este documento de directrices se establece que “*la demanda ecológica no puede suponer una merma en la regulación superior a 50 hm³/a y se fija el caudal ecológico mínimo provisional en el 35% del caudal medio diario que ocupe el lugar 19 en la serie clasificada en orden creciente de los caudales naturales medios diarios o en 50 l/s, siempre que no sea superior al caudal natural y no perjudique, en ríos regulados, los derechos preestablecidos en el momento de aprobación de las Directrices*”.

Tomando los datos de caudales generados mediante el modelo P–E de Temez para el periodo 1951–2004 en los cauces asociados a los parques naturales Sierra Huétor (Darro) y Sierra Nevada (Aguas Blancas, Genil, Monachil y Dílar), se han establecido los caudales clasificados y se ha obtenido el caudal que ocupa el lugar 19 (Q₁₉), a partir del cual se ha establecido el régimen de caudales ecológicos que fijaría el Proyecto de Directrices, vinculando el 35% de este valor al mes de menor aportación y reconstruyendo el resto de meses en función de los valores promedio mensuales que ofrece el modelo P–E de Temez utilizado.

$$Q_{i,eco} = \frac{\bar{Q}_i}{\bar{Q}_{i,min}} \cdot Q_{19} \cdot \eta$$

donde:

Q_{i,eco}, caudal ecológico correspondiente al mes i–ésimo (i=1,...,12, año hidrológico: oct–sep)

\bar{Q}_i , caudal mensual promedio para el mes i–ésimo

$\bar{Q}_{i,min}$, caudal mensual promedio mínimo

Q_{19} , caudal medio diario que ocupe el lugar 19 en la serie clasificada en orden creciente de los caudales naturales medios diarios

η , porcentaje que debe ser considerado del Q_{19} para fijar el caudal mínimo provisional

Utilizando este método de cálculo se han fijado los caudales ecológicos mínimos mensuales derivados de la aplicación del PD-PHCG (tabla 110).

| | Caudales Ecológicos PCG (m ³ /s) | | | | | |
|--------------|---|-------------------|--------------|--------------|--------------|--|
| | Río Darro y Beas | Río Aguas Blancas | Río Monachil | Río Dílar | Río Genil | |
| Q_{19} | 0,157 | 0,182 | 0,110 | 0,099 | 0,418 | |
| 35% Q_{19} | 0,055 | 0,064 | 0,039 | 0,035 | 0,146 | |

| MESES | CAUDAL ECOLÓG. PHCG (hm ³) | | | | | |
|-----------------|--|-------------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| | Río Darro y Beas | Río Aguas Blancas | Río Monachil | Río Dílar | Río Genil | SUMA |
| Oct | 0,179 | 0,263 | 0,200 | 0,167 | 1,168 | 1,98 |
| Nov | 0,278 | 0,420 | 0,317 | 0,285 | 2,131 | 3,43 |
| Dec | 0,440 | 0,736 | 0,367 | 0,417 | 2,485 | 4,45 |
| Jan | 0,576 | 0,915 | 0,312 | 0,430 | 1,999 | 4,23 |
| Feb | 0,741 | 1,058 | 0,379 | 0,514 | 2,339 | 5,03 |
| Mar | 0,694 | 1,057 | 0,474 | 0,585 | 2,918 | 5,73 |
| Apr | 0,642 | 0,940 | 0,489 | 0,520 | 3,129 | 5,72 |
| May | 0,431 | 0,646 | 0,479 | 0,457 | 3,021 | 5,03 |
| Jun | 0,221 | 0,278 | 0,326 | 0,230 | 1,930 | 2,98 |
| Jul | 0,175 | 0,208 | 0,158 | 0,124 | 0,708 | 1,37 |
| Aug | 0,155 | 0,182 | 0,108 | 0,096 | 0,400 | 0,94 |
| Sep | 0,143 | 0,165 | 0,100 | 0,090 | 0,379 | 0,88 |
| ANUAL | 4,673 | 6,867 | 3,709 | 3,916 | 22,607 | 41,77 |
| PROMEDIO | 0,389 | 0,572 | 0,309 | 0,326 | 1,884 | 3,481 |

Tabla 110. Caudales ecológicos fijados en el Alto Genil en función del PD-PHCG

Este régimen de caudales ecológico mínimo constituye un 23,6% de la aportación correspondiente al año tipo medio y el 61,3% respecto al año tipo seco calculados mediante el modelo P-E de Temez (Figuras 206 y 207).

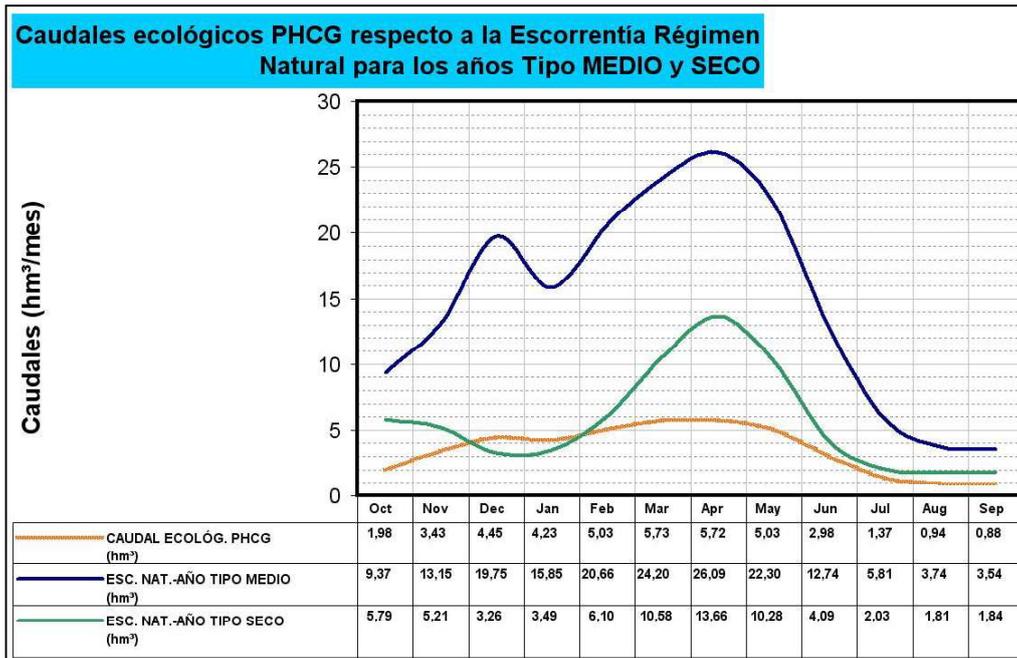


Figura 206. Comparativa de los caudales ecológicos mínimos que derivan de la aplicación del PD-PHCG con los caudales

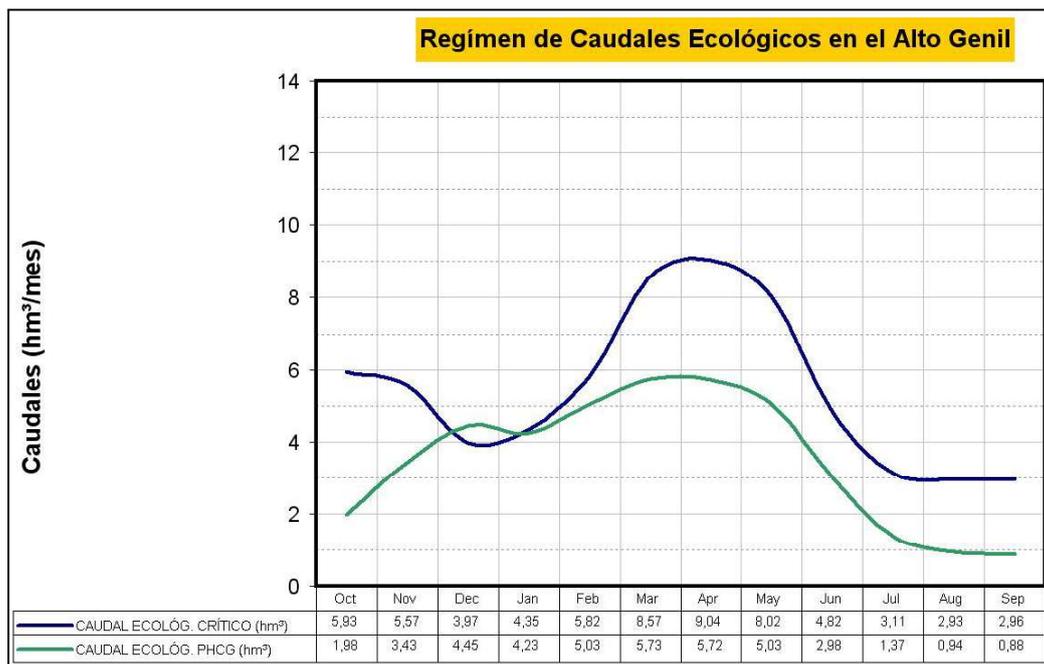


Figura 207. Comparativa caudales ecológicos críticos calculados y los caudales ecológicos mínimos del PD-PHCG

Bajo esta hipótesis de gestión se analiza la respuesta del sistema que ofrece SIMGES para la optimización de la gestión de los recursos hídricos considerando las prioridades impuestas en la satisfacción de las demandas y en el uso de los embalses (tabla 111).

| HIPÓTESIS 3 RÉGIMEN ECOLÓGICO PHCG | | Consorcio La Vega-S ^a Elvira | Consorcio S ^a Nevada-Vega Sur | Mancom. del Temple | Municipios Sector Septentrional | Regadíos Vega Granada | Regadíos Cornisa | Caudales ecológicos |
|--|-----------|--|--|-----------------------|---------------------------------------|-----------------------------|---------------------|------------------------|
| Garantía mensual | Nº Fallos | 2 | 35 | 0 | 0 | 230 | 245 | 53 |
| | Gm | 99,7% | 94,5% | 100,0% | 100,0% | 63,8% | 61,5% | 91,7% |
| | Gv | 100,0% | 99,6% | 100,0% | 100,0% | 87,5% | 73,5% | 98,3% |
| MDM (hm ³) | 1 mes | 0,137 | 0,429 | 0,000 | 0,000 | 56,444 | 10,679 | 4,498 |
| | 2 meses | 0,262 | 0,858 | 0,000 | 0,000 | 103,040 | 18,381 | 7,487 |
| PHN | Nº fallos | 0 | 0 | 0 | 0 | 53 | 53 | 11 |
| | Garantía | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 0,0% | 0,0% | 79,2% |
| DEF15 | | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| DEF25 | | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| DEF50 | | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| DEF75 | | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | CUMPLE |

Tabla 111. *Resultados de la simulación Hipótesis 3-Régimen Caudales Ecológicos PHCG*

Según los resultados del modelo de gestión (tabla 111) los **abastecimientos urbanos** de La Vega de Granada prácticamente no sufrirían déficits, como consecuencia de la aportación que reciben de los bombeos en embalses subterráneos, de hecho si se efectúa una simulación que no considera los sondeos del Campo de Pozos de la Ronda Sur para apoyar el abastecimiento al Consorcio S^a Nevada-Vega Sur, los indicadores de garantía de esta demanda urbana resultan inferiores (tabla 112), apareciendo situaciones de déficit en un mayor número de ocasiones y en mayor cuantía (Figura 208).

| HIPÓTESIS 3. Sin bombeos en Ronda Sur | | Consortio S ^a Nevada-Vega Sur |
|--|-----------|---|
| Garantía mensual | Nº Fallos | 51 |
| | Gm | 92,0% |
| | Gv | 85,7% |
| MDM (hm ³) | 1 mes | 2,429 |
| | 2 meses | 4,858 |
| PHN | Nº Fallos | 13 |
| | Garantía | 75,5% |
| DEF15 | | NO CUMPLE |
| DEF25 | | NO CUMPLE |
| DEF50 | | NO CUMPLE |
| DEF75 | | NO CUMPLE |

Tabla 112. Resultados de la simulación Hipótesis 3–Régimen Caudales Ecológicos PHCG sin bombeos Ronda Sur

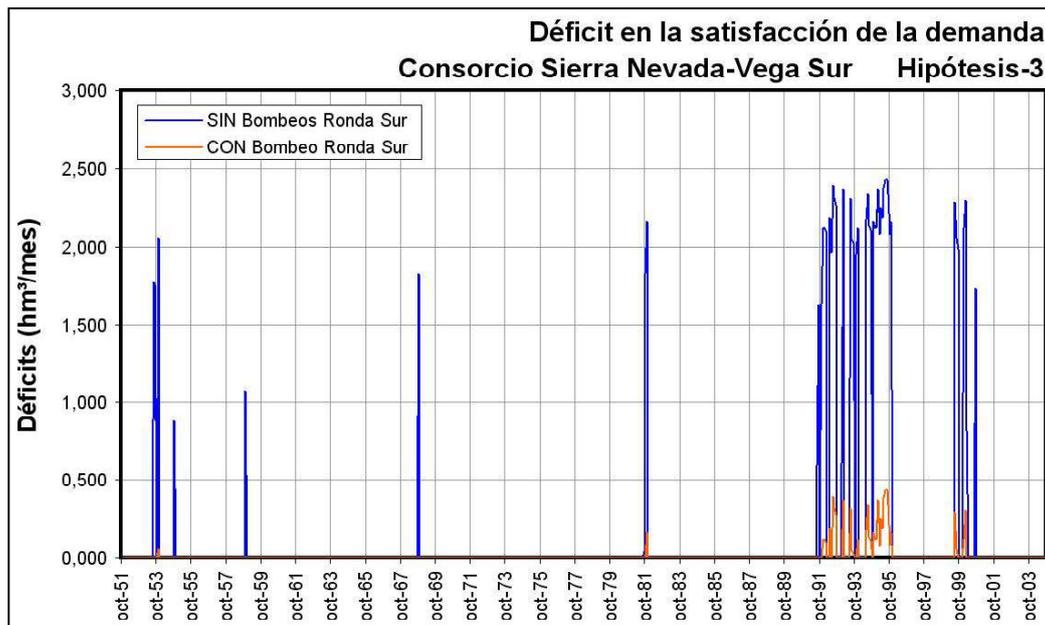


Figura 208. Déficit en la Demanda Urbana Sierra Nevada–Vega Sur Hipótesis 3–sin bombeos Ronda Sur

Según los resultados que suministra SIMGES, para el escenario de simulación analizado (caudales ecológicos fijados por el PHCG) se precisa incrementar en algo

menos de 0,45 hm³/mes⁹ la capacidad de bombeo del Campo de Pozos de la Ronda Sur para asegurar que no se produzcan fallos en el abastecimiento al Consorcio Sierra Nevada-Vega Sur.

Según la procedencia del suministro de agua potable que se registra en el sistema para la Hipótesis-3 de simulación se observa que el caudal mensual promedio es de 5,191 hm³ y el anual de 62,293 hm³/a. De este caudal un 62,3 % procede de infraestructuras de regulación superficial (sistema Canales-Quéntar y embalse Bermejales -38,037 hm³/a-) y el 38,9% restante de la captación de agua en embalses subterráneos (24,256 hm³/a). Si se considera la distribución mensual promedio del suministro (Figura 209) se observa como el proveniente de infraestructuras superficiales es siempre superior al procedente de captaciones de aguas subterráneas.

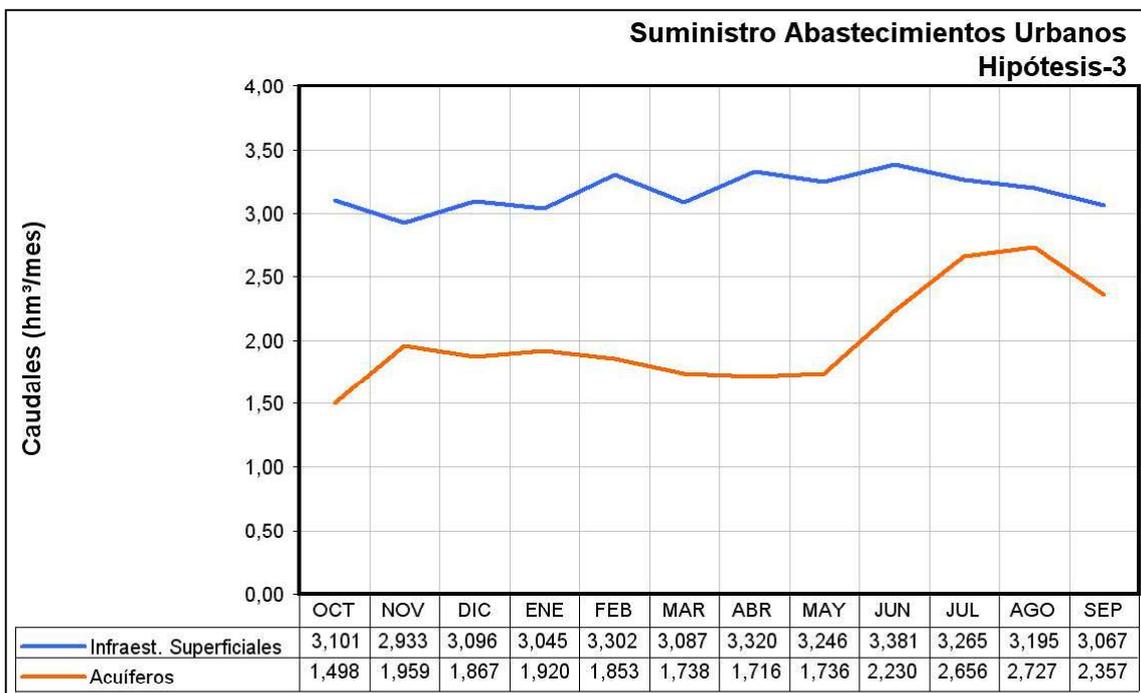


Figura 209. Suministro de agua para abastecimiento urbano Hipótesis-3

⁹En el modelo de simulación se ha fijado una capacidad de bombeo máximo de respecto a los 2 hm³/mes - 771,6 l/s- para el Campo de Pozos de la Ronda Sur.

Las **demandas agrícolas** de la Vega de Granada registraran unos indicadores de garantía aceptables en términos generales (tabla 113). En los elementos de demanda que se alcanzan los indicadores de garantía más deficientes es debido a la escasa cuantía concedida a los bombeos en el modelo SIMGES.

| Demandas | Demanda (hm ³) | Nº Fallos | Garantía mensual (%) | Garantía Volum, % | Máximo Déficit Mensual | | CPH | | DEF50 |
|---|----------------------------|-----------|----------------------|-------------------|--------------------------|----------------------------|-----------|-------|-----------|
| | | | | | 1 mes (hm ³) | 2 meses (hm ³) | Nº Fallos | G (%) | |
| AGRÍCOLA | 356,28 | 245 | 61,5% | 85,0% | 123,567 | 224,461 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Regadíos Cornisa de Granada | 64,03 | 245 | 61,5% | 73,5% | 10,679 | 18,381 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Comarca Montefrío | 22,67 | 212 | 66,7% | 68,9% | 2,900 | 4,450 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Comarca Alhama | 17,62 | 245 | 61,5% | 67,9% | 2,141 | 3,411 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Comarca Iznalloz | 23,73 | 61 | 90,4% | 82,1% | 5,638 | 10,519 | 21 | 60,4% | NO CUMPLE |
| Regadíos Vega de Granada | 292,25 | 230 | 63,8% | 87,5% | 56,444 | 103,040 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Alto Genil | 26,23 | 186 | 70,8% | 39,3% | 8,580 | 16,190 | 51 | 3,8% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Vega Alta | 36,78 | 38 | 94,0% | 92,3% | 6,990 | 13,740 | 10 | 81,1% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Monachil-Dílar | 29,82 | 127 | 80,0% | 87,6% | 2,696 | 4,846 | 29 | 45,3% | NO CUMPLE |
| Zona Regable del Canal del Cacín | 33,63 | 12 | 98,1% | 97,4% | 7,487 | 13,008 | 4 | 92,5% | NO CUMPLE |
| Vega Baja del Genil | 63,53 | 12 | 98,1% | 97,7% | 12,772 | 21,350 | 4 | 92,5% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Alfacar-Beas (manantiales triásicos) | 17,41 | 230 | 63,8% | 73,5% | 2,079 | 4,142 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Vega Media MI | 18,17 | 59 | 90,7% | 90,4% | 3,930 | 7,460 | 12 | 77,4% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Cijuela-Láchar | 3,30 | 12 | 98,1% | 96,6% | 0,740 | 1,398 | 4 | 92,5% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Fte Vaqueros-Valdecaballeros | 6,30 | 6 | 99,1% | 99,1% | 0,679 | 1,166 | 2 | 96,2% | CUMPLE |
| Vega Granada-Veillos | 5,42 | 148 | 76,7% | 79,0% | 0,550 | 0,960 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Pantano Cubillas | 11,08 | 32 | 95,0% | 94,3% | 3,106 | 5,880 | 13 | 75,5% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Canal Cubillas | 21,46 | 10 | 98,4% | 98,8% | 2,144 | 3,967 | 4 | 92,5% | CUMPLE |
| Vega Granada-Canal Albolote | 19,12 | 72 | 88,7% | 83,1% | 4,692 | 8,934 | 20 | 62,3% | NO CUMPLE |

Tabla 113. Indicadores de garantía de las demandas para riego (Hipótesis-3)

Para el escenario de simulación considerado, el suministro total de agua para dotar los regadíos del sistema Cornisa-Vega de Granada asciende a un volumen promedio anual de 293,177 hm³, del que un 42,4% procede de recursos regulados mediante infraestructuras superficiales (124,271 hm³/a), un 23,4 % de la captación de recursos subterráneos (68,579 hm³/a) y el 34,2% restante de procedencia mixta (100,326 hm³/a, tomas en cauces donde se mezclan recursos superficiales y subterráneos -drenaje de acuíferos-). En la Figura 210 se muestra la distribución mensual del suministro de agua para regadío según procedencia.

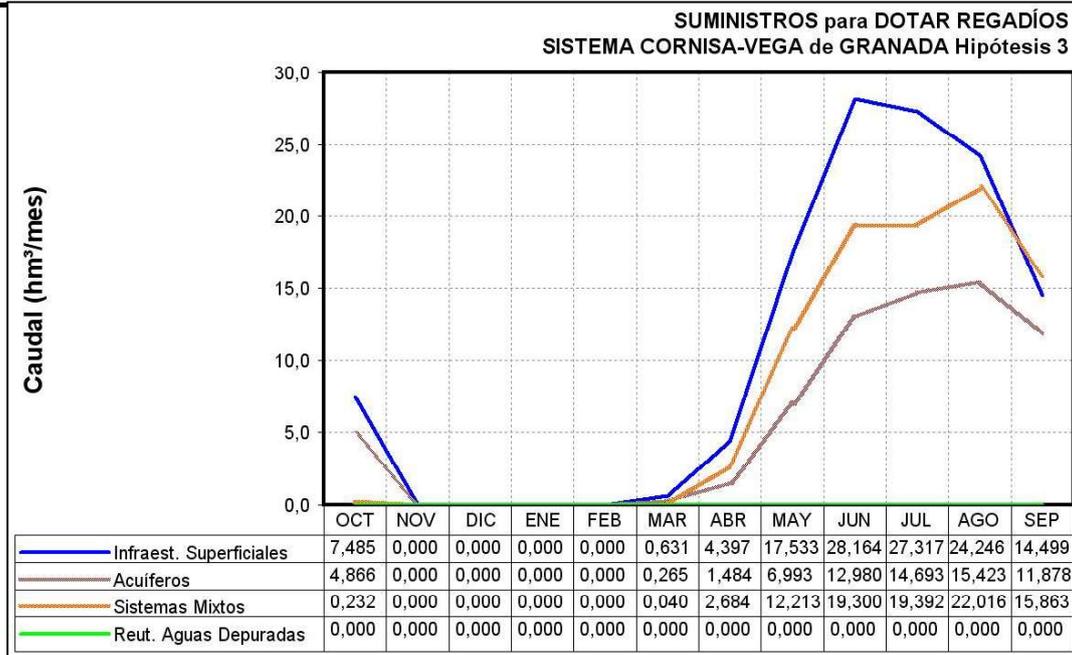


Figura 210. Procedencia de los recursos suministrado para riegos. Hipótesis 3

Las demandas ecológicas fijadas en los cauces vinculados a los parques naturales de Sierra Huétor y Sierra Nevada presentan unos índices de garantía más satisfactorios que para la hipótesis 2 (tabla 114), aunque siguen apareciendo déficits mensuales muy elevados (hasta 4 hm³/mes) (Figura 211).

| Criterios Garantía Caudales Ecológicos | | HIP-2 RÉG. CAUDALES ECOLÓGICOS CRÍTICOS | HIP-3 CAUDALES ECOLOG. PD-PHCG |
|--|-----------|---|--------------------------------|
| Garantía mensual | Nº Fallos | 203 | 53 |
| | Gm | 68,1% | 91,7% |
| | Gv | 90,2% | 98,3% |
| MDM (hm ³) | 1 mes | 7,993 | 4,498 |
| | 2 meses | 15,175 | 7,487 |
| PHN | Nº fallos | 32 | 11 |
| | Garantía | 39,6% | 79,2% |
| | DEF15 | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| | DEF25 | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| | DEF50 | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| | DEF75 | NO CUMPLE | CUMPLE |

Tabla 114. Comparativa de los índices de garantía para el caudal ecológico entre las hipótesis 2 y 3

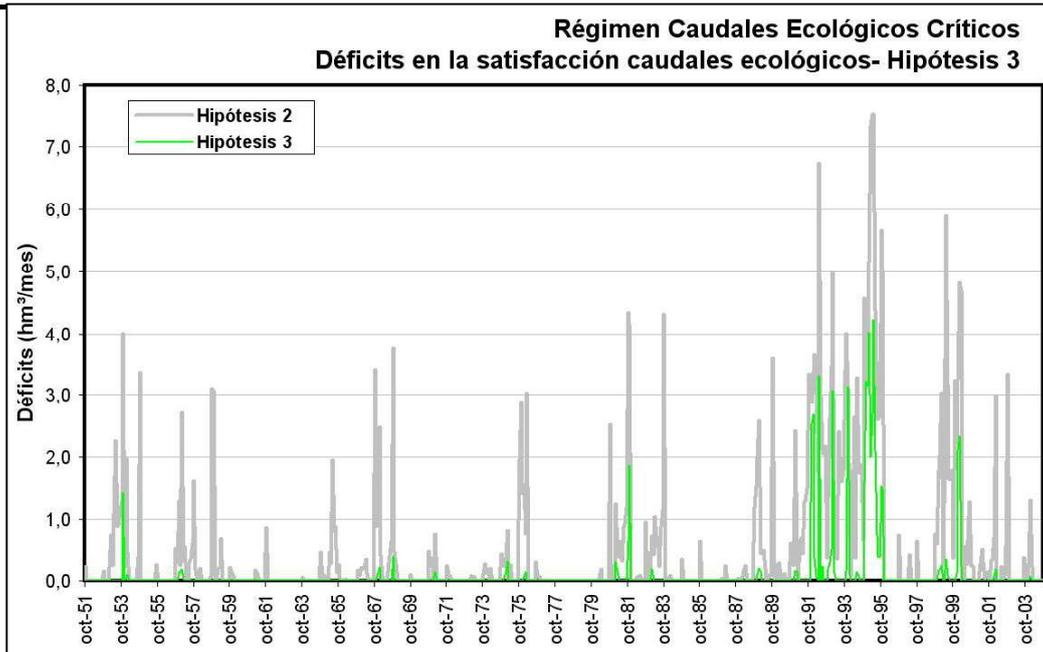


Figura 211. Déficits asociados a la demanda en caudales ecológicos sistema Canales–Quéntar. Hipótesis 3

En cuanto a la evolución del volumen de agua almacenada en los **embalses** (Figuras 212 a 214), el modelo de simulación ofrece un resultado que muestra un estado de vaciamiento total para los sistemas Canales–Quéntar y Cubillas–Colomera en diferentes periodos de la serie analizada (1951–2004). En el embalse de Bermejales esta circunstancia sólo acontece para el periodo de sequía que tuvo lugar en el periodo 1993 a 1996.

El mantenimiento de un régimen de caudales ecológicos en el sistema Canales–Quéntar menos exigente en la hipótesis 3 (caudales ecológicos PCG) que en la hipótesis 2 (caudales ecológicos críticos), origina que el sistema de regulación superficial sea menos vulnerable (Figura 212).

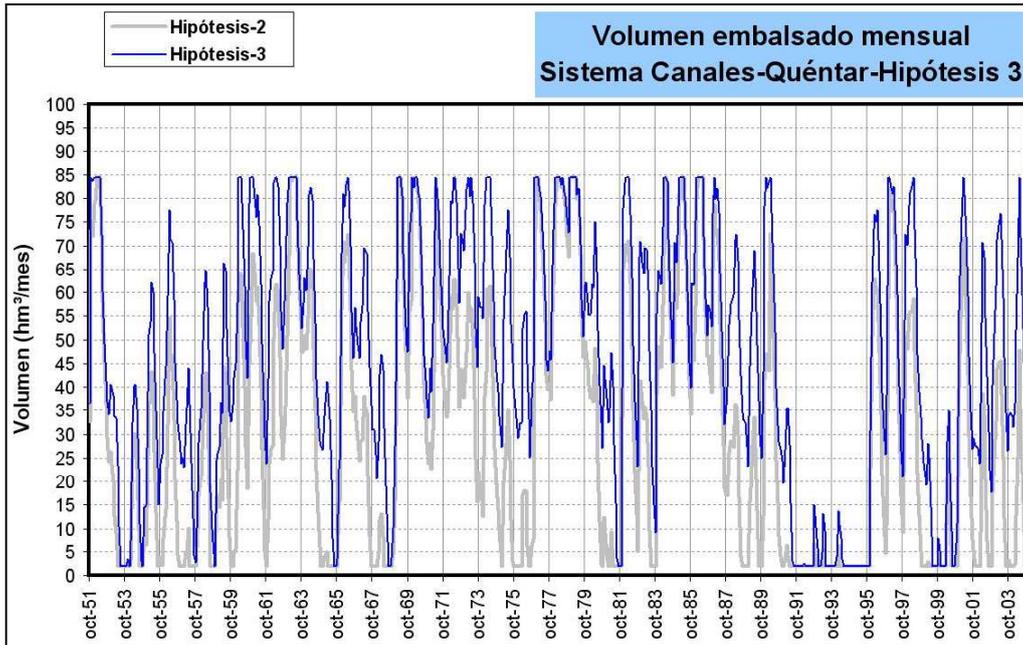


Figura 212. Evolución de los embalses del sistema Canales-Quéntar (Hipótesis 3)

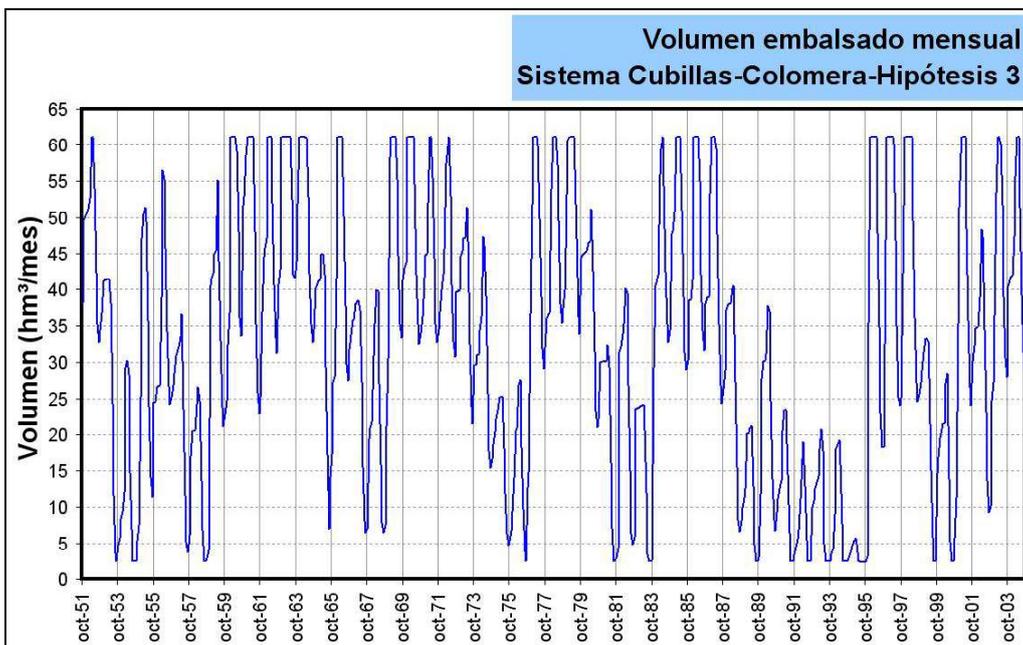


Figura 213. Evolución de los embalses del sistema Cubillas-Colomera (Hipótesis 3)

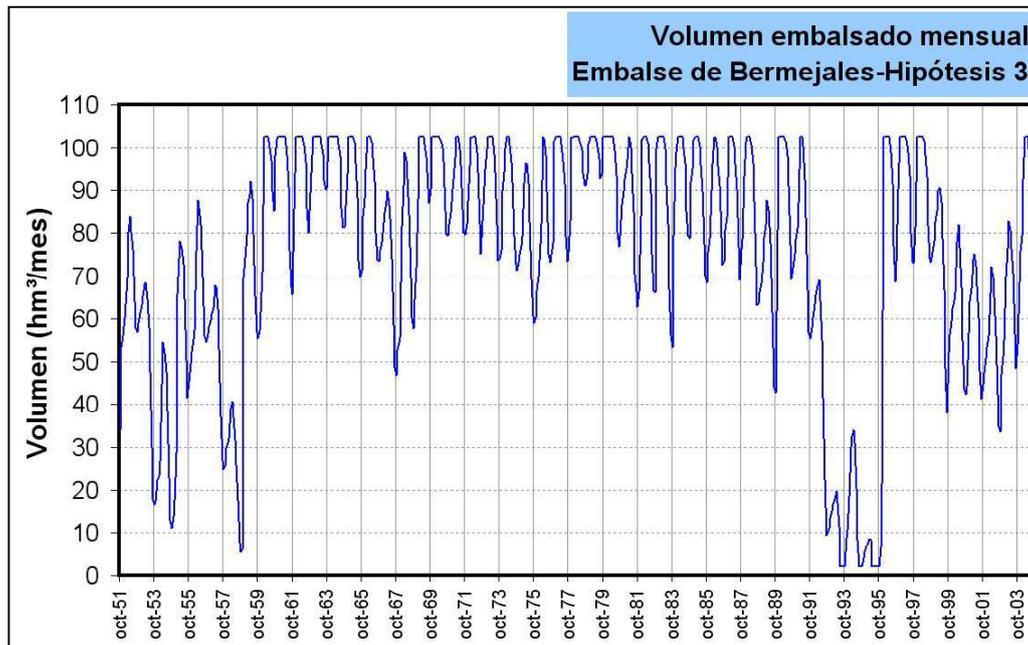


Figura 214. Evolución de los embalses del sistema Bermejales (Hipótesis 3)

La evolución del estado de llenado del **embalse subterráneo Vega de Granada** puede constatarse a través de los parámetros de control impuestos en el modelo de autovalores que se ha utilizado, Estos parámetros de control hacen referencia a los caudales que son drenados por el acuífero hacia el río Genil y a las medidas piezométricas en determinados puntos de la red oficial de control de las aguas subterráneas.

Respecto a la descarga que recibe el río Genil en régimen influenciado, el modelo de uso conjunto para las condiciones de simulación de la Hipótesis 3 proporciona un drenaje promedio anual de 56,138 hm³, superior al que se obtendría para el régimen natural (52,285 hm³/a), por lo que el balance comparativo de la recarga que recibe por infiltración de retornos de riegos respecto a los bombeos resulta positivo para esta hipótesis, pero perjudicial en términos de calidad.

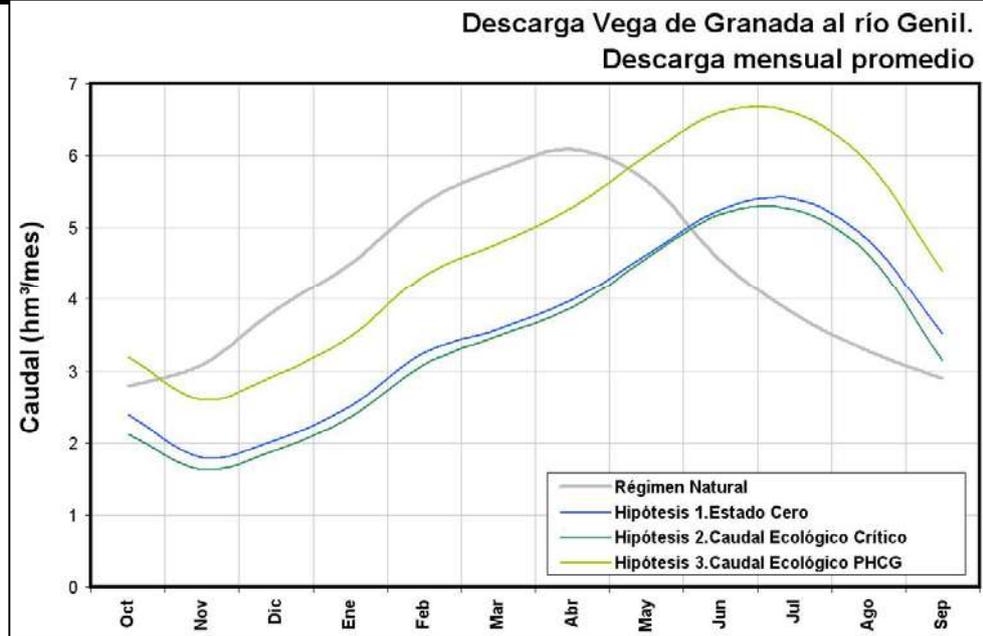


Figura 215. Descarga mensual promedio del acuífero Vega de Granada al río Genil. Relación río-acuífero

El volumen promedio anual de bombeos que registraría el embalse subterráneo sería de 39,547 hm³, con un máximo de 105,715 hm³. La cifra promedio de bombeos resulta inferior a la fijada para la hipótesis 2 (48,427 hm³/a).

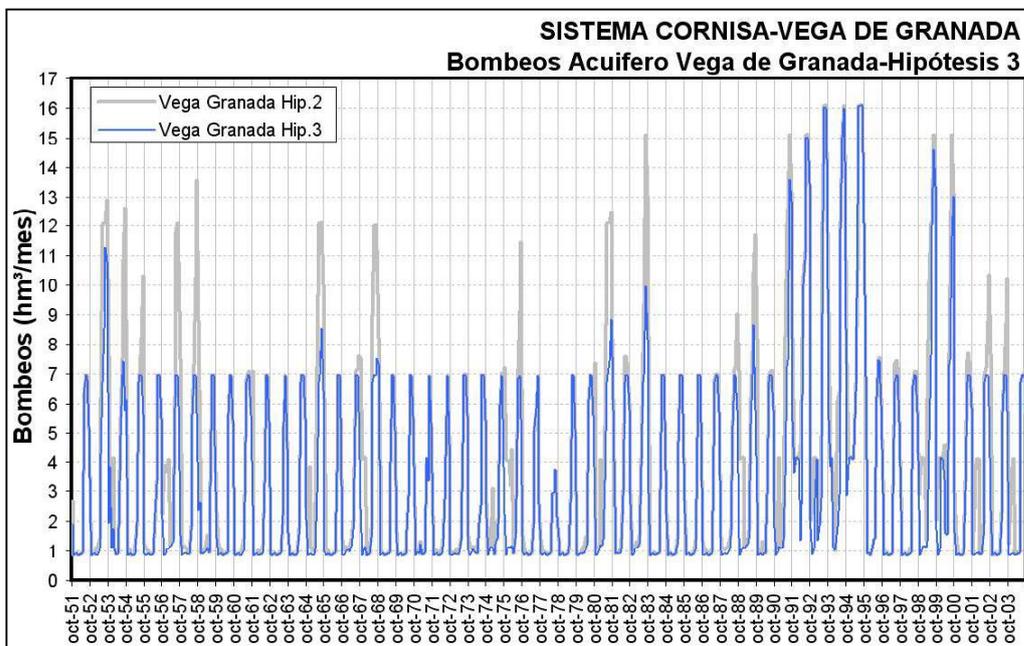


Figura 216. Bombeos en el embalse subterráneo Vega de Granada. Hipótesis 3

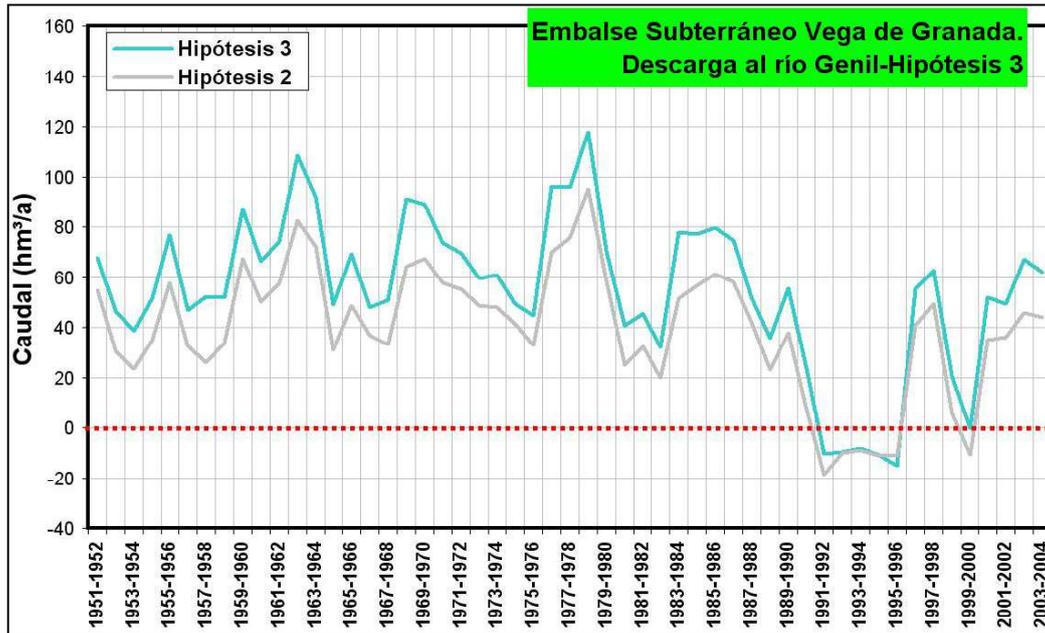


Figura 217. Simulación de la descarga que recibe el río Genil del embalse subterráneo Vega de Granada mediante el modelo de autovalores. Hipótesis 3

En lo referente a la evolución piezométrica que registraría el embalse subterráneo vega de Granada (Figuras 218 a 219) ante las condiciones de simulación impuestas por el escenario de gestión vinculado a la Hipótesis 3, los resultados obtenidos ofrecen unos descensos piezométricos acusados en los periodos de más intensos bombeos (sequía 1993–95).

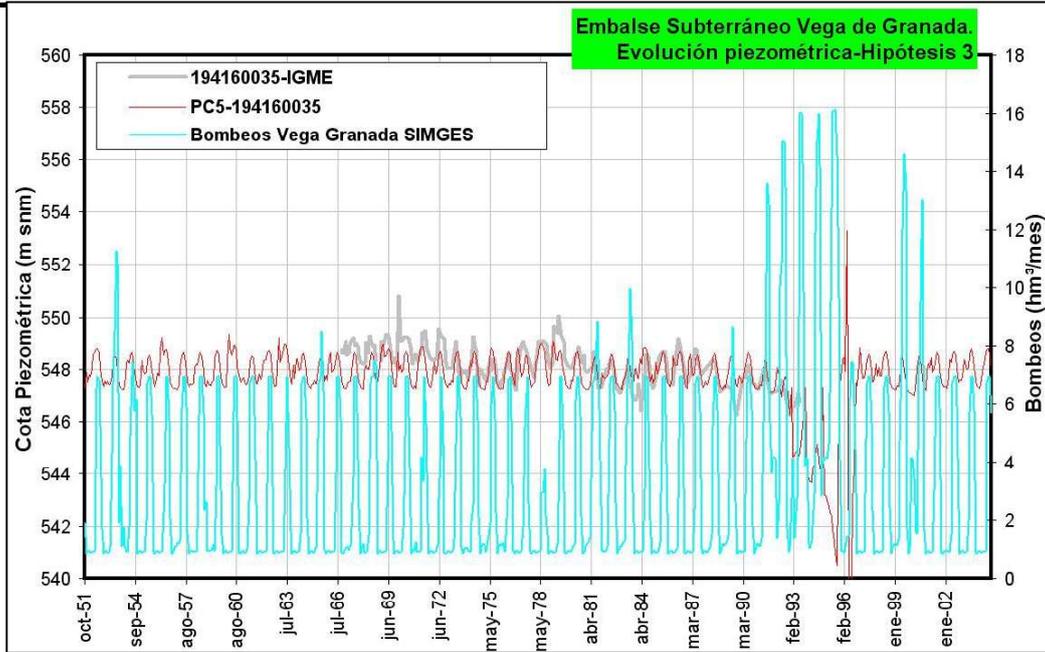


Figura 218. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada–Hipótesis 3. Piezómetro 194160035

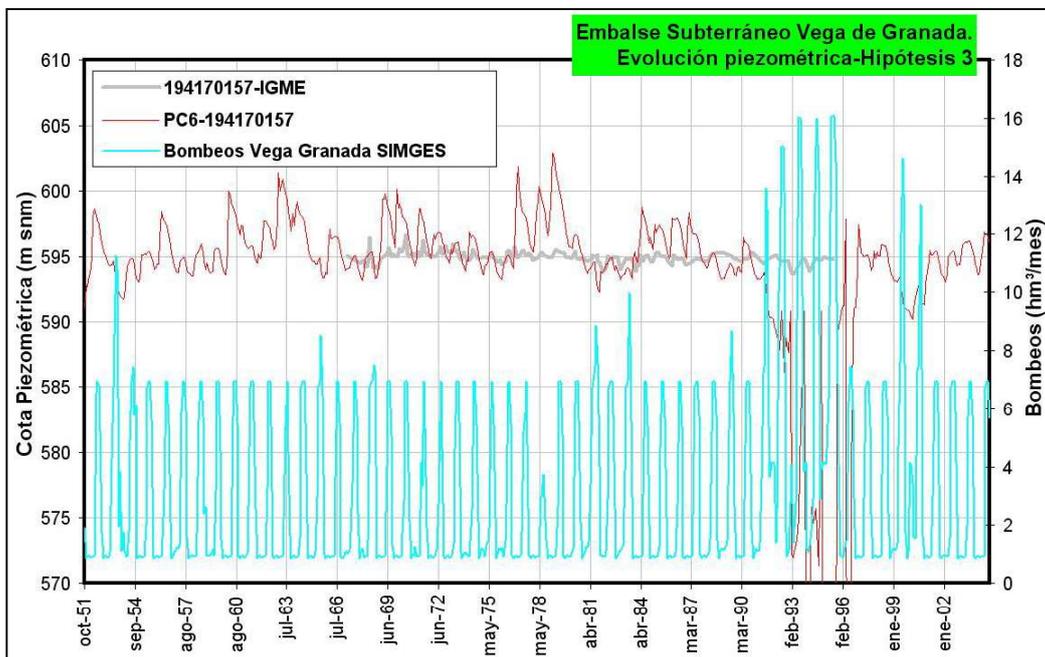


Figura 219. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada–Hipótesis 3. Piezómetro 194170157

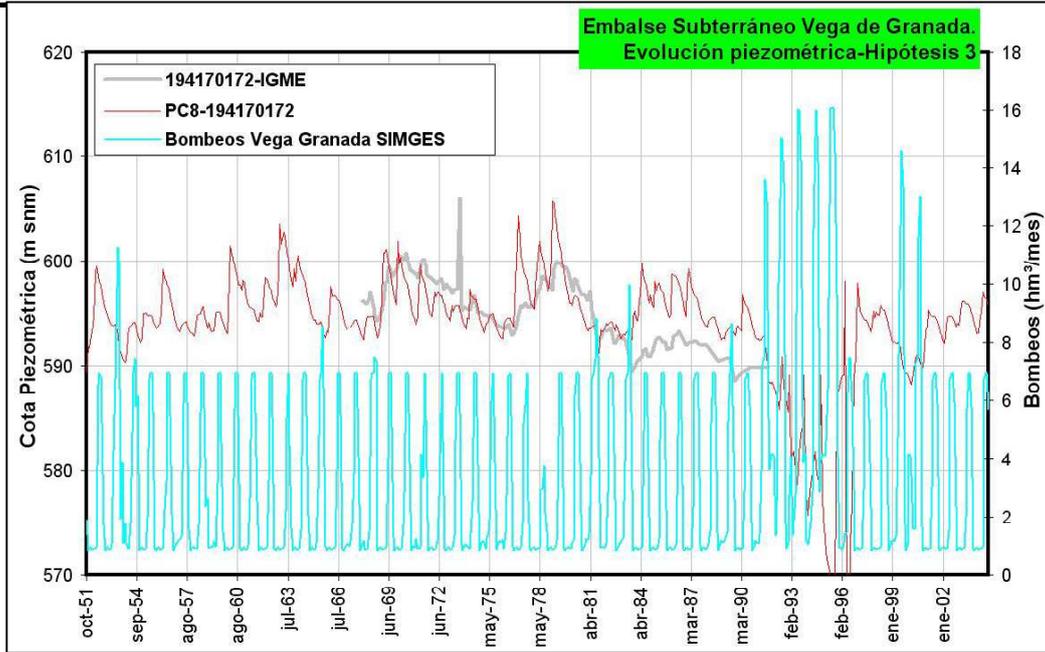


Figura 220. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada–Hipótesis 3. Piezómetro 194170172

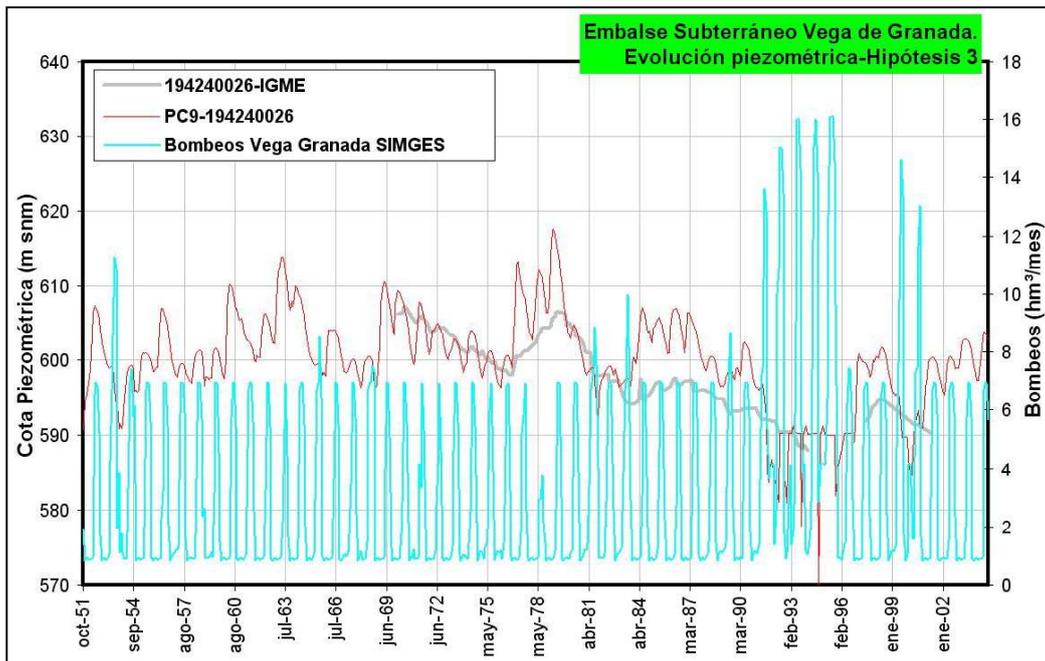


Figura 221. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada–Hipótesis 3. Piezómetro 194240026

El escenario de gestión simulado (hipótesis 3–caudales ecológicos PHCG) ofrece unos sobrantes anuales promedio para el Sistema Cornisa–Vega de Granada de 374,9

hm³, que sería la aportación del sistema al embalse de Iznajar (río Genil). Esta aportación en régimen influenciado obtenida para la hipótesis 3 supone un 66,5% de la aportación en régimen natural.

El conjunto de demandas consuntivas anuales promedio servidas por el conjunto de infraestructuras del sistema se cifra en 358,4 hm³/a un 87,0% de la demanda total máxima del sistema, lo que indicaría un déficit promedio anual de 53,63 hm³.

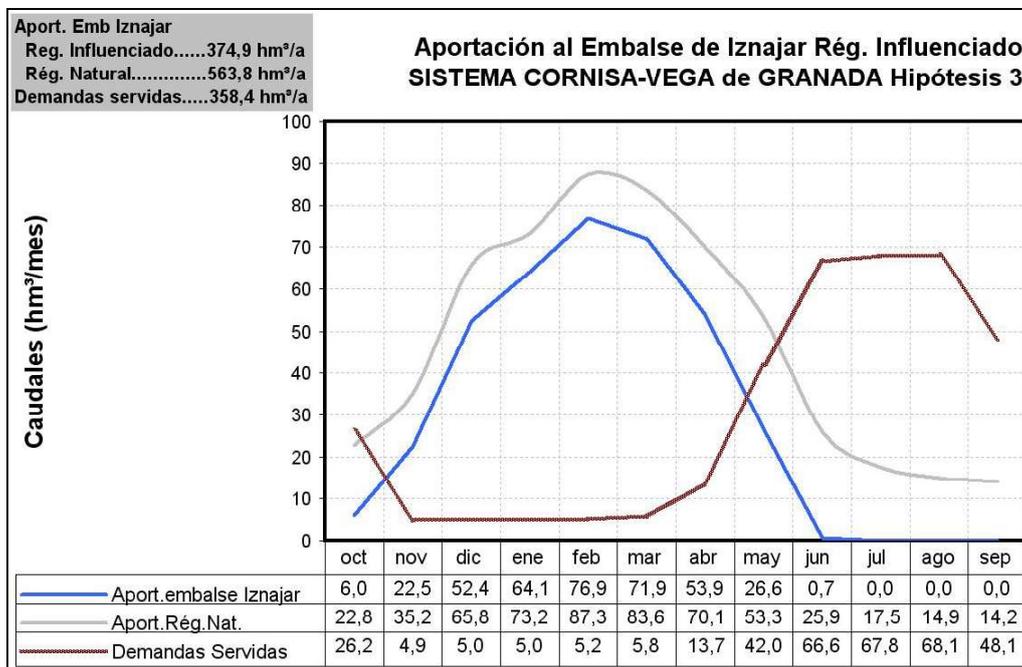


Figura 222. Aportación del Sistema Cornisa-Vega de Granada a Iznajar. Hipótesis 3

11.2.1.4 Hipótesis 4– Conducción El Chaparral

Esta simulación parte del escenario fijado para la hipótesis 2, esto es, escenario actual considerando las restricciones que impondrían al subsistema Quéntar–Canales el mantenimiento del régimen de caudales ecológicos calculado para los cauces vinculados a los parques naturales Sierra Huétor y Sierra Nevada, pero añadiendo la puesta en servicio de las infraestructuras de abastecimiento que se fijaron en el “Estudio previo de Infraestructuras del Ciclo Integral del Agua de los sistemas: Granada, Sierra Nevasda–vega Sur y La Vega–Sierra Elvira” relizado por la Consejería de Obras Públicas y Transportes de la Junta de Andalucía (Expediente: H–GR–5301/PAT0) en el año 2003.

Las infraestructuras de abastecimiento consideradas corresponden a las siguientes:

- Conducción de diámetro 800 mm procedente del manantial de Deifontes hasta la ETAP de El Chaparral (Capacidad de 2,00 hm³/mes).
- ETAP El Chaparral con una capacidad de tratamiento de 400 l/s, ampliable a 600 l/s (capacidad de tratamiento de 1,04 hm³/mes ampliable a 1,56 hm³/a).
- Depósito de regulación El Chaparral de 40.000 m³ de capacidad.
- Conducción desde la ETAP al depósito de regulación (1 km de longitud).
- Conducción de entrada al depósito de 600 mm d procedente de la ETAP de Granada (Arteria Norte de Circunvalación con capacidad de transporte de 0,93 hm³/mes).
- Conducción de abastecimiento a los municipios que integran el Consorcio de La Vega–Sierra Elvira.

El escenario de gestión de la hipótesis 4 se ha construido partiendo de las aportaciones que registra el sistema en régimen natural, las infraestructuras de regulación, conducción, potabilización y depuración de que actualmente dispone el sistema más las asociadas al conjunto ETAP-DR El Chaparral-Arteria Norte, y las demandas consuntivas calculadas (urbanas y agrícolas); y presenta como novedad respecto al estado cero la incorporación de recursos de calidad al abastecimiento del consorcio Vega Granada-Sierra Elvira, lo que permitirá reducir los bombeos de la Vega de Granada en pozos que presentan problemas de calidad.

Al igual que en la hipótesis 1 (escenario estado cero), para este escenario de simulación se han considerado en el correspondiente esquema topológico las relaciones que existen actualmente en el sistema entre fuentes de suministro y demandas. De manera que las diferentes demandas incluidas en el sistema reciben sus suministros de las fuentes que tienen asignadas actualmente, aunque sin considerar criterios concesionales para primar que una determinada demanda tome preferentemente de una fuente de suministro u otra.

Por otra parte, en la simulación de los regímenes ecológicos dependientes del subsistema Quéntar-Canales (régimen de caudales ecológicos fijados para los cauces Aguas Blancas y Genil) se ha optado por un modelo de gestión en el que los embalses participan en el mantenimiento de estos caudales ecológicos críticos, disponiendo estas demandas aguas abajo de los embalses. Bajo esta hipótesis de gestión se analiza la respuesta del sistema que ofrece SIMGES para la optimización de la gestión de los recursos hídricos considerando las prioridades impuestas en la satisfacción de las demandas y en el uso de los embalses.

| HIPÓTESIS-4 EL CHAPARRAL | | Consortio La Vega-S ^a Elvira | Consortio S ^a Nevada-Vega Sur | Mancom. del Temple | Municipios Sector Septentrional | Regadíos Vega Granada | Regadíos Cornisa | Caudales ecológicos |
|--------------------------|-----------|---|--|--------------------|---------------------------------|-----------------------|------------------|---------------------|
| Garantía mensual | Nº Fallos | 0 | 126 | 0 | 0 | 236 | 252 | 203 |
| | Gm | 100,0% | 80,2% | 100,0% | 100,0% | 62,9% | 60,4% | 68,1% |
| | Gv | 100,0% | 97,1% | 100,0% | 100,0% | 85,4% | 74,3% | 89,7% |
| MDM (hm ³) | 1 mes | 0,000 | 1,060 | 0,000 | 0,000 | 56,384 | 10,618 | 7,993 |
| | 2 meses | 0,000 | 2,102 | 0,000 | 0,000 | 102,657 | 18,368 | 15,175 |
| PHN | Nº fallos | 0 | 10 | 0 | 0 | 53 | 53 | 32 |
| | Garantía | 100,0% | 81,1% | 100,0% | 100,0% | 0,0% | 0,0% | 39,6% |
| DEF15 | | CUMPLE | NO CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| DEF25 | | CUMPLE | NO CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| DEF50 | | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| DEF75 | | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |

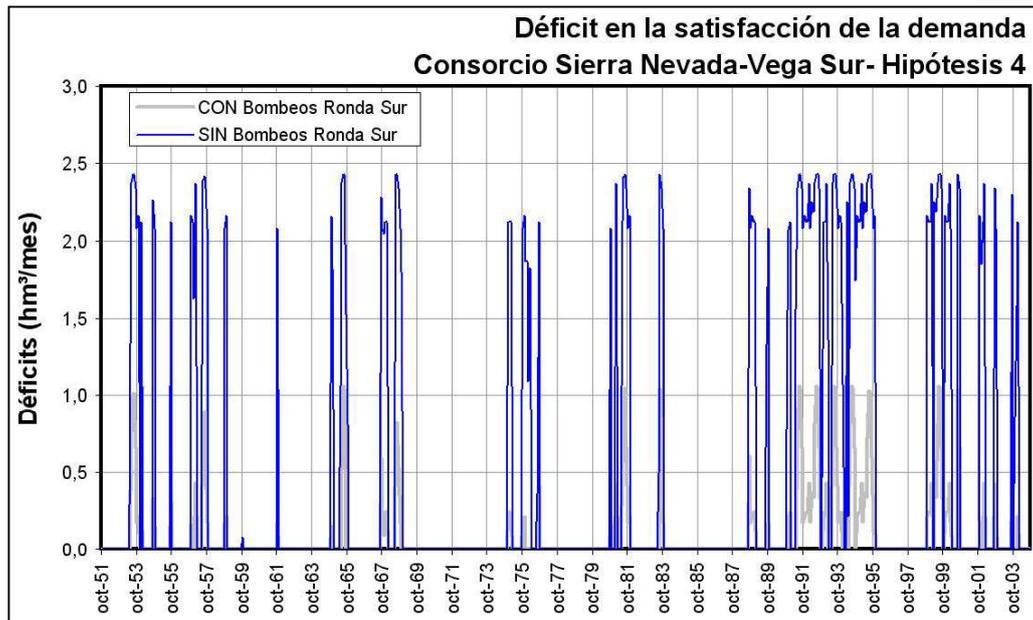
Tabla 115. Resultados de la simulación Hipótesis 4–Conducción El Chaparral

Según los resultados del modelo de gestión los **abastecimientos urbanos** de La Vega de Granada sufrirían déficits sólo en situaciones de sequía (tabla 115 y Figura 224), gracias a la aportación que reciben de los bombeos en embalses subterráneos, de hecho si se efectúa una simulación considerando que no existieran los sondeos del Campo de Pozos de la Ronda Sur para abastecimiento al Consorcio S^a Nevada–Vega Sur, los indicadores de garantía empeoran (tabla 116), apareciendo situaciones de déficit en un mayor número de ocasiones y en mayor cuantía (Figura 224).

| HIPÓTESIS 4 | | Consortio S ^a Nevada-Vega Sur |
|------------------------|-----------|--|
| Garantía mensual | Nº fallos | 151 |
| | Gm | 76,3% |
| | Gv | 84,9% |
| MDM (hm ³) | 1 mes | 2,429 |
| | 2 meses | 4,858 |
| PHN | Nº Fallos | 31 |
| | Garantía | 41,5% |
| DEF15 | | NO CUMPLE |
| DEF25 | | NO CUMPLE |
| DEF50 | | NO CUMPLE |
| DEF75 | | NO CUMPLE |

Tabla 116. Resultados de la simulación Hipótesis 4–Conducción El Chaparral sin bombeos Ronda Sur

Figura 223. Déficits en la Demanda Urbana Sierra Nevada–Vega Sur Hipótesis 4–sin bombeos Ronda Sur



No obstante los resultados de los indicadores de garantía para el Consorcio Vega Sur–Sierra Nevada son, para esta hipótesis de simulación, inferiores a la hipótesis 2. Por tanto se concluye que la puesta en servicio de las infraestructuras de El Chaparral y la Arteria Norte de Circunvalación mejorará el abastecimiento al Consorcio Vega Granada–Sierra Elvira, pero empeorará ligeramente las condiciones de abastecimiento al Consorcio Sierra Nevada–Vega Sur.

| ABASTECIMIENTO URBANO VEGA DE GRANADA | | Consorcio Sierra Nevada-Vega Sur | | Consorcio La Vega-S ^a Elvira | |
|---------------------------------------|-----------|----------------------------------|-------------|---|-------------|
| | | HIPÓTESIS 2 | HIPÓTESIS 4 | HIPÓTESIS 2 | HIPÓTESIS 4 |
| Garantía mensual | Nº fallos | 117 | 126 | 35 | 0 |
| | Gm | 81,6% | 80,2% | 94,5% | 100,0% |
| | Gv | 98,6% | 97,1% | 99,5% | 100,0% |
| MDM (hm ³) | 1 mes | 0,429 | 1,060 | 0,171 | 0,000 |
| | 2 meses | 0,858 | 2,102 | 0,324 | 0,000 |
| PHN | Nº Fallos | 0 | 10 | 0 | 0 |
| | Garantía | 100,0% | 81,1% | 100,0% | 100,0% |
| | DEF15 | CUMPLE | NO CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE |
| | DEF25 | CUMPLE | NO CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE |
| | DEF50 | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE |
| | DEF75 | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE |

Tabla 117. Comparativa Hipótesis-2 e Hipótesis-4. Abastecimiento Urbano Vega de Granada

Según los resultados suministrados por SIMGES, para el escenario que contempla el mantenimiento de los caudales ecológicos y la puesta en funcionamiento de la conducción El Chaparral sería necesario incrementar en algo más de 1,06 hm³/mes la capacidad de bombeo del Campo de Pozos de la Ronda Sur para asegurar el abastecimiento al Consorcio Sierra Nevada-Vega Sur.

Al objeto de valorar el efecto que la conexión del Canal de Loaysa con la ETAP de Lancha de Genil, lo que significaría incluir el Canal de Loaysa como fuente de suministro complementaria del abastecimiento a los Consorcios de la Vega de Granada, se ha efectuado una simulación disponiendo una tubería de conexión entre este canal y la ETAP de una capacidad de 2 hm³/mes (tubería de 800 mmφ).

Esta conexión no constituye una mejora de los índices de garantía del abastecimiento urbano (tabla 118), puesto que el condicionante en este caso lo constituiría la capacidad de tratamiento de la ETAP Lancha del Genil.

| HIPÓTESIS-4 EL CHAPARRAL | | Consorcio La Vega-S ^a Elvira | Consorcio S ^a Nevada-Vega Sur | Mancom. del Temple | Municipios Sector Septentrional | Regadíos Vega Granada | Regadíos Cornisa | Caudales ecológicos |
|--------------------------|-----------|---|--|--------------------|---------------------------------|-----------------------|------------------|---------------------|
| Garantía mensual | Nº Fallos | 0 | 126 | 0 | 0 | 236 | 252 | 203 |
| | Gm | 100,0% | 80,2% | 100,0% | 100,0% | 62,9% | 60,4% | 68,1% |
| | Gv | 100,0% | 97,1% | 100,0% | 100,0% | 85,4% | 74,3% | 89,7% |
| MDM (hm ³) | 1 mes | 0,000 | 1,060 | 0,000 | 0,000 | 56,384 | 10,618 | 7,993 |
| | 2 meses | 0,000 | 2,102 | 0,000 | 0,000 | 102,657 | 18,368 | 15,175 |
| PHN | Nº fallos | 0 | 10 | 0 | 0 | 53 | 53 | 32 |
| | Garantía | 100,0% | 81,1% | 100,0% | 100,0% | 0,0% | 0,0% | 39,6% |
| DEF15 | | CUMPLE | NO CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| DEF25 | | CUMPLE | NO CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| DEF50 | | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| DEF75 | | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |

Tabla 118. *Resultados de la simulación Hipótesis 4-Conducción El Chaparral alternativa Canal de Loaysa*

Sería necesario plantear, al mismo tiempo que un aumento de la capacidad de transporte, un incremento en la capacidad de bombeo en el Campo de Pozos de Ronda Sur, hasta totalizar 3,5 hm³/mes, en cuyo caso las garantías de abastecimiento serían totales (tabla 119).

| HIPÓTESIS-4 EL CHAPARRAL alternativa incremento capacidad bombeos Ronda Sur | | Consorcio La Vega-S ^a Elvira | Consorcio S ^a Nevada-Vega Sur | Mancom. del Temple | Municipios Sector Septentrional | Regadíos Vega Granada | Regadíos Cornisa | Caudales ecológicos |
|---|-----------|---|--|--------------------|---------------------------------|-----------------------|------------------|---------------------|
| Garantía mensual | Nº Fallos | 0 | 0 | 0 | 0 | 236 | 252 | 203 |
| | Gm | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 62,9% | 60,4% | 68,1% |
| | Gv | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 85,5% | 74,3% | 89,7% |
| MDM (hm ³) | 1 mes | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 55,157 | 10,618 | 7,993 |
| | 2 meses | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 100,199 | 18,367 | 15,175 |
| PHN | Nº fallos | 0 | 0 | 0 | 0 | 53 | 53 | 32 |
| | Garantía | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 0,0% | 0,0% | 39,6% |
| DEF15 | | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| DEF25 | | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| DEF50 | | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| DEF75 | | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |

Tabla 119. *Resultados de la simulación Hipótesis 4-Conducción El Chaparral, alternativa con una capacidad de bombeo en la Ronda Sur de 3,5 hm³/mes*

Según la procedencia del suministro de agua potable que se registra en el sistema para la Hipótesis-4 de simulación se observa que el caudal mensual promedio es de 5,127 hm³ y el anual de 61,519 hm³/a. De este caudal un 75,2% procede de infraestructuras de regulación superficial (sistema Canales-Quéntar -41,737 hm³/a-, Deifontes¹⁰ -10,434 hm³/a- y embalse Bermejales -4,514 hm³/a-) y el 24,8% restante de la captación de agua en embalses subterráneos (15,268 hm³/a) (Figura 225). Si se considera la distribución mensual promedio del suministro se observa como el proveniente de las infraestructuras superficiales es superior a la suministrada desde embalses subterráneos.

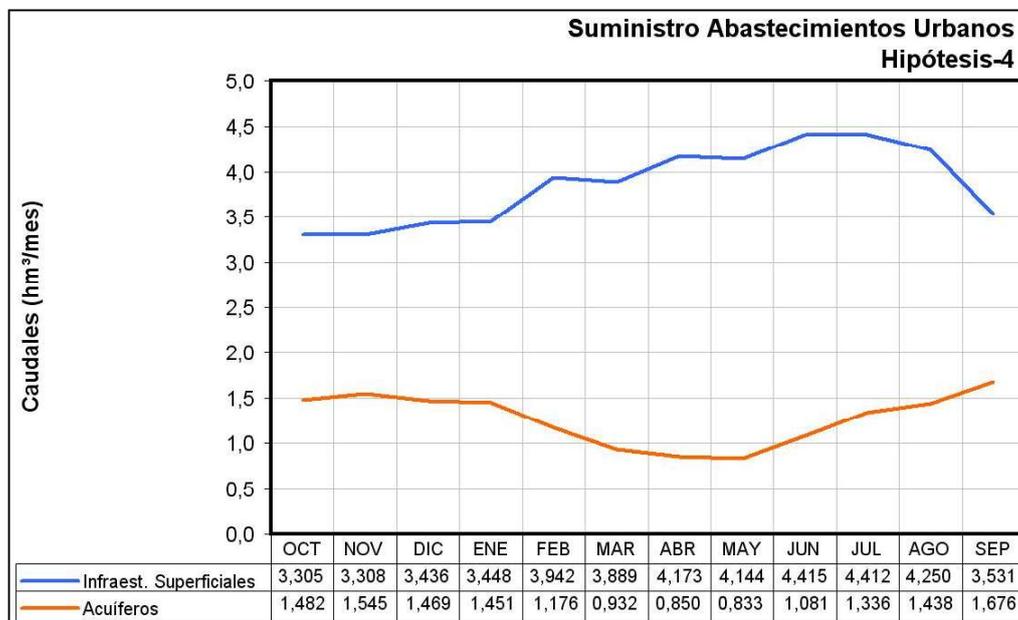


Figura 224. Suministro de agua para abastecimiento urbano Hipótesis-4

Las **demandas agrícolas** de la Vega de Granada registrarían unos indicadores de garantía aceptables (tabla 120). Los déficits más significativos se pueden explicar por la escasa cuantía concedida a los bombeos que las correspondientes demandas en el esquema considerado en SIMGES o por la competencia con las demandas urbanas (declaradas como prioritarias).

| Demandas | Demanda (hm ³) | Nº Fallos | Garantía mensual (%) | Garantía Volum, % | Máximo Déficit Mensual | | CPH | | DEF50 |
|---|----------------------------|-----------|----------------------|-------------------|--------------------------|----------------------------|-----------|-------|-----------|
| | | | | | 1 mes (hm ³) | 2 meses (hm ³) | Nº Fallos | G (%) | |
| AGRÍCOLA | 356,28 | 252 | 60,4% | 83,4% | 123,386 | 223,683 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Regadíos Cornisa de Granada | 64,03 | 252 | 60,4% | 74,3% | 10,618 | 18,368 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Comarca Montefrío | 22,67 | 212 | 66,7% | 69,9% | 2,900 | 4,450 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Comarca Alhama | 17,62 | 252 | 60,4% | 67,6% | 2,078 | 3,348 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Comarca Iznalloz | 23,73 | 61 | 90,4% | 83,5% | 5,640 | 10,570 | 20 | 62,3% | NO CUMPLE |
| Regadíos Vega de Granada | 292,25 | 236 | 62,9% | 85,4% | 56,384 | 102,657 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Alto Genil | 26,23 | 216 | 66,0% | 35,6% | 8,580 | 16,190 | 51 | 3,8% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Vega Alta | 36,78 | 99 | 84,4% | 81,2% | 6,990 | 13,740 | 24 | 54,7% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Monachil-Dílar | 29,82 | 126 | 80,2% | 88,5% | 2,744 | 4,947 | 16 | 69,8% | NO CUMPLE |
| Zona Regable del Canal del Cacín | 33,63 | 11 | 98,3% | 97,5% | 7,474 | 12,914 | 4 | 92,5% | NO CUMPLE |
| Vega Baja del Genil | 63,53 | 11 | 98,3% | 97,7% | 12,467 | 20,626 | 4 | 92,5% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Alfacar-Beas (manantiales triásicos) | 17,41 | 236 | 62,9% | 69,5% | 2,079 | 4,142 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Vega Media MI | 18,17 | 65 | 89,8% | 88,8% | 3,930 | 7,460 | 12 | 77,4% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Cijuela-Láchar | 3,30 | 12 | 98,1% | 96,6% | 0,740 | 1,399 | 4 | 92,5% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Fte Vaqueros-Valdecaballeros | 6,30 | 6 | 99,1% | 99,1% | 0,705 | 1,173 | 2 | 96,2% | CUMPLE |
| Vega Granada-Velillos | 5,42 | 149 | 76,6% | 79,4% | 0,550 | 0,960 | 51 | 3,8% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Pantano Cubillas | 11,08 | 36 | 94,3% | 93,2% | 3,137 | 5,951 | 15 | 71,7% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Canal Cubillas | 21,46 | 12 | 98,1% | 98,2% | 2,224 | 4,102 | 5 | 90,6% | CUMPLE |
| Vega Granada-Canal Albolote | 19,12 | 70 | 89,0% | 82,7% | 4,765 | 9,055 | 22 | 58,5% | NO CUMPLE |

Tabla 120. Indicadores de garantía de las demandas para riego (Hipótesis-4)

Para el escenario de simulación considerado, el suministro total de agua para dotar los regadíos del sistema Cornisa-Vega de Granada asciende a un volumen promedio anual de 287,813 hm³, del que un 40,9% procede de recursos regulados mediante infraestructuras superficiales (117,828 hm³/a), un 24,0 % de la captación de recursos subterráneos (60,723 hm³/a) y el 35,1% restante de procedencia mixta (101,015 hm³/a, tomas en cauces donde se mezclan recursos superficiales y subterráneos -drenaje de acuíferos-) (Figura 226).

¹⁰ Corresponde al volumen de agua que transportaría la coducción para abastecimiento entre Deifontes y la ETAP de El Chaparral, cuyo origen es subterráneo, aunque la infraestructura es superficial

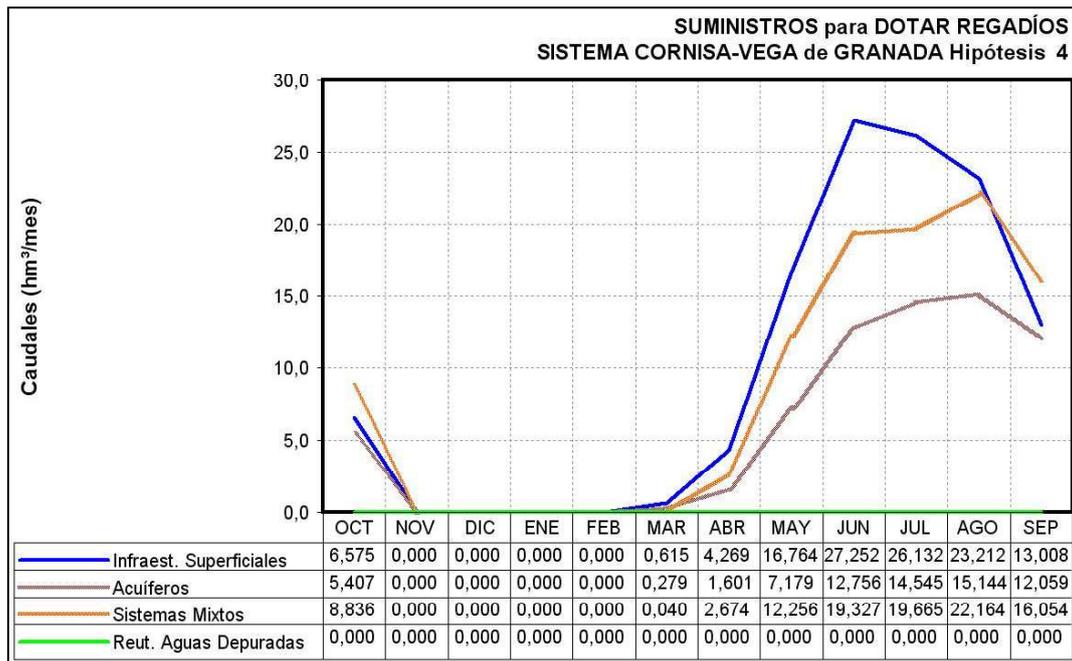


Figura 225. Procedencia de los recursos suministrado para riegos. Hipótesis 4

La puesta en funcionamiento de la conducción de El Chaparral supone, en principio, una merma de los caudales que circularían a través del Canal de Albolote para dotar riegos en la Vega de Granada (Z.R. Canal de Albolote).

Esta demanda agrícola se ha fijado en 19,12 hm³/a, considerando una superficie regada de 2.013 ha y una dotación media de 9.499 m³/ha/año, considerando una eficiencia en el riego del 68%, lo que implica una necesidad hídrica de 6.450 m³/ha/año.

Los indicadores de garantía que se obtiene en el escenario de gestión que contempla la implantación de la conducción El Chaparral (hipótesis 4) y la correspondiente a la situación contraria (hipótesis 2) son similares, no existiendo unas diferencias apreciables, siendo algo peores para la hipótesis 4 (tabla 121). Respecto a los caudales circulantes por el Canal de Albolote, en la hipótesis 2 se obtiene un

promedio anual de 21,098 hm³, mientras que para la hipótesis 4 el caudal promedio anual es de 13,503 hm³ (Figura 227).

| | | Z.R. Canal de Albolote | |
|------------------------|----------------|------------------------|-------------|
| | | HIPÓTESIS 2 | HIPÓTESIS 4 |
| Garantía mensual | Nº Fallos | 59 | 70 |
| | G _m | 90,72% | 88,99% |
| | G _v | 87,31% | 82,75% |
| MDM (hm ³) | 1 mes | 4,6767 | 4,7654 |
| | 2 meses | 8,9072 | 9,055 |
| PHN | Nº Fallos | 19 | 22 |
| | G (%) | 64,15% | 58,49% |
| DEF50 | | NO CUMPLE | NO CUMPLE |

Tabla 121. Comparativa índices de garantía Z.R. Canal Albolote

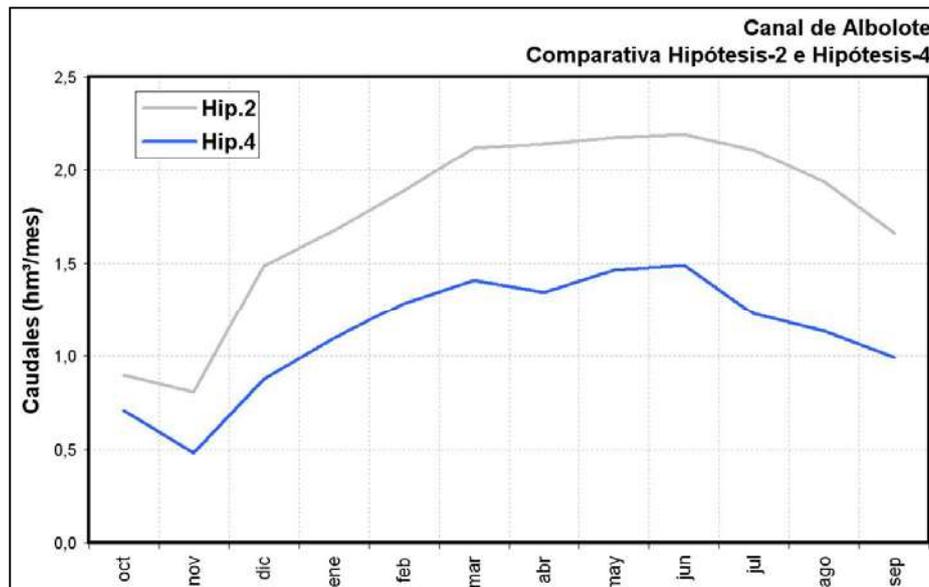


Figura 226. Caudal circulante por el Canal Albolote en las hipótesis de simulación 2 y 4

Las demandas ecológicas (tabla 115), fijadas en los cauces vinculados a los parques naturales de Sierra Huétor y Sierra Nevada, presentan unos índices de garantía similares a los obtenidos en la hipótesis 2, por las mismas razones que se argumentaron en el escenario 2 (cuantía que supone el régimen de caudales

ecológicos respecto a los años tipo seco y envergadura de las demandas dependientes del sistema Canales–Quéntar en la Vega de Granada).

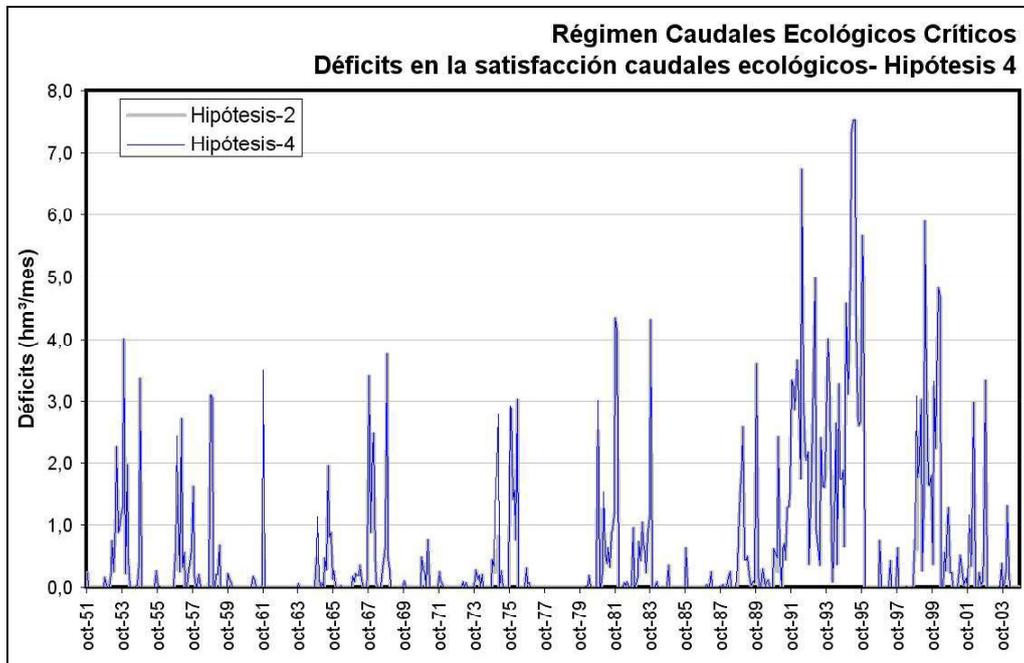


Figura 227. Déficits asociados a la demanda en caudales ecológicos sistema Canales–Quéntar. Hipótesis 4

En cuanto a la evolución del volumen de agua almacenada en los **embalses**, el modelo de simulación ofrece un resultado que implica el vaciamiento de los sistemas Canales–Quéntar (Figura 229) y Cubillas–Colomera (Figura 230) en diferentes periodos de la serie analizada (1951–2004). En el embalse de Bermejales sólo se produce vaciamiento en el periodo correspondiente a la sequía acontecida en el periodo 1993–1996.

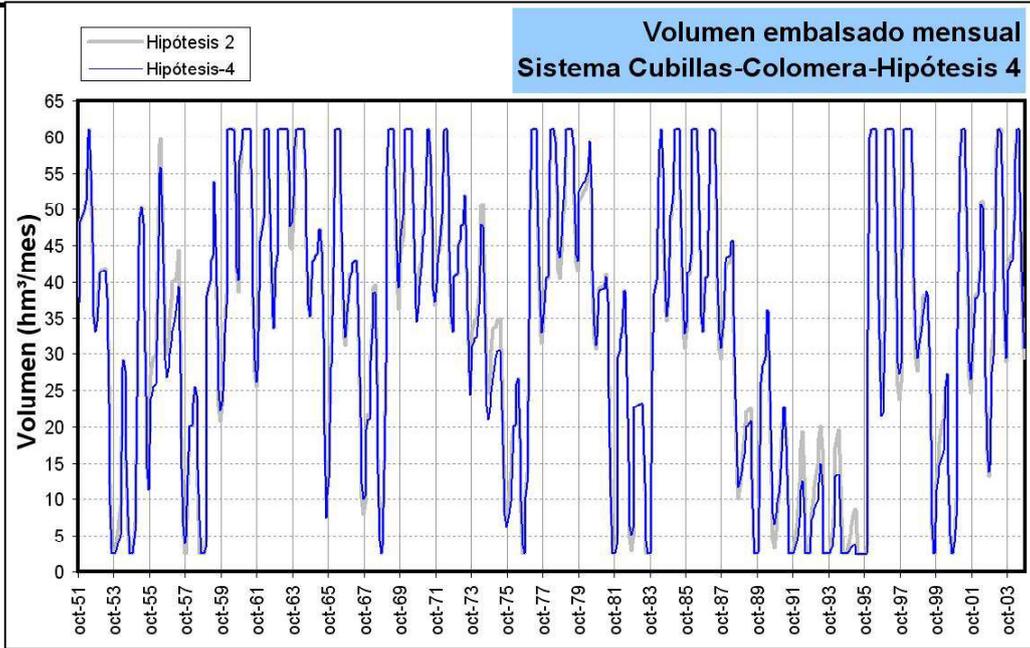


Figura 228. Evolución de los embalses del sistema Canales-Quéntar (Hipótesis 4)

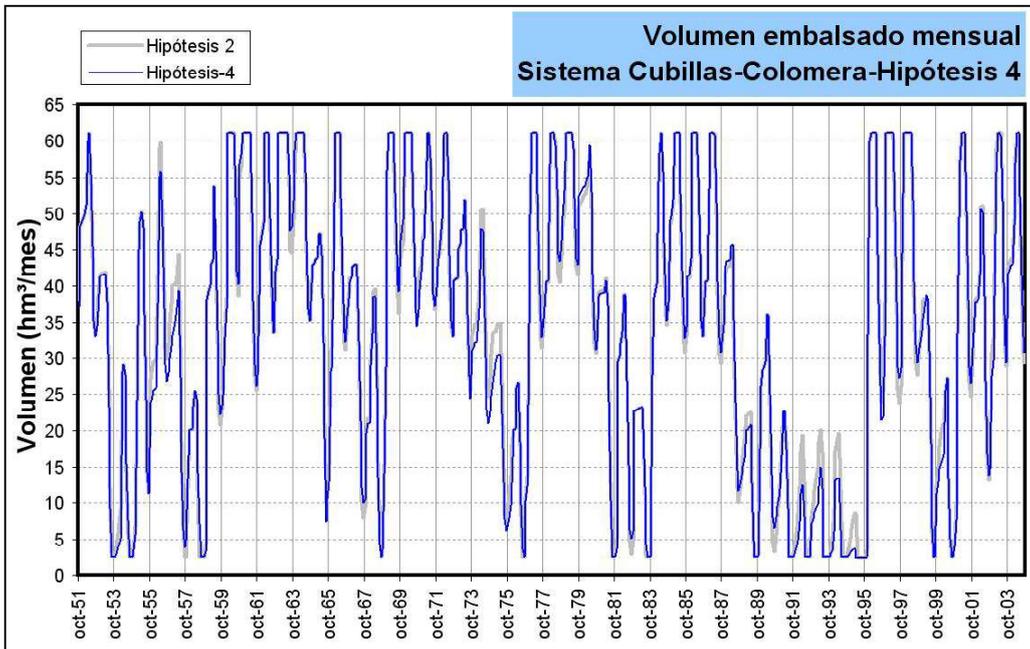


Figura 229. Evolución de los embalses del sistema Cubillas-Colomera (Hipótesis 4)

El mantenimiento de un régimen de caudales ecológicos en el sistema Canales-Quéntar origina que el sistema de regulación superficial sea más vulnerable que para la hipótesis 1 (Estado actual, en la que no se consideraron estas demandas ecológicas).

En el conjunto Cubillas-Colomera, la puesta en servicio de la conducción Deifontes-ETAP El Chaparral, para abastecimiento de la Vega de Granada, implica una merma de los volúmenes almacenados, debido a que los caudales no derivados desde Deifontes a la ZR Canal de Albolote son suministrados desde los embalses de Cubillas-Colomera.

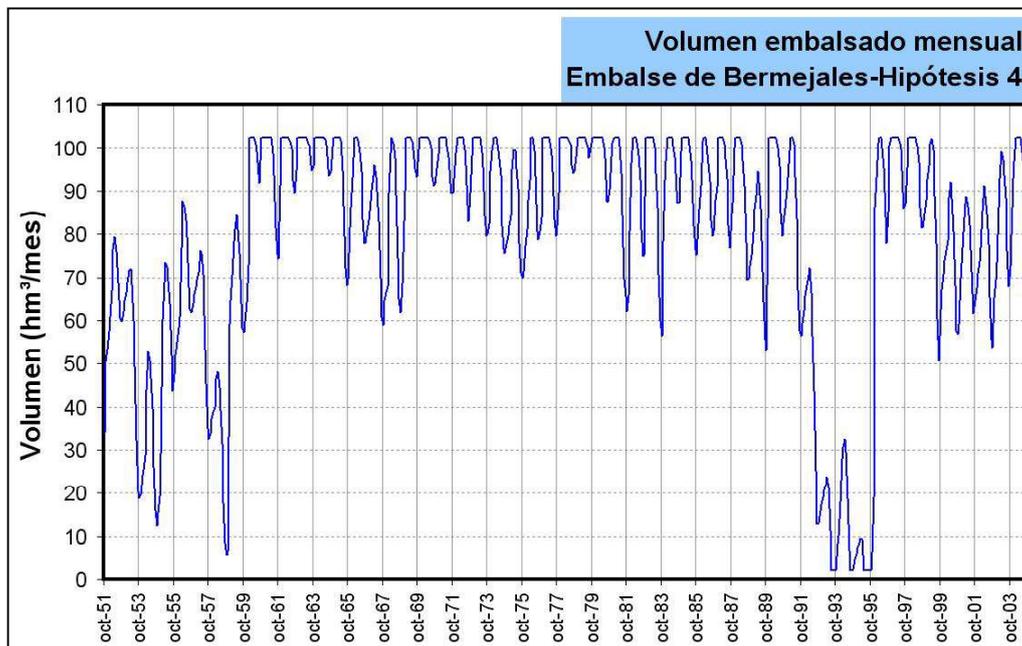


Figura 230. Evolución de los embalses del sistema Bermejales (Hipótesis 4)

La evolución del estado de llenado que presenta el embalse subterráneo Vega de Granada puede constatar a través de los parámetros de control impuestos en el modelo de autovalores que se ha utilizado. Estos parámetros de control hacen referencia a los caudales que son drenados por el acuífero al río Genil y a las medidas piezométricas en determinados puntos de la red oficial de control de las aguas subterráneas.

Respecto a la descarga que recibe el río Genil para el régimen influenciado que supone la hipótesis 4 (Figura 232), el modelo de uso conjunto proporciona un drenaje promedio anual de 49,117 hm³, por lo que el balance comparativo de la recarga que recibe por infiltración de retornos de riegos respecto a los bombeos resulta negativo, ya que la descarga en régimen natural se ha cifrado en 51,653 hm³/a, además de perjudicial en términos de calidad.

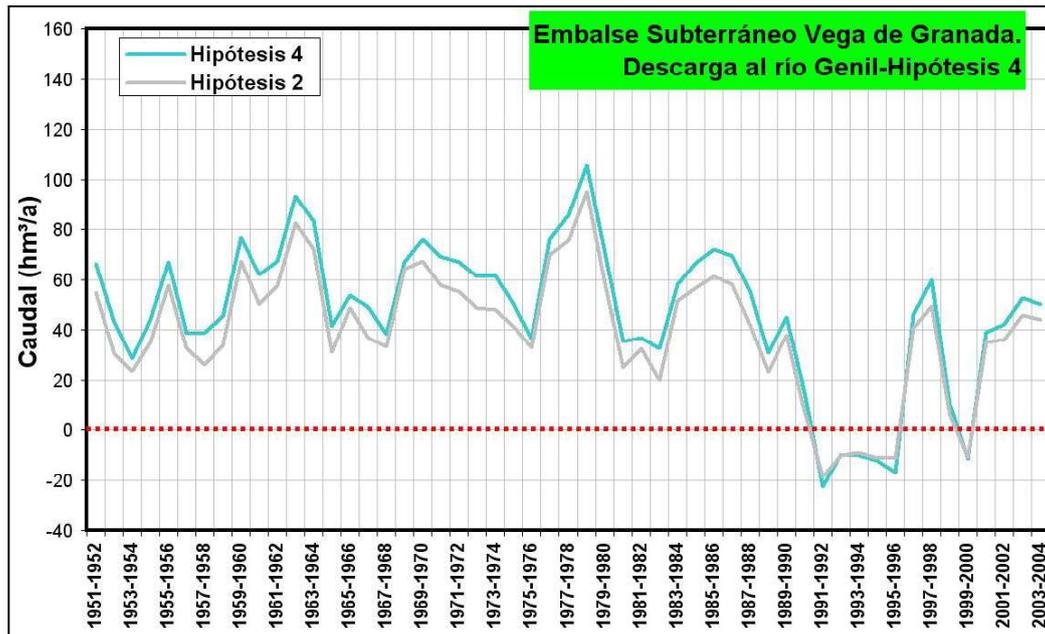


Figura 231. Simulación de la descarga que recibe el río Genil del embalse subterráneo Vega de Granada mediante el modelo de autovalores. Hipótesis 4

El volumen promedio anual de bombeos que registraría el embalse subterráneo sería de 35,179 hm³, con un máximo de 97,003 hm³. La cifra promedio de bombeos resulta algo inferior a la fijada para la hipótesis 1 (37,977 hm³/a) y bastante inferior que para la hipótesis 2 (48,427 hm³/a), debido a que la demanda del Consorcio Vega Granada-S^a Elvira deja de suministrarse con aguas subterráneas de la Vega de Granada (con problemas de calidad) para dotarse con aguas de Deifontes y del sistema Canales-Quéntar (Figura 233).

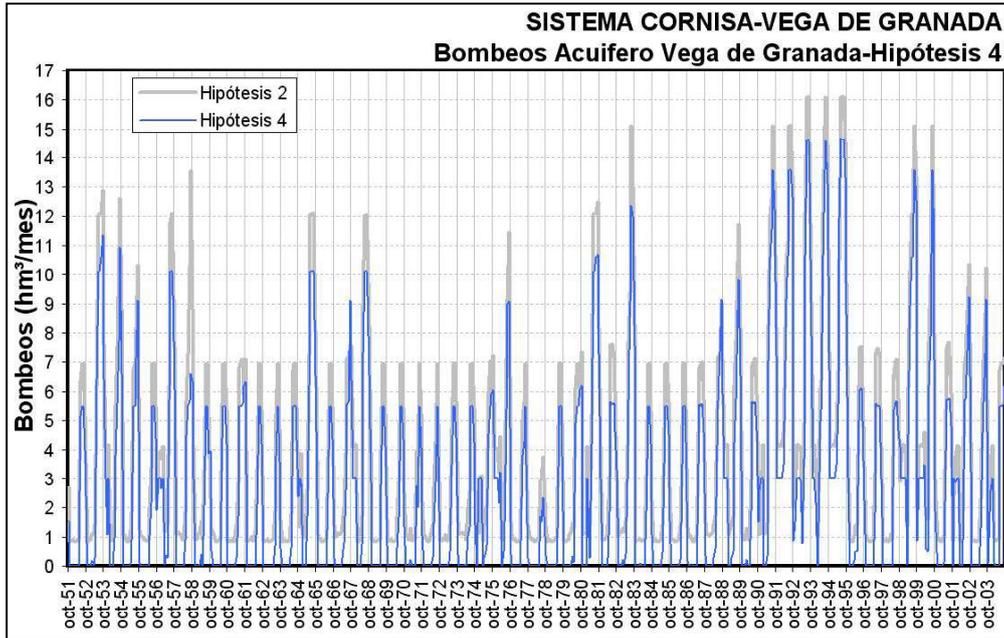


Figura 232. Bombeos en el embalse subterráneo Vega de Granada. Hipótesis 4

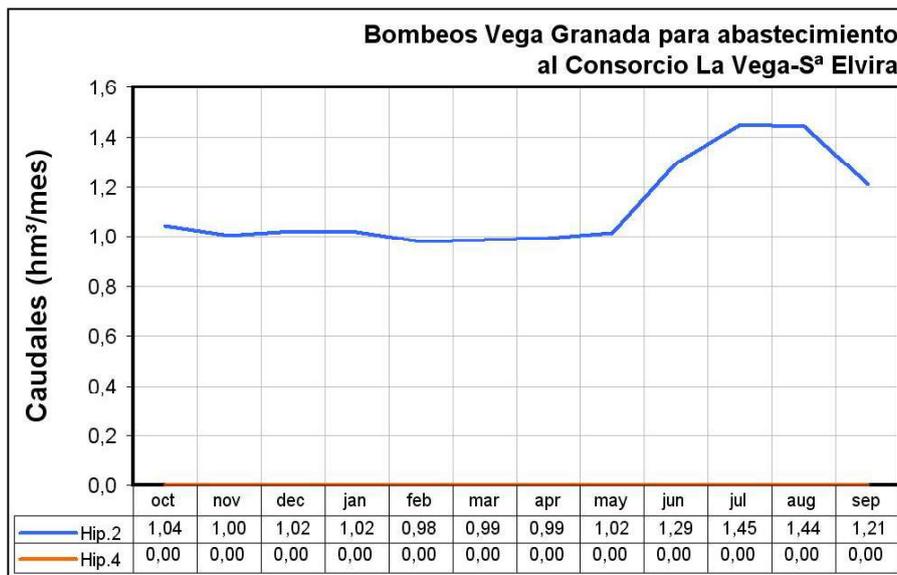


Figura 233. Bombeos simulados en el acuífero Vega de Granada para abastecimiento al Consorcio La Vega-Sª Elvira

En lo referente a la evolución piezométrica (Figuras 235 a 238) que registraría el embalse subterráneo vega de Granada ante las condiciones de simulación impuestas por el escenario de gestión vinculado a la Hipótesis 4, ofrece unos resultados que muestran descensos piezométricos acusados en los periodos de más intenso bombeo

(sequía 1993–95), aunque la recuperación que tiene lugar posteriormente es bastante rauda.

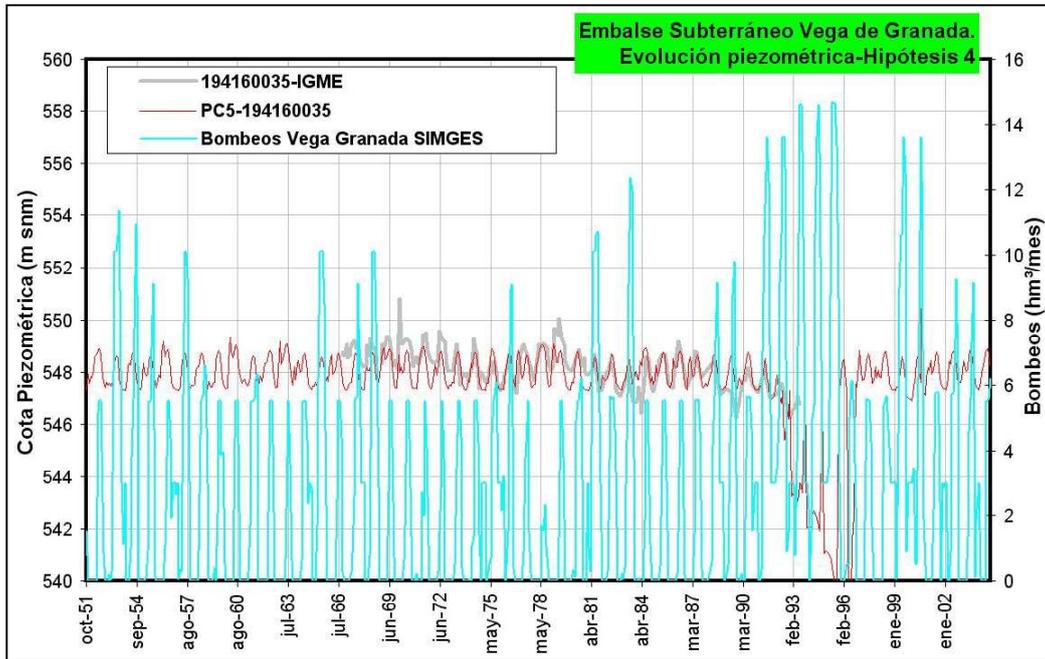


Figura 234. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada–Hipótesis 4. Piezómetro 194160035

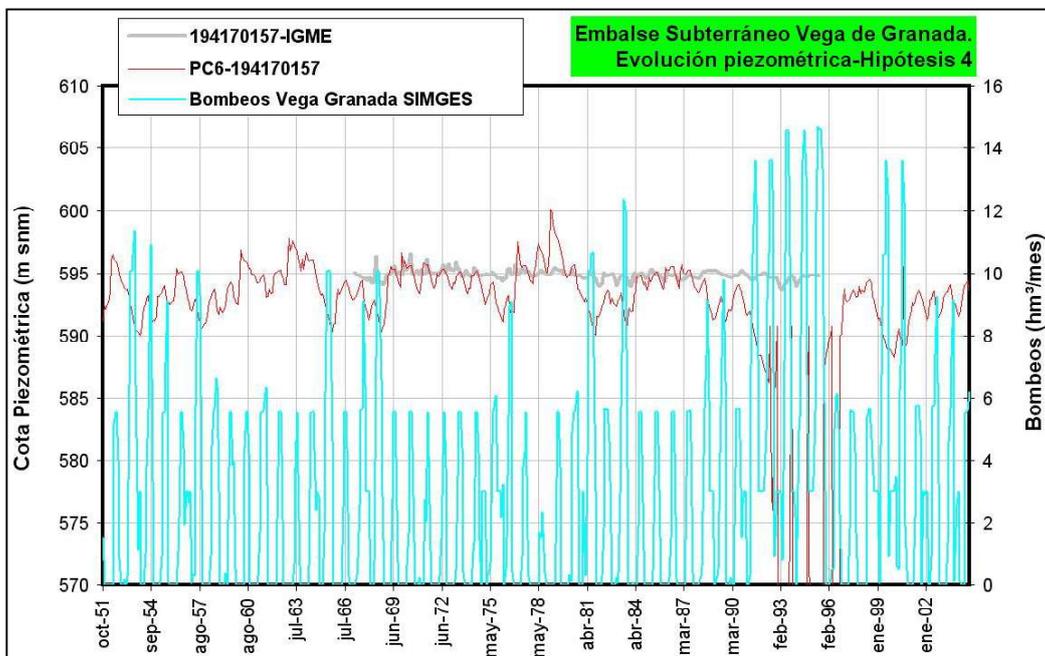


Figura 235. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada–Hipótesis 4. Piezómetro 194170157

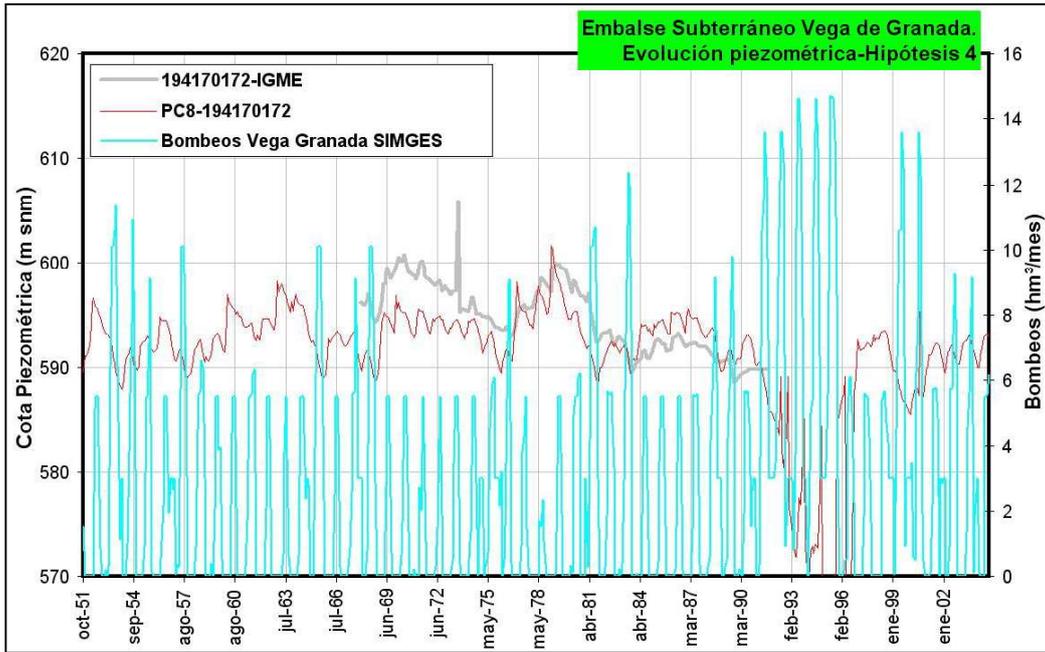


Figura 236. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada–Hipótesis 4. Piezómetro 194170172

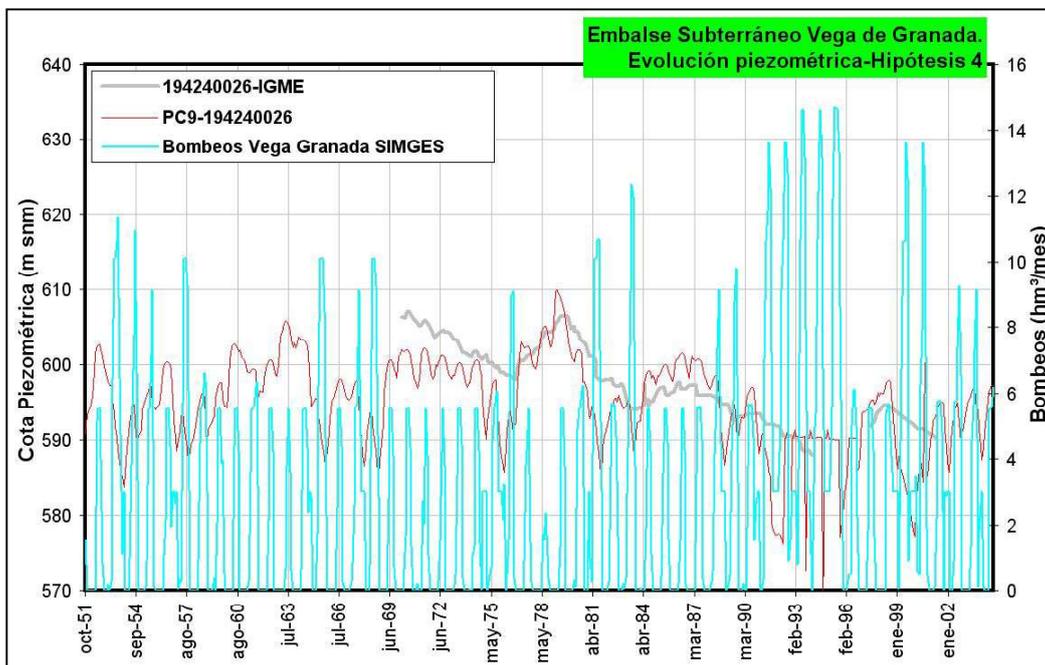


Figura 237. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada–Hipótesis 4. Piezómetro 194240026

El escenario de gestión simulado (hipótesis 4–escenario Conducción El Chaparral) ofrece unos sobrantes anuales promedio para el Sistema Cornisa–Vega de Granada de 352,9 hm³, que sería la aportación del sistema al embalse de Iznajar (río Genil). Esta aportación en régimen influenciado obtenida para la hipótesis 1 supone un 62,6% de la aportación en régimen natural.

El conjunto de demandas consuntivas anuales promedio servidas por el conjunto de infraestructuras del sistema se cifra en 351,9 hm³/a un 85,4% de la demanda total máxima del sistema, lo que indicaría un déficit promedio anual de 60,13 hm³.

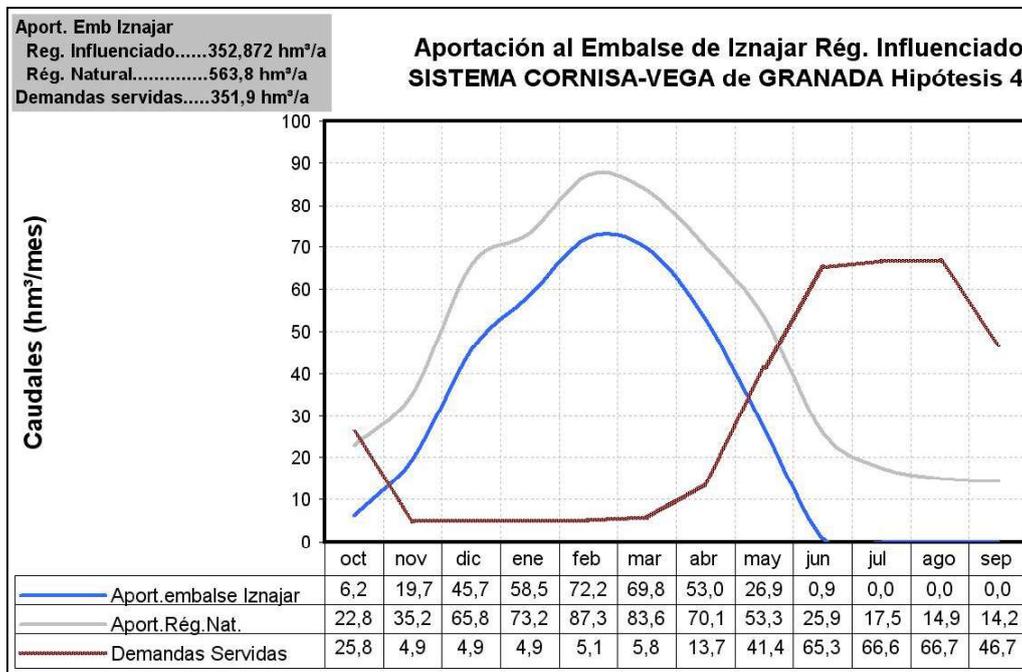


Figura 238. Aportación del Sistema Cornisa–Vega de Granada a Iznajar. Hipótesis 4

11.2.1.5 Hipótesis 5– Embalse Velillos

Esta simulación considera las condiciones de simulación del escenario 4– Conducción El Chaparral, pero suma la puesta en servicio del embalse de Velillos, por tanto, este escenario de simulación incluye los siguientes aspectos:

- Se consideran las restricciones que impondrían al subsistema Quéntar–Canales el mantenimiento del régimen de caudales ecológicos calculado para los cauces vinculados a los parques naturales Sierra Huétor y Sierra Nevada
- Puesta en servicio de las infraestructuras de abastecimiento asociadas a la ETAP El Chaparral (ETAP, depósito de regulación y Artería Norte de Circunvalación).
- Puesta en servicio del embalse de Velillos y de un canal de conexión entre este embalse y el embalse de Colomera.

El embalse de Velillos presenta una capacidad de almacenamiento de 90 hm³ y se ubica en el curso alto del río Velillos, afluente del río Colomera. Presenta una cuenca de recepción de 267,28 km² y la escurrentía para el año tipo medio que recibe es de 29,52 hm³/a (estación de aforos nº95 CHG). La cuenca de recepción no presenta acuíferos de relevancia, por lo que el caudal base es mínimo. Asimismo la escurrentía es muy variable, para el año tipo seco corresponde un valor de 5,57 hm³/a y para el año tipo húmedo 71,43 hm³/a.

En el escenario de gestión simulado se ha considerado este embalse como de prioridad 1, igual que el embalse de Colomera y se han establecido los siguientes volúmenes: máximo de 62 hm³, objetivo de 10 hm³ y mínimo de 1 hm³. Los datos de evaporación en lámina libre se han hecho coincidir con el embalse de Colomera.

La conexión entre los embalse de Velillos y Colomera corresponde, en el esquema de gestión analizado, a una conducción de 6,5 hm³/mes de capacidad, similar al Canal de Colomera existente.

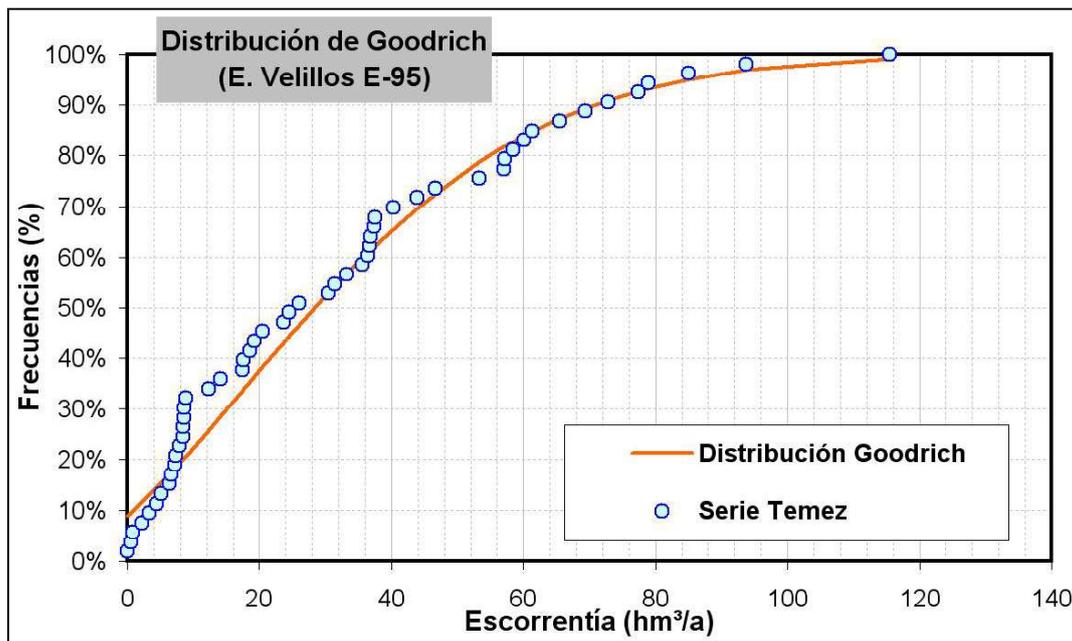


Figura 239. Escorrentía total que registra la cuenca de recepción del embalse de Velillos

El escenario de gestión de la hipótesis 5 se ha construido partiendo de las aportaciones que registra el sistema en régimen natural, las infraestructuras de regulación, conducción, potabilización y depuración de que actualmente dispone el sistema más las asociadas al conjunto ETAP-DR El Chaparral-Arteria Norte y el embalse de Velillos, y las demandas consuntivas calculadas (urbanas y agrícolas); y presenta como novedad, respecto al estado cero, la incorporación de recursos de calidad al abastecimiento del consorcio Vega Granada-Sierra Elvira, lo que permitirá reducir los bombeos de la Vega de Granada en pozos que presentan problemas de calidad.

Al igual que en la hipótesis 1 (escenario estado cero), para este escenario de simulación se han considerado en el correspondiente esquema topológico las relaciones que existen actualmente en el sistema entre fuentes de suministro y demandas. De manera que las diferentes demandas incluidas en el sistema reciben sus

suministros de las fuentes que tienen asignadas actualmente, aunque sin considerar criterios concesionales para primar que una determinada demanda tome preferentemente de una fuente de suministro u otra.

Por otra parte, en la simulación de los regímenes ecológicos dependientes del subsistema Quéntar–Canales (régimen de caudales ecológicos fijados para los cauces Aguas Blancas y Genil) se ha optado por un modelo de gestión en el que los embalses participan en el mantenimiento de estos caudales ecológicos críticos, disponiendo estas demandas aguas abajo de los embalses (Figura 187). Bajo esta hipótesis de gestión se analiza la respuesta del sistema que ofrece SIMGES para la optimización de la gestión de los recursos hídricos considerando las prioridades impuestas en la satisfacción de las demandas y en el uso de los embalses.

| HIPÓTESIS-5 EMBALSE DE VELILLOS | | Consorcio La Vega-S ^a Elvira | Consorcio S ^a Nevada- Vega Sur | Mancom. del Temple | Municipios Sector Septentrional | Regadíos Vega Granada | Regadíos Cornisa | Caudales ecológicos |
|---------------------------------------|-----------|---|---|-----------------------|---------------------------------------|--------------------------|---------------------|------------------------|
| Garantía mensual | Nº Fallos | 0 | 124 | 0 | 0 | 236 | 252 | 203 |
| | Gm | 100,0% | 80,5% | 100,0% | 100,0% | 62,9% | 60,4% | 68,1% |
| | Gv | 100,0% | 97,2% | 100,0% | 100,0% | 86,9% | 78,6% | 89,7% |
| MDM (hm ³) | 1 mes | 0,000 | 1,060 | 0,000 | 0,000 | 56,384 | 10,616 | 7,993 |
| | 2 meses | 0,000 | 2,102 | 0,000 | 0,000 | 102,657 | 18,368 | 15,175 |
| PHN | Nº fallos | 0 | 10 | 0 | 0 | 53 | 53 | 32 |
| | Garantía | 100,0% | 81,1% | 100,0% | 100,0% | 0,0% | 0,0% | 39,6% |
| DEF15 | | CUMPLE | NO CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| DEF25 | | CUMPLE | NO CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| DEF50 | | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| DEF75 | | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |

Tabla 122. *Resultados de la simulación Hipótesis 5–Embalse Velillos*

Según los resultados del modelo de gestión los **abastecimientos urbanos** de La Vega de Granada sufrirían déficits sólo en situaciones de sequía (tabla 122 y Figura 241), gracias a la aportación que reciben de los bombeos en embalses subterráneos, de hecho si se efectúa una simulación considerando que no existieran los sondeos del Campo de Pozos de la Ronda Sur para abastecimiento al Consorcio S^a Nevada–Vega

Sur, los indicadores de garantía empeoran (tabla 123), apareciendo situaciones de déficit en un mayor número de ocasiones y en mayor cuantía (Figura 241).

| HIPÓTESIS 5 | | Consortio S ^a Nevada-Vega Sur |
|------------------------|-----------|--|
| Garantía mensual | Nº Fallos | 147 |
| | Gm | 76,9% |
| | Gv | 85,1% |
| MDM (hm ³) | 1 mes | 2,429 |
| | 2 meses | 4,858 |
| PHN | Nº Fallos | 30 |
| | G % | 43,4% |
| | DEF15 | NO CUMPLE |
| | DEF25 | NO CUMPLE |
| | DEF50 | NO CUMPLE |
| | DEF75 | NO CUMPLE |

Tabla 123. Resultados de la simulación Hipótesis 5–Embalse Velillos sin bombeos Ronda Sur

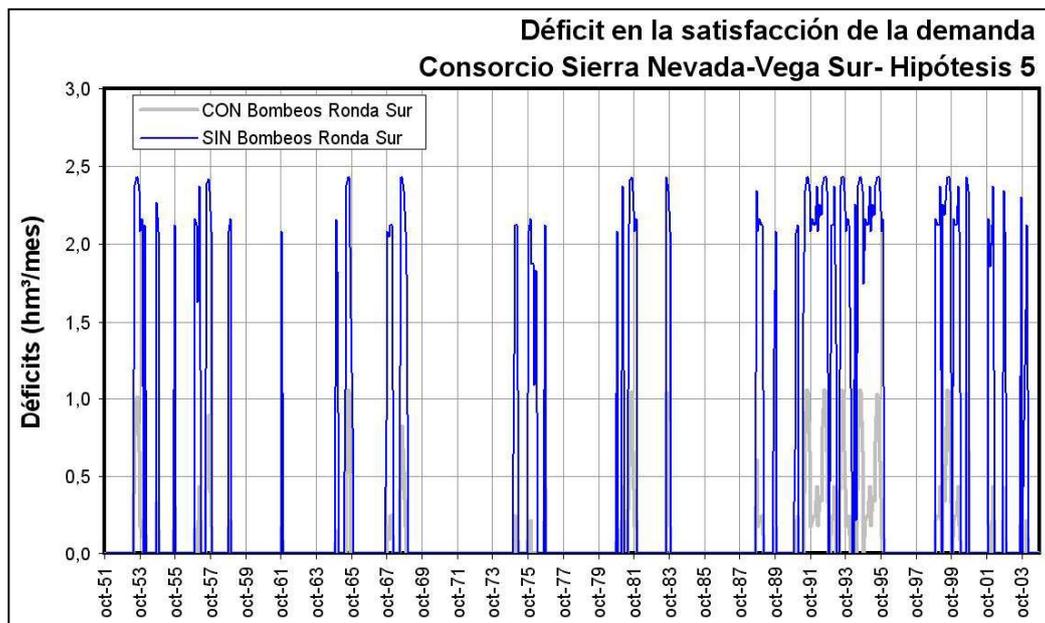


Figura 240. Déficit en la Demanda Urbana Sierra Nevada–Vega Sur Hipótesis 5–sin bombeos Ronda Sur

Según los resultados que suministra SIMGES, para el escenario que contempla el mantenimiento de los caudales ecológicos, la puesta en funcionamiento de la conducción El Chaparral y la entrada en servicio del embalse de Velillos, se precisa incrementar en 1,10 hm³/mes la capacidad de bombeo del Campo de Pozos de la

Ronda Sur para asegurar que no se produzcan fallos en el abastecimiento al Consorcio Sierra Nevada–Vega Sur.

Según la procedencia del suministro de agua potable que se registra el sistema para la Hipótesis-5 de simulación, se observa que el caudal mensual promedio es de 5,128 hm³ y el anual de 61,535 hm³/a. De este caudal, un 75,4 % procede de infraestructuras de regulación superficial (sistema Canales–Quéntar –31,060 hm³/a–, El Chaparral–Deifontes –10,821 hm³/a– y embalse Bermejales –4,514 hm³/a–) y el 24,6% restante de la captación de aguas en embalses subterráneos (15,139 hm³/a). Si se considera la distribución mensual promedio del suministro (Figura 242) se observa como el proveniente de infraestructuras superficial es siempre superior al procedente de captación de aguas subterráneas¹¹.

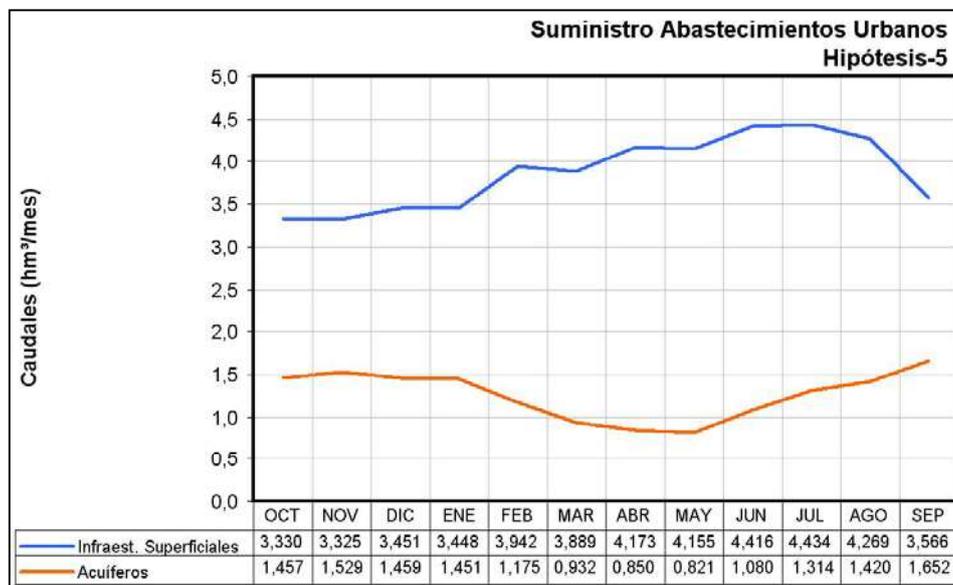


Figura 241. Suministro de agua para abastecimiento urbano Hipótesis-5

Las **demandas agrícolas** de la Vega de Granada registrarían unos indicadores aceptables en términos generales (tabla 124). Las excepciones se justifican por la competencia con las demandas urbanas (declaradas como prioritarias), caso de al ZR

¹¹ La captación El Chaparral–Deifontes, realmente es de procedencia subterránea (captación del manantial de Deifontes, drenaje principal del acuífero de Sierra Arana).

Vega Granada–Alto Genil, o por la escasa cuantía de los bombeos impuesta en SIMGES (ZR Comarca Montefrío o ZR Comarca Alhama).

| Demandas | Demanda (hm ³) | Nº Fallos | Garantía mensual (%) | Garantía Volum, % | Máximo Déficit Mensual | | CPH | | DEF50 |
|---|----------------------------|-----------|----------------------|-------------------|--------------------------|----------------------------|-----------|-------|-----------|
| | | | | | 1 mes (hm ³) | 2 meses (hm ³) | Nº Fallos | G (%) | |
| AGRÍCOLA | 356,28 | 252 | 60,4% | 85,4% | 123,384 | 223,683 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Regadíos Cornisa de Granada | 64,03 | 252 | 60,4% | 78,6% | 10,616 | 18,368 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Comarca Montefrío | 22,67 | 212 | 66,7% | 69,9% | 2,900 | 4,450 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Comarca Alhama | 17,62 | 252 | 60,4% | 67,6% | 2,078 | 3,348 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Comarca Iznalloz | 23,73 | 19 | 97,0% | 94,9% | 5,638 | 10,570 | 4 | 92,5% | NO CUMPLE |
| Regadíos Vega de Granada | 292,25 | 236 | 62,9% | 86,9% | 56,384 | 102,657 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Alto Genil | 26,23 | 214 | 66,4% | 35,6% | 8,580 | 16,190 | 51 | 3,8% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Vega Alta | 36,78 | 97 | 84,7% | 81,6% | 6,990 | 13,740 | 24 | 54,7% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Monachil-Dílar | 29,82 | 126 | 80,2% | 88,5% | 2,744 | 4,947 | 16 | 69,8% | NO CUMPLE |
| Zona Regable del Canal del Cacín | 33,63 | 10 | 98,4% | 97,7% | 7,474 | 12,914 | 4 | 92,5% | NO CUMPLE |
| Vega Baja del Genil | 63,53 | 10 | 98,4% | 97,8% | 12,467 | 20,626 | 4 | 92,5% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Alfacar-Beas (manantiales triásicos) | 17,41 | 236 | 62,9% | 69,6% | 2,079 | 4,142 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Vega Media MI | 18,17 | 47 | 92,6% | 92,0% | 3,930 | 7,460 | 7 | 86,8% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Cijuela-Láchar | 3,30 | 11 | 98,3% | 97,0% | 0,740 | 1,399 | 4 | 92,5% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Fte Vaqueros-Valdecaballeros | 6,30 | 5 | 99,2% | 99,3% | 0,678 | 1,173 | 1 | 98,1% | CUMPLE |
| Vega Granada-Velillos | 5,42 | 15 | 97,6% | 97,9% | 0,550 | 0,960 | 5 | 90,6% | CUMPLE |
| Vega Granada-Pantano Cubillas | 11,08 | 17 | 97,3% | 95,5% | 3,163 | 5,951 | 5 | 90,6% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Canal Cubillas | 21,46 | 9 | 98,6% | 98,7% | 2,224 | 4,102 | 4 | 92,5% | CUMPLE |
| Vega Granada-Canal Albolote | 19,12 | 22 | 96,5% | 93,8% | 4,765 | 9,055 | 6 | 88,7% | NO CUMPLE |

Tabla 124. *Indicadores de garantía de las demandas para riego (Hipótesis-5)*

Para el escenario de simulación considerado, el suministro total de agua para dotar los regadíos del sistema Cornisa-Vega de Granada asciende a un volumen promedio anual de 294,511 hm³, del que un 42,4% procede de recursos regulados mediante infraestructuras superficiales (124,778 hm³/a), un 22,2 % de la captación de recursos subterráneos (65,521 hm³/a) y el 35,4% restante de procedencia mixta (104,213 hm³/a, tomas en cauces donde se mezclan recursos superficiales y subterráneos -drenaje de acuíferos-).

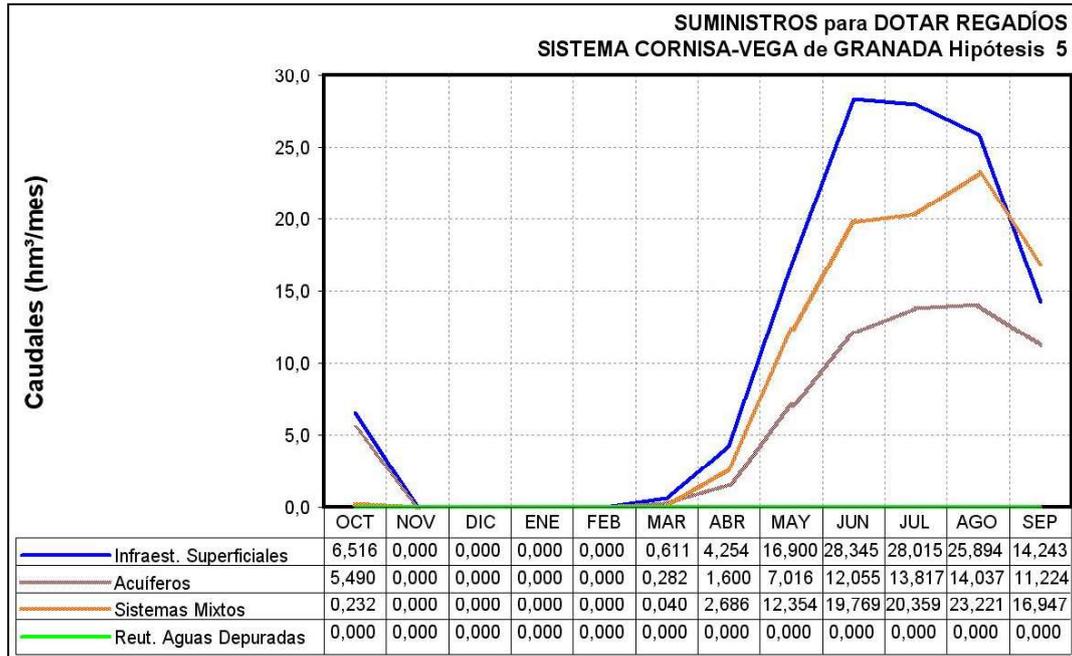


Figura 242. Procedencia de los recursos suministrado para riegos. Hipótesis 5

La puesta en funcionamiento del embalse de Velillos y la conducción entre éste y el embalse de Colomera suponen, en principio, un incremento de recursos en el sistema Cubillas-Colomera. Según los resultados del escenario de simulación realizado, esta conducción aportaría al embalse de Colomera un caudal anual promedio de 18,839 hm³ (Figuras 244 y 247), el cual redundaría en una leve mejora de los indicadores de garantía de las demandas agrícolas dependientes del Sistema Cubillas-Colomera (tabla 125), así como en un ligero aumento del caudal que puede ser utilizado en abastecimiento urbano a través de la conducción El Chaparral, pasaría de 10,434 hm³/a de promedio, calculados en la hipótesis 4 (sin embalse de Velillos) a 10,821 hm³/a de promedio (hipótesis 5 con embalse de Velillos).

En las Figuras 248 y 249 se presentan los déficits mensuales que registran las zonas regables dependientes del sistema Cubillas-Colomera, para la hipótesis-5 (embalse Velillos) y para la hipótesis-1 (situación actual).

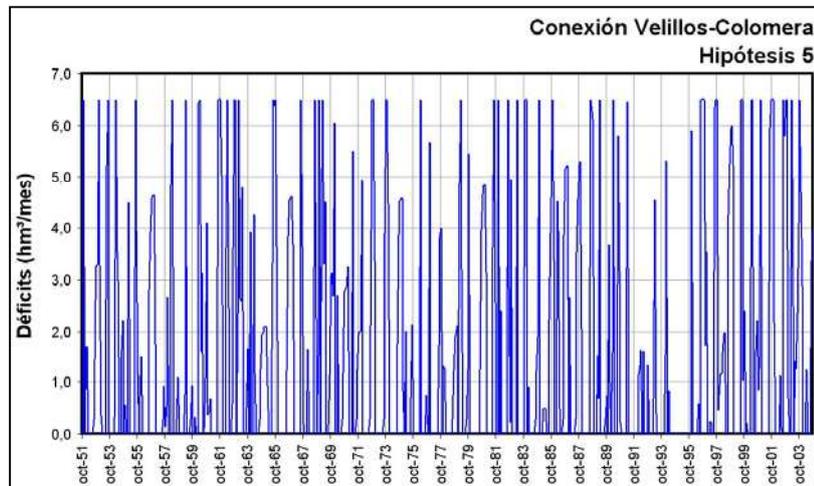


Figura 243. Funcionamiento de la conexión Velillos-Colomera Hipótesis 5. Serie completa mensual simulada (1951-2004)

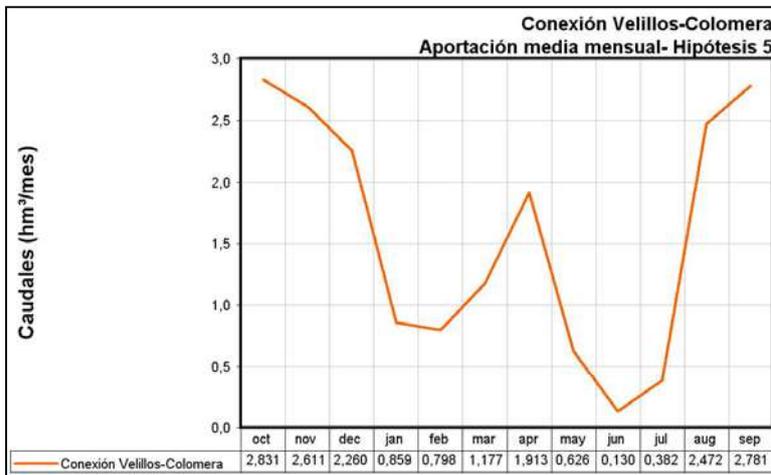


Figura 244. Funcionamiento de la conexión Velillos-Colomera Hipótesis 5. Valores promedio mensuales

| Zonas Regables dependientes del Sistema Cubillas-Colomera | HIPÓTESIS DE SIMULACIÓN | Demanda (hm³) | Nº Fallos | Garantía mensual (%) | Garantía Volum. % | Máximo Déficit Mensual | | CPH | | DEF50 | Bombeos Vega Granada (hm³/a) |
|---|-------------------------|---------------|-----------|----------------------|-------------------|------------------------|---------------|-----------|-------|-----------|------------------------------|
| | | | | | | 1 mes (hm³) | 2 meses (hm³) | Nº Fallos | G (%) | | |
| Vega Granada-Pantano Cubillas | Hipótesis-5 | 11,078 | 17 | 97,3% | 95,5% | 3,163 | 5,951 | 5 | 90,6% | NO CUMPLE | 0,000 |
| | Hipótesis-4 | | 36 | 94,3% | 93,2% | 3,137 | 5,951 | 15 | 71,7% | NO CUMPLE | 0,000 |
| | Hipótesis-1 | | 35 | 94,5% | 94,5% | 3,082 | 5,775 | 13 | 75,5% | NO CUMPLE | 0,000 |
| Vega Granada-Canal Cubillas | Hipótesis-5 | 21,463 | 9 | 98,6% | 98,7% | 2,224 | 4,102 | 4 | 92,5% | CUMPLE | 0,783 |
| | Hipótesis-4 | | 12 | 98,1% | 98,2% | 2,224 | 4,102 | 5 | 90,6% | CUMPLE | 1,316 |
| | Hipótesis-1 | | 11 | 98,3% | 98,6% | 2,128 | 3,933 | 5 | 90,6% | CUMPLE | 1,257 |
| Vega Granada-Canal Albolote | Hipótesis-5 | 19,118 | 22 | 96,5% | 93,8% | 4,765 | 9,055 | 6 | 88,7% | NO CUMPLE | 0,000 |
| | Hipótesis-4 | | 70 | 89,0% | 82,7% | 4,765 | 9,055 | 22 | 58,5% | NO CUMPLE | 0,000 |
| | Hipótesis-1 | | 58 | 90,9% | 86,9% | 4,680 | 8,899 | 18 | 66,0% | NO CUMPLE | 0,000 |

Hipótesis 1: Situación Actual
 Hipótesis 4: Conducción El Chaparral (considerando el régimen caudales ecológicos críticos calculados)
 Hipótesis 5: Embalse de Velillo+Conducción El Chaparral (considerando régimen caudales ecológicos críticos calculados)

Tabla 125. Comparativa índices de garantía Zonas Regables dependientes del Sistema Cubillas-Colomera

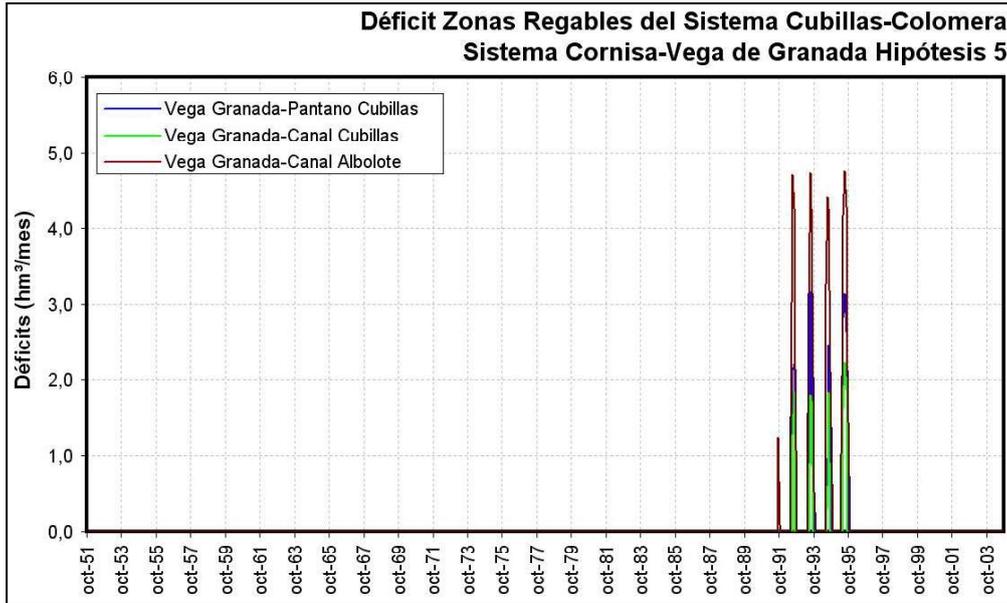


Figura 245. Déficits simulados para las zonas regables del subsistema Cubillas-Colomera. Hipótesis 5 (embalse de Velillos)

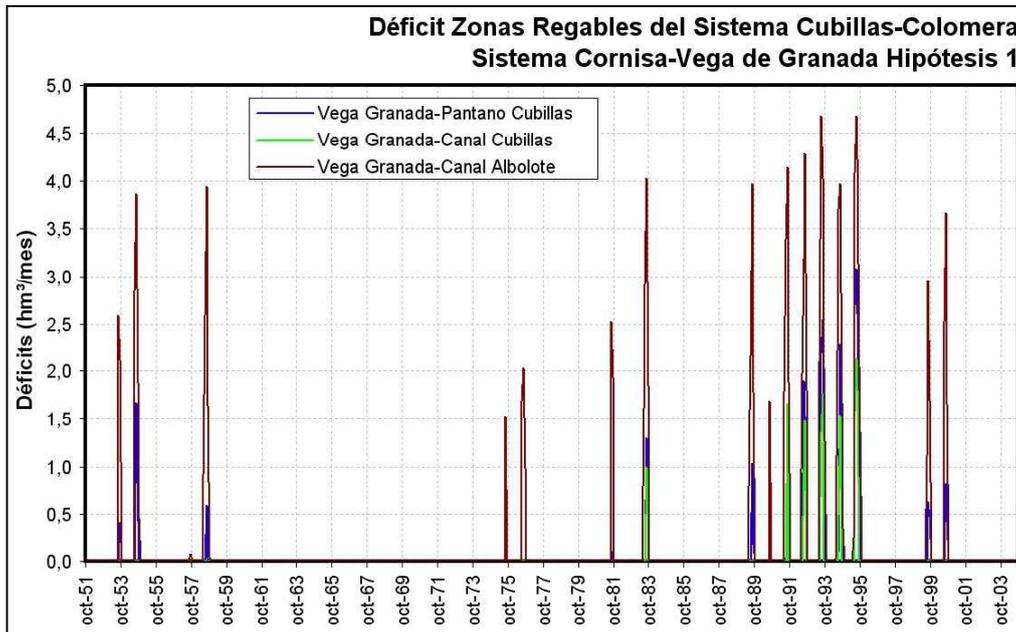


Figura 246. Déficits simulados para las zonas regables del subsistema Cubillas-Colomera. Hipótesis 1 (situación actual)

Las demandas ecológicas fijadas en los cauces vinculados a los parques naturales de Sierra Huétor y Sierra Nevada presentan unos índices de garantía muy similares a los obtenidos para la hipótesis 2, por las mismas razones que ya se argumentaron anteriormente en el escenario 2 (cuantía que supone el régimen de caudales ecológicos respecto al año tipo seco y envergadura de las demandas dependientes del sistema Canales-Quéntar en la Vega de Granada).

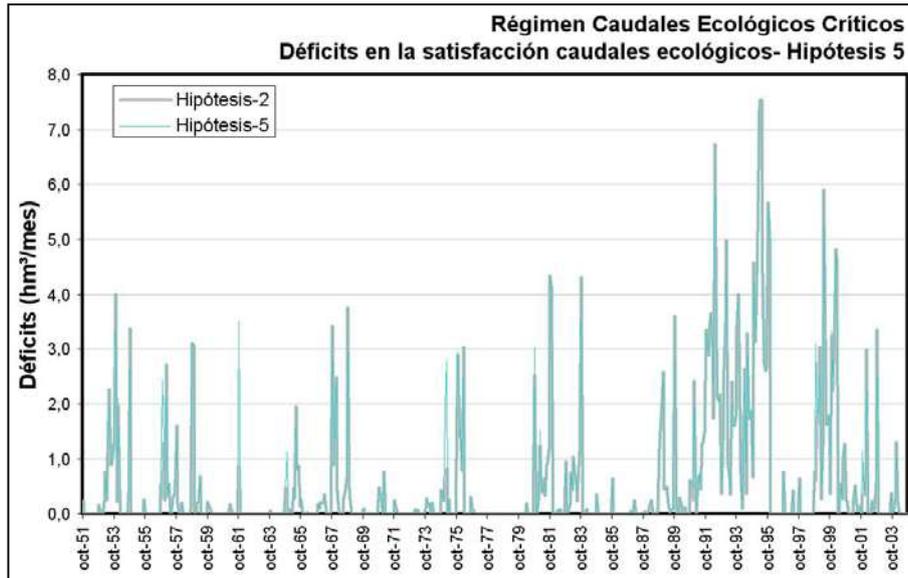


Figura 247. Déficits asociados a la demanda en caudales ecológicos sistema Canales-Quéntar. Hipótesis 5

| Criterios Garantía Caudales Ecológicos | | HIP-2 RÉG. CAUDALES ECOLÓGICOS CRÍTICOS | HIP-5 EMBALSE de VELILLOS |
|--|-----------|---|---------------------------|
| Garantía mensual | Nº Fallos | 203 | 203 |
| | Gm | 68,1% | 68,1% |
| | Gv | 90,2% | 89,7% |
| MDM (hm ³) | 1 mes | 7,993 | 7,993 |
| | 2 meses | 15,175 | 15,175 |
| PHN | Nº fallos | 32 | 32 |
| | Garantía | 39,6% | 39,6% |
| DEF15 | | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| DEF25 | | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| DEF50 | | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| DEF75 | | NO CUMPLE | NO CUMPLE |

Tabla 126. Comparativa de los índices de garantía para el caudal ecológico entre las hipótesis 2 y 5

En cuanto a la evolución del volumen de agua almacenada en los **embalses**, el modelo de simulación ofrece un resultado que implica el vaciamiento de los sistemas Canales-Quéntar y Cubillas-Colomera en diferentes periodos de la serie analizada (1951-2004).

El mantenimiento del régimen de caudales ecológicos críticos fijado para el sistema Canales-Quéntar origina que el sistema de regulación superficial sea más vulnerable respecto a la hipótesis 1 (estado actual) (Figura 249), en la que no se consideraron estas demandas ecológicas, como consecuencia de que en el escenario de simulación para la hipótesis 5 se han implicado los embalses en la satisfacción de estos caudales ecológicos críticos.

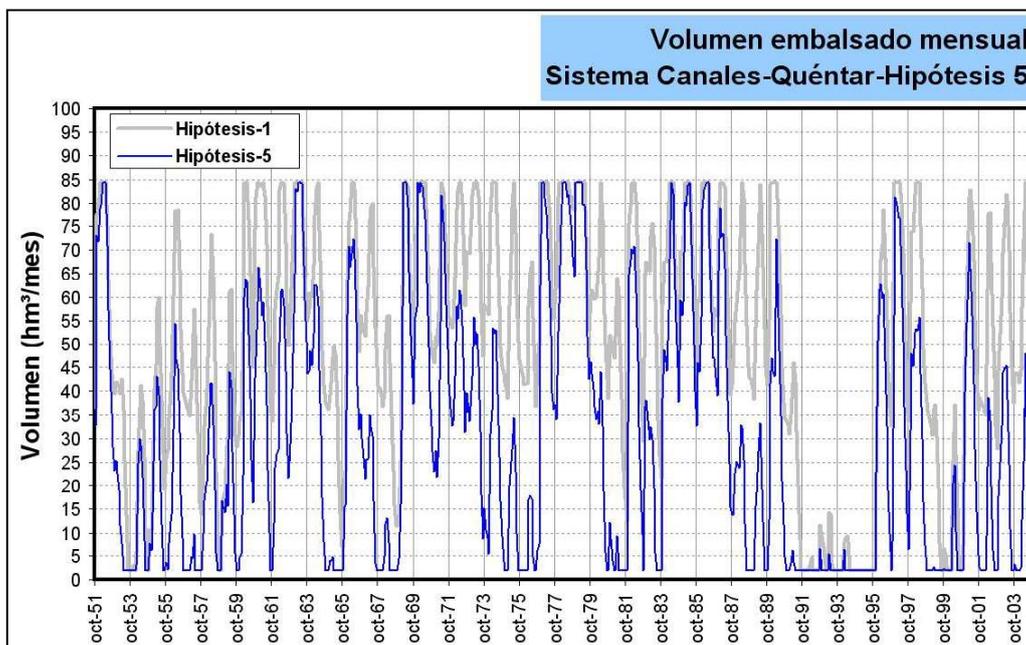


Figura 248. Evolución de los embalses del sistema Canales-Quéntar (Hipótesis 5)

La puesta en funcionamiento del embalse de Velillos implica un incremento notable en la capacidad de almacenamiento del sistema Cubillas-Colomera, como se observa en la Figura 250, pero esta circunstancia no supone un aumento sustantivo en la capacidad de regulación de este conjunto de infraestructuras superficiales (embalses de Velillos, Colomera y Cubillas y canales asociados) (Figura 251), de forma que sólo

se alcanzaría un incremento promedio anual de 3,781 hm³ de la regulación efectiva de este sistema, pasando de los 34,692 hm³ de promedio anual suministrados por este sistema para el escenario actual (hipótesis-1) a los 38,473 hm³ de promedio anual suministrados para el escenario que contempla la construcción del embalse de Velillos (hipótesis-5).

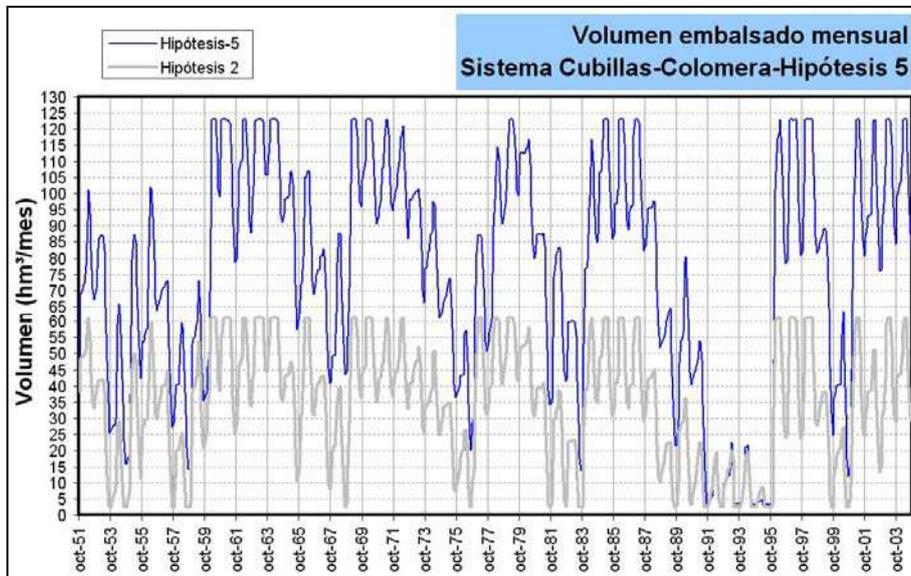


Figura 249. Evolución de los embalses del sistema Cubillas-Colomera (Hipótesis 5)

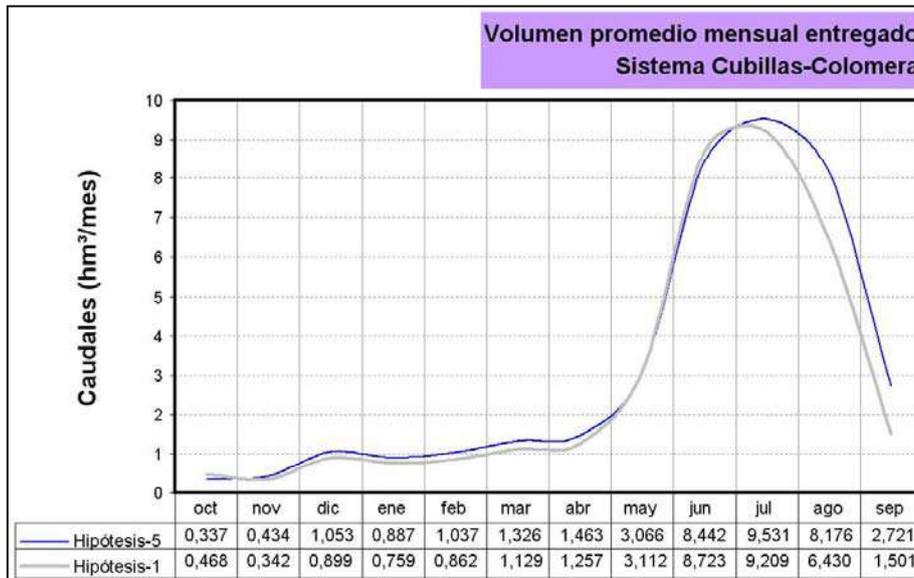


Figura 250. Regulación ofrecida por el sistema Cubillas-Colomera

Esta circunstancia se explica por la limitada capacidad de regulación hiperanual que presenta el embalse de Velillos, debido a la escasa cuantía de las aportaciones de origen subterráneo que registra, de forma que ante periodos de sequía, el embalse se vacía (Figura 252).

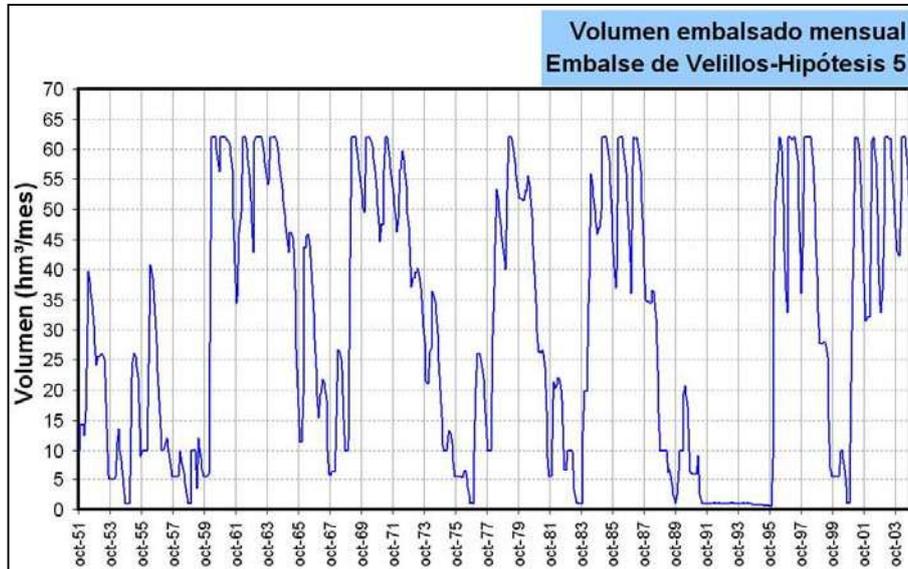


Figura 251. Evolución del embalse de Velillos (Hipótesis 5)

En el embalse de Los Bermejales el vaciamiento total sólo acontece en periodos de intensa sequía, como ocurrió entre 1993 y 1996 (Figura 253).

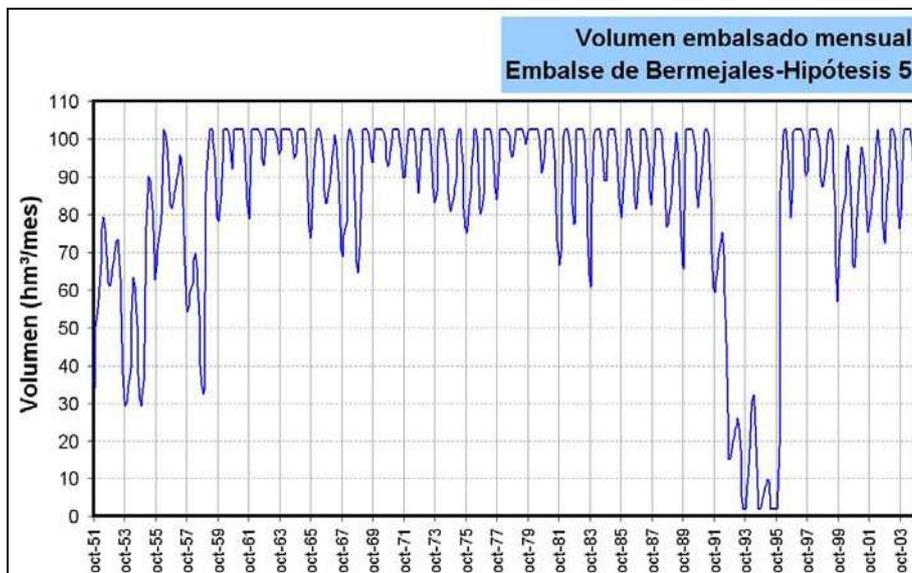


Figura 252. Evolución de los embalses del sistema Bermejales (Hipótesis 5)

La evolución del estado de llenado que presenta el **embalse subterráneo Vega de Granada** puede constatarse a través de los parámetros de control impuestos en el modelo de autovalores que se ha utilizado. Estos parámetros de control hacen referencia a los caudales que son drenados por el acuífero al río Genil y a las medidas piezométricas en determinados puntos de la red oficial de control de las aguas subterráneas.

Respecto a la descarga que recibe el río Genil en régimen influenciado, el modelo de uso conjunto desarrollado para las condiciones de simulación de la Hipótesis 5 proporciona un drenaje promedio anual de 53,751 hm³, superior al que se registra para el régimen natural (52,285 hm³/a), por lo que el balance comparativo de la recarga que recibe por infiltración de retornos de riegos respecto a los bombeos resulta bastante positivo (Figuras 254 y 255), pero perjudicial en términos de calidad.

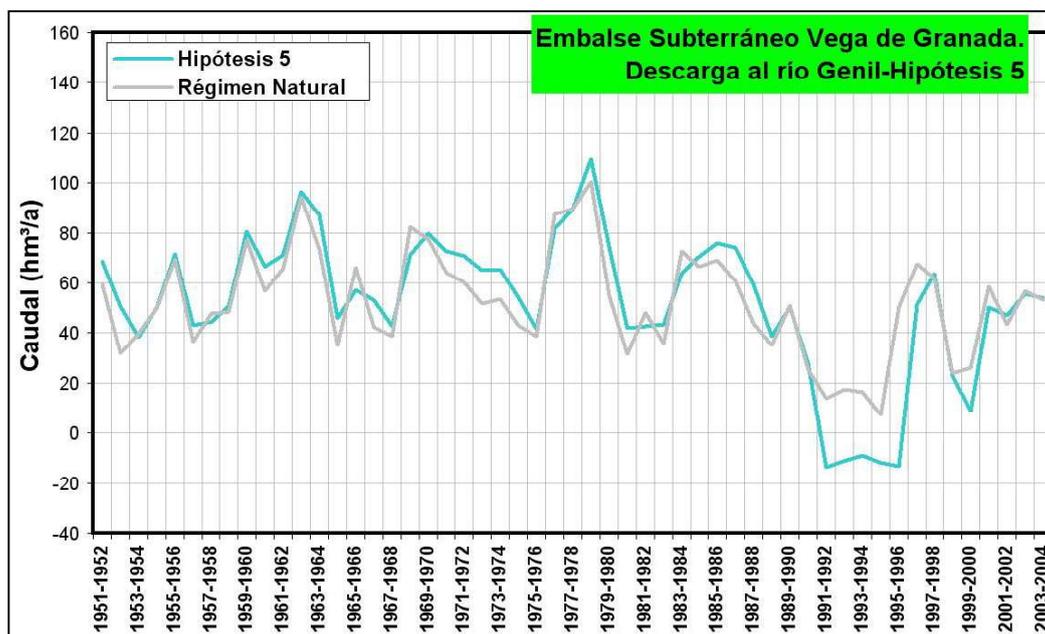


Figura 253. Simulación de la descarga que recibe el río Genil del embalse subterráneo Vega de Granada mediante el modelo de autovalores. Hipótesis 5

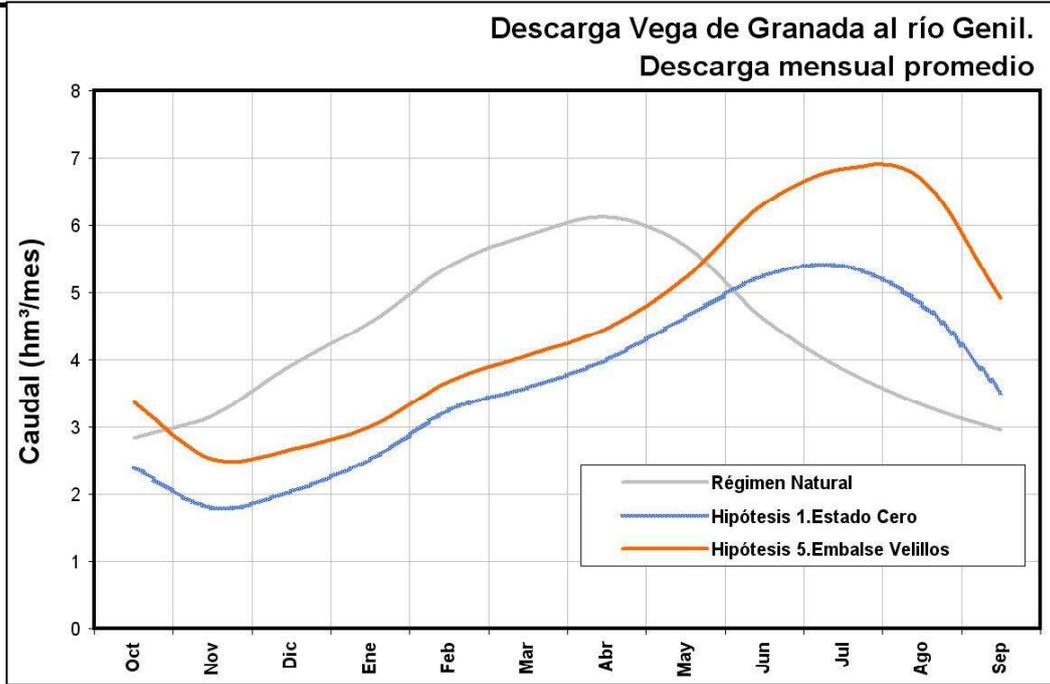


Figura 254. Simulación de la descarga promedio mensual que recibe el río Genil del embalse subterráneo Vega de Granada. Comparativa Hipótesis 5–Régimen Natural

Asimismo, el volumen promedio anual de bombeos que registraría el embalse subterráneo sería de 31,073 hm³, con un máximo de 97,004 hm³. La cifra promedio de bombeos resulta inferior a la fijada para la hipótesis 1 (37,977 hm³/a), ya que la demanda del Consorcio Vega Granada–S^a Elvira deja de suministrarse con aguas subterráneas de la Vega de Granada (con problemas de calidad) para dotarse con aguas de Deifontes y del sistema Canales–Quéntar; además de la disminución de los bombeos para dotar riegos en la ZR Canal de Cubillas, por el incremento de la regulación del sistema Cubillas–Colomera al funcionar el embalse de Velillos (Figura 255).

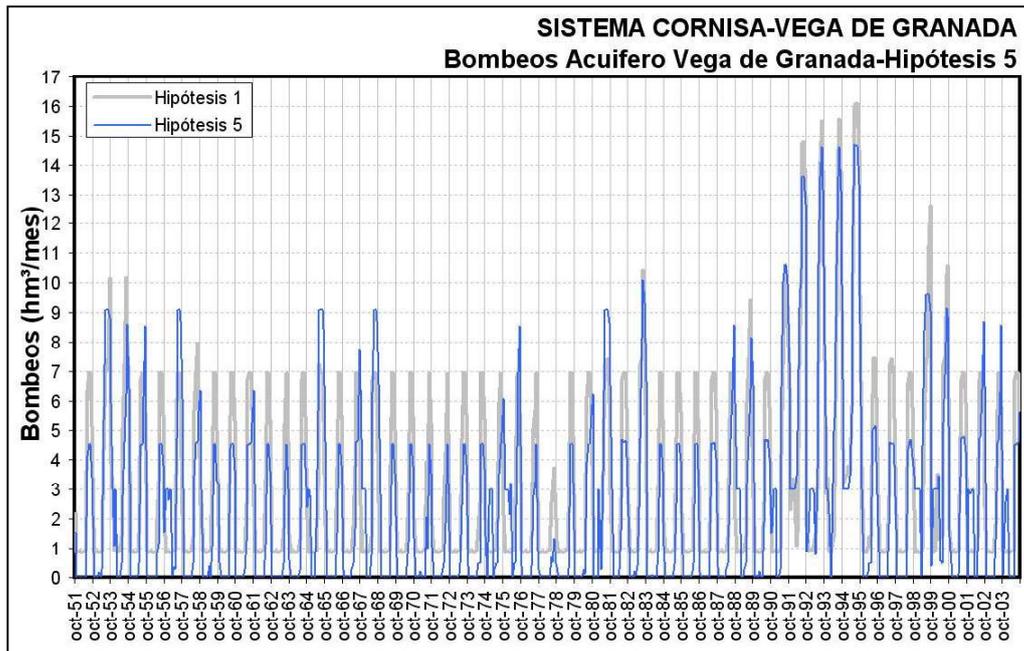


Figura 255. Bombeos en el embalse subterráneo Vega de Granada. Hipótesis 5

En lo referente a la evolución piezométrica que registraría el embalse subterráneo vega de Granada ante las condiciones de simulación impuestas por el escenario de gestión vinculado a la Hipótesis 5, los resultados obtenidos ofrecen unos descensos piezométricos acusados en los periodos de más intensos bombeos (sequía 1993–95) (Figuras 257 a 260).

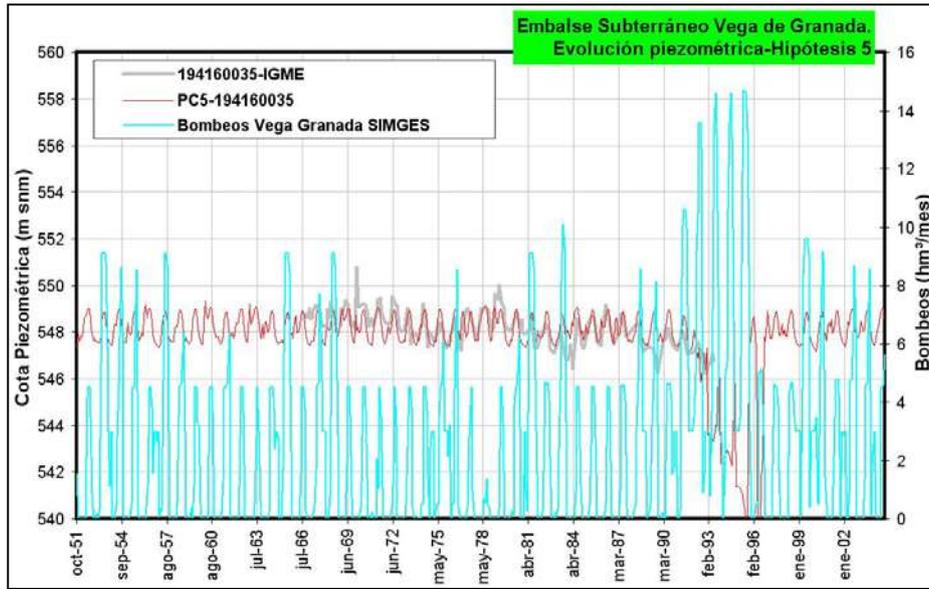


Figura 256. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 5. Piezómetro 194160035

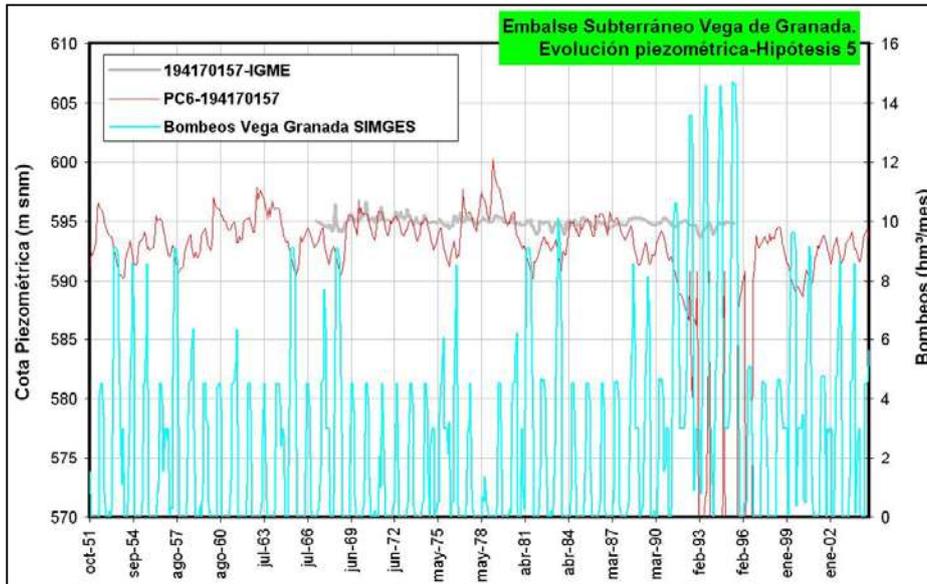


Figura 257. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 5. Piezómetro 194170157

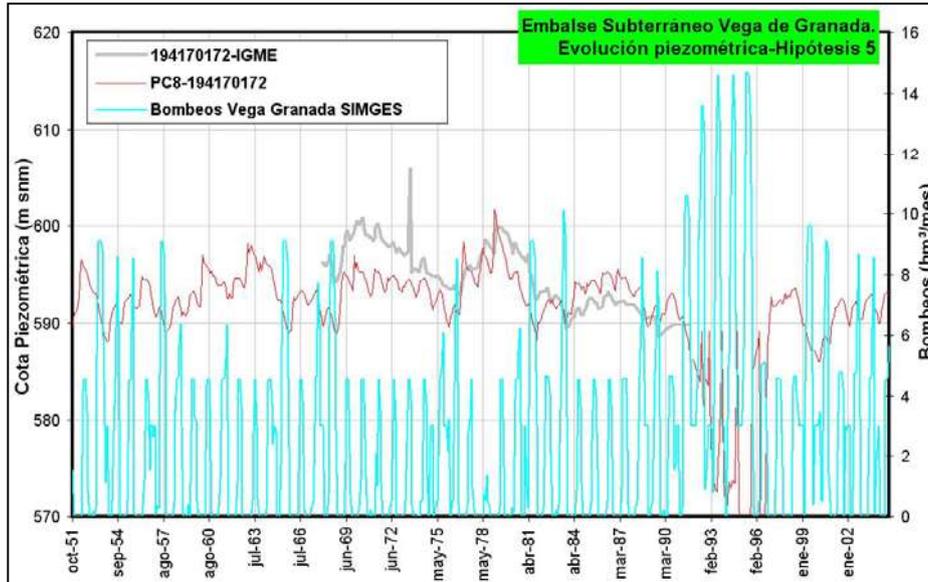


Figura 258. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 5.
Piezómetro 194170172

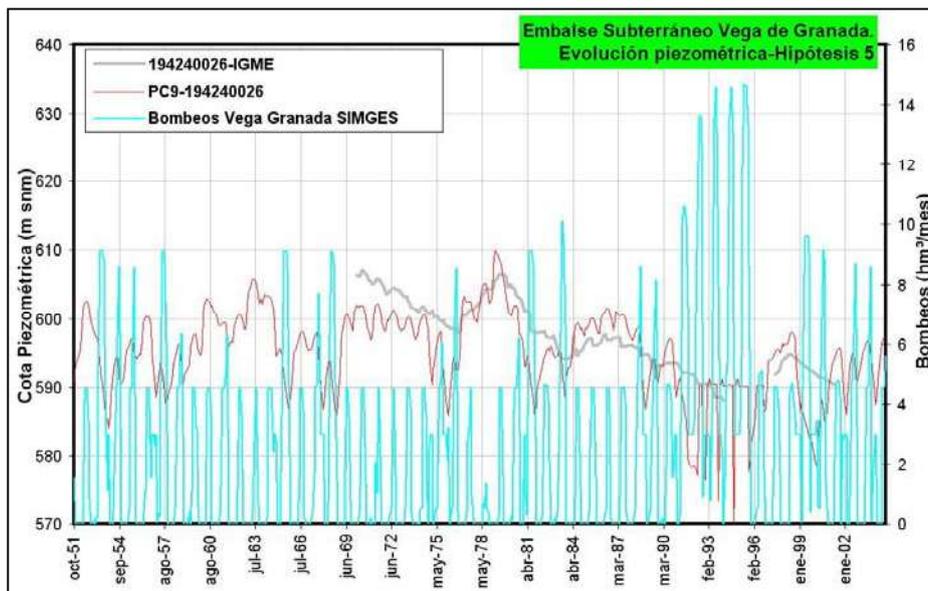


Figura 259. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 5.
Piezómetro 194240026

El escenario de gestión simulado (hipótesis 5-Embalse Velillos) ofrece unos sobrantes anuales promedio para el Sistema Cornisa-Vega de Granada de 345,994 hm³, que sería la aportación del sistema al embalse de Iznajar (río Genil). Esta aportación en régimen influenciado obtenida para la hipótesis 1 supone un 61,4 % de la aportación en régimen natural (563,8 hm³/a) (Figura 261).

El conjunto de demandas consuntivas anuales promedio servidas por el conjunto de infraestructuras del sistema se cifra en 352,243 hm³/a un 85,5% de la demanda total máxima del sistema, lo que indicaría un déficit promedio anual de 59,76 hm³.

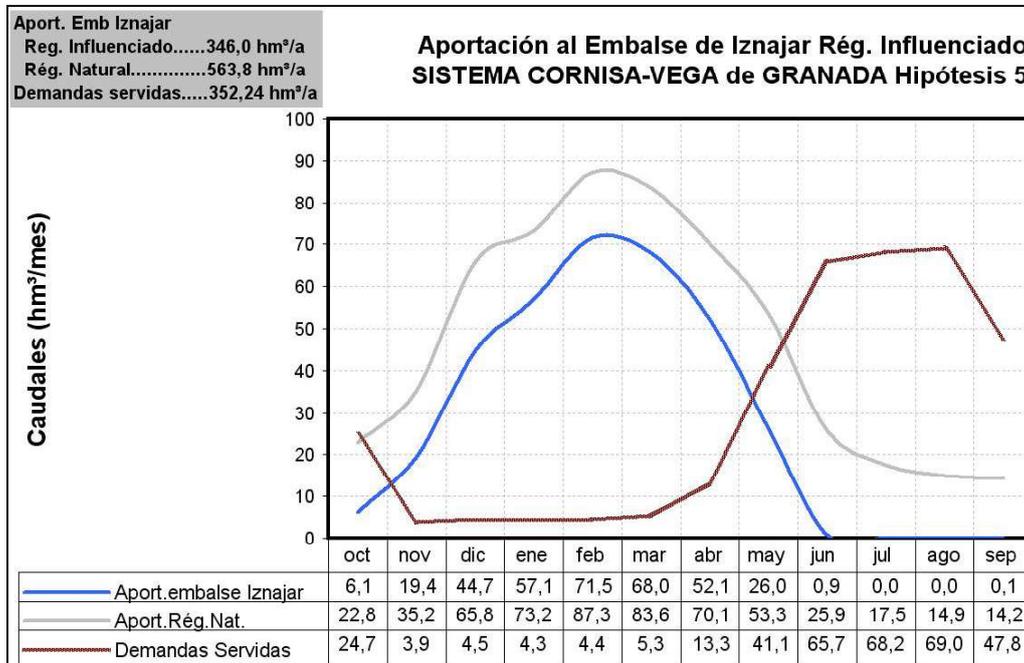


Figura 260. Aportación del Sistema Cornisa-Vega de Granada a Iznajar. Hipótesis 5

11.2.1.6 Hipótesis 6– Recarga artificial Vega Granada

Mediante este escenario de simulación se pretende analizar, partiendo de la hipótesis 5, la influencia que sobre el embalse subterráneo Vega de Granada supondría:

- El aumento de los bombeos para dotar el abastecimiento urbano de los Consorcios Vega Granada-Sierra Elvira y Sierra Nevada-Vega Sur, desde los 2,00 hm³/mes de capacidad de bombeo asignados al Campo de Pozos Ronda Sur en las hipótesis precedentes, a los 5,00 hm³/mes.
- Eliminación de los “bombeos municipales” existentes en la Vega de Granada. Los bombeos de que disponen los ayuntamientos dejan de ser activos y sólo existen fuentes de suministros consorciadas.

- La incorporación de una instalación de recarga artificial de este embalse subterráneo con excedentes de los ríos Genil y Monachil.

La instalación de recarga artificial se situaría entre las poblaciones de Armilla y Granada, próxima al campo de Pozos Ronda Sur, y ha sido simulada en SIMGES mediante la disposición en el esquema topológico de un elemento de recarga artificial con capacidad máxima de 1,00 hm³/mes que actúa sobre el acuífero Vega de Granada. El elemento de recarga artificial parte de las aportaciones de los ríos Genil y Monachil aguas abajo de la estación de aforos nº100 de la CHG.

La recarga artificial que recibe el embalse subterráneo desde los cauces Genil y Monachil supone un promedio anual de 8,129 hm³/a, frente a unos bombeos promedio anual en la Vega de Granada de 32,061 hm³. La recarga artificial supondría una alimentación extra al embalse subterráneo de 0,677 hm³/mes de promedio (261,34 l/s) (Figuras 262 y 263).

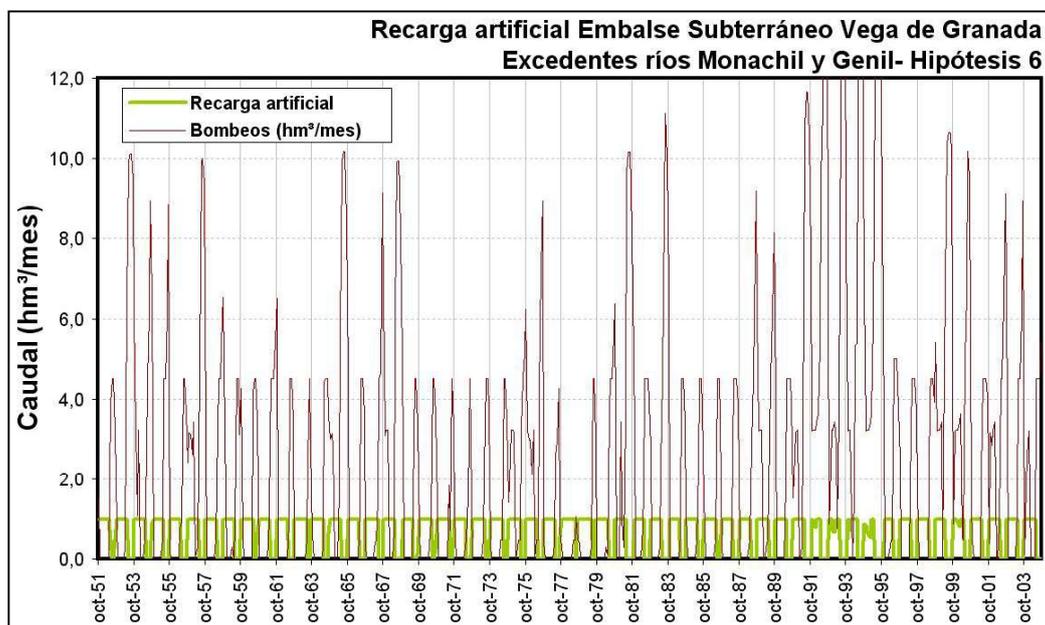


Figura 261. Recarga artificial programada en el embalse subterráneo Vega Granada con excedentes de los ríos Genil y Monachil

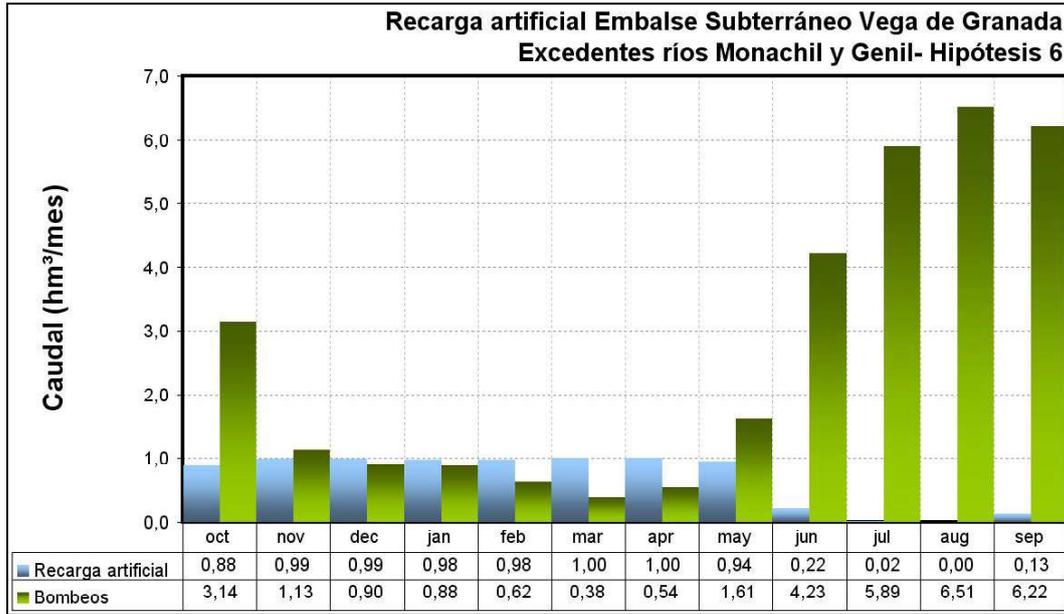


Figura 262. Recarga artificial programada en el embalse subterráneo Vega Granada con excedentes de los ríos Genil y Monachil. Valores promedio mensual

El caudal de bombeo promedio mensual para esta hipótesis en el embalse subterráneo Vega de Granada es de 2,672 hm³, algo superior a la hipótesis 5 (2,589 hm³) (Figura 264), debido al incremento de los bombeos en el Campo de Pozos de la Ronda Sur para abastecimiento a la zona metropolitana de Granada asumido en la hipótesis 6 (Figura 265).

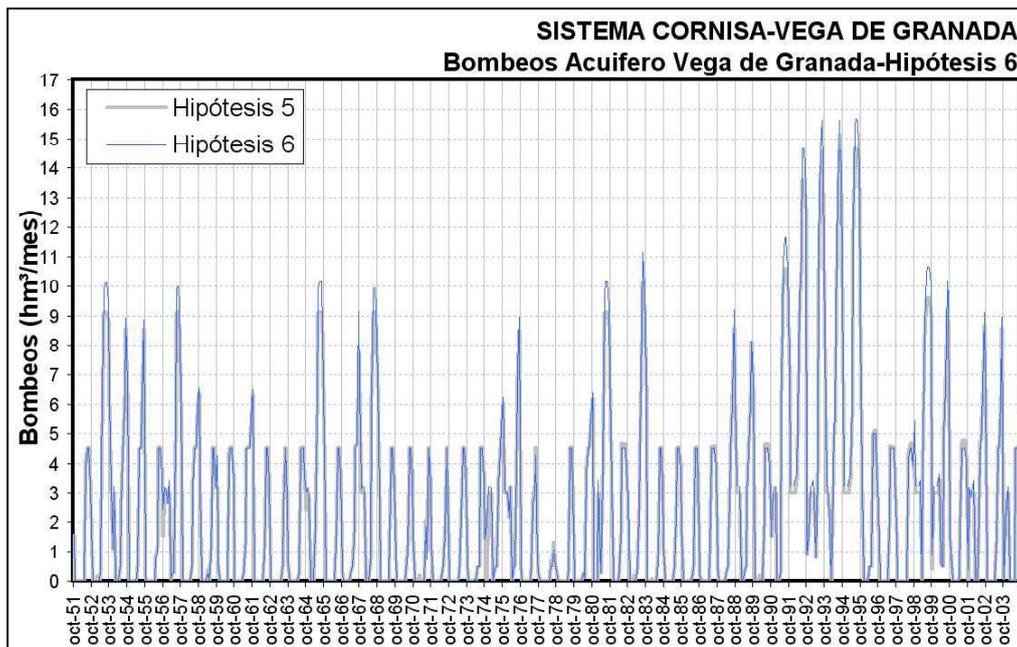


Figura 263. Comparativa bombeos Vega Granada hipótesis 5 e hipótesis 6

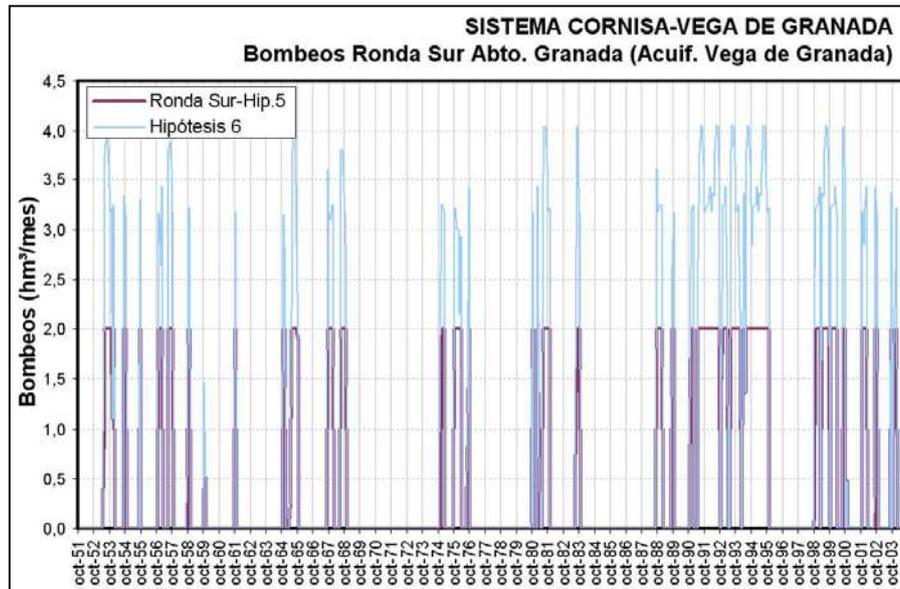


Figura 264. Comparativa bombeos Ronda Sur hipótesis 5 e hipótesis 6

| HIPÓTESIS 6 RECARGA ARTIFICIAL VEGA de GRANADA | | Consorcio La Vega-S ^a Elvira | Consorcio S ^a Nevada- Vega Sur | Mancom. del Temple | Municipios Sector Septentrional | Regadíos Vega Granada | Regadíos Cornisa | Caudales ecológicos |
|---|-----------|---|---|-----------------------|---------------------------------------|--------------------------|---------------------|------------------------|
| Garantía mensual | Nº Fallos | 0 | 0 | 0 | 0 | 236 | 252 | 203 |
| | Gm | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 62,9% | 60,4% | 68,1% |
| | Gv | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 87,2% | 78,6% | 89,7% |
| MDM (hm ³) | 1 mes | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 54,724 | 10,616 | 7,993 |
| | 2 meses | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 99,612 | 18,367 | 15,175 |
| PHN | Nº fallos | 0 | 0 | 0 | 0 | 53 | 53 | 32 |
| | Garantía | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 0,0% | 0,0% | 39,6% |
| DEF15 | | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| DEF25 | | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| DEF50 | | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| DEF75 | | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |

Tabla 127. Resultados de la simulación Hipótesis 6-Recarga Artificial

Según los resultados del modelo de gestión (tabla 127) los **abastecimientos urbanos** de La Vega de Granada no sufrirían déficits, como consecuencia de la aportación que reciben de los bombeos en el embalse subterráneo Vega de Granada (Campo Pozos Ronda Sur se ha supuesto una capacidad de bombeo de 5,00 hm³/mes).

Considerando la procedencia del suministro de agua potable que registra el sistema para la Hipótesis-6 de simulación se observa que el caudal mensual promedio es de 5,220 hm³ y el anual corresponde a 62,641 hm³/a, del que un 74,9 % procede de infraestructuras de regulación superficial (sistema Canales-Quéntar -31,533 hm³/a-, conducción El Chaparral -10,856 hm³/a- y embalse Bermejales -4,514 hm³/a-) y el 25,1% restante de captaciones en embalses subterráneos (15,738 hm³/a). Si se considera la distribución mensual promedio del suministro se observa como el proveniente de las infraestructuras superficiales es siempre superior a los recursos captados en embalses subterráneos.

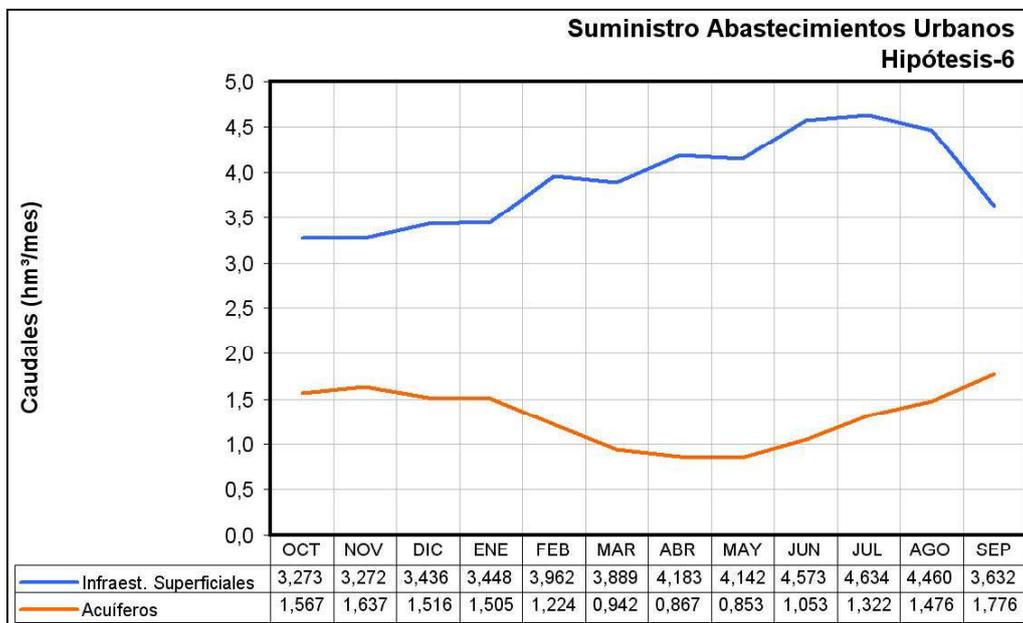


Figura 265. Suministro de agua para abastecimiento urbano Hipótesis-6

Sólo quedar analizar la respuesta del embalse subterráneo ante los episodios de bombeos y recarga a que sería sometido, para ello se analiza la descarga del mismo hacia el río Genil y la evolución piezométrica que ofrece el modelo de autovalores construido.

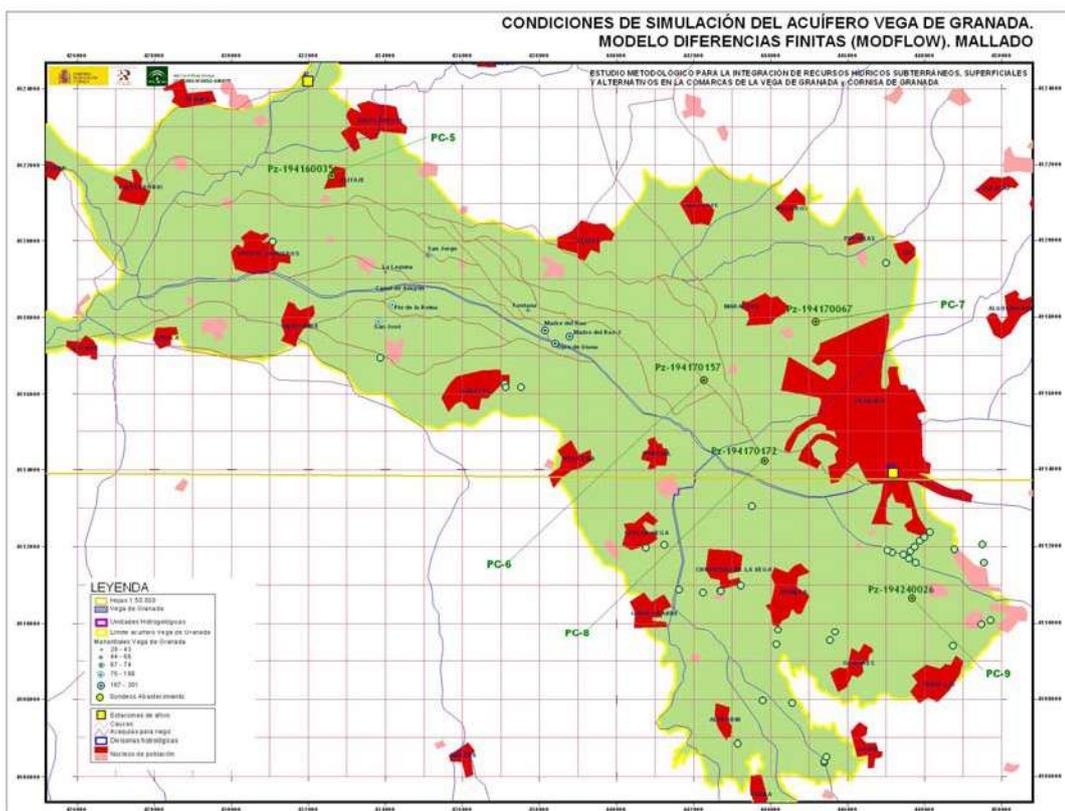


Figura 266. Piezómetros de control del embalse subterráneo Vega de Granada

Para analizar la evolución piezométrica que ofrece el método de autovalores desarrollado se han comparado los resultados de la hipótesis 6 con los de la hipótesis 2, que es la más agresiva en cuanto a bombeos (48,427 hm³/a de promedio frente a los 32,061 hm³/a de la hipótesis 6).

En la comparativa piezométrica se observa como en la zona próxima a la zona de bombeo (Campo de Pozos Ronda Sur), el piezómetro más próximo (194240026, Figura 268) muestra una evolución condicionada por el incremento de los bombeos en la Roda Sur (descensos) y la recarga artificial (recuperación), mientras que en piezómetros más alejados (194170172, Figura 269) los descensos piezométricos en el acuífero son más acusados en las condiciones impuestas para la hipótesis 6, pero se produce una rápida recuperación.

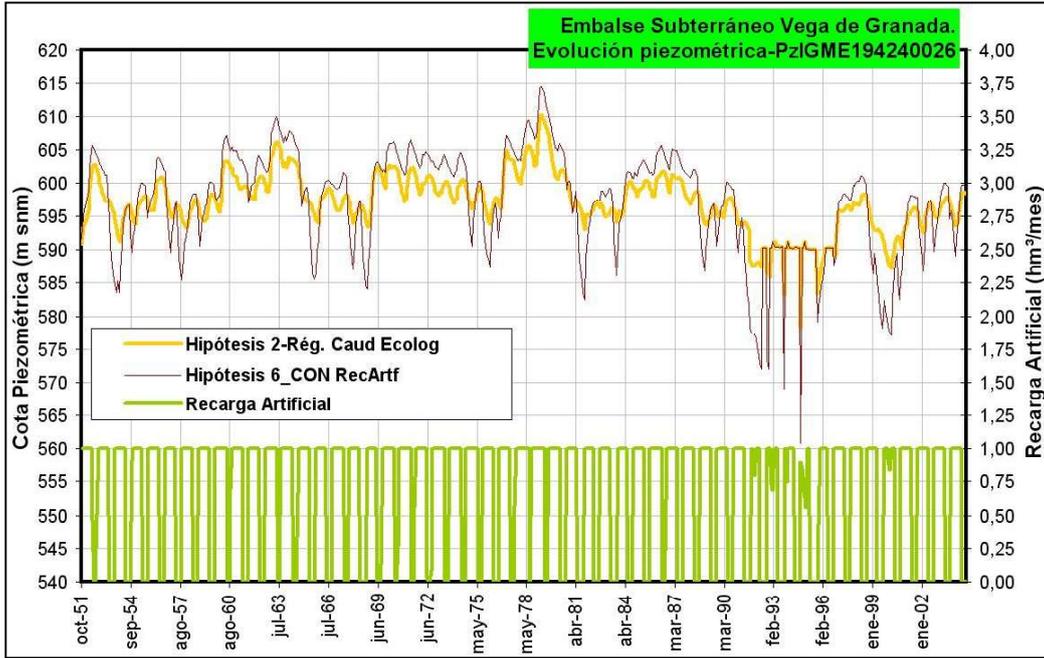


Figura 267. Evolución piezométrica comparada PzIGME 194240026

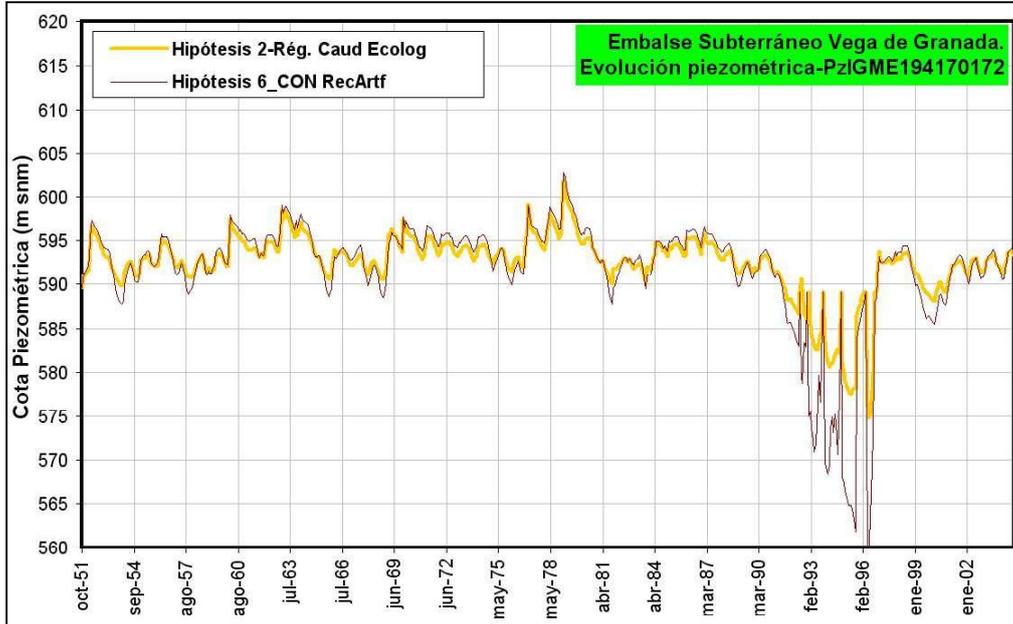


Figura 268. Evolución piezométrica comparada PzIGME 194170172

La recarga artificial programada del embalse subterráneo Vega de Granada con excedentes en cabecera de los ríos Genil y Monachil, podría originar una merma de los índices de garantía en las demandas agrícolas de la Vega de Granada que toman sus recursos de los excedentes del río Genil, pero esto no ocurre así (ver tabla 128) por dos razones:

- La merma de caudales circulantes en el Genil derivado de las tomas para la recarga artificial no son significativas. Así, el caudal promedio circulante anual por el río Genil en la hipótesis 2 es de 69,489 hm³; y en la hipótesis 6 de 61,518 hm³ (Figuras 270 y 271)
- Son los bombeos de que disponen las demandas agrícolas los que permiten que se mantengan unos indicadores de garantía similares (ver tabla 128).

| Demandas HIPÓTESIS 5 (EMBALSE VELILLOS) | Demanda (hm ³) | Nº Fallos | Garantía mensual (%) | Garantía Volum, % | Máximo Déficit Mensual | | CPH | | DEF50 |
|---|-------------------------------|-----------|-------------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------|-------|-----------|
| | | | | | 1 mes (hm ³) | 2 meses (hm ³) | Nº Fallos | G (%) | |
| Regadíos Vega de Granada | 356,28 | 252 | 60,4% | 85,4% | 123,384 | 223,683 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Alto Genil | 64,03 | 252 | 60,4% | 78,6% | 10,616 | 18,368 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Vega Alta | 22,67 | 212 | 66,7% | 69,9% | 2,900 | 4,450 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Monachil-Dílar | 17,62 | 252 | 60,4% | 67,6% | 2,078 | 3,348 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Zona Regable del Canal del Cacín | 23,73 | 19 | 97,0% | 94,9% | 5,638 | 10,570 | 4 | 92,5% | NO CUMPLE |
| Vega Baja del Genil | 292,25 | 236 | 62,9% | 86,9% | 56,384 | 102,657 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Alfacar-Beas (manantiales triásicos) | 26,23 | 214 | 66,4% | 35,6% | 8,580 | 16,190 | 51 | 3,8% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Vega Media MI | 36,78 | 97 | 84,7% | 81,6% | 6,990 | 13,740 | 24 | 54,7% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Cijuela-Láchar | 29,82 | 126 | 80,2% | 88,5% | 2,744 | 4,947 | 16 | 69,8% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Fte Vaqueros-Valdecaballeros | 33,63 | 10 | 98,4% | 97,7% | 7,474 | 12,914 | 4 | 92,5% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Velillos | 63,53 | 10 | 98,4% | 97,8% | 12,467 | 20,626 | 4 | 92,5% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Pantano Cubillas | 17,41 | 236 | 62,9% | 69,6% | 2,079 | 4,142 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Canal Cubillas | 18,17 | 47 | 92,6% | 92,0% | 3,930 | 7,460 | 7 | 86,8% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Canal Albolote | 3,30 | 11 | 98,3% | 97,0% | 0,740 | 1,399 | 4 | 92,5% | NO CUMPLE |
| Demandas HIPÓTESIS 6 (RECARGA ARTIFICIAL) | Demanda (hm ³) | Nº Fallos | Garantía mensual (%) | Garantía Volum, % | Máximo Déficit Mensual | | CPH | | DEF50 |
| | | | | | 1 mes (hm ³) | 2 meses (hm ³) | Nº Fallos | G (%) | |
| Regadíos Vega de Granada | 356,28 | 252 | 60,4% | 85,6% | 120,064 | 217,591 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Alto Genil | 64,03 | 252 | 60,4% | 78,6% | 10,616 | 18,367 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Vega Alta | 22,67 | 212 | 66,7% | 69,9% | 2,900 | 4,450 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Monachil-Dílar | 17,62 | 252 | 60,4% | 67,6% | 2,078 | 3,348 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Zona Regable del Canal del Cacín | 23,73 | 19 | 97,0% | 94,9% | 5,638 | 10,569 | 4 | 92,5% | NO CUMPLE |
| Vega Baja del Genil | 292,25 | 236 | 62,9% | 87,2% | 54,724 | 99,612 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Alfacar-Beas (manantiales triásicos) | 26,23 | 219 | 65,6% | 35,4% | 8,580 | 16,190 | 51 | 3,8% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Vega Media MI | 36,78 | 100 | 84,3% | 81,1% | 6,990 | 13,740 | 25 | 52,8% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Cijuela-Láchar | 29,82 | 124 | 80,5% | 89,5% | 2,744 | 4,947 | 16 | 69,8% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Fte Vaqueros-Valdecaballeros | 33,63 | 9 | 98,6% | 98,2% | 7,474 | 12,914 | 4 | 92,5% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Velillos | 63,53 | 9 | 98,6% | 98,5% | 10,833 | 17,667 | 4 | 92,5% | CUMPLE |
| Vega Granada-Pantano Cubillas | 17,41 | 236 | 62,9% | 69,5% | 2,079 | 4,142 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Canal Cubillas | 18,17 | 46 | 92,8% | 92,0% | 3,930 | 7,460 | 7 | 86,8% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Canal Albolote | 3,30 | 10 | 98,4% | 97,3% | 0,740 | 1,399 | 4 | 92,5% | NO CUMPLE |

Tabla 128. Indicadores de garantía de las demandas para riego (Hipótesis-6)

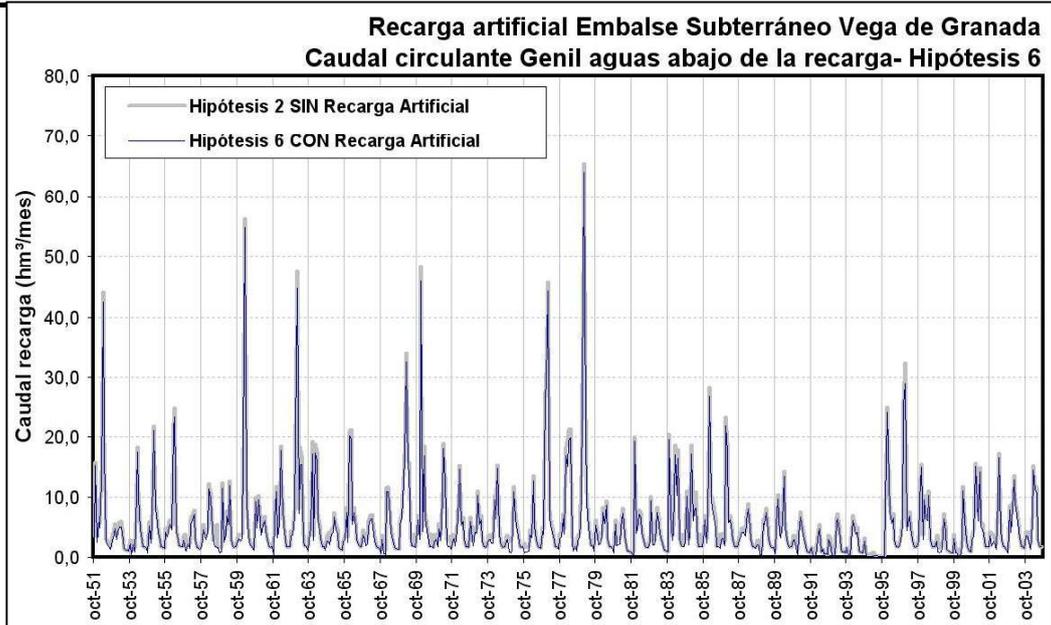


Figura 269. Caudal circulante río Genil aguas abajo de la recarga artificial

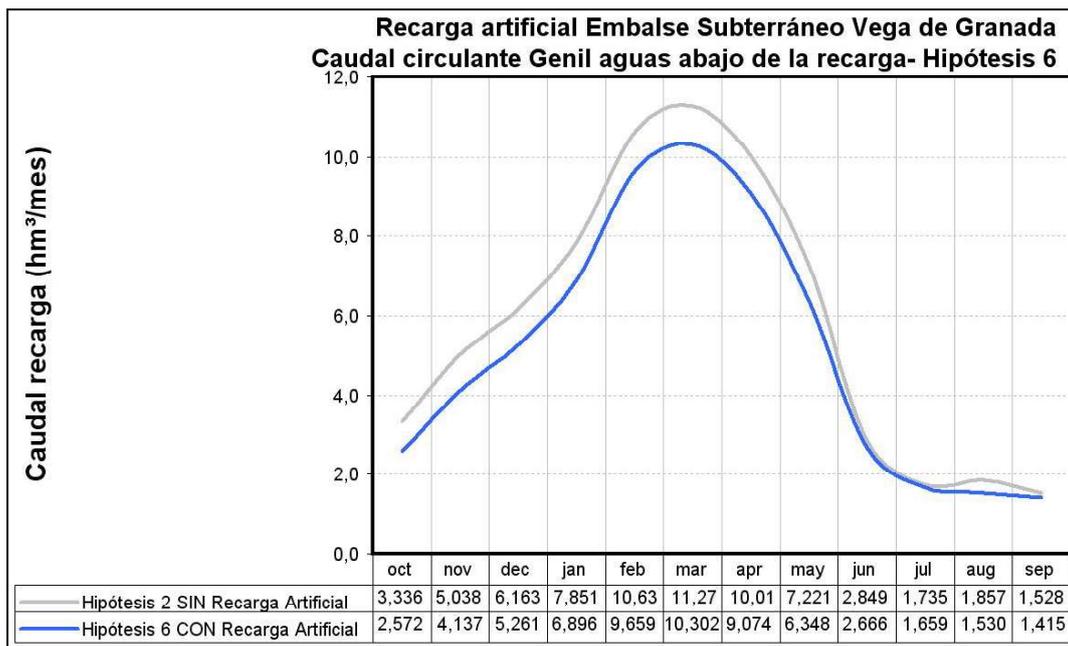


Figura 270. Caudal circulante promedio mensual en el río Genil aguas debajo de la recarga artificial

El escenario de gestión simulado (hipótesis 6–Recarga Artificial) ofrece unos sobrantes anuales promedio para el Sistema Cornisa–Vega de Granada de 345,466 hm³, que sería la aportación del sistema al embalse de Iznajar (río Genil). Esta aportación en régimen influenciado obtenida para la hipótesis 1 supone un 61,3 % de la aportación en régimen natural (563,8 hm³/a) (Figura 261).

El conjunto de demandas consuntivas anuales promedio servidas por el conjunto de infraestructuras del sistema se cifra en 360,806 hm³/a un 87,6% de la demanda total máxima del sistema, lo que indicaría un déficit promedio anual de 51,20 hm³.

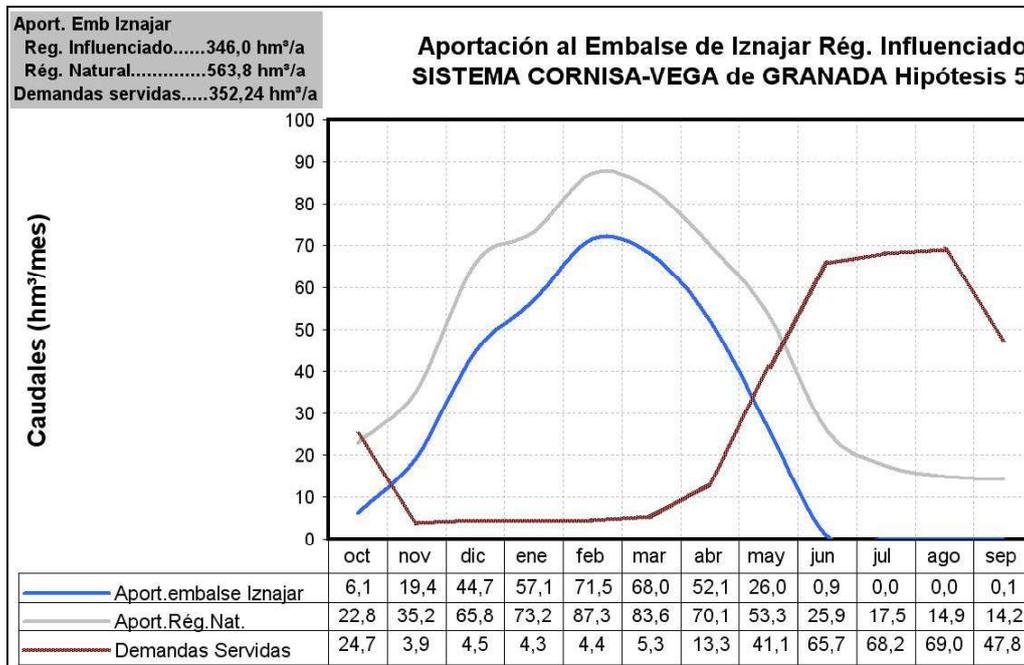


Figura 271. Aportación del Sistema Cornisa–Vega de Granada a Iznajar. Hipótesis 5

11.2.1.7 Hipótesis 7– Incremento demanda urbana

Mediante esta hipótesis se pretende simular el comportamiento del sistema de abastecimiento urbano a los Consorcios Vega Granada–Sierra Elvira y Sierra Nevada–Vega Sur ante el incremento que supondría el desarrollo de los planes urbanísticos previstos en la Vega de Granada (Junta de Andalucía, 2003).

Se han considerado los incrementos de demanda barajados por la Junta de Andalucía y se han fijado los parámetros de simulación correspondientes al escenario de la hipótesis 6.

Según estos datos, basados en las previsiones de desarrollo urbanístico de la zona metropolitana de Granada, la demanda urbana es previsible que incluso se duplique, pasando de 54,243 hm³/a a 119,374 hm³/a, en los sistemas asociados a los Consorcios Vega Granada–Sierra Elvira y Sierra Nevada–Vega Sur.

| DEMANDA ACTUAL (m ³) | Consorcio La Vega-Sierra Elvira | Consorcio Sierra Nevada-Vega Sur | Mancomunidad del Temple | Zona Septentrional de la Cornisa de Granada | DEMANDA URBANA |
|--|---------------------------------|----------------------------------|-------------------------|---|----------------|
| Enero | 1,166 | 3,118 | 0,054 | 0,270 | 4,608 |
| Febrero | 1,105 | 3,368 | 0,051 | 0,270 | 4,794 |
| Marzo | 1,143 | 3,078 | 0,047 | 0,244 | 4,512 |
| Abril | 1,152 | 3,257 | 0,047 | 0,252 | 4,708 |
| Mayo | 1,191 | 3,184 | 0,050 | 0,244 | 4,668 |
| Junio | 1,475 | 3,378 | 0,069 | 0,310 | 5,233 |
| Julio | 1,671 | 3,429 | 0,083 | 0,373 | 5,556 |
| Agosto | 1,653 | 3,429 | 0,080 | 0,373 | 5,535 |
| Septiembre | 1,355 | 3,340 | 0,055 | 0,279 | 5,030 |
| Octubre | 1,132 | 3,080 | 0,046 | 0,244 | 4,503 |
| Noviembre | 1,091 | 3,164 | 0,046 | 0,252 | 4,554 |
| Diciembre | 1,165 | 3,119 | 0,053 | 0,270 | 4,607 |
| ANUAL | 15,299 | 38,944 | 0,681 | 3,382 | 58,306 |
| hab | 121.840 | 370.371 | 3.700 | 37.821 | 533.732 |
| DEMANDA FUTURA (m ³) HIPÓTESIS-7 | Consorcio La Vega-Sierra Elvira | Consorcio Sierra Nevada-Vega Sur | Mancomunidad del Temple | Zona Septentrional de la Cornisa de Granada | DEMANDA URBANA |
| Enero | 3,924 | 5,406 | 0,054 | 0,270 | 9,654 |
| Febrero | 3,853 | 5,710 | 0,051 | 0,270 | 9,884 |
| Marzo | 3,908 | 5,237 | 0,047 | 0,244 | 9,436 |
| Abril | 3,944 | 5,664 | 0,047 | 0,252 | 9,908 |
| Mayo | 4,068 | 5,535 | 0,050 | 0,244 | 9,896 |
| Junio | 4,804 | 6,061 | 0,069 | 0,310 | 11,244 |
| Julio | 5,199 | 6,361 | 0,083 | 0,373 | 12,016 |
| Agosto | 5,153 | 6,361 | 0,080 | 0,373 | 11,966 |
| Septiembre | 4,538 | 5,899 | 0,055 | 0,279 | 10,771 |
| Octubre | 3,906 | 5,261 | 0,046 | 0,244 | 9,456 |
| Noviembre | 3,814 | 5,401 | 0,046 | 0,252 | 9,514 |
| Diciembre | 3,939 | 5,429 | 0,053 | 0,270 | 9,690 |
| ANUAL | 51,049 | 68,324 | 0,681 | 3,382 | 123,437 |

Tabla 129. Demandas consideradas en SIMGES

Al objeto de suministrar el agua demandada será necesario incrementar el régimen de funcionamiento de la ETAP de Lancha de Genil, pasando de los 104.313 m³/d (3,13 hm³/mes) actuales hasta la máxima capacidad de tratamiento de la planta (2.450 l/s, 6,35 hm³/mes).

Por otra parte, la capacidad de conducción de la Artería Norte que comunica la ETAP con el depósito regulador de El Chaparral y permite abastecer el Consorcio Vega Granada-Sierra Elvira con recursos del Sistema Canales-Quéntar, presenta una capacidad de conducción de 0,93 hm³/mes (tubería de 600 mm ϕ); caudal que unido a la conducción El Chaparral, con una capacidad de 2,00 hm³/mes (tubería de 800 mm ϕ), permiten un suministro punta de 2,93 hm³/mes para el Consorcio La Vega-Sierra Elvira, si no se consideran los bombeos de la Vega de Granada mediante sondeos de titularidad municipal. Esta capacidad de suministro es insuficiente para dotar la demanda futura prevista, con puntas mensuales de 5,199 hm³. Este déficit estructural se ha solucionado en la simulación considerando:

- Tubería adicional en la Artería Norte de 800 mm ϕ , con capacidad de conducir 2,00 hm³/a hasta el depósito regulador El Chaparral.
- Modificación del proyecto de la conducción Deifontes-El Chaparral aumentando el diámetro a 1.000 mm ϕ , con una capacidad de transporte de 3,40 hm³/mes. Esto implica incrementar la capacidad de ETAP El Chaparral y las infraestructuras asociadas (conducciones, depósitos, etc.).

Considerando estos datos sobre previsión de incremento de la demanda urbana se ha realizado la simulación con SIMGES obteniendo los índices de garantía que se muestran en la tabla 130.

| HIPÓTESIS 7 INCREMENTO DEMANDA URBANA | | Consorcio La Vega-S ^a Elvira | Consorcio S ^a Nevada- Vega Sur | Mancom. del Temple | Municipios Sector Septentrional | Regadíos Vega Granada | Regadíos Cornisa | Caudales ecológicos |
|--|-----------|--|---|-----------------------|---------------------------------------|--------------------------|---------------------|------------------------|
| Garantía mensual | Nº Fallos | 83 | 267 | 0 | 284 | 265 | 252 | 203 |
| | Gm | 86,9% | 58,0% | 100,0% | 55,3% | 58,3% | 60,4% | 68,1% |
| | Gv | 98,8% | 83,6% | 100,0% | 98,4% | 82,2% | 77,8% | 87,7% |
| MDM (hm ³) | 1 mes | 3,613 | 4,291 | 0,000 | 0,022 | 54,011 | 10,617 | 7,993 |
| | 2 meses | 4,310 | 8,581 | 0,000 | 0,040 | 97,812 | 18,371 | 15,175 |
| PHN | Nº fallos | 6 | 44 | 0 | 48 | 53 | 53 | 34 |
| | Garantía | 88,7% | 17,0% | 100,0% | 9,4% | 0,0% | 0,0% | 35,8% |
| DEF15 | | CUMPLE | NO CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| DEF25 | | CUMPLE | NO CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| DEF50 | | CUMPLE | NO CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| DEF75 | | CUMPLE | NO CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |

Tabla 130. Resultados de la simulación Hipótesis 7-Incremento Demanda Urbana

Según los resultados del modelo de gestión los **abastecimientos urbanos** de La Vega de Granada sufrirían déficits importantes que serían soslayados, en cierta medida, por la aportación que reciben de los bombeos en el embalse subterráneo Vega de Granada (Campo Pozos Ronda Sur 5,00 hm³/mes) (tabla 130).

Según la procedencia del suministro de agua potable que se registra en el sistema para la Hipótesis-7 de simulación se observa que el caudal mensual promedio es de 13,642 hm³ y el anual de 163,709 hm³/a. De este caudal, un 50,1 % procede de infraestructuras de regulación superficial (sistema Canales-Quéntar -33,402 hm³/a-, conducción El Chaparral -25,515 hm³/a- y embalse Bermejales -4,514 hm³/a-) y el 49,9% restante de la captación de agua en embalses subterráneos (81,758 hm³/a). Si se considera la distribución mensual del suministro se observa como el proveniente de embalses subterráneos es superior en los meses de estío que el procedente de las infraestructuras superficiales (Figura 273).

Según estos resultados, el incremento de demanda en abastecimiento urbano que se refieren en la hipótesis 7 debe ser atendido con recursos subterráneos

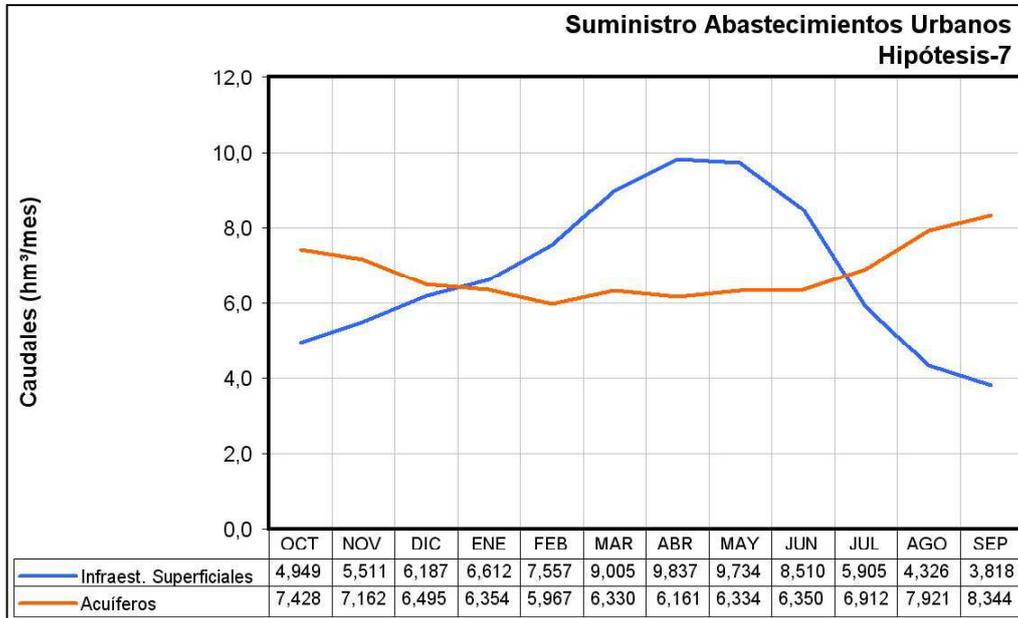


Figura 272. Suministro de agua para abastecimiento urbano Hipótesis-7

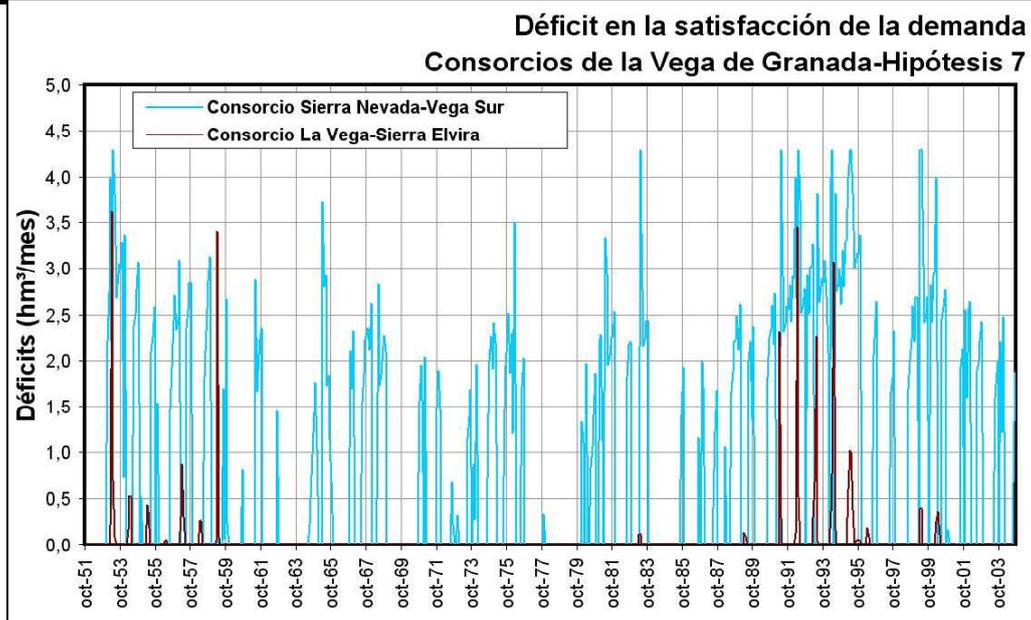


Figura 273. Déficits en el abastecimiento urbano a la Vega de Granada-Hipótesis 7

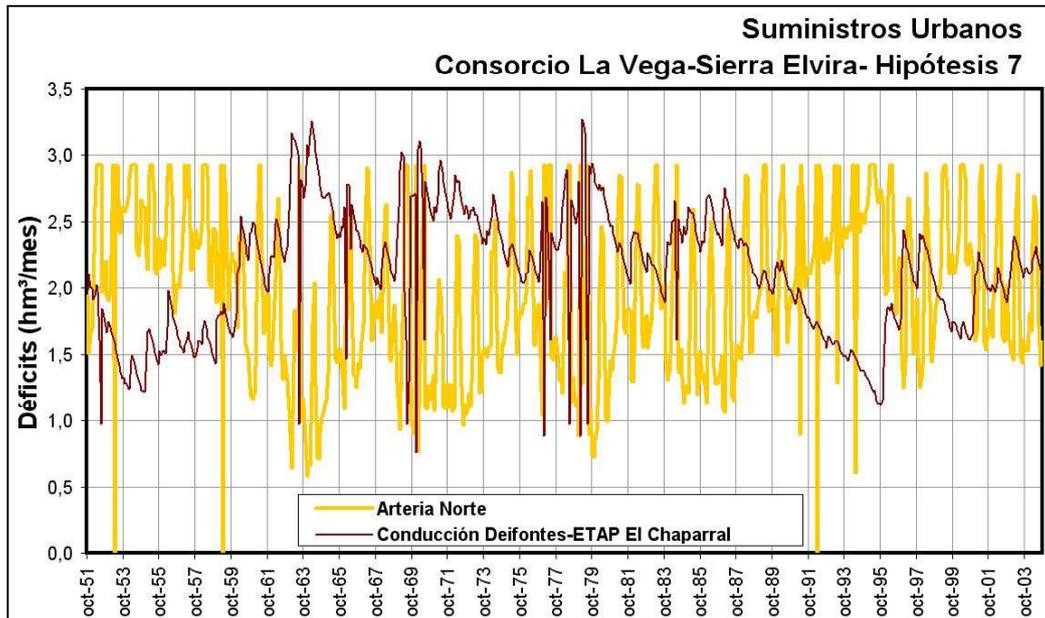


Figura 274. Suministro de agua para abastecimiento al Consorcio La Vega-Sierra Elvira

Los déficits que se generarían en el abastecimiento urbano serían más significativos en el Consorcio Sierra Nevada-Vega Sur, para cuya resolución habría que aumentar los bombeos en la Vega de Granada hasta los 10 hm³/mes, pero seguirían

produciéndose déficits en el abastecimiento al Consorcio Vega Granada-Sierra Elvira, problema que se resolvería aumentando los bombeos a 11,5 hm³/mes (Figura 276).

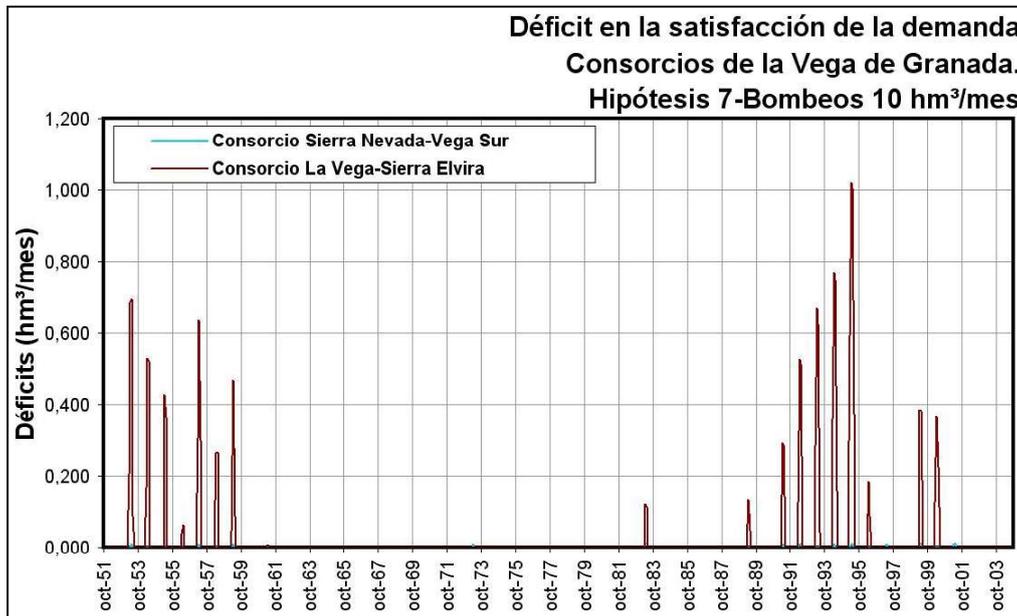


Figura 275. Déficits en el abastecimiento urbano a la Vega de Granada-Hipótesis 7 con bombes en la Vega de Granada para abastecimiento de 10 hm³/mes

Para el escenario de simulación considerado, el suministro total de agua para dotar los regadíos del sistema Cornisa-Vega de Granada asciende a un volumen promedio anual de 280,329 hm³, del que un 39,6% procede de recursos regulados mediante infraestructuras superficiales (110,931 hm³/a), un 23,2 % de la captación de recursos subterráneos (64,916 hm³/a) y el 37,3% restante de procedencia mixta (104,482 hm³/a, tomas en cauces donde se mezclan recursos superficiales y subterráneos -drenaje de acuíferos-).

Los índices de garantía obtenidos para las demandas agrícolas de la Vega de Granada son aceptables, excepto para aquellas zonas donde entran en competencia con los abastecimientos urbanos (tabla 131).

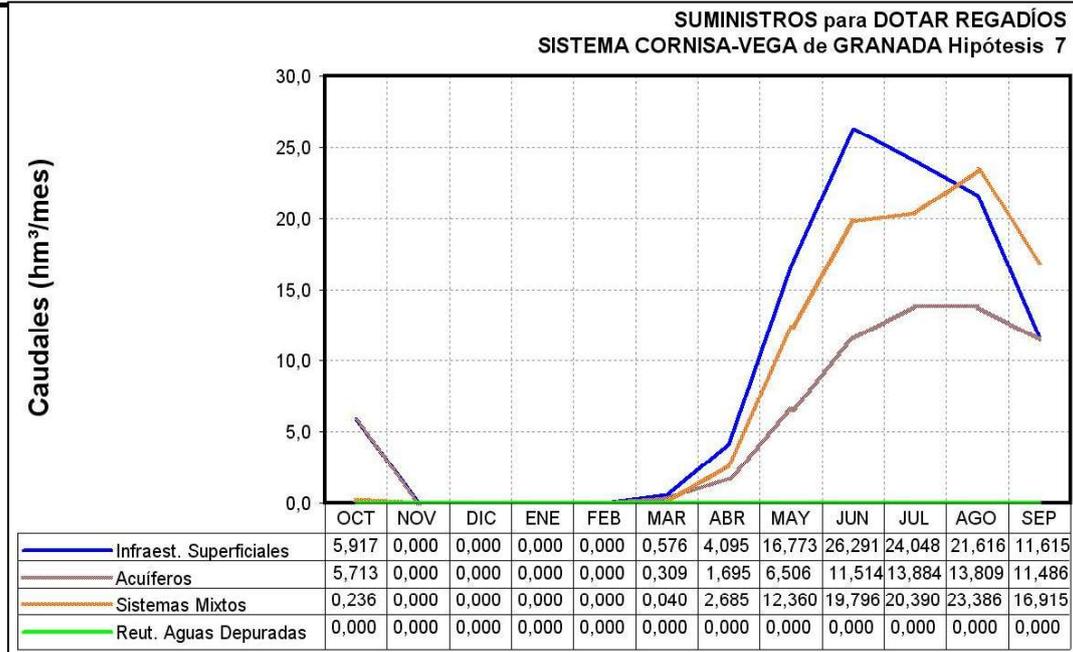


Figura 276. Procedencia de los recursos suministrado para riegos. Hipótesis 7

| Demandas | Demanda (hm³) | Nº Fallos | Garantía mensual (%) | Garantía Volum, % | Máximo Déficit Mensual | | CPH | | DEF50 |
|---|---------------|-----------|----------------------|-------------------|------------------------|---------------|-----------|-------|-----------|
| | | | | | 1 mes (hm³) | 2 meses (hm³) | Nº Fallos | G (%) | |
| Regadíos Vega de Granada | 356,28 | 265 | 58,3% | 81,4% | 118,638 | 213,994 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Alto Genil | 64,03 | 252 | 60,4% | 77,8% | 10,617 | 18,371 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Vega Alta | 22,67 | 212 | 66,7% | 69,9% | 2,900 | 4,450 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Monachil-Dílar | 17,62 | 252 | 60,4% | 67,6% | 2,077 | 3,347 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Zona Regable del Canal del Cacín | 23,73 | 28 | 95,6% | 92,8% | 5,640 | 10,574 | 9 | 83,0% | NO CUMPLE |
| Vega Baja del Genil | 292,25 | 265 | 58,3% | 82,2% | 54,011 | 97,812 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Alfacar-Beas (manantiales triásicos) | 26,23 | 265 | 58,3% | 23,6% | 8,580 | 16,190 | 51 | 3,8% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Vega Media MI | 36,78 | 202 | 68,2% | 57,9% | 6,990 | 13,740 | 44 | 17,0% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Cijuela-Láchar | 29,82 | 125 | 80,3% | 89,0% | 2,744 | 4,947 | 16 | 69,8% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Fte Vaqueros-Valdecaballeros | 33,63 | 7 | 98,9% | 98,6% | 7,476 | 12,916 | 3 | 94,3% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Velillos | 63,53 | 7 | 98,9% | 99,0% | 10,005 | 15,699 | 2 | 96,2% | CUMPLE |
| Vega Granada-Pantano Cubillas | 17,41 | 238 | 62,6% | 67,8% | 2,079 | 4,142 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Canal Cubillas | 18,17 | 115 | 81,9% | 82,2% | 3,930 | 7,460 | 26 | 50,9% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Canal Albolote | 3,30 | 7 | 98,9% | 97,9% | 0,739 | 1,396 | 3 | 94,3% | NO CUMPLE |

Tabla 131. Indicadores de garantía de las demandas para riego (Hipótesis-7)

Las demandas ecológicas fijadas en los cauces vinculados a los parques naturales de Sierra Huétor y Sierra Nevada presentan unos índices de garantía similares a los obtenidos en la hipótesis 2 (Figura 278), levemente peores como consecuencia del aumento de la demanda urbana en la Vega de Granada.

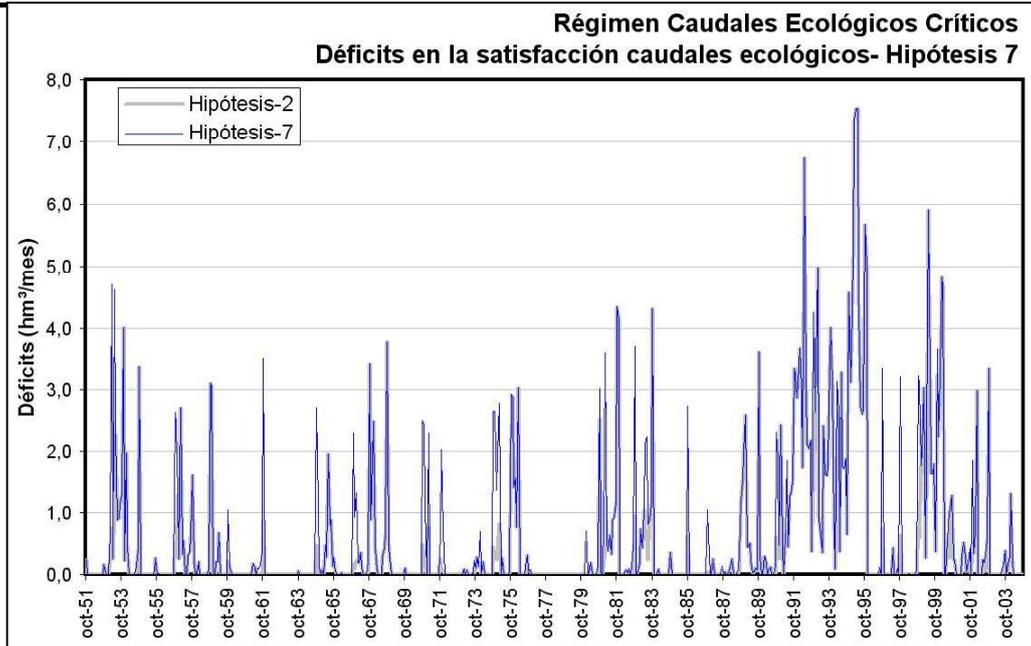


Figura 277. Déficits asociados a la demanda en caudales ecológicos sistema Canales-Quéntar. Hipótesis 7

Para analizar la evolución piezométrica que ofrece el método de autovalores utilizado para representar el funcionamiento del embalse subterráneo Vega de Granada, se han comparado los resultados de la hipótesis 7 (bombeo promedio anual de 54,277 hm³) con los obtenidos en la hipótesis 2 (bombeo promedio anual de 48,427hm³). Con la diferencia que en la hipótesis 7 se ha considerado la instalación de recarga artificial del acuífero Vega de Granada con excedentes invernales de los ríos Genil y Monachil, de 1,00 hm³/mes de capacidad de recarga del embalse subterráneo. La recarga artificial constituye una aportación extra al sistema subterráneo de 9,383 hm³/a de promedio (Figuras 279 y 280).

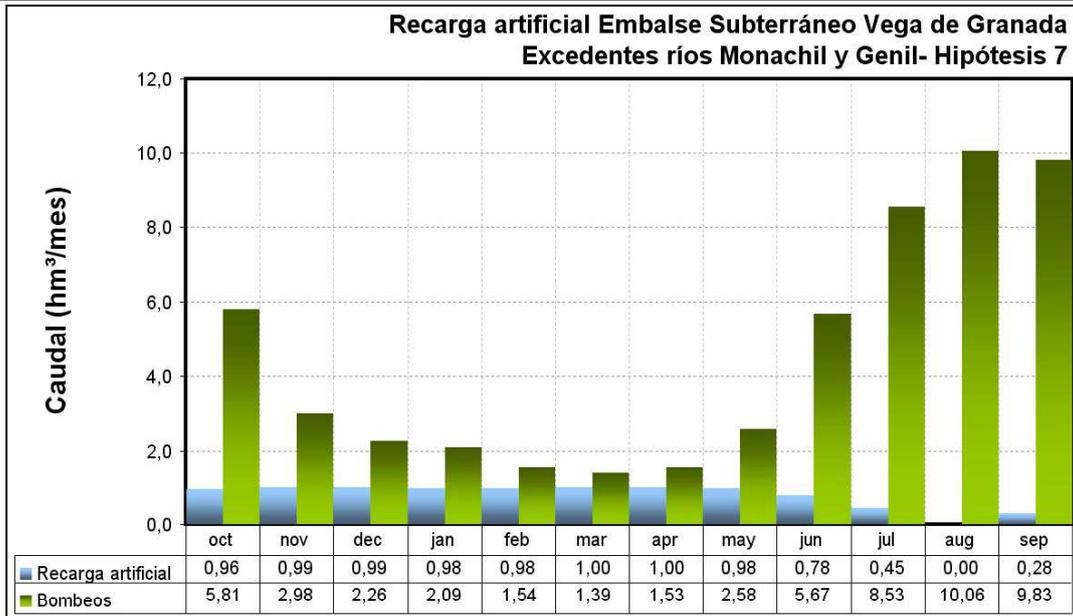


Figura 278. Recarga artificial embalse subterráneo Vega de Granada. Promedio mensual-Hipótesis 7

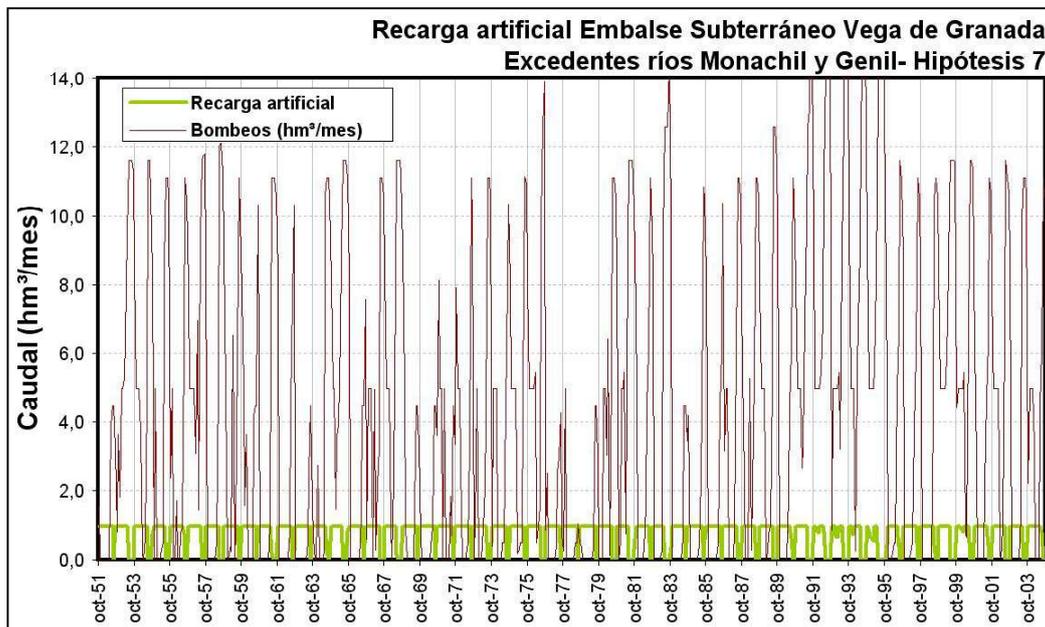


Figura 279. Recarga artificial embalse subterráneo Vega de Granada. Serie completa mensual-Hipótesis 7

En la comparativa piezométrica se observa como en la zona próxima a la zona de bombeo (Campo de Pozos Ronda Sur), el piezómetro más próximo (194240026,

Figura 281) muestra unos descensos mas pronunciados en los periodos de máximos bombeos, pero con una recuperación casi inmediata, a pesar de la intensidad de los bombeos. Mientras que en piezómetros más alejados (1942170172, Figura 282) la evolución del acuífero es similar en ambas hipótesis, con descensos mas acusados en la hipótesis 7 por la mayor cuantía de los bombeos, excepto en el periodo de sequía 1993-1996, donde el descenso es bastante mayor, si bien se reproduce una recuperación muy rápida en el acuífero.

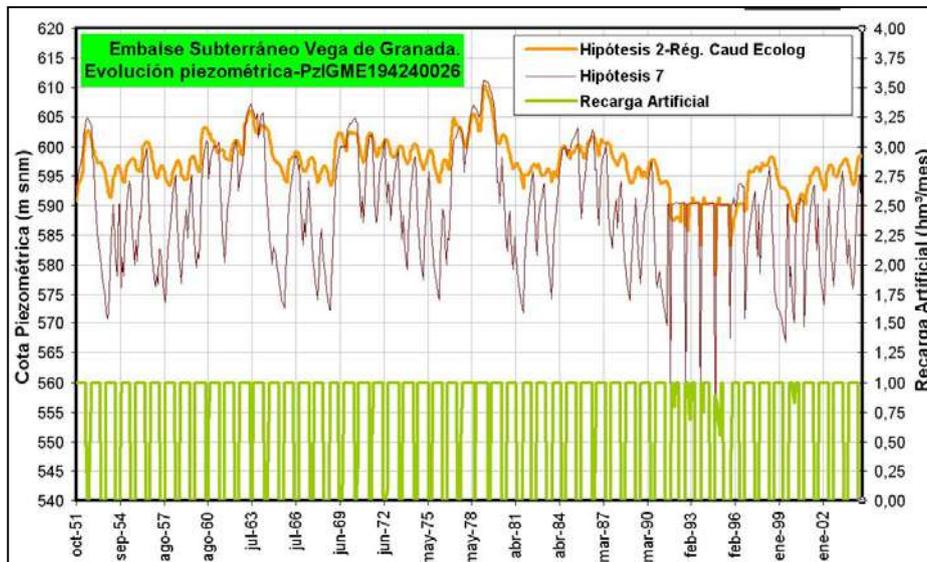


Figura 280. Evolución piezométrica comparada PzIGME 194240026

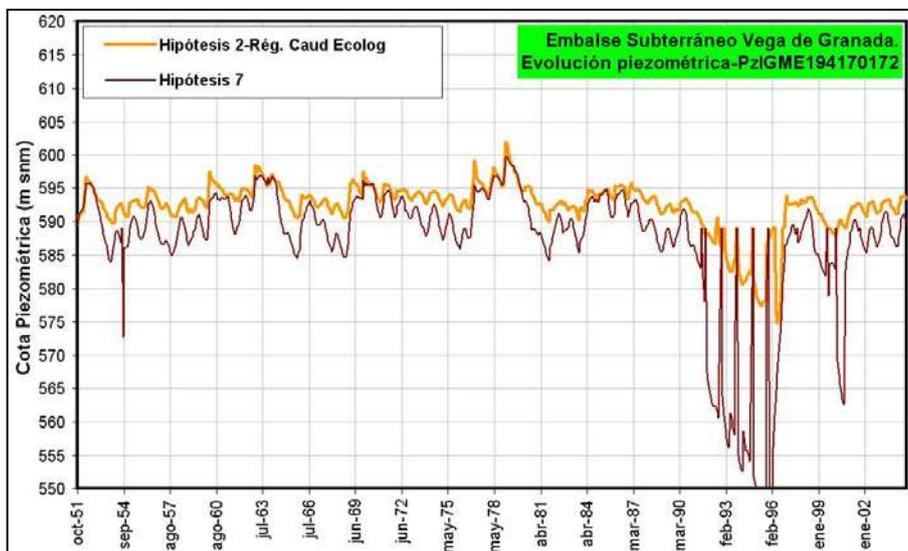


Figura 281. Evolución piezométrica comparada PzIGME 194170172

La influencia que sobre el embalse subterráneo Vega de Granada imponen los bombeos vinculados con el escenario de gestión que supone la hipótesis 7, queda de

manifiesto en los valores obtenidos para la descarga que el río Genil recibe de este acuífero (Figura 283).

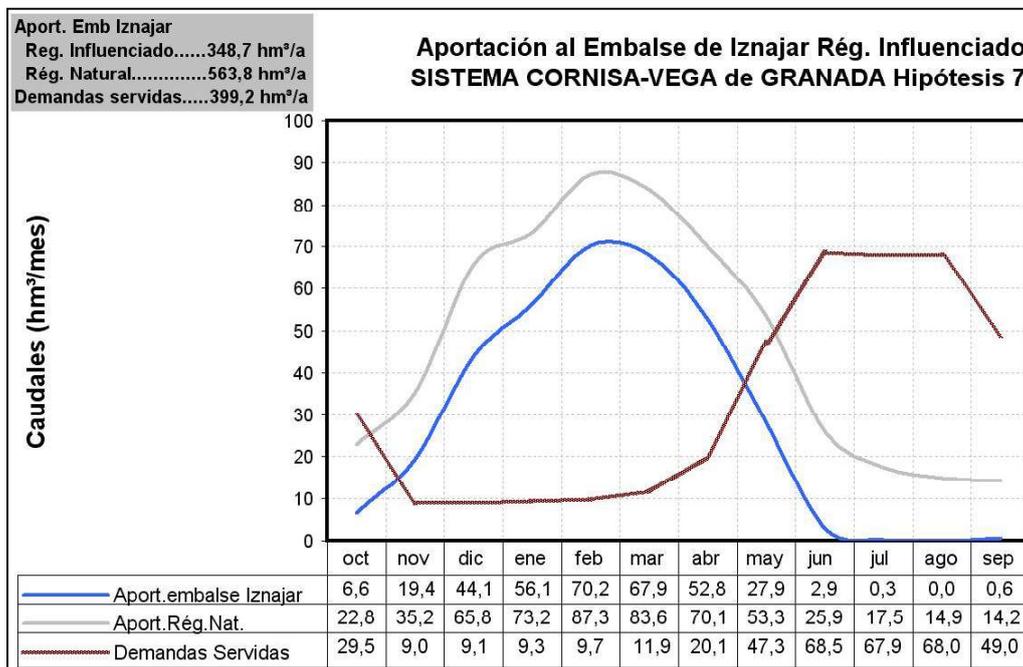
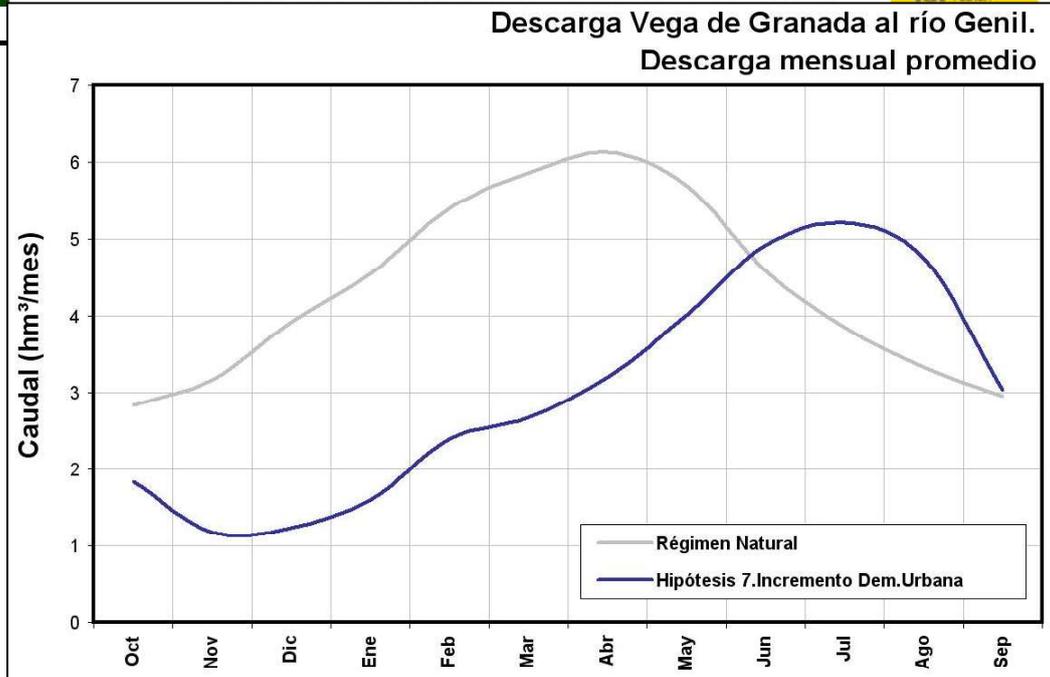


Figura 282. Descarga que registra el río Genil procedente del embalse subterráneo Vega de Granada

El escenario de gestión simulado (hipótesis 7-Incremento Demanda Urbana) ofrece unos sobrantes anuales promedio para el Sistema Cornisa-Vega de Granada de 348,708 hm³, que sería la aportación del sistema al embalse de Iznajar (río Genil). Esta aportación en régimen influenciado obtenida para la hipótesis 1 supone un 61,9% de la aportación en régimen natural (563,8 hm³/a) (Figura 284).

El conjunto de demandas consuntivas anuales promedio servidas por el conjunto de infraestructuras del sistema se cifra en 399,166 hm³/a un 83,7% de la demanda total máxima del sistema, lo que indicaría un déficit promedio anual de 77,97 hm³.



*Figura 283. Aportación del Sistema Cornisa-Vega de Granada a Iznajar.
Hipótesis 7*

11.2.1.8 Hipótesis 8- Mejora eficiencia riegos y reutilización aguas depuradas

Mediante esta hipótesis se pretende simular el comportamiento del sistema Cornisa-Vega de Granada ante el descenso en las demandas dependientes del sistema que supondría el desarrollo de los planes de mejora de los regadíos actuales que se planteó en el Plan Hidrológico de la Cuenca del Guadalquivir.

El consumo excesivo de agua en regadío, sobre todo en las zonas regables de la Vega de Granada, obedece a la antigüedad de las infraestructuras de transporte y distribución del agua lo que origina que pérdidas durante la explotación, a pesar de las obras de conservación y mantenimiento que se realizan habitualmente.

Así, en el PHCG se fija como objetivo la mejora de los regadíos actuales en el sistema de explotación Alto Genil, que correspondería al sistema objeto de análisis, concretando estas actuaciones a las zonas regables Canal de Cacán, Vegas de Granada

y Cubillas-Colomera, las cuales quedarían enmarcadas en el sistema Cornisa-Vega de Granada según se muestra en la tabla 133.

| Zonas Regables PHCG | Zonas Regables Sistema Cornisa-Vega de Granada (SCVG) Datos del Inventario regadíos Junta Andalucía (IRJA-2004) | | | | |
|---------------------|--|---|-----------------------------------|-----------------------------------|--|
| | Demanda N° | Denominación | Sup. Regada (ha) | Demanda (hm ³ /a) | |
| Canal del Cacán | 8 | Zona Regable del Canal del Cacán | 4.475 | 33,63 | |
| | 16 | Vega Granada-Vega Alta | 3.931 | 36,78 | |
| Vegas de Granada | 17 | Vega Granada-Monachil-Dílar | 3.152 | 29,82 | |
| | 19 | Vega Granada-Alfacar-Beas | 2.164 | 17,41 | |
| | 20 | Vega Granada-Vega Media MI | 1.939 | 18,17 | |
| | 21 | Vega Granada-Cijuela-Láchar | 376 | 3,30 | |
| | 22 | Vega Granada-Fte Vaqueros-Valdecaballeros | 657 | 6,30 | |
| | 9 | Vega Baja del Genil | 6.614 | 63,53 | |
| Cubillas-Colomera | 24 | Vega Granada-Pantano Cubillas | 1.140 | 11,08 | |
| | 25 | Vega Granada-Canal Cubillas | 2.283 | 21,46 | |
| | 26 | Vega Granada-Canal Albolote | 2.013 | 19,12 | |
| | 23 | Vega Granada-Velillos | 772 | 5,42 | |
| | | SUMA | 29.516 | 266,02 | |
| Zonas Regables PHCG | Sup. Regada (ha) PHCG | Sup. Regada (ha) SCVG | Demanda (hm ³ /a) PHCG | Demanda (hm ³ /a) SCVG | Dotación razonable (m ³ /ha) PHCG |
| Canal del Cacán | 6.334 | 4.475 | 41,17 | 33,63 | 6.500 |
| Vegas de Granada | 11.000 | 18.834 | 60,07 | 175,31 | 5.325 |
| Cubillas-Colomera | 7.370 | 6.207 | 47,91 | 57,08 | 5.325 |
| SUMA | 24.704 | 29.516 | 149,15 | 266,02 | |

Tabla 132. Zonas regables incluidas en el PHCG para mejora eficiencia de riegos

| Zonas Regables PHCG | Dotación (m ³ /ha/a) Sistema Cornisa-Vega de Granada (SCVG) Datos del Inventario regadíos Junta Andalucía (IRJA-2004) | | | | | Dotación razonable (m ³ /ha) PHCG |
|---------------------|---|---|----------------|---------------------------------|------------------------------------|--|
| | Demanda N° | Denominación | Eficiencia (%) | Dotación (m ³ /ha/a) | Nec.Hídrica (m ³ /ha/a) | |
| Canal del Cacán | 8 | Zona Regable del Canal del Cacán | 64,6% | 7.515 | 4.853 | 6.500 |
| | 16 | Vega Granada-Vega Alta | 67,9% | 9.358 | 6.354 | |
| Vegas de Granada | 17 | Vega Granada-Monachil-Dílar | 67,9% | 9.459 | 6.423 | 5.325 |
| | 19 | Vega Granada-Alfacar-Beas (manantiales triásicos) | 68,1% | 8.047 | 5.483 | |
| | 20 | Vega Granada-Vega Media MI | 68,6% | 9.370 | 6.427 | |
| | 21 | Vega Granada-Cijuela-Láchar | 68,0% | 8.761 | 5.954 | |
| | 22 | Vega Granada-Fte Vaqueros-Valdecaballeros | 67,9% | 9.590 | 6.512 | |
| | 9 | Vega Baja del Genil | 67,0% | 9.605 | 6.439 | |
| Cubillas-Colomera | 24 | Vega Granada-Pantano Cubillas | 67,9% | 9.716 | 6.597 | 5.325 |
| | 25 | Vega Granada-Canal Cubillas | 67,9% | 9.403 | 6.385 | |
| | 26 | Vega Granada-Canal Albolote | 67,9% | 9.499 | 6.450 | |
| | 23 | Vega Granada-Velillos | 72,8% | 7.017 | 5.109 | |

Tabla 133. Datos de eficiencia y dotaciones y necesidades hídricas de las zonas regables objeto de mejora de riegos según el PHCG

Los objetivos que se fijan en el PHCG con el **programa de modernización y mejora de los regadíos** son los siguientes:

- 1º) Conservación y mejora de la infraestructura hidráulica en los regadíos, a partir de sus tomas en los embalses reguladores.
- 2º) Ahorro del recurso hidráulico, mediante el incremento de la eficiencia de los sistemas de transporte, distribución y aplicación del riego, buscando la

- eliminación de las pérdidas de agua en la totalidad del sistema, debidas a su incorrecta concepción y deficiente estado de conservación.
- 3º) Ahorro del recurso hidráulico mediante el conocimiento y mejora de las condiciones de consumo del agua (flexibilidad del sistema, adecuada facturación).
 - 4º) Reducción de las necesidades de mantenimiento y explotación de la infraestructura.
 - 5º) Tecnificación de los sistemas de riego.
 - 6º) Explotación y conservación de las instalaciones por los usuarios.
 - 7º) Consideraciones de diversa índole: mejora de las condiciones de vida del regante, eliminación de situaciones con riesgo para las personas o las haciendas, adecuación medioambiental, compatibilidad con otros usos, etc.

Concretando a las zonas regables objeto de mejora de los regadíos dentro del Sistema Cornisa-Vega de Granada se citan las siguientes actuaciones en el PHCG:

- Zona Regable Canal del Cacín: Elevación desde el río Genil para el refuerzo de caudales y balsa reguladora; Construcción de 4 balsas de regulación nocturna y tubería a red de acequias; y Renovación trozo I.C.P. tubería de presión de ϕ 2400 mm. La inversión total prevista ascendía a 20 M€.
- Zona Regable Vegas de Granada: Sustitución de unos 50 km de conducciones de 0,5 m³/s, por tuberías que abastecerán a 3.000 tomas con contador; y construcción de 10 estaciones de bombeo con sus correspondientes balsas de regulación. La inversión total prevista ascendía a 32,5 M€.
- Zona Regable Cubillas-Colomera: Acondicionamiento de 100 km de canales ($Q > 0,2$ m³/s) y 190 km de acequias ($Q < 0,2$ m³/s) en mal estado, cuyo revestimiento es necesario; y mejora la tubería del sifón de Atarfe que, con una longitud de 1 900 m, está en mal estado. La inversión total prevista ascendía a 14 M€.

Las inversiones totales previstas por el PHCG para mejora de los regadíos considerados en el sistema Cornisa-Vega de Grabada (SCVG) ascienden a un total de 66,5 M€.

El ahorro de agua es uno de los objetivos prioritarios que se persiguen con la mejora y modernización de las zonas regables, que quedará cuantificado mediante la variación entre los coeficientes de eficacia actual y futura, a través de:

- Mejora en la eficacia del transporte, por reducción de las pérdidas que son consecuencia del mal estado de conservación de los canales y acequias.
- Mejora en la eficacia en la distribución del agua por mejoras en la gestión y por la instalación de contadores.
- Mejora en la eficacia en la aplicación, por ejemplo, por cambio a sistemas de riego

Así, en el PCG se considera que profundizando en las líneas de modernización y mejora, –entubado de acequias, automatización de canales, instalación de contadores, etc–, se considera viable, en las zonas regables estatales, el paso del coeficiente de eficacia actual de 0,60 a un coeficiente del 0,72.

Partiendo de estas premisa fijadas en el PHCG y considerando los datos del IRJA-2004 y del informe “Superficie de los Cultivos de Regadío y sus Necesidades de Riego en la demarcación de la CH del Guadalquivir” (Aquavir-2005), se han fijado los objetivos de eficiencia de riegos que se indican en la tabla 134.

| Eficiencia regadíos Sistema Cornisa-Vega de Granada (SCVG) Datos del Inventario regadíos Junta Andalucía (IRJA-2004) informe Aquavir-2005 | | | | | | | | | |
|--|-----------------------|---|-----------------|---|-------------------------------------|-------------------------|--|---------------------------------------|-----------------------------|
| Zonas Regables PHCG | Eficiencia Actual (%) | Nec.Hídrica Actual (m ³ /ha/a) | Sup.regada (ha) | Nec.Hídrica Actual (hm ³ /a) | Demanda Actual (hm ³ /a) | Eficiencia Objetivo (%) | Dotación Objetivo (m ³ /ha/a) | Demanda Objetivo (hm ³ /a) | Ahorro (hm ³ /a) |
| Canal del Cacín | 64,6% | 4.853 | 4.475 | 21,72 | 33,63 | 78,5% | 6.200 | 27,75 | 5,89 |
| Vegas de Granada | 67,9% | 6.227 | 18.834 | 117,28 | 175,31 | 78,5% | 7.900 | 148,78 | 26,52 |
| Cubillas-Colomera | 69,1% | 6.135 | 6.207 | 38,09 | 57,08 | 78,5% | 7.800 | 48,42 | 8,66 |
| Suma | 67,2% | 5.739 | 29.516 | 177,08 | 266,02 | 78,5% | 7.300 | 224,95 | 41,07 |

Tabla 134. *Objetivos de eficiencias de riego considerados en la Hipótesis 8 de simulación*

Un ahorro de agua en el regadío de 41,07 hm³/a de las zonas regables Canal de Cacán, Vegas de Granada y Cubillas-Colomera, supone el 75,7% de la demanda urbana asociada a los consorcios de abastecimiento de la Vega de Granada (Consortio La Vega-Sierra Elvira - 15,30 hm³/a - y Consortio Sierra Nevada-Vega Sur - 38,94 hm³/a-).

Partiendo de estos coeficientes de eficiencia en los regadíos se ha procedido a realizar la simulación de la gestión correspondiente al escenario de la hipótesis 8, tomando como referencia el escenario de la hipótesis 6: funcionamiento de las infraestructuras de abastecimiento El Chaparral-Arteria Norte, puesta en explotación del embalse de Velillos e implantación de la recarga artificial en el embalse subterráneo Vega de Granada.

En la hipótesis 8, además de considerar la reducción en la demanda agrícola que devendrían del ahorro de agua por mejora de la eficiencia de los riegos en las zonas regables Canal del Cacán, Vegas de Granada y Cubillas-Colomera, se ha considerado la posibilidad de reutilizar las aguas depuradas en las EDARs del Consortio Sierra Nevada-vega Sur (EDAR Oeste -22.410 m³/d- y EDAR Sur -51.000 m³/d-), las cuales disponen de una capacidad actual de depuración con tratamiento secundario de 2,20 hm³/mes, si bien, para la aplicación de las aguas depuradas en el riego sería necesario proceder a un tratamiento terciario previo que actualmente se efectúa.

La capacidad de depuración de estas EDARs es de 2,49 hm³/a (83.000 m³/d). Además, el Plan de Saneamiento y Depuración para el Área Metropolitana de Granada pretenden implantar una serie de nuevas depuradoras de aguas residuales urbanas, de manera que en un futuro la capacidad de depuración de aguas residuales urbanas del sistema ascenderá a 165.950 m³/d (3,24 hm³/mes) (tabla 135).

| ZONAS REGABLES DONDE REUTILIZAR AGUAS TRATADAS | | | | |
|--|----------------------------|------------------|-----------------------------------|--|
| Demanda N° | Denominación | Sup. Regada (ha) | Demanda (hm ³ /a) SCVG | Reutilización aguas depuradas (hm ³ /mes) |
| 16 | Vega Granada-Vega Alta | 3.931 | 36,78 | 2,17 |
| 20 | Vega Granada-Vega Media MI | 1.939 | 18,17 | 1,07 |
| SUMA | | 5.870 | 54,95 | 3,24 |

Tabla 135. Posibilidades de reutilización de aguas depuradas en la Vega de Granada

Por lo que la aportación extra que podrían recibir las zonas regables de la Vega de Granada de aguas residuales tratadas ascendería a una cifra anual de 38,88 hm³, si bien, este suministro debería modularse a la demanda agrícola.

Analizando la distribución de la demanda mensual de las zonas regables donde podrían aplicarse las aguas residuales urbanas tratadas se obtiene que podría aprovecharse un volumen anual de 21,29 hm³/a, que supone un 38,7% de estas demandas agrícolas (Figura 285).

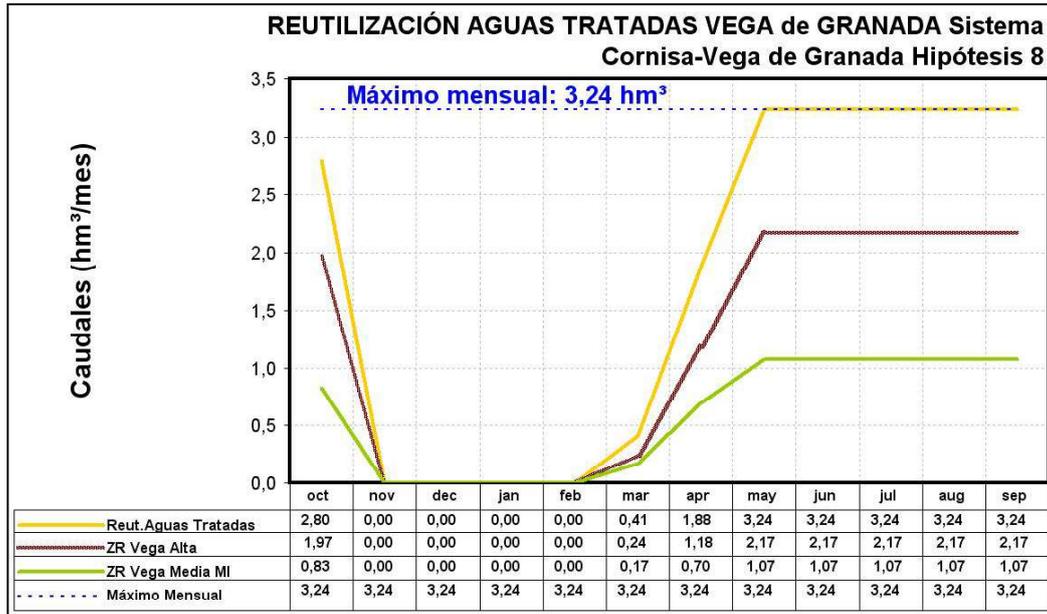


Figura 284. Posibilidades de reutilización de las aguas tratadas en el riego de la Vega de Granada

Si se disponen infraestructuras de regulación intermedias para las aguas residuales tratadas podrían alcanzarse un aprovechamiento máximo de 38,88 hm³/a que constituye el 70,8% de estas demandas. El propio acuífero Vega de Granada, mediante infraestructuras de recarga artificial programas de esta agua residuales tratadas, podría constituir un embalse de regulación aplicando tecnologías de ASR.

Mediante este escenario de simulación se pretende analizar, partiendo de la hipótesis 6, la influencia que sobre el embalse subterráneo Vega de Granada supondría:

- El aumento de los bombeos para dotar el abastecimiento urbano de los Consorcios Vega Granada-Sierra Elvira y Sierra Nevada-Vega Sur, desde los 2,00 hm³/mes de capacidad de bombeo asociados al Campo de Pozos Ronda Sur a los 5,00 hm³/mes.

- Eliminación de los “bombeos municipales” existentes en la Vega de Granada. Los bombeos de que disponen los ayuntamientos dejan de ser activos y sólo existen fuentes de suministros consorciadas.
- La incorporación de una instalación de recarga artificial de este embalse subterráneo con excedentes de los ríos Genil y Monachil.
- El ahorro de agua que supondría la mejora en la eficiencia de los regadíos de las zonas regables del Canal del Cacín, Vegas de Granada y Cubillas-Colomera (en total 29.516 ha de zonas regadas). Se ha estimado un ahorro de agua de 41,07 hm³/a.
- La reutilización de las aguas depuradas procedentes de las plantas de tratamiento de la Vega de Granada. Se estima un aprovechamiento anual de 21,29 hm³ (Figura 285).

La instalación de recarga artificial se situaría entre las poblaciones de Armilla y Granada, próxima al campo de Pozos Ronda Sur, y ha sido simulada en SIMGES mediante la disposición en el esquema topológico de un elemento de recarga artificial con capacidad máxima de 1,00 hm³/mes que actúa sobre el acuífero Vega de Granada. El elemento de recarga artificial parte de las aportaciones de los ríos Genil y Monachil aguas debajo de la estación de aforos nº100 de la CHG.

Para el escenario de simulación correspondiente a la hipótesis 8 enunciada anteriormente, la recarga artificial que recibe el embalse subterráneo desde los cauces Genil y Monachil supone un promedio anual de 8,142 hm³/a, frente a unos bombeos promedio anual en la Vega de Granada de 23,518 hm³. La recarga artificial supondría una alimentación extra al embalse subterráneo de 0,679 hm³/mes de promedio (262 l/s).

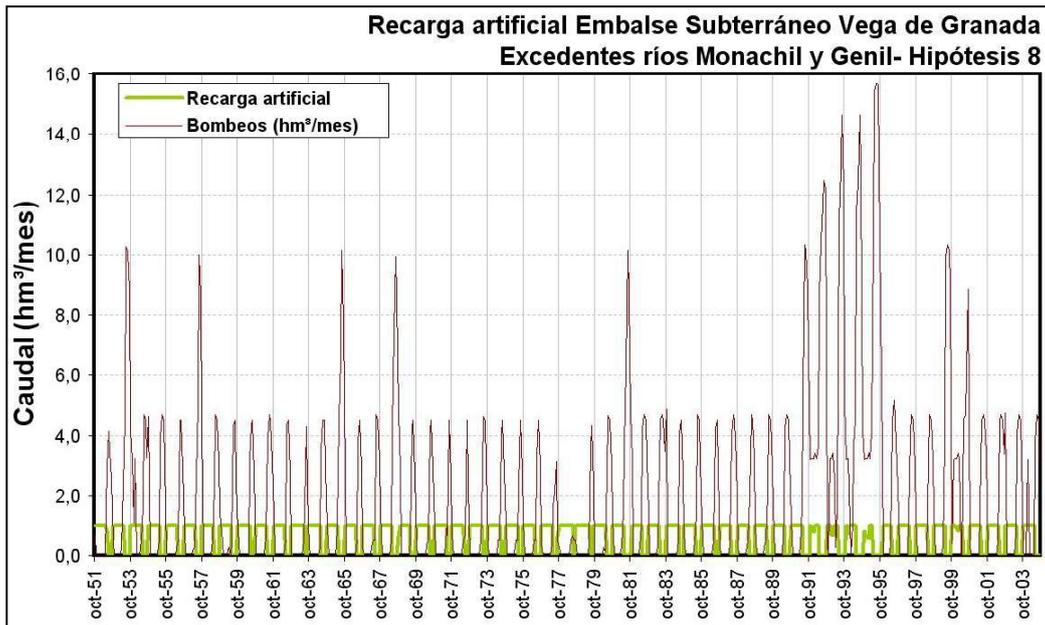


Figura 285. Recarga artificial programada en el embalse subterráneo Vega Granada con excedentes de los ríos Genil y Monachil-Hipótesis 8

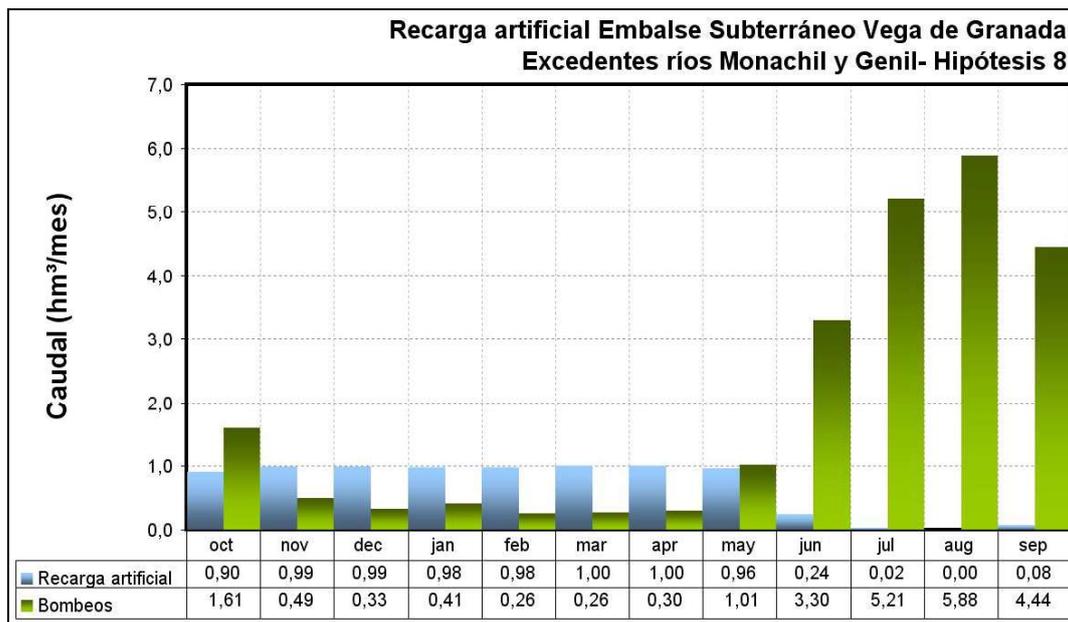


Figura 286. Recarga artificial programada en el embalse subterráneo Vega Granada con excedentes de los ríos Genil y Monachil. Valores promedio mensual. Hipótesis 8

El caudal de bombeo promedio anual para esta hipótesis en el embalse subterráneo Vega de Granada es de 26,937 hm³/a, inferior a la hipótesis 6 (32,061 hm³/a).

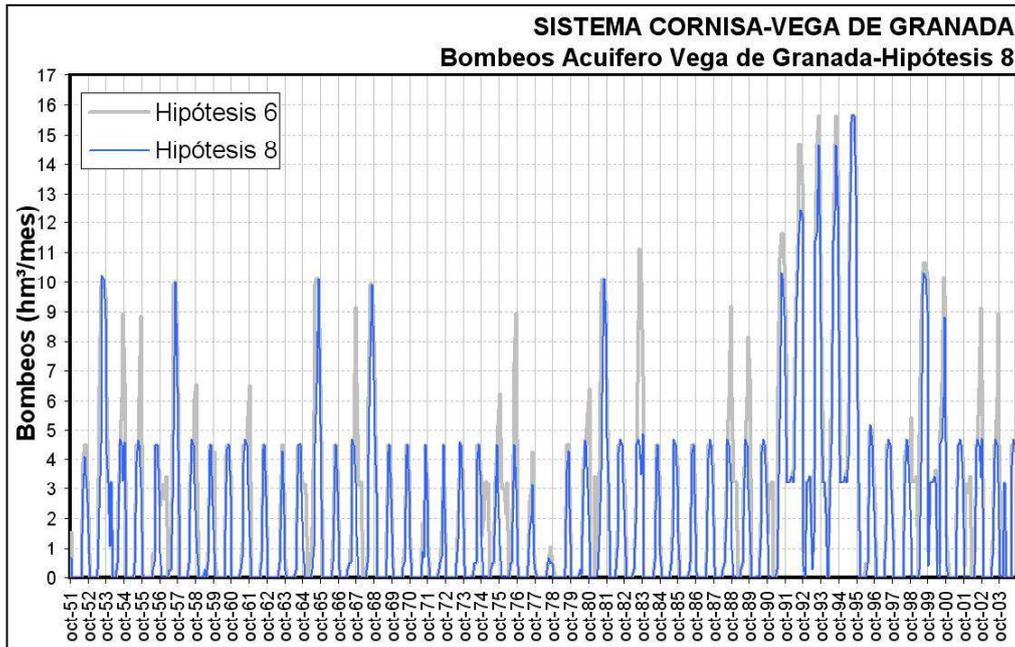


Figura 287. Comparativa bombeos Vega Granada hipótesis 6 e hipótesis 8

| HIPÓTESIS 8. MEJORA EFICIENCIA y REUTILIZACIÓN | | Consorcio La Vega-S ^a Elvira | Consorcio S ^a Nevada-Vega Sur | Mancom. del Temple | Municipios Sector Septentrional | Regadíos Vega Granada | Regadíos Cornisa | Caudales ecológicos |
|--|-----------|---|--|--------------------|---------------------------------|-----------------------|------------------|---------------------|
| Garantía mensual | Nº Fallos | 0 | 0 | 0 | 0 | 236 | 252 | 203 |
| | Gm | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 62,9% | 60,4% | 68,1% |
| | Gv | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 89,2% | 78,8% | 91,9% |
| MDM (hm ³) | 1 mes | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 44,922 | 10,604 | 7,993 |
| | 2 meses | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 81,510 | 18,355 | 15,175 |
| PHN | Nº fallos | 0 | 0 | 0 | 0 | 53 | 53 | 32 |
| | Garantía | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 0,0% | 0,0% | 39,6% |
| DEF15 | | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| DEF25 | | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| DEF50 | | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| DEF75 | | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |

Tabla 136. Resultados de la simulación Hipótesis 8–Mejora regadíos y Reutilización

Según los resultados del modelo de gestión para la hipótesis 8 (tabla 136), los **abastecimientos urbanos** de La Vega de Granada no sufrirían déficits, gracias a la aportación que reciben de los bombeos en el embalse subterráneo Vega de Granada (Campo Pozos Ronda Sur donde se ha definido una capacidad de bombeo de 5,00 hm³/mes y que para la hipótesis 8 suministra un caudal anual promedio de 5,327hm³ con un máximo anual de 41,764 hm³).

Según la procedencia del suministro de agua potable que se registra en el sistema para la Hipótesis-8 de simulación se observa que el caudal mensual promedio de 5,220 hm³ y el anual de 62,642 hm³/a. De este caudal un 81,6 % procede de infraestructuras de regulación superficial (sistema Canales-Quéntar -36,256 hm³/a-, conducción El Chaparral -10,358 hm³/a- y embalse Bermejales -4,514 hm³/a-) y el 18,4% restante de captaciones en embalses subterráneos (11,514 hm³/a). Si se considera la distribución promedio mensual del suministro se observa como el proveniente de las infraestructuras superficiales es siempre superior que el procedente de la captación de aguas en embalses subterráneos.

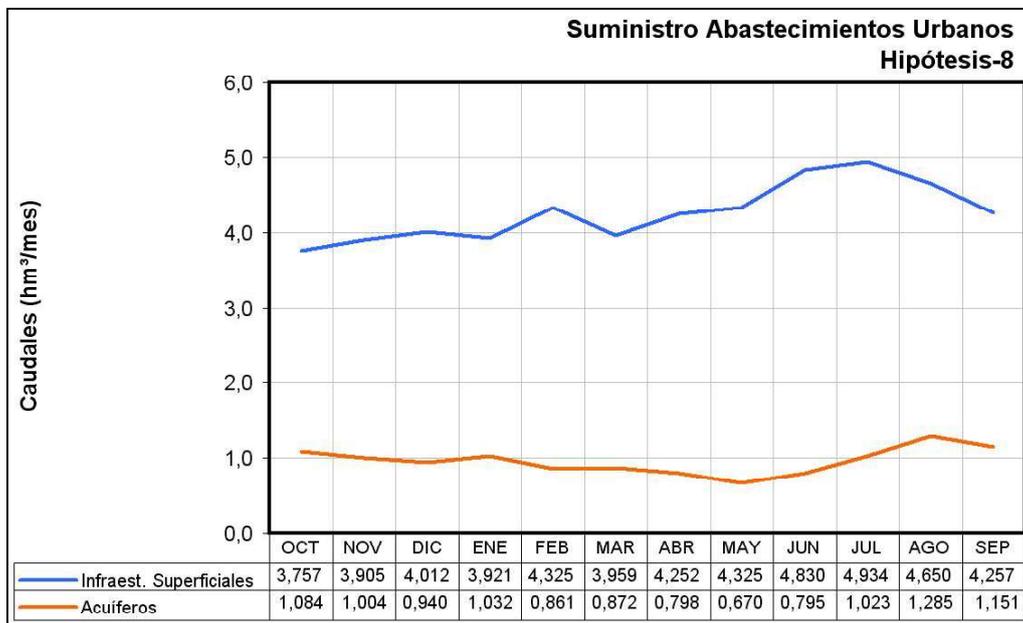


Figura 288. Suministro de agua para abastecimiento urbano Hipótesis-8

Las **demandas agrícolas** de la Vega de Granada registrarían unos indicadores de garantía bastante aceptables. Sólo aparecen déficits importantes en las Zonas Regables de la Cornisa y el Alto Genil y Manantiales triásicos en la Vega de Granada (tabal 137).

| Demandas | Demanda (hm ³) | Nº Fallos | Garantía mensual (%) | Garantía Volum, % | Máximo Déficit Mensual | | CPH | | DEF50 |
|---|----------------------------|-----------|----------------------|-------------------|--------------------------|----------------------------|-----------|--------|-----------|
| | | | | | 1 mes (hm ³) | 2 meses (hm ³) | Nº Fallos | G (%) | |
| AGRÍCOLA | 315,21 | 252 | 60,4% | 87,1% | 100,447 | 181,374 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Regadíos Cornisa de Granada | 64,03 | 252 | 60,4% | 78,8% | 10,604 | 18,355 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Comarca Montefrío | 22,67 | 212 | 66,7% | 69,9% | 2,900 | 4,450 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Comarca Alhama | 17,62 | 252 | 60,4% | 67,6% | 2,066 | 3,336 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Comarca Iznalloz | 23,73 | 16 | 97,5% | 95,5% | 5,638 | 10,569 | 4 | 92,5% | NO CUMPLE |
| Regadíos Vega de Granada | 251,18 | 236 | 62,9% | 89,2% | 44,922 | 81,510 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Alto Genil | 26,23 | 196 | 69,2% | 38,3% | 8,580 | 16,190 | 51 | 3,8% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Vega Alta | 31,05 | 39 | 93,9% | 94,0% | 5,604 | 11,018 | 12 | 77,4% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Monachil-Dílar | 24,90 | 87 | 86,3% | 96,0% | 1,614 | 2,777 | 0 | 100,0% | CUMPLE |
| Zona Regable del Canal del Cacín | 27,75 | 6 | 99,1% | 98,6% | 6,156 | 10,576 | 2 | 96,2% | NO CUMPLE |
| Vega Baja del Genil | 52,25 | 6 | 99,1% | 99,0% | 8,182 | 13,062 | 3 | 94,3% | CUMPLE |
| Vega Granada-Alfacar-Beas (manantiales triásicos) | 17,09 | 236 | 62,9% | 69,6% | 2,062 | 4,106 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Vega Media MI | 15,32 | 24 | 96,2% | 96,2% | 3,218 | 6,090 | 5 | 90,6% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Cijuela-Láchar | 2,97 | 6 | 99,1% | 98,2% | 0,670 | 1,268 | 3 | 94,3% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Fte Vaqueros-Valdecaballeros | 5,19 | 3 | 99,5% | 99,7% | 0,380 | 0,604 | 1 | 98,1% | CUMPLE |
| Vega Granada-Veillos | 6,02 | 11 | 98,3% | 98,3% | 0,720 | 1,290 | 4 | 92,5% | CUMPLE |
| Vega Granada-Pantano Cubillas | 8,89 | 13 | 98,0% | 96,8% | 2,494 | 4,719 | 5 | 90,6% | NO CUMPLE |
| Vega Granada-Canal Cubillas | 17,80 | 5 | 99,2% | 99,5% | 1,335 | 2,383 | 1 | 98,1% | CUMPLE |
| Vega Granada-Canal Albolote | 15,70 | 19 | 97,0% | 94,7% | 3,907 | 7,426 | 5 | 90,6% | NO CUMPLE |

Tabla 137. *Indicadores de garantía de las demandas para riego (Hipótesis-8)*

En las Comarcas de Montefrío y Alhama los déficits observados son consecuencia de los limitados bombeos asignados en SIMGES, es previsible que en la realidad se capte un volumen de aguas subterráneas superior al fijado en los modelos:

- Para satisfacer la demanda agrícola de Montefrío se ha asignado un bombeo de 1,50 hm³/mes en el acuífero Madrid-Pelada-Obéilar UH 05.34/Madrid-Parapanda; y de 1,00 hm³/mes en el acuífero Los Morrones UH 05.29/Sierra Colomera, es previsible que la cifra de bombeos supere los 2,5 hm³/mes y se aproxime a los 5,00 hm³/mes.
- Para satisfacer la demanda agrícola de Alhama se ha asignado un bombeo de 1,50 hm³/mes en el acuífero Albuñuelas UH 05.42/ Tejada-Almijara; es previsible que la cifra de bombeos se aproxime a los 3,00 hm³/mes y que una parte de éste se verifique sobre los materiales terciarios de la Depresión de Granada.
- En la ZR Alto Genil y Manantiales triásicos existe una competencia con las demandas agrícola y ecológica, de mayor prioridad, por lo que se ven afectados los indicadores de garantía de esta demanda.

Para el escenario de simulación considerado, el suministro total de agua para dotar los regadíos del sistema Cornisa-Vega de Granada asciende a un volumen promedio anual de 265,059 hm³ (Figura 290), del que un 38,1% procede de recursos regulados mediante infraestructuras superficiales (100,999 hm³/a), un 21,3% de la captación de recursos subterráneos (56,382 hm³/a), el 35,0% de procedencia mixta (92,746 hm³/a, tomas en cauces donde se mezclan recursos superficiales y subterráneos -drenaje de acuíferos-), y el 5,6% restante de la reutilización de aguas tratadas (14,931 hm³/a).

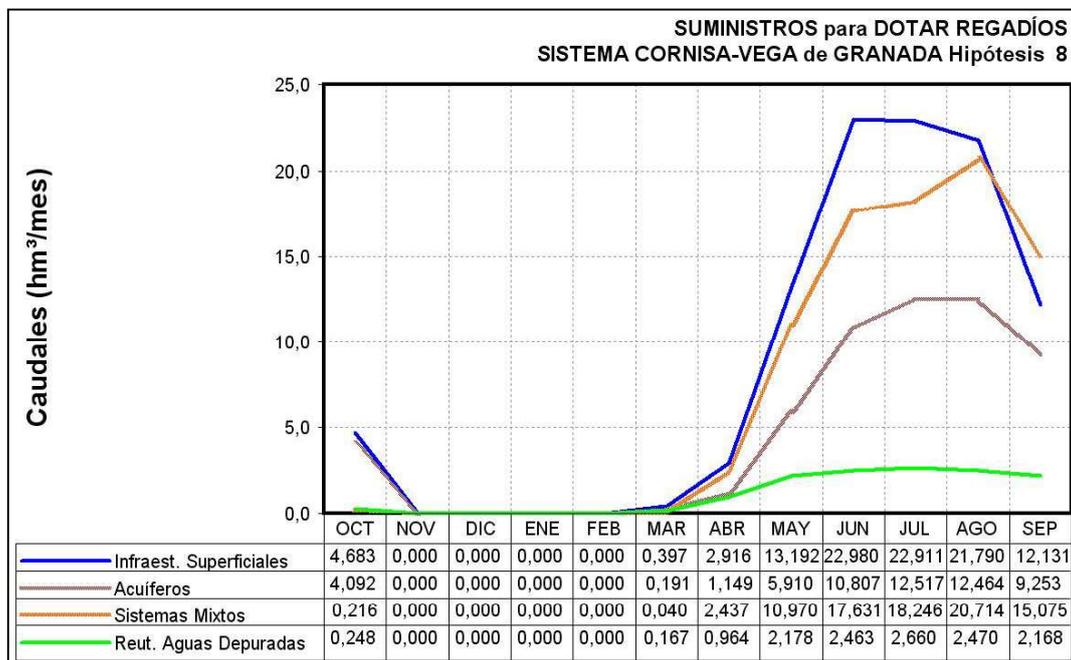


Figura 289. Procedencia de los recursos suministrado para riegos. Hipótesis 8

La puesta en funcionamiento del embalse de Velillos y la conducción entre éste y el embalse de Colomera suponen, en principio, un incremento de recursos en el sistema Cubillas-Colomera. Según los resultados del escenario de simulación realizado, esta conducción aportaría al embalse de Colomera un caudal anual promedio de 15,916 hm³, el cual redundaría en una relativa mejora de los indicadores de garantía de las demandas agrícolas dependientes del Sistema Cubillas-Colomera

(tabla 138 y Figura 291), aunque no supone un aumento del caudal que puede ser utilizado en abastecimiento urbano a través de la conducción El Chaparral, ya que pasaría de 10,434 hm³/a de promedio, calculados en la hipótesis 4 (sin embalse de Velillos) a 10,358 hm³/a de promedio (hipótesis 8, con embalse de Velillos).

| Zonas Regables dependientes del Sistema Cubillas-Colomera | HIPÓTESIS DE SIMULACIÓN | Demanda (hm ³) | Nº Fallos | Garantía mensual (%) | Garantía Volum. % | Máximo Déficit Mensual | | CPH | | DEF50 | Bombeos (hm ³ /a) |
|---|-------------------------|----------------------------|-----------|----------------------|-------------------|--------------------------|----------------------------|-----------|--------|-----------|------------------------------|
| | | | | | | 1 mes (hm ³) | 2 meses (hm ³) | Nº Fallos | G (%) | | |
| Zona Regable del Canal del Cacin | HIPÓTESIS-8 | 27,75 | 6 | 99,1% | 98,6% | 6,16 | 10,58 | 2 | 96,2% | NO CUMPLE | 0,000 |
| | HIPÓTESIS-6 | 33,63 | 9 | 98,6% | 98,2% | 7,47 | 12,91 | 4 | 92,5% | NO CUMPLE | 0,000 |
| Vega Granada-Vega Alta | HIPÓTESIS-8 | 31,05 | 39 | 93,9% | 94,0% | 5,60 | 11,02 | 12 | 77,4% | NO CUMPLE | 1,327 |
| | HIPÓTESIS-6 | 36,78 | 100 | 84,3% | 81,1% | 6,99 | 13,74 | 25 | 52,8% | NO CUMPLE | 3,269 |
| Vega Granada-Monachil-Dílar | HIPÓTESIS-8 | 24,90 | 87 | 86,3% | 96,0% | 1,61 | 2,78 | 0 | 100,0% | CUMPLE | 12,891 |
| | HIPÓTESIS-6 | 29,82 | 124 | 80,5% | 89,5% | 2,74 | 4,95 | 16 | 69,8% | NO CUMPLE | 14,780 |
| Vega Granada-Alfacar-Beas (manantiales triásicos) | HIPÓTESIS-8 | 17,09 | 236 | 62,9% | 69,6% | 2,06 | 4,11 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE | 2,691 |
| | HIPÓTESIS-6 | 17,41 | 236 | 62,9% | 69,5% | 2,08 | 4,14 | 53 | 0,0% | NO CUMPLE | 2,698 |
| Vega Granada-Vega Media MI | HIPÓTESIS-8 | 15,32 | 24 | 96,2% | 96,2% | 3,22 | 6,09 | 5 | 90,6% | NO CUMPLE | 0,226 |
| | HIPÓTESIS-6 | 18,17 | 46 | 92,8% | 92,0% | 3,93 | 7,46 | 7 | 86,8% | NO CUMPLE | 0,480 |
| Vega Granada-Cijuela-Láchar | HIPÓTESIS-8 | 2,97 | 6 | 99,1% | 98,2% | 0,67 | 1,27 | 3 | 94,3% | NO CUMPLE | 0,000 |
| | HIPÓTESIS-6 | 3,30 | 10 | 98,4% | 97,3% | 0,74 | 1,40 | 4 | 92,5% | NO CUMPLE | 0,000 |
| Vega Granada-Fte Vaqueros-Valdecaballeros | HIPÓTESIS-8 | 5,19 | 3 | 99,5% | 99,7% | 0,38 | 0,60 | 1 | 98,1% | CUMPLE | 0,077 |
| | HIPÓTESIS-6 | 6,30 | 5 | 99,2% | 99,3% | 0,68 | 1,16 | 2 | 96,2% | CUMPLE | 0,133 |
| Vega Baja del Genil | HIPÓTESIS-8 | 52,25 | 6 | 99,1% | 99,0% | 8,18 | 13,06 | 3 | 94,3% | CUMPLE | 0,000 |
| | HIPÓTESIS-6 | 63,53 | 9 | 98,6% | 98,5% | 10,83 | 17,67 | 4 | 92,5% | CUMPLE | 0,000 |
| Vega Granada-Pantano Cubillas | HIPÓTESIS-8 | 8,89 | 13 | 98,0% | 96,8% | 2,49 | 4,72 | 5 | 90,6% | NO CUMPLE | 0,000 |
| | HIPÓTESIS-6 | 11,08 | 17 | 97,3% | 96,1% | 3,14 | 5,88 | 5 | 90,6% | NO CUMPLE | 0,000 |
| Vega Granada-Canal Cubillas | HIPÓTESIS-8 | 17,80 | 5 | 99,2% | 99,5% | 1,34 | 2,38 | 1 | 98,1% | CUMPLE | 0,524 |
| | HIPÓTESIS-6 | 21,46 | 9 | 98,6% | 98,8% | 2,22 | 4,10 | 4 | 92,5% | CUMPLE | 0,784 |
| Vega Granada-Canal Albolote | HIPÓTESIS-8 | 15,70 | 19 | 97,0% | 94,7% | 3,91 | 7,43 | 5 | 90,6% | NO CUMPLE | 0,000 |
| | HIPÓTESIS-6 | 19,12 | 22 | 96,5% | 93,8% | 4,77 | 9,06 | 6 | 88,7% | NO CUMPLE | 0,000 |
| Vega Granada-Velillos | HIPÓTESIS-8 | 6,02 | 11 | 98,3% | 98,3% | 0,72 | 1,29 | 4 | 92,5% | CUMPLE | 0,456 |
| | HIPÓTESIS-6 | 5,42 | 15 | 97,6% | 97,9% | 0,55 | 0,96 | 5 | 90,6% | CUMPLE | 0,391 |

Hipótesis 6: Embalse de Velillo+Conducción El Chaparral+Recarga Artificial Vega Granada (considerando rég.caudales ecológ.criticos calculados)
 Hipótesis 8: Hipótesis 6+Mejora regadíos (ahorro agua)+Reutilización aguas tratadas

Tabla 138. Comparativa índices de garantía Zonas Regables

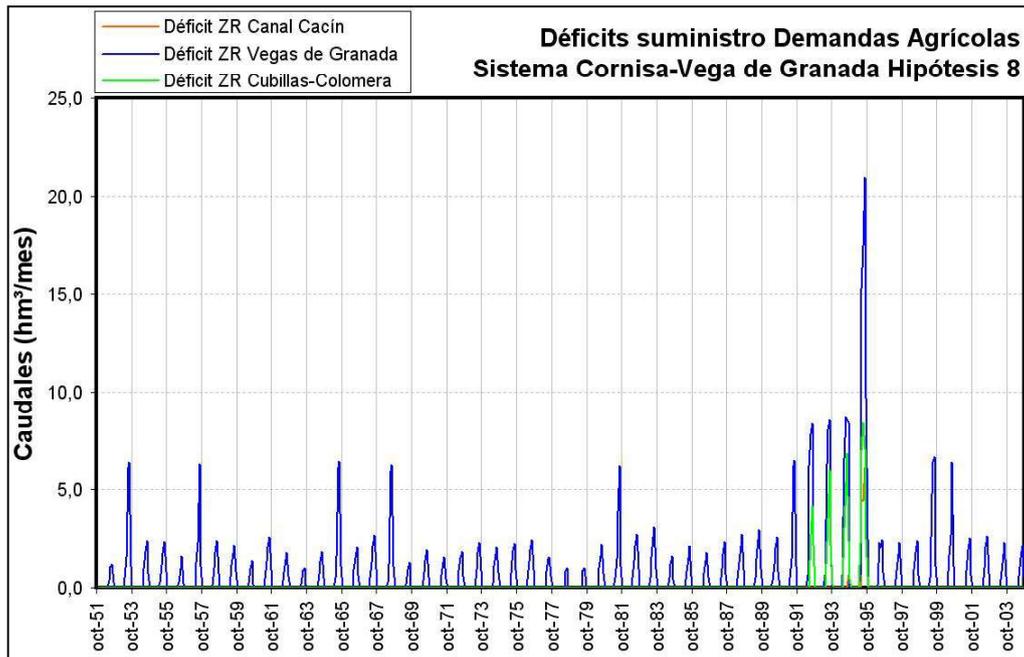


Figura 290. Déficits simulados para las zonas regables del subsistema Cubillas-Colomera. Hipótesis 8

Las demandas ecológicas fijadas en los cauces asociados a los parques naturales de Sierra Huétor y Sierra Nevada presentan unos índices de garantía similares a los obtenidos en la simulación correspondiente a la hipótesis 2 (tabla 139 y Figura 292). Aunque las demandas ecológicas han sido declaradas como de máxima prioridad para el modelo de gestión SIMGES, las razones bajo las que se argumentan los indicadores de garantía obtenidos son similares a las indicadas en el escenario 2 (cuantía que supone el régimen de caudales ecológicos respecto al año tipo medio y envergadura de las demandas dependientes del sistema Canales-Quéntar en la Vega de Granada).

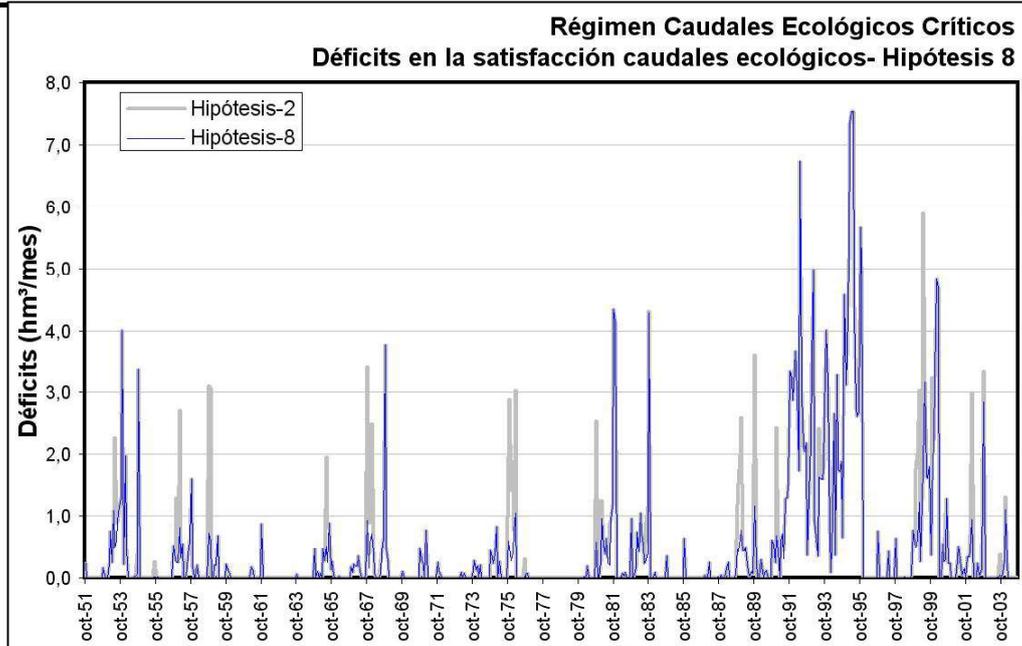


Figura 291. Déficits asociados a la demanda en caudales ecológicos sistema Canales-Quéntar. Hipótesis 8

| Criterios Garantía Caudales Ecológicos | | HIP-2 RÉG. CAUDALES ECOLÓGICOS CRÍTICOS | HIP-8 MEJORA EFICIENCIA y REUTILIZACIÓN |
|--|-----------|---|---|
| Garantía mensual | Nº Fallos | 203 | 203 |
| | Gm | 68,1% | 68,1% |
| | Gv | 90,2% | 91,9% |
| MDM (hm ³) | 1 mes | 7,993 | 7,993 |
| | 2 meses | 15,175 | 15,175 |
| PHN | Nº fallos | 32 | 32 |
| | Garantía | 39,6% | 39,6% |
| DEF15 | | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| DEF25 | | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| DEF50 | | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| DEF75 | | NO CUMPLE | NO CUMPLE |

Tabla 139. Comparativa indicadores garantía ecológica hipótesis-2 e hipótesis-8

En cuanto a la evolución del volumen de agua almacenado en los **embalses**, el modelo de simulación ofrece un resultado que implica el vaciamiento de los sistemas Canales-Quéntar y Cubillas-Colomera en diferentes periodos de la serie analizada (1951-2004).

El mantenimiento de un régimen de caudales ecológicos en el sistema Canales-Quéntar origina que el sistema de regulación superficial sea más vulnerable respecto a la hipótesis 1 (escenario actual), en la que no se consideraron estas demandas ecológicas, como consecuencia de que en el escenario de simulación para la hipótesis 8 se han implicado los embalses en la satisfacción de estos caudales ecológicos críticos (Figura 293).

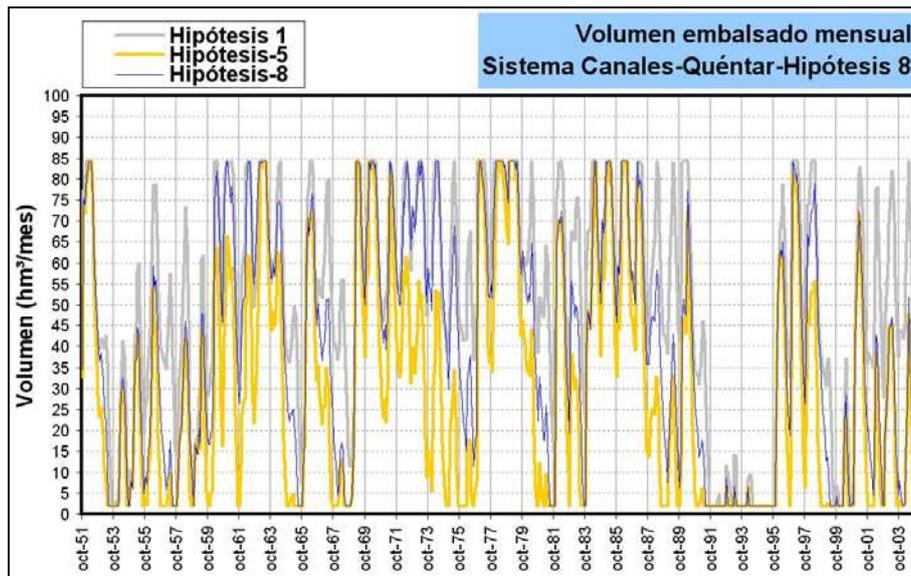


Figura 292. Evolución de los embalses del sistema Canales-Quéntar (Hipótesis 8)

Se ha comparado la evolución de los embalses del sistema bajo la hipótesis de simulación 8 con la hipótesis 5 (Figuras 293 a 296). La diferencia entre ambas reside en que en la hipótesis 8 se han incluido las siguientes mejoras de gestión:

- Las demandas agrícolas son menores como consecuencia de suponer que se han adoptado las medidas de mejora en la eficiencia de los regadíos que permitan el consiguiente ahorro de agua (41,07 hm³/a).
- La puesta en funcionamiento de instalaciones de recarga artificial programada en el embalse subterráneo Vega de Granada, que permite una alimentación extra del acuífero con excedentes invernales de los ríos Monachil y Genil de 8,142 hm³/a de valor promedio.
- La reutilización en la dotación de zonas regables de la Vega de Granada de aguas residuales urbanas tratadas (14,931 hm³/a de promedio).

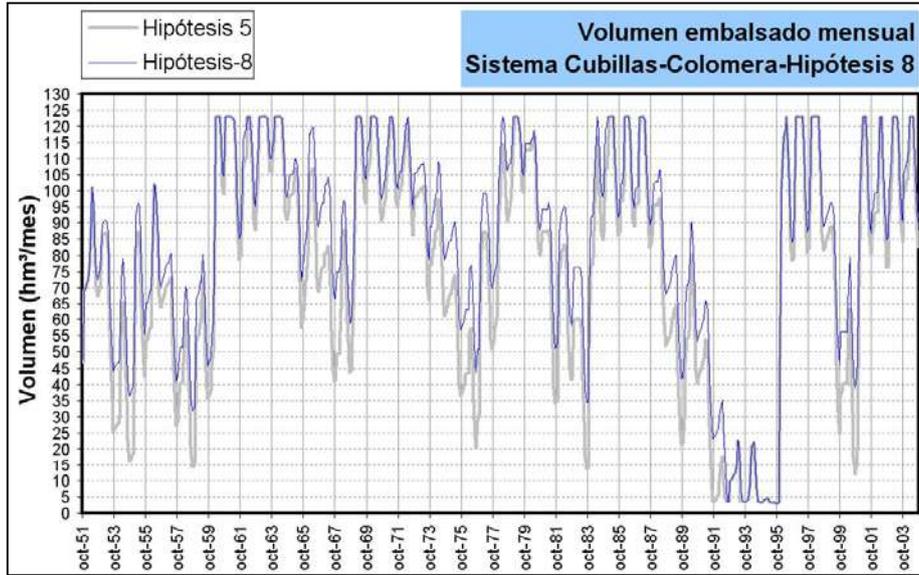


Figura 293. Evolución de los embalses del sistema Cubillas-Colomera (Hipótesis 8)

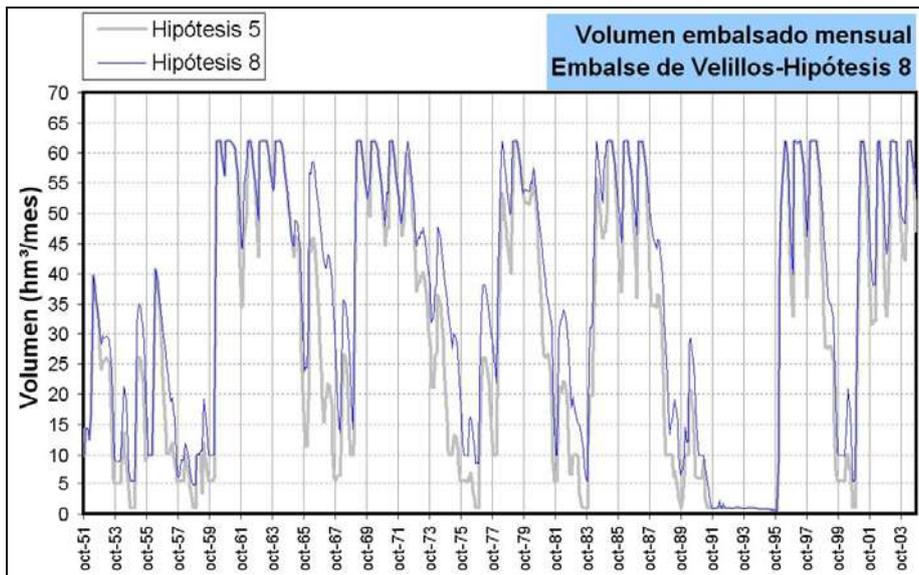


Figura 294. Evolución del embalse de Velillos (Hipótesis 8)

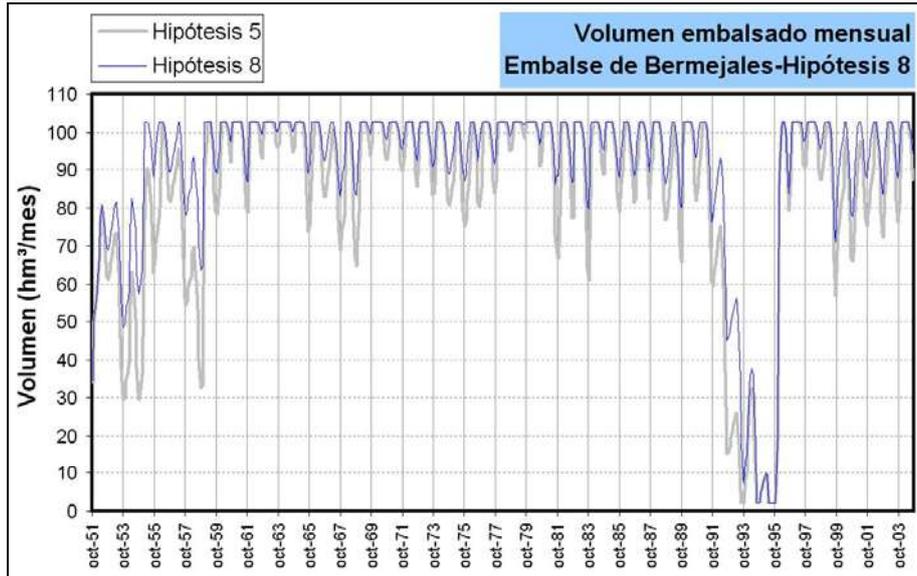


Figura 295. Evolución de los embalses del sistema Bermejales (Hipótesis 8)

La evolución del estado de llenado que presenta el **embalse subterráneo Vega de Granada** puede constatarse a través de los parámetros de control impuestos en el modelo de autovalores que se ha utilizado, Estos parámetros de control hacen referencia a los caudales que son drenados por el acuífero al río Genil y a las medidas piezométricas en determinados puntos de la red oficial de control de las aguas subterráneas.

Respecto a la descarga que recibe el río Genil en régimen influenciado (Figura 297), el modelo de uso conjunto desarrollado para las condiciones de simulación de la Hipótesis 8 implica un drenaje promedio anual de 61,403 hm³, por lo que el balance comparativo de la recarga que recibe por infiltración de retornos de riegos respecto a los bombeos resulta bastante positivo (Figura 298), pero perjudicial en términos de calidad.

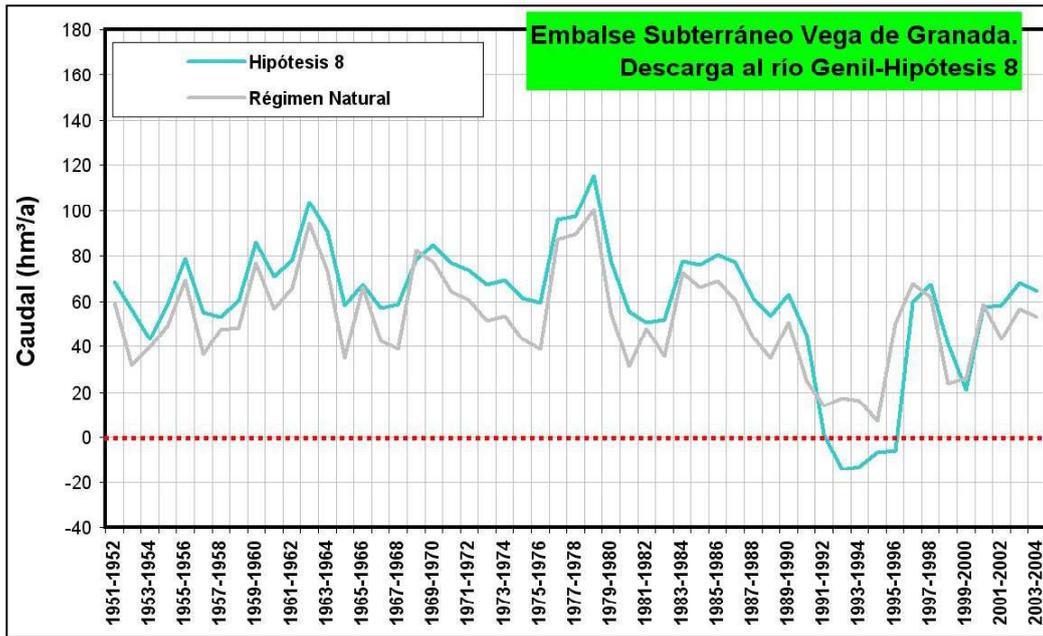


Figura 296. Simulación de la descarga que recibe el río Genil del embalse subterráneo Vega de Granada mediante el modelo de autovalores. Hipótesis 8

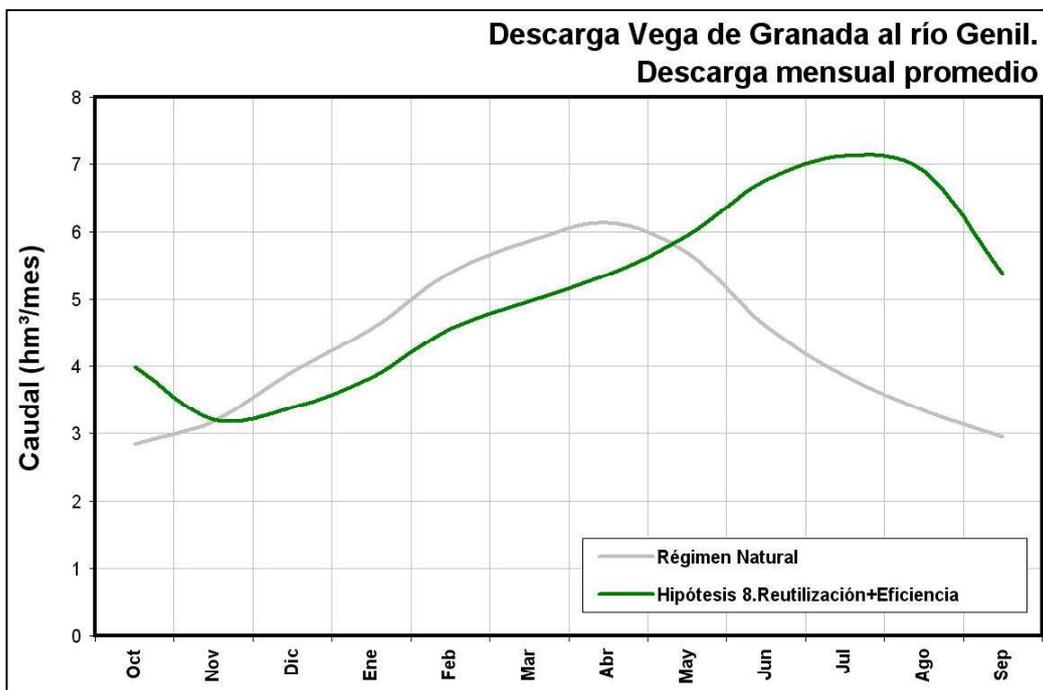


Figura 297. Comparativa de la descarga que recibe el río Genil del embalse subterráneo Vega de Granada

Asimismo, el volumen promedio anual de bombeos que registraría el embalse subterráneo sería de 23,518 hm³, con un máximo de 94,984 hm³. La cifra promedio de bombeos resulta inferior a la fijada para la hipótesis 1 (37,977 hm³/a) (Figura 299), debido a que la demanda del Consorcio Vega Granada-S^a Elvira deja de suministrarse con aguas subterráneas de la Vega de Granada (con problemas de calidad) para dotarse con aguas de Deifontes y del sistema Canales-Quéntar; además de la disminución de los bombeos para dotar riegos, por el incremento de la regulación del sistema Cubillas-Colomera al funcionar el embalse de Velillos y el ahorro de agua en regadíos por la mejora de la eficiencia y la reutilización de aguas residuales urbanas tratadas.

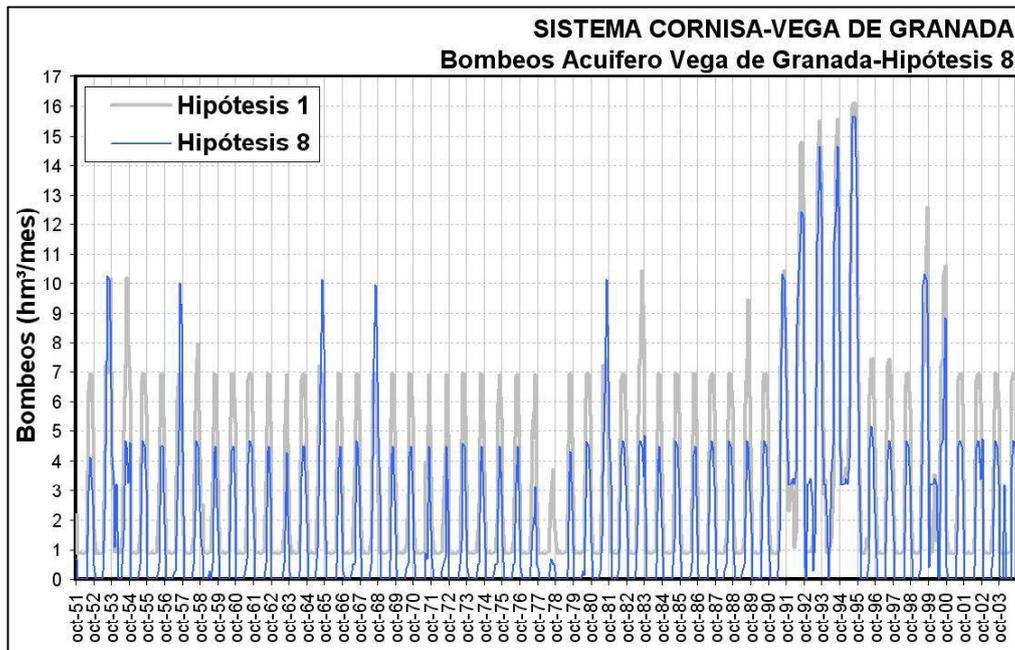


Figura 298. Bombeos en el embalse subterráneo Vega de Granada. Hipótesis 8

En lo referente a la evolución piezométrica que registraría el embalse subterráneo Vega de Granada ante las condiciones de simulación impuestas por el escenario de gestión vinculado a la Hipótesis 8, los resultados obtenidos ofrecen unos descensos piezométricos acusados en los periodos de más intensos bombeos (sequía 1993-95) (Figuras 300 y 301).

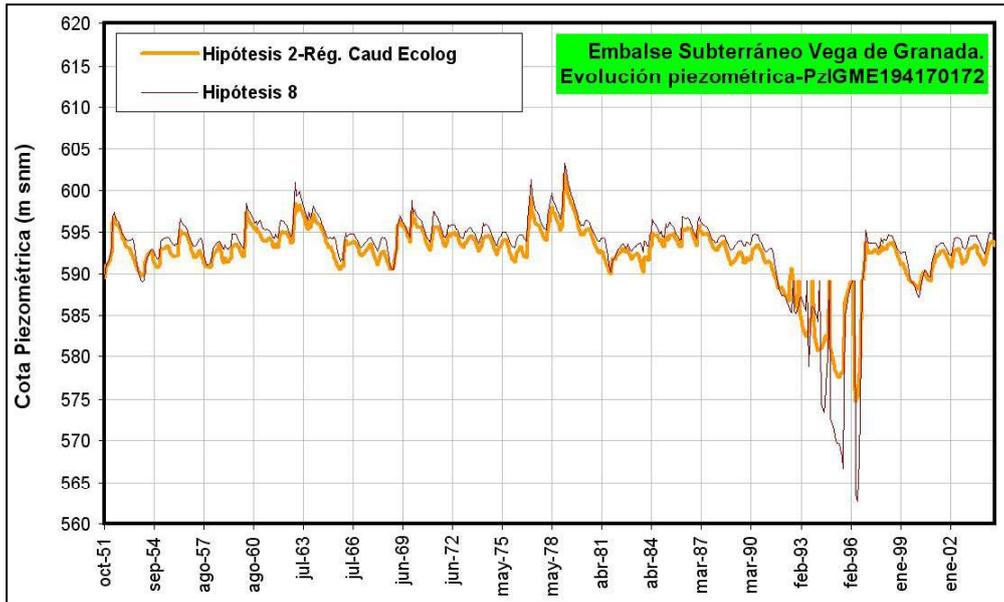


Figura 299. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 8. Piezómetro 194170172

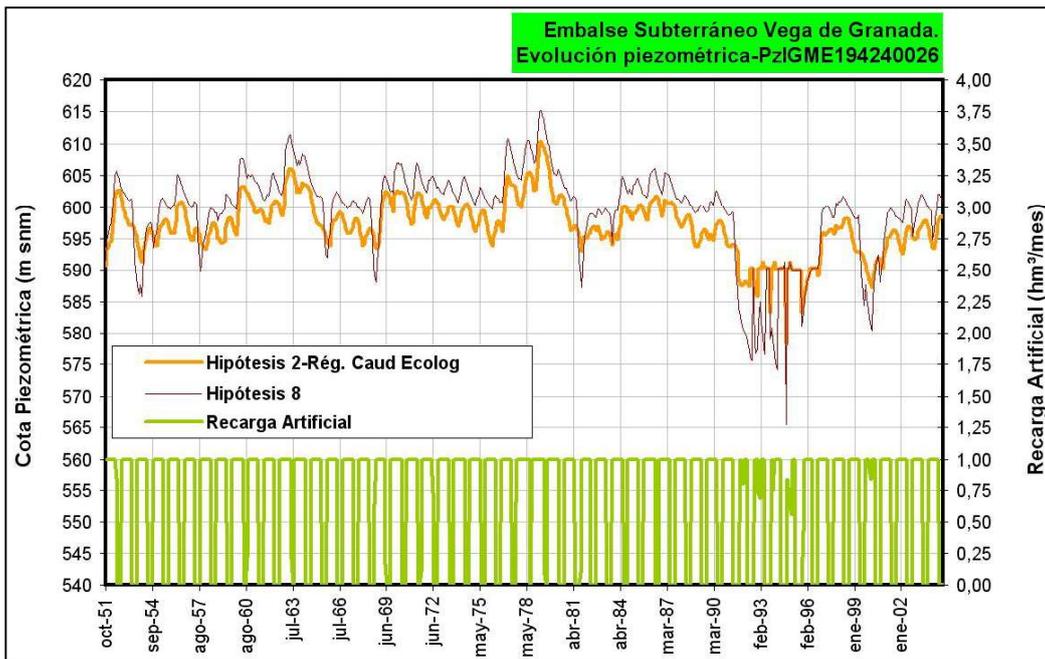


Figura 300. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 5. Piezómetro 194240026

El escenario de gestión simulado (hipótesis 8–Mejora Regadíos y Reutilización) ofrece unos sobrantes anuales promedio para el Sistema Cornisa–Vega de Granada de 365,733 hm³, que sería la aportación del sistema al embalse de Iznajar (río Genil). Esta aportación en régimen influenciado obtenida para la hipótesis 1 supone un 64,9% de la aportación en régimen natural.

El conjunto de demandas consuntivas anuales promedio servidas por el conjunto de infraestructuras del sistema se cifra en 330,566 hm³/a un 89,0% de la demanda total máxima del sistema para el escenario considerado (371,275 hm³/a), lo que indicaría un déficit promedio anual de 40,709 hm³.

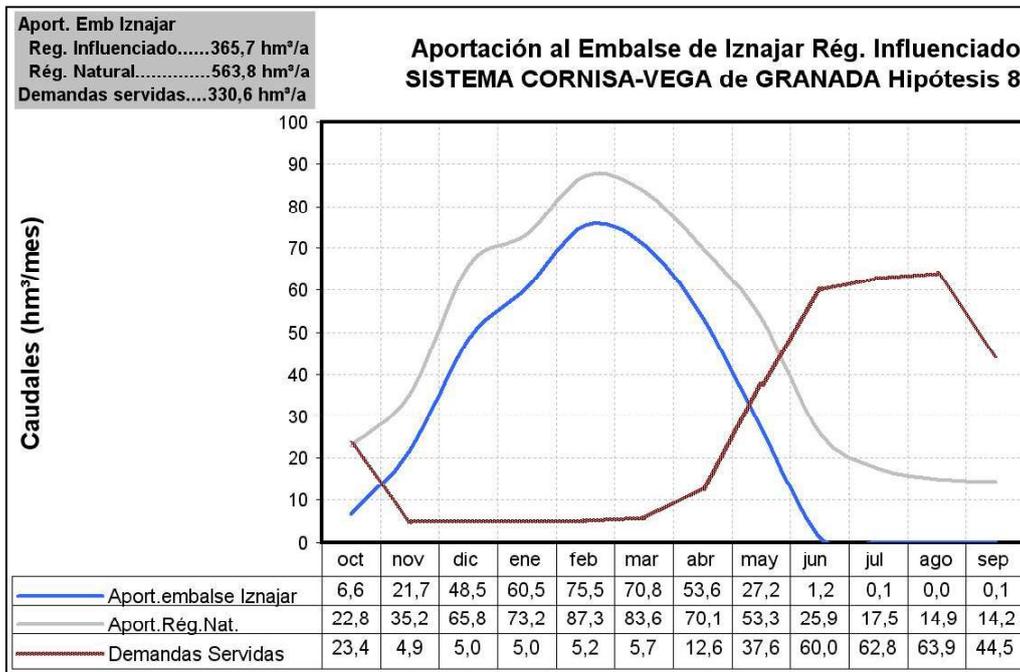


Figura 301. Aportación del Sistema Cornisa–Vega de Granada a Iznajar. Hipótesis 8

11.2.1.9 Apoyo al abastecimiento de la zona metropolitana de Granada con aguas subterráneas de los acuíferos de la Cornisa de Granada

Partiendo del escenario de simulación correspondiente a la hipótesis 4 (Conducción El Chaparral), se ha realizado una simulación en la que se incorporan al sistema de abastecimiento urbano de la Vega de Granada recursos subterráneos que serían captados en los acuíferos de la Cornisa de Granada (Padúl-La Peza y Albuñuelas) mediante la interposición de las correspondientes infraestructuras de captación de aguas subterráneas. La definición de las zonas de explotación favorables de aguas subterráneas se realizó en el marco de un estudio realizado por el IGME en colaboración con el Instituto del Agua–Junta de Andalucía (IGME–Junta de Andalucía, 2004).

De entre las 8 zonas de explotación favorables (Figura 303) se han seleccionado las zonas S–4 (Bco. Polvorista), S–5 (Bco. Tintín) y S–8 (Escúzar) como más favorables para su integración en las infraestructuras de abastecimiento existentes. El esquema de integración de aguas subterráneas correspondería a los siguientes escenarios:

- Infraestructuras de captación de aguas subterráneas en los sectores del río Aguas Blancas (S–4/Bco. Polvorista y S–5/Bco. Tintín) mediante la construcción de una batería de sondeos con capacidad para bombear 150 l/s (0,4 hm³/mes) que serían conducidos hasta el embalse de Quéntar, desde donde se apoyaría el abastecimiento urbano de los Consorcios de la Vega de Granada.
- Infraestructuras de captación de aguas subterráneas en el sector Escúzar (S–8) mediante la construcción de una batería de sondeos con capacidad para bombear 35 l/s (0,10 hm³/mes) que serían conducidos para abastecer a los municipios de la Comunidad del Temple.

La captación de aguas subterráneas en los sectores S-4 y S-5 se traducirá en una disminución de las descargas que los sectores hidrogeológicos de Aguas Blancas y A° Los Padules, definidos en la UH 05.31/La Peza (Anejo 7), descargarán al río Aguas Blancas, lo que puede afectar a los índices de garantía ecológicos del río Aguas Blancas. Esta circunstancia también ha sido analizada. La simulación en SIMGES del bombeo se ha materializado mediante la inclusión de un bombeo adicional en el acuífero La Peza-Quéntar/05.31 (Acuífero nº 18 del esquema topológico) de 0,4 hm³/mes , con descarga en el embalse de Quéntar.

La simulación en SIMGES del bombeo en el sector Escúzar (S-8) se ha materializado mediante la inclusión de un bombeo adicional en el acuífero Albuñuelas/05.42 (Acuífero nº 7 del esquema topológico) de 0,1 hm³/mes.

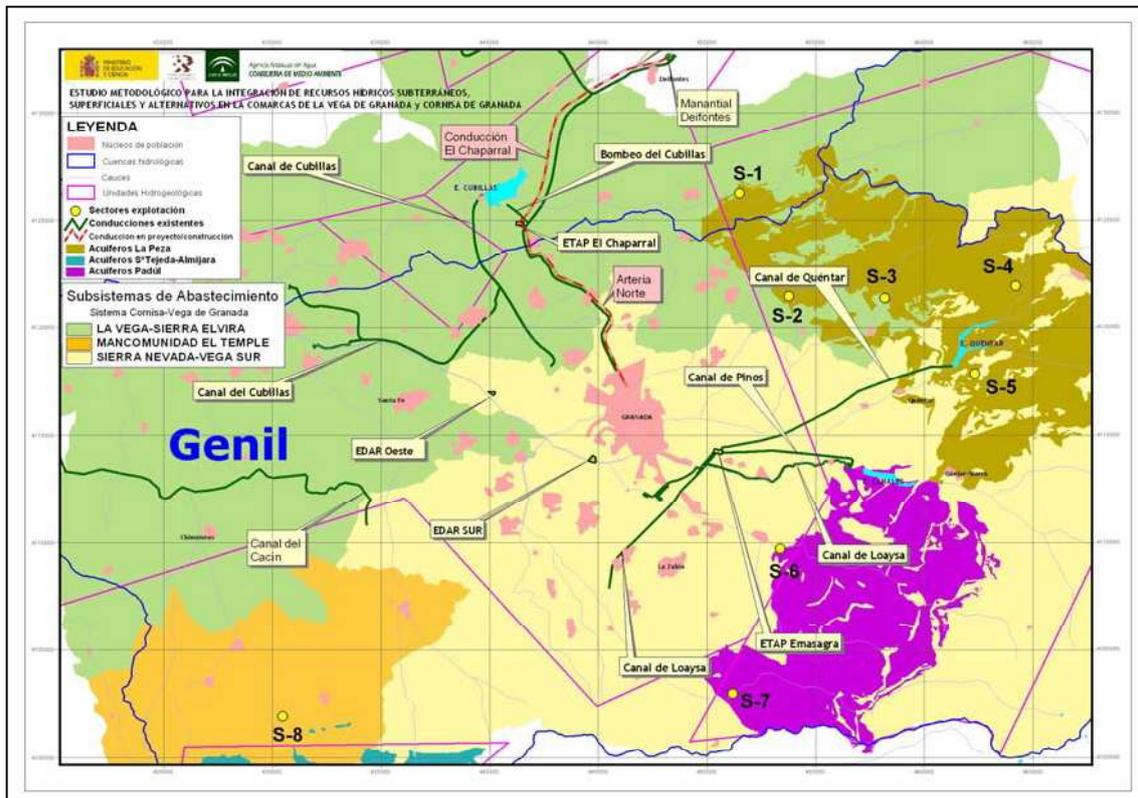


Figura 302. Sectores de explotación propuestos para el aprovechamiento de aguas subterráneas en la Cornisa de Granada

Los resultados de la simulación realizada (Hipótesis 4bis–Apoyo Abastecimiento Acuíferos Cornisa) se muestran en la tabla 140, y una comparativa con los resultados obtenidos en la Hipótesis–4, anteriormente explicada, se muestran en la tabla 141.

| HIPÓTESIS-4 EL CHAPARRAL | | Consorcio La Vega-S ^a Elvira | Consorcio S ^a Nevada-Vega Sur | Mancom. del Temple | Municipios Sector Septentrional | Regadíos Vega Granada | Regadíos Cornisa | Caudales ecológicos |
|--------------------------|-----------|---|--|--------------------|---------------------------------|-----------------------|------------------|---------------------|
| Garantía mensual | Nº Fallos | 0 | 127 | 0 | 0 | 236 | 252 | 203 |
| | Gm | 100,0% | 80,0% | 100,0% | 100,0% | 62,9% | 60,4% | 68,1% |
| | Gv | 100,0% | 97,2% | 100,0% | 100,0% | 85,4% | 74,3% | 90,5% |
| MDM (hm ³) | 1 mes | 0,000 | 1,060 | 0,000 | 0,000 | 55,981 | 10,617 | 7,703 |
| | 2 meses | 0,000 | 2,102 | 0,000 | 0,000 | 102,010 | 18,375 | 14,580 |
| PHN | Nº fallos | 0 | 9 | 0 | 0 | 53 | 53 | 32 |
| | Garantía | 100,0% | 83,0% | 100,0% | 100,0% | 0,0% | 0,0% | 39,6% |
| DEF15 | | CUMPLE | NO CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| DEF25 | | CUMPLE | NO CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| DEF50 | | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| DEF75 | | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |

Tabla 140. Resultados de la simulación Hipótesis 4bis–Apoyo Abastecimiento Acuíferos Cornisa

| ABASTECIMIENTO URBANO VEGA DE GRANADA | | Consorcio Sierra Nevada-Vega Sur | | Consorcio La Vega-S ^a Elvira | |
|---------------------------------------|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|-----------------------------------|
| | | HIPÓTESIS 4 (Sin bombeos Cornisa) | HIPÓTESIS 4 (Con bombeos Cornisa) | HIPÓTESIS 4 (Sin bombeos Cornisa) | HIPÓTESIS 4 (Con bombeos Cornisa) |
| | | Garantía mensual | Nº fallos | 126 | 127 |
| | Gm | 80,2% | 80,0% | 100,0% | 100,0% |
| | Gv | 97,1% | 97,2% | 100,0% | 100,0% |
| MDM (hm ³) | 1 mes | 1,060 | 1,060 | 0,000 | 0,000 |
| | 2 meses | 2,102 | 2,102 | 0,000 | 0,000 |
| PHN | Nº Fallos | 10 | 9 | 0 | 0 |
| | Garantía | 81,1% | 83,0% | 100,0% | 100,0% |
| DEF15 | | NO CUMPLE | NO CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE |
| DEF25 | | NO CUMPLE | NO CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE |
| DEF50 | | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE |
| DEF75 | | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE |

Tabla 141. Comparativa entre simulaciones (Hipótesis 4 y 4bis)

Los bombeos propuestos en Escúzar permitirán mejorar la calidad del agua suministrada para el abastecimiento urbano a los municipios de la Mancomunidad del Temple, no imponiendo mejoras en los indicadores de garantía.

La incorporación de los bombeos en el acuífero La Peza al sistema de abastecimiento a la zona metropolitana de Granada no supondría una mejora sustancial de la situación del abastecimiento al Consorcio Sierra Nevada-Vega Sur, si el agua bombeada se envía al embalse de Quéntar, por la exigencia de los caudales ecológicos en el río Aguas Blancas impuesta en el esquema de gestión. Si por el contrario, el agua bombeada en los sondeos del Bco. Polvorista y del Bco. Tintín se envían directamente a la ETAP de Granada, se consiguen unos mejores resultados en el abastecimiento (tabla 142), sin que esta actuación supongan una merma significativa sobre los índices de garantía ecológica (tabla 143).

| ABASTECIMIENTO URBANO VEGA DE GRANADA | | Consorcio Sierra Nevada-Vega Sur | | Consorcio La Vega-S ^a Elvira | |
|---------------------------------------|-----------|-----------------------------------|--|---|--|
| | | HIPÓTESIS 4 (Sin bombeos Cornisa) | HIPÓTESIS 4 (Con bombeos Cornisa-ETAP Granada) | HIPÓTESIS 4 (Sin bombeos Cornisa) | HIPÓTESIS 4 (Con bombeos Cornisa-ETAP Granada) |
| Garantía mensual | Nº fallos | 126 | 57 | 0 | 0 |
| | Gm | 80,2% | 91,0% | 100,0% | 100,0% |
| | Gv | 97,1% | 99,0% | 100,0% | 100,0% |
| MDM (hm ³) | 1 mes | 1,060 | 0,660 | 0,000 | 0,000 |
| | 2 meses | 2,102 | 1,302 | 0,000 | 0,000 |
| PHN | Nº Fallos | 10 | 0 | 0 | 0 |
| | Garantía | 81,1% | 100,0% | 100,0% | 100,0% |
| DEF15 | | NO CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE |
| DEF25 | | NO CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE |
| DEF50 | | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE |
| DEF75 | | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE |

Tabla 142. Comparativa entre simulaciones (Hipótesis 4 y 4bis-alternativa 2)

| CAUDALES ECOLÓGICOS CAUCES ALTO GENIL | | Caudales ecológicos | | |
|---------------------------------------|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|--|
| | | HIPÓTESIS 4 (Sin bombeos Cornisa) | HIPÓTESIS 4 (Con bombeos Cornisa) | HIPÓTESIS 4 (Con bombeos Cornisa-ETAP Granada) |
| Garantía mensual | Nº fallos | 203 | 203 | 203 |
| | Gm | 68,08% | 68,08% | 68,08% |
| | Gv | 89,71% | 89,71% | 89,07% |
| MDM (hm ³) | 1 mes | 7,993 | 7,993 | 8,100 |
| | 2 meses | 15,175 | 15,175 | 15,373 |
| PHN | Nº Fallos | 32 | 32 | 32 |
| | Garantía | 39,62% | 39,62% | 39,62% |
| DEF15 | | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| DEF25 | | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| DEF50 | | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| DEF75 | | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |

Tabla 143. Comparativa índices de garantía ecológica

Para homogeneizar los índices de garantía en el suministro urbano a los Consorcios de La Vega de Granada sería necesario bombear en el acuífero La Peza 1 hm³/mes (386 l/s), bajo este régimen de explotación del embalse subterráneo se alcanzarían los índices de garantía que se muestran en la tabla 144 y los índices de garantía ecológico corresponderían a los que se indican en la tabla 145.

| ABASTECIMIENTO URBANO VEGA DE GRANADA | | Consorcio Sierra Nevada-Vega Sur | | Consorcio La Vega-S ^a Elvira | |
|---------------------------------------|-----------|-----------------------------------|--|---|--|
| | | HIPÓTESIS 4 (Sin bombeos Cornisa) | HIPÓTESIS 4 (Con bombeos Cornisa-ETAP Granada) | HIPÓTESIS 4 (Sin bombeos Cornisa) | HIPÓTESIS 4 (Con bombeos Cornisa-ETAP Granada) |
| Garantía mensual | Nº fallos | 126 | 17 | 0 | 0 |
| | Gm | 80,2% | 97,3% | 100,0% | 100,0% |
| | Gv | 97,1% | 100,0% | 100,0% | 100,0% |
| MDM | 1 mes | 1,060 | 0,060 | 0,000 | 0,000 |
| | 2 meses | 2,102 | 0,102 | 0,000 | 0,000 |
| PHN | Nº Fallos | 10 | 0 | 0 | 0 |
| | Garantía | 81,1% | 100,0% | 100,0% | 100,0% |
| DEF15 | | NO CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE |
| DEF25 | | NO CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE |
| DEF50 | | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE |
| DEF75 | | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE |

Tabla 144. Comparativa entre simulaciones (Hipótesis 4 y 4bis-alternativa 2)

| CAUDALES ECOLÓGICOS CAUCES ALTO GENIL | | Caudales ecológicos | | |
|---------------------------------------|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|--|
| | | HIPÓTESIS 4 (Sin bombeos Cornisa) | HIPÓTESIS 4 (Con bombeos Cornisa) | HIPÓTESIS 4 (Con bombeos Cornisa-ETAP Granada) |
| Garantía mensual | Nº fallos | 203 | 203 | 203 |
| | Gm | 68,08% | 68,08% | 68,08% |
| | Gv | 89,71% | 89,71% | 88,58% |
| MDM (hm ³) | 1 mes | 7,993 | 7,993 | 8,100 |
| | 2 meses | 15,175 | 15,175 | 15,373 |
| PHN | Nº Fallos | 32 | 32 | 32 |
| | Garantía | 39,62% | 39,62% | 39,62% |
| DEF15 | | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| DEF25 | | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| DEF50 | | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| DEF75 | | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |

Tabla 145. Comparativa índices de garantía ecológica

En la tabla 146 se muestra la comparativa de los índices de garantía ecológica pero particularizados a los cauces del sistema Canales-Quéntar (ríos Aguas Blancas y Genil), donde se observa como el bombeo de aguas subterráneas impuesto en la cabecera del embalse de Quéntar no influye significativamente en los índices de garantía ecológicos.

| CAUDALES ECOLÓGICOS SISTEMA CANALES-QUÉNTAR | | Caudales ecológicos | | |
|---|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|--|
| | | HIPÓTESIS 4 (Sin bombeos Cornisa) | HIPÓTESIS 4 (Con bombeos Cornisa) | HIPÓTESIS 4 (Con bombeos Cornisa-ETAP Granada) |
| Garantía mensual | Nº fallos | 129 | 129 | 137 |
| | Gm | 79,72% | 79,72% | 78,46% |
| | Gv | 90,53% | 90,53% | 88,74% |
| MDM (hm ³) | 1 mes | 5,103 | 5,103 | 5,210 |
| | 2 meses | 9,877 | 9,877 | 10,075 |
| PHN | Nº Fallos | 28 | 28 | 29 |
| | Garantía | 47,17% | 47,17% | 45,28% |
| | DEF15 | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| | DEF25 | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| | DEF50 | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |
| | DEF75 | NO CUMPLE | NO CUMPLE | NO CUMPLE |

Tabla 146. Comparativa índices de garantía ecológica en el Sistema Canales-Quéntar (ríos Genil y Aguas Blancas)

Si se mantiene un esquema de satisfacción de las demandas ecológicas como el descrito en la hipótesis-2 para los cauces del Alto Genil (Figura 187), en el que se hacen participar a los embalses en la satisfacción de las demandas ecológicas impuestas en los cauces, resulta más ventajoso, en términos de gestión, plantear que el bombeo que pudiera realizarse desde el embalse subterráneo Aguas Blancas (UH 05.31/La Peza), en los sectores del Bco. Del Polvorista y del Bco. de Tintín, se envíe directamente a la ETAP de Lancha de Genil y no al embalse de Quéntar.

Los bombeos a efectuar en el embalse subterráneo Aguas Blancas (UH 05.31 /La Peza) implican un régimen promedio anual de 3,06 hm³ (98 l/s de caudal continuo), según se muestra en las Figuras 304 y 305.

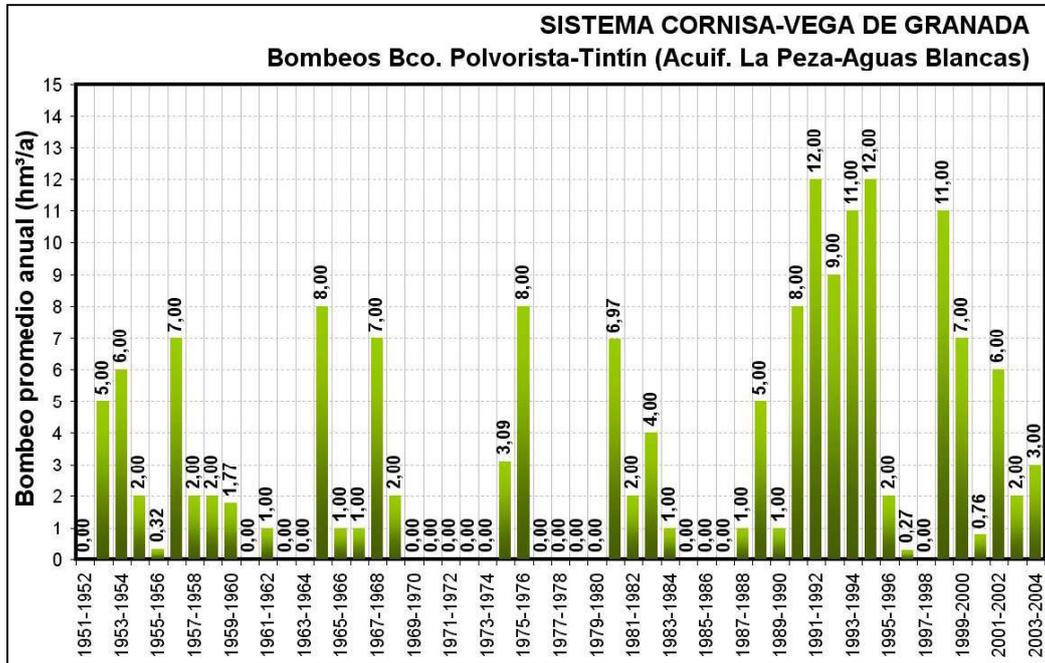


Figura 303. Simulación de bombeos embalse subterráneo Aguas Blancas. Promedio mensual

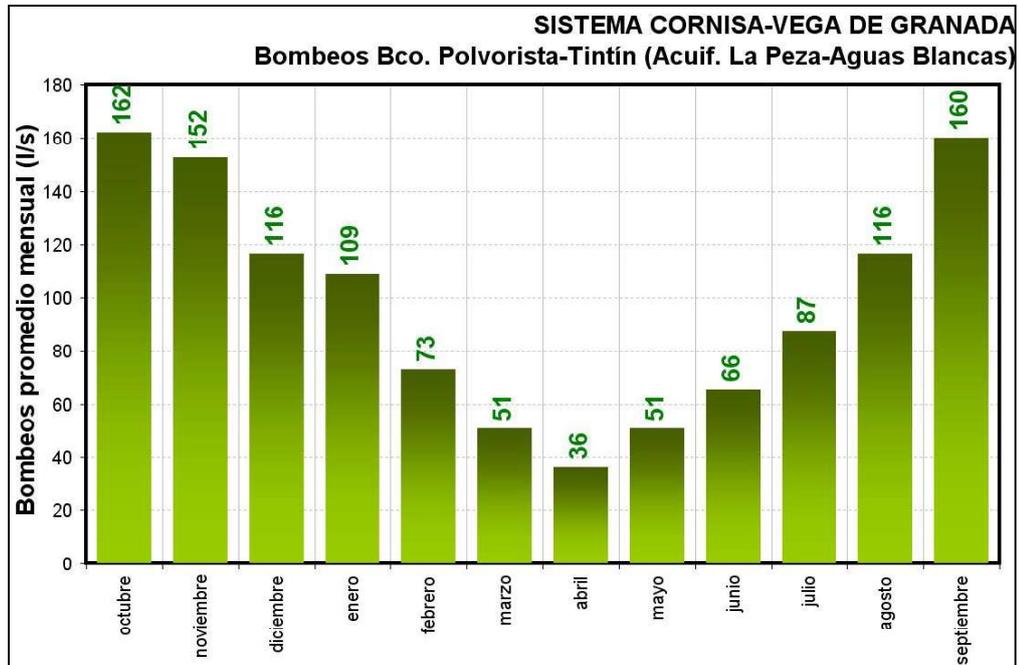


Figura 304. Simulación de bombeos embalse subterráneo Aguas Blancas. Bombeo total anual

11.3 COMPARACIÓN DE SIMULACIONES

El modelo desarrollado, mediante el uso de la herramienta AQUATOOL, para la simulación de la gestión conjunta del sistema Cornisa-Vega de Granada ha permitido evaluar la respuesta de este sistema hidráulico bajo diferentes hipótesis de simulación, las cuales se resumen en el cuadro adjunto.

| Hipótesis de simulación | | Infraestructuras | | | | Demandas | | |
|-------------------------|---|---------------------|--------------------------------|------------------------------------|--|---|---|------------------------|
| | | Embalse de Velillos | Conducción y ETAP El Chaparral | Recarga artificial Vega de Granada | Mejora eficiencia riegos Vega de Granada | Caudales ecológicos PHCG ^(a) | Régimen de caudales ecológicos críticos | Desarrollo urbanístico |
| 1 | Estado cero | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO |
| 2 | Régimen Caudales Ecológicos Críticos | NO | NO | NO | NO | NO | SI | NO |
| 3 | Caudales Ecológicos PHCG | NO | NO | NO | NO | SI | NO | NO |
| 4 | Conducción El Chaparral ^(b) | NO | SI | NO | NO | NO | SI | NO |
| 5 | Embalse Velillos | SI | SI | NO | NO | NO | SI | NO |
| 6 | Recarga artificial Vega Granada | SI | SI | SI | SI | NO | SI | NO |
| 7 | Incremento demanda urbana | SI | SI | SI | NO | NO | SI | SI |
| 8 | Mejora eficiencia riegos y reutilización aguas tratadas | SI | SI | SI | SI | NO | SI | NO |

^(a) Caudales ecológicos considerados en el Plan Hidrológico de la Cuenca del Guadalquivir para los ríos asociados a los Parques Naturales de Sierra Huétor y Sierra Nevada (Darro-Beas, Aguas Blancas, Genil, Monachil y Dílar)

^(b) Se ha efectuado una simulación considerando el apoyo al abastecimiento urbano de la zona metropolitana de Granada con aguas subterráneas captadas en los acuíferos de la Cornisa de Granada (La Peza y Albuñuelas)

Tabla 147. *Hipótesis de simulación consideradas en el modelo SIMGES desarrollado para el Sistema Cornisa-Vega de Granada*

| HIPÓTESIS para la SIMULACIÓN de la GESTIÓN CONJUNTA del SISTEMA CORNISA-VEGA de GRANADA | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|-------------|--------------------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------|---------------------------------|---------------------------|--|
| | Estado cero | Régimen Caudales Ecológicos Críticos | Caudales Ecológicos PHCG | Conducción El Chaparral | Embalse Veñillos | Recarga artificial Vega Granada | Incremento demanda urbana | Mejora eficiencia riegos y reutilización aguas depuradas |
| ELEMENTOS DEL ESQUEMA TOPOLÓGICO | | | | | | | | |
| NUDOS SISTEMA FISICO | 141 | 141 | 141 | 142 | 142 | 142 | 142 | 142 |
| EMBALSES | 5 | 5 | 5 | 5 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| TRAMOS RIO TIPO 1 | 109 | 109 | 109 | 111 | 112 | 112 | 112 | 112 |
| TRAMOS RIO TIPO 2 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| TRAMOS RIO TIPO 3 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| CONDUCCIONES TIPO 4 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| CONDUCCIONES TIPO 5 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| APORTACIONES INTERMEDIAS | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 |
| DEMANDAS CONSUNTIVAS | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 |
| DEMANDAS NO CONSUNTIVAS | - | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| TOMA EN DEMANDAS | 43 | 47 | 47 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 |
| INSTALACIONES RECARGA ARTIFICIAL | - | - | - | - | - | 1 | 1 | 1 |
| ACUIFEROS | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| BOMBEO ADICIONALES | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| RETORNOS | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 |
| GRUPOS ISOPRIORITARIOS | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| INDICADORES RESTRICCIÓN | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabla 148. Elementos considerados en el esquema topológico correspondiente a cada escenario de simulación considerado

Mediante las simulaciones efectuadas se puede evaluar la respuesta del sistema ante la implantación de las diferentes infraestructuras o mejoras de regulación previstas para este sistema; la imposición de restricciones ambientales mediante la priorización del mantenimiento de un régimen de caudales ecológicos en los cauces de mayor interés hidroecológico; o la modificación de la cuantía de las demandas consuntivas, bien por incremento de la demanda urbana (desarrollo urbanístico) o ahorro de agua para el regadío (mejora eficiencia).

Para el análisis comparativo de los resultados que ofrecen los diferentes escenarios de gestión considerados se puede utilizar los indicadores de garantía en la satisfacción de las demandas obtenidos en cada hipótesis de simulación, los cuales se resumen en las tablas 149 a 151.

| Índices de garantía | | Garantía mensual (Gm) | | | | | | |
|---------------------|--|---|--|--------------------|----------------------------|-----------------------|------------------|---------------------|
| | | Demandas Urbanas | | | | Demandas Agrícola | | Caudales ecológicos |
| | | Consortio La Vega-S ^a Elvira | Consortio S ^a Nevada-Vega Sur | Mancom. del Temple | Municipios Sector Septent. | Regadíos Vega Granada | Regadíos Cornisa | |
| 1 | Estado cero | 99,7% | 99,4% | 100,0% | 100,0% | 66,8% | 60,4% | - |
| 2 | Régimen Caudales Ecológicos Críticos | 93,2% | 81,8% | 100,0% | 100,0% | 61,3% | 50,0% | 81,4% |
| 3 | Caudales Ecológicos PHCG | 99,7% | 94,5% | 100,0% | 100,0% | 63,8% | 61,5% | 91,7% |
| 4 | Conducción El Chaparral | 100,0% | 80,2% | 100,0% | 100,0% | 62,9% | 60,4% | 68,1% |
| 5 | Embalse Velillos | 100,0% | 80,5% | 100,0% | 100,0% | 62,9% | 60,4% | 68,1% |
| 6 | Recarga artificial Vega Granada | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 62,9% | 60,4% | 68,1% |
| 7 | Incremento demanda urbana | 86,9% | 58,0% | 100,0% | 55,3% | 58,3% | 60,4% | 68,1% |
| 8 | Mejora eficiencia riegos y reutilización aguas depuradas | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 62,9% | 60,4% | 68,1% |

Tabla 149. Análisis comparativo escenarios de gestión conjunta simulados. Garantía mensual (Gm)

| Índices de garantía | | Garantía volumétrica (Gv) | | | | | | |
|---------------------|--|---|--|--------------------|----------------------------|-----------------------|------------------|---------------------|
| | | Demandas Urbanas | | | | Demandas Agrícola | | Caudales ecológicos |
| | | Consortio La Vega-S ^a Elvira | Consortio S ^a Nevada-Vega Sur | Mancom. del Temple | Municipios Sector Septent. | Regadíos Vega Granada | Regadíos Cornisa | |
| 1 | Estado cero | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 87,9% | 74,7% | - |
| 2 | Régimen Caudales Ecológicos Críticos | 99,3% | 98,6% | 100,0% | 100,0% | 85,1% | 61,8% | 94,5% |
| 3 | Caudales Ecológicos PHCG | 100,0% | 99,6% | 100,0% | 100,0% | 87,5% | 73,5% | 98,3% |
| 4 | Conducción El Chaparral | 100,0% | 97,1% | 100,0% | 100,0% | 85,4% | 74,3% | 89,7% |
| 5 | Embalse Velillos | 100,0% | 97,2% | 100,0% | 100,0% | 86,9% | 78,6% | 89,7% |
| 6 | Recarga artificial Vega Granada | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 87,2% | 78,6% | 89,7% |
| 7 | Incremento demanda urbana | 98,8% | 83,6% | 100,0% | 98,4% | 82,2% | 77,8% | 87,7% |
| 8 | Mejora eficiencia riegos y reutilización aguas depuradas | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 89,2% | 78,8% | 91,9% |

Tabla 150. Análisis comparativo escenarios de gestión conjunta simulados. Garantía volumétrica (Gv)

| Índices de garantía | | Máximo Déficit Mensual hm ³ (MDM) | | | | | | |
|---------------------|--|--|--|--------------------|----------------------------|-----------------------|------------------|---------------------|
| | | Demandas Urbanas | | | | Demandas Agrícola | | Caudales ecológicos |
| | | Consorcio La Vega-S ^a Elvira | Consorcio S ^a Nevada-Vega Sur | Mancom. del Temple | Municipios Sector Septent. | Regadíos Vega Granada | Regadíos Cornisa | |
| 1 | Estado cero | 0,09 | 0,16 | 0,00 | 0,00 | 56,09 | 10,63 | - |
| 2 | Régimen Caudales Ecológicos Críticos | 0,17 | 0,43 | 0,00 | 0,00 | 55,58 | 12,12 | 5,18 |
| 3 | Caudales Ecológicos PHCG | 0,14 | 0,43 | 0,00 | 0,00 | 56,44 | 10,68 | 4,50 |
| 4 | Conducción El Chaparral | 0,00 | 1,06 | 0,00 | 0,00 | 56,38 | 10,62 | 7,99 |
| 5 | Embalse Velillos | 0,00 | 1,06 | 0,00 | 0,00 | 56,38 | 10,62 | 7,99 |
| 6 | Recarga artificial Vega Granada | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 54,72 | 10,62 | 7,99 |
| 7 | Incremento demanda urbana | 3,61 | 4,29 | 0,00 | 0,02 | 54,01 | 10,62 | 7,99 |
| 8 | Mejora eficiencia riegos y reutilización aguas depuradas | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 44,92 | 10,60 | 7,99 |

Tabla 151. Análisis comparativo escenarios de gestión conjunta simulados. Máximo Déficit Mensual (MDM)

Analizando de forma comparativa los resultados obtenidos para los diferentes escenarios de simulación se obtienen las siguientes conclusiones:

- La demanda urbana, considerando los datos de demanda utilizados en las simulaciones de gestión conjunta como demanda actual del sistema (62,82 hm³/a con la siguiente distribución: Consorcio La Vega-Sierra Elvira: 15,3 hm³/a; Consorcio Sierra Nevada-Vega Sur: 38,9 hm³/a; Mancomunidad del Temple 0,7 hm³/a; municipios de la zona septentrional de la Cornisa de Granada: 3,4 hm³/a; y municipios del Valle del Cacín: 4,51 hm³/a) está asegurada si se emplean esquemas de gestión conjunta en los que se utilice el embalse subterráneo Vega de Granada como apoyo a los sistemas de regulación superficiales.
- La sustitución de los sondeos para abastecimiento que existen en la Vega de Granada afectados por la contaminación de origen antrópico que sufre este

embalse subterráneo es factible si se procede a aportar recursos de fuentes alternativas, como aquellos procedentes de Deifontes (infraestructuras El Chaparral -10,4 a 10,9 hm³/a-) y por el incremento de los bombeos en zonas de este embalse subterráneo no afectadas por la contaminación (Campo de Pozos Ronda Sur -4,5 a 9,5 hm³/a-). Esta última actuación podría ir acompañada de la recarga artificial de este embalse subterráneo con excedentes invernales de los ríos Genil y Monachil (8,1 hm³/a), al objeto de mejorar la respuesta hidrodinámica del acuífero ante los bombeos tan exigentes que será necesario imponer en situaciones de sequía (tabla 152).

| HIPÓTESIS de SIMULACIÓN | Descarga promedio acuífero Vega Granada al río Genil (hm ³ /a) | Bombeos Vega de Granada (hm ³ /a) | | Rec.Art. Vega de Granada (hm ³ /a) | | Bombeos Ronda Sur (hm ³ /a) | Conducción Deifontes-ETAP El Chaparral (hm ³ /a) |
|--|---|--|--------|---|--------|--|---|
| | | Promedio | Máximo | Promedio | Máximo | | |
| Régimen Natural | 52,285 | - | - | - | - | - | - |
| Hipótesis 1.Estado Actual | 43,211 | 37,98 | 100,84 | - | - | 1,35 | - |
| Hipótesis 2.Caudal Ecológico Crítico | 41,303 | 48,43 | 108,47 | - | - | 5,39 | - |
| Hipótesis 3.Caudal Ecológico PHCG | 56,138 | 39,55 | 105,72 | - | - | 1,91 | - |
| Hipótesis 4.Conducción El Chaparral | 49,117 | 35,18 | 97,00 | - | - | 4,52 | 10,434 |
| Hipótesis 5.Embalse Velillos | 53,751 | 31,07 | 97,00 | - | - | 5,65 | 10,821 |
| Hipótesis 6.Recarga Artificial Vega de Granada | 57,570 | 32,06 | 102,07 | 0,68 | 8,13 | 9,53 | 10,856 |
| Hipótesis 7.Incremento Demanda Urbana | 36,077 | 54,28 | 121,71 | 0,78 | 9,38 | 27,17 | 25,515 |
| Hipótesis 8. Reutilización+Eficiencia Regadíos Vega de Granada | 61,403 | 23,52 | 94,98 | 0,68 | 8,14 | 5,33 | 10,358 |

Tabla 152. Datos resumen simulaciones

- El régimen de caudales ecológicos fijados para los cauces asociados a los parques naturales de Sierra Huétor y Sierra Nevada, simulados como una demanda no consuntiva, presenta unos indicadores de garantía muy desfavorables en el conjunto de simulaciones realizadas. El déficit máximo mensual fijado para estas demandas no consuntivas es de 7,99 hm³. Si se considera el escenario asociado a los caudales ecológicos mínimo que se

derivan de aplicar el Plan de Directrices del Plan Hidrológico de la Cuenca del Guadalquivir a los cauces considerados (hipótesis 3), los índices de garantía mejoran sensiblemente y el máximo déficit mensual de estas demandas se fija en 4,50 hm³/mes (tabla 151).

- La puesta en funcionamiento del embalse de Velillos como alternativa para redotar las zonas regables del sistema Cubillas-Colomera no aporta una mejora sustancial en la situación de estos regadíos, ya que en periodos de intensa sequía la aportación de este embalse es muy limitada en función de que la escorrentía que recibe no dispone de un caudal base significativo (carece, en su cuenca de aportación de drenajes relevantes procedentes de embalses subterráneos) y no presenta una regulación hiperanual. De hecho los indicadores de garantía de las zonas regables del sistema Cubillas-Colomera no registran una respuesta positiva de relevancia con la puesta en funcionamiento de este embalse (hipótesis 5) (tabla 153).
- Los regadíos de la Vega de Granada presentan unos indicadores de garantía bastante positivos, excepto las zonas regables de Alfacar-Beas (manantiales triásicos) y Alto Genil, como consecuencia de la competencia que se genera entre estas demandas agrícolas y otras demandas declaradas de mayor prioridad (ecológicas y abastecimiento urbano); y las zonas regables de las comarcas de Montefrío y Alhama de Granada, por la escasa cuantía fijada para los bombeos de aguas subterráneas en SIMGES. En cualquier caso, los indicadores de garantía de las demandas agrícolas de La Vega de Granada mejoran sustancialmente cuando se simula la opción de ahorro de agua por aumento de la eficiencia en el riego (hipótesis 8).

| ZONAS REGABLES PHCG | Demandas SIMGES | HIPÓTESIS 1 | | HIPÓTESIS 2 | | HIPÓTESIS 3 | | HIPÓTESIS 4 | | HIPÓTESIS 5 | | HIPÓTESIS 6 | | HIPÓTESIS 7 | | HIPÓTESIS 8 | |
|--|--|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|
| | | Nº Fallos | MDM (hm ³) |
| Zona Regable Canal del Cacín | 8 Zona Regable del Canal del Cacín | 14 | 7,46 | 13 | 7,59 | 12 | 7,49 | 11 | 7,47 | 10 | 7,47 | 9 | 7,47 | 7 | 7,48 | 6 | 6,16 |
| Zona Regable Vega de Granada | 16 Vega Granada-Vega Alta | 25 | 6,99 | 89 | 6,99 | 38 | 6,99 | 99 | 6,99 | 97 | 6,99 | 100 | 6,99 | 202 | 6,99 | 39 | 5,60 |
| | 17 Vega Granada-Monachil-Dílar | 129 | 2,84 | 124 | 2,02 | 127 | 2,70 | 126 | 2,74 | 126 | 2,74 | 124 | 2,74 | 125 | 2,74 | 87 | 1,61 |
| | 19 Vega Granada-Alfacar-Beas (manantiales triásicos) | 211 | 2,08 | 246 | 2,08 | 230 | 2,08 | 236 | 2,08 | 236 | 2,08 | 236 | 2,08 | 238 | 2,08 | 236 | 2,06 |
| | 20 Vega Granada-Vega Media MI | 73 | 3,93 | 92 | 3,93 | 59 | 3,93 | 65 | 3,93 | 47 | 3,93 | 46 | 3,93 | 115 | 3,93 | 24 | 3,22 |
| | 21 Vega Granada-Cijuela-Láchar | 14 | 0,75 | 13 | 0,75 | 12 | 0,74 | 12 | 0,74 | 11 | 0,74 | 10 | 0,74 | 7 | 0,74 | 6 | 0,67 |
| | 22 Vega Granada-Fte Vaqueros-Valdecaballeros | 6 | 0,67 | 6 | 0,71 | 6 | 0,68 | 6 | 0,70 | 5 | 0,68 | 5 | 0,68 | 4 | 0,68 | 3 | 0,38 |
| | 9 Vega Baja del Genil | 13 | 12,35 | 13 | 11,67 | 12 | 12,77 | 11 | 12,47 | 10 | 12,47 | 9 | 10,83 | 7 | 10,01 | 6 | 8,18 |
| Zona Regable Cubillas-Colomera | 24 Vega Granada-Pantano Cubillas | 35 | 3,08 | 34 | 3,21 | 32 | 3,11 | 36 | 3,14 | 17 | 3,16 | 17 | 3,14 | 30 | 3,22 | 13 | 2,49 |
| | 25 Vega Granada-Canal Cubillas | 11 | 2,13 | 13 | 2,22 | 10 | 2,14 | 12 | 2,22 | 9 | 2,22 | 9 | 2,22 | 10 | 2,24 | 5 | 1,34 |
| | 26 Vega Granada-Canal Albolote | 58 | 4,68 | 58 | 4,77 | 72 | 4,69 | 70 | 4,77 | 22 | 4,77 | 22 | 4,77 | 40 | 4,78 | 19 | 3,91 |
| | 23 Vega Granada-Veilillos | 149 | 0,55 | 207 | 1,05 | 148 | 0,55 | 149 | 0,55 | 15 | 0,55 | 15 | 0,55 | 22 | 0,55 | 11 | 0,72 |
| Máximo déficit mensual registrado (hm ³) | | | 47,51 | | 47,00 | | 47,86 | | 47,80 | | 47,80 | | 46,14 | | 45,43 | | 36,34 |

MDM (hm³). Máximo déficit mensual registrado

Tabla 153. Resultados índices de garantía demandas agrícolas zonas regables Vega de Granada

- El incremento en la demanda urbana pronosticado en función del potencial desarrollo urbanístico de la zona metropolitana de Granada (aumento de la demanda urbana en 65,1 hm³/a respecto a la demanda actual) sumiría al sistema en una situación crítica, alcanzándose déficits máximos mensuales de 7,904 hm³ en el abastecimiento urbano.

Analizando la respuesta de los embalses ante los diferentes escenarios de simulación fijados se obtienen como principales conclusiones las siguientes (tabla 154):

- La implicación de los embalses en el mantenimiento del exigente régimen de caudales ecológicos en los cauces vinculados a los parques naturales de S^a Huétor y S^a Nevada supone una merma considerable en los caudales que los embalses del sistema Canales-Quéntar pueden suministrar para la satisfacción de las demandas consuntivas dependientes.
- El incremento de regulación que supondría la puesta en funcionamiento el embalse de Velillos no es suficientemente significativa.
- La implantación de mejoras en los regadíos (aumento eficiencia) y la reutilización de aguas depuradas implica una situación más favorable en los almacenamientos superficiales y mayor seguridad en el abastecimiento urbano.

| HIPÓTESIS SIMULACIÓN | | Almacenamiento (hm ³ /mes) | Evaporación (hm ³ /a) | Suministros (hm ³) |
|----------------------|--|--|-------------------------------------|-----------------------------------|
| HIP-1 | Estado actual | 158,68 | 7,25 | 154,42 |
| HIP-2 | Régimen Caudales Ecológicos Críticos | 140,72 | 6,73 | 135,22 |
| HIP-3 | Caudales Ecológicos PHCG | 156,32 | 7,19 | 146,10 |
| HIP-4 | Conducción El Chaparral | 143,65 | 6,81 | 136,58 |
| HIP-5 | Embalse Velillos | 189,95 | 9,33 | 141,20 |
| HIP-8 | Mejora eficiencia riegos y reutilización aguas depuradas | 216,32 | 10,23 | 119,58 |

Tabla 154. *Respuesta de los embalses en los diferentes escenarios de simulación*

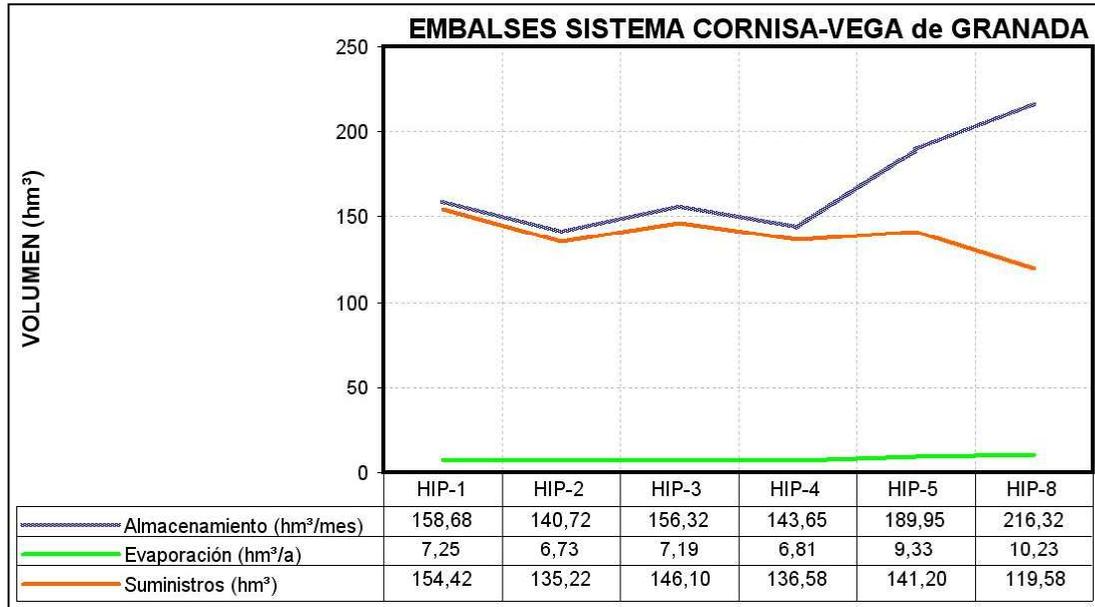


Figura 305. Respuesta de los embalses en los diferentes escenarios de simulación

| HIPÓTESIS | | Demanda Urbana servida (hm³/a) | Demanda Agrícola servida (hm³/a) | % Demanda Urbana satisfecha | % Demanda Agrícola satisfecha |
|-------------|--|--------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| HIPÓTESIS 1 | Estado cero | 39,07 | 115,36 | 66,5% | 43,4% |
| HIPÓTESIS 2 | Régimen Caudales Ecológicos Críticos | 33,02 | 102,20 | 56,2% | 38,4% |
| HIPÓTESIS 3 | Caudales Ecológicos PHCG | 38,04 | 108,07 | 64,7% | 40,6% |
| HIPÓTESIS 4 | Conducción El Chaparral | 35,82 | 100,76 | 61,0% | 37,9% |
| HIPÓTESIS 5 | Embalse Velillos | 35,57 | 105,63 | 60,5% | 39,7% |
| HIPÓTESIS 8 | Mejora eficiencia riegos y reutilización aguas depuradas | 40,77 | 78,81 | 69,4% | 35,0% |

Tabla 155. Demandas servidas desde los embalses para los diferentes escenarios de simulación

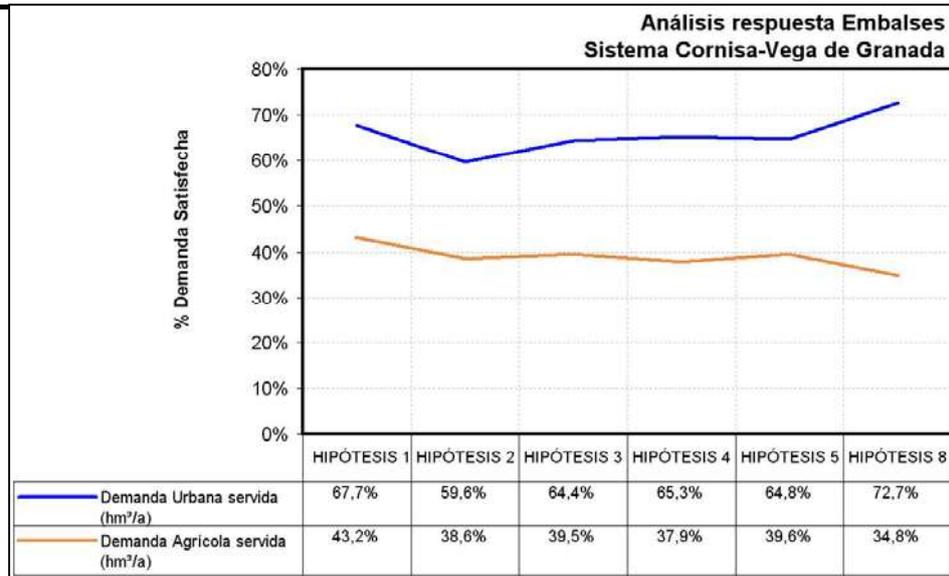


Figura 306. Demandas servidas desde los embalses para los diferentes escenarios de simulación

En lo referente al abastecimiento urbano de la Vega de Granada, las diferentes hipótesis de simulación permiten obtener las siguientes conclusiones:

- La puesta en servicio de la conducción Deifontes–El Chaparral y las infraestructuras de abastecimiento asociadas (ETAP, depósito regulador y Arteria Norte) supondrán una mejora en el abastecimiento urbano, tanto en términos de garantía como en la calidad del agua servida al Consorcio La Vega–Sierra Elvira, por cuanto permitirá que no sea necesario bombear del embalse subterráneo Vega de Granada aguas subterráneas con problemas de calidad para el consumo humano.
- La puesta en servicio de la Arteria Norte de Circunvalación, que permitirá conducir agua desde el sistema Canales–Quéntar hasta el depósito regulador de El Chaparral, exigirá el incremento en el régimen de bombeos en la Vega de Granada (Campo de Pozos Ronda Sur) en 1 hm³/mes (pasando a disponer de una capacidad de bombeo de 3 hm³/mes -1.160 l/s-) para asegurar el abastecimiento urbano.

| Fuentes de suministro | | | | Demandas servidas | | | | | | | |
|--|-------------------------|-----------------------|--|-------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------|
| Infraestructuras Superficiales | | | | Hip. 1 | Hip. 2 | Hip. 3 | Hip. 4 | Hip. 5 | Hip. 6 | Hip. 7 | Hip. 8 |
| Canales | Canal de Pinos | ETAP Lancha de Genil | Consorcio la Vega-Sierra Elvira D-1 y Consorcio S ^o Nevada-Vega Sur D-2 | 20,330 | 14,080 | 16,992 | 15,741 | 15,481 | 15,950 | 33,402 | 20,385 |
| Quéntar | Canal de Quéntar | | | 14,222 | 14,430 | 16,530 | 15,562 | 15,580 | 15,583 | 18,519 | 15,871 |
| Canal de Albolote | Conducción El Chaparral | | Consorcio la Vega-Sierra Elvira D-1 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 10,434 | 10,821 | 10,856 | 25,515 | 10,358 |
| | | | Consorcio S ^o Nevada-Vega Sur D-2 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 4,514 | 4,514 | 4,514 | 4,514 | 4,514 |
| SUMA | | | | 34,552 | 28,510 | 33,523 | 46,251 | 46,395 | 46,903 | 81,951 | 51,128 |
| Acuíferos | | | | | | | | | | | |
| U.H.31/La Peza | La Peza-Darro (17) | Captación manantiales | La Vega-Sierra Elvira D-1 | 2,953 | 1,769 | 2,681 | 0,953 | 0,949 | 0,953 | 49,119 | 0,902 |
| U.H.32/Vega de Granada | Vega de Granada (9) | Bombeos | La Vega-Sierra Elvira D-1 | 12,098 | 13,303 | 12,369 | 0,006 | 0,006 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| | | | Sierra Nevada-Vega Sur D-2 | 0,359 | 2,606 | 0,880 | 2,800 | 2,763 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| | | | Bombeos Ronda Sur | 0,747 | 4,099 | 2,041 | 5,734 | 5,646 | 9,527 | 27,166 | 5,327 |
| U.H.65/Padúl | Padul-Monachil (20) | Captación manantiales | Sierra Nevada-Vega Sur D-2 | 2,671 | 1,892 | 2,496 | 1,892 | 0,464 | 0,464 | 0,464 | 0,464 |
| SUMA | | | | 18,829 | 23,669 | 20,467 | 11,384 | 9,827 | 10,943 | 76,749 | 6,693 |
| Demandas Urbanas Vega de Granada | | | Origen del Agua | Hip. 1 | Hip. 2 | Hip. 3 | Hip. 4 | Hip. 5 | Hip. 6 | Hip. 7 | Hip. 8 |
| Consorcio la Vega-Sierra Elvira D-1 | | | Infraest. Superficiales | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 10,434 | 10,821 | 10,856 | 25,515 | 10,358 |
| | | | Acuíferos | 15,051 | 15,073 | 15,049 | 0,958 | 0,954 | 0,953 | 49,119 | 0,902 |
| Consorcio S ^o Nevada-Vega Sur D-2 | | | Infraest. Superficiales | 34,552 | 28,510 | 33,523 | 35,817 | 35,574 | 36,047 | 56,435 | 40,770 |
| | | | Acuíferos | 3,778 | 8,597 | 5,417 | 10,426 | 8,872 | 9,991 | 27,630 | 5,791 |
| SUMA | | | | 53,380 | 52,179 | 53,989 | 57,635 | 56,222 | 57,846 | 158,700 | 57,821 |
| Garantías | | | | Hip. 1 | Hip. 2 | Hip. 3 | Hip. 4 | Hip. 5 | Hip. 6 | Hip. 7 | Hip. 8 |
| Consorcio la Vega-Sierra Elvira D-1 | | | Garantía Mensual (Gm) | 100% | 94% | 100% | 100% | 100% | 100% | 87% | 100% |
| | | | Garantía Volumétrica (Gv) | 100% | 99% | 100% | 100% | 100% | 100% | 99% | 100% |
| | | | Máximo Déficit Mensual (MDM) | 0,090 | 0,171 | 0,137 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 3,613 | 0,000 |
| Consorcio S ^o Nevada-Vega Sur D-2 | | | Garantía Mensual (Gm) | 99% | 82% | 94% | 80% | 81% | 100% | 58% | 100% |
| | | | Garantía Volumétrica (Gv) | 100% | 99% | 100% | 97% | 97% | 100% | 84% | 100% |
| | | | Máximo Déficit Mensual (MDM) | 0,162 | 0,429 | 0,429 | 1,060 | 1,060 | 0,000 | 4,291 | 0,000 |

Tabla 156. Resumen de los resultados de las hipótesis de simulación en el abastecimiento urbano a la Vega de Granada

- La sustitución total de los bombeos para abastecimiento urbano de la Vega de Granada que presentan problemas de calidad, exigiría aumentar la capacidad de bombeo en el Campo de Pozos Ronda Sur hasta los 5,00 hm³/mes, para lo que sería conveniente disponer sistemas de recarga artificial programada (ASR)

del embalse subterráneo en esta zona aprovechando como agua de recarga los excedentes invernales de los ríos Genil y Monachil.

- El incremento previsto en la demanda como consecuencia de los desarrollos urbanísticos proyectados no parece sostenible por el sistema, ya que no existe capacidad de suministro suficiente, al menos que sea factible imponer unos regímenes de bombeo muy exigentes en el embalse subterráneo Vega de Granada (aumentar la capacidad de bombeo en el Campo de Pozos Ronda Sur a 11,5 hm³/mes).

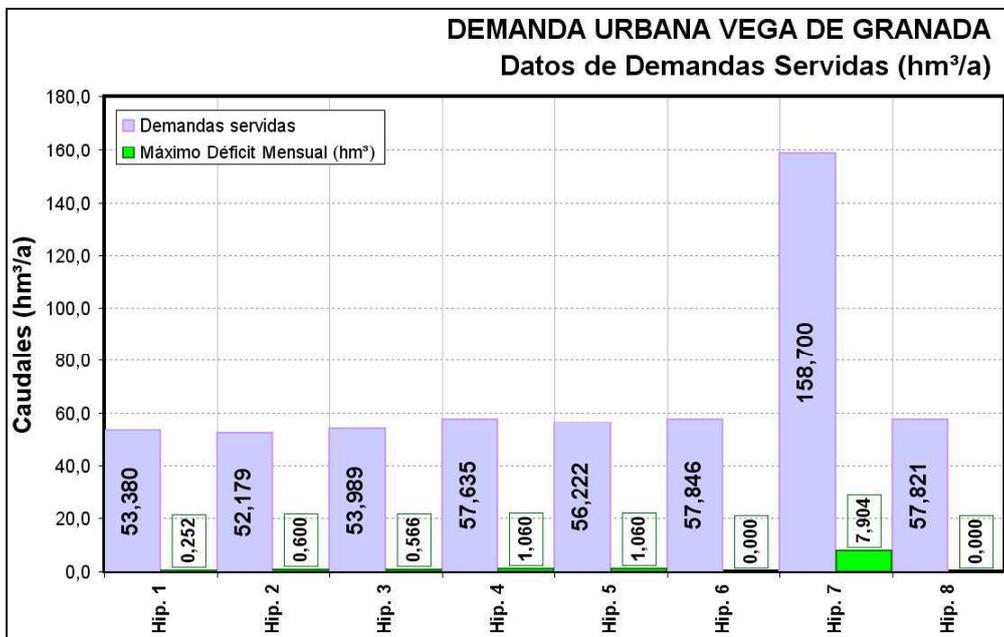


Figura 307. Resumen de los resultados de las simulaciones efectuadas para la demanda urbana. Demandas y déficits

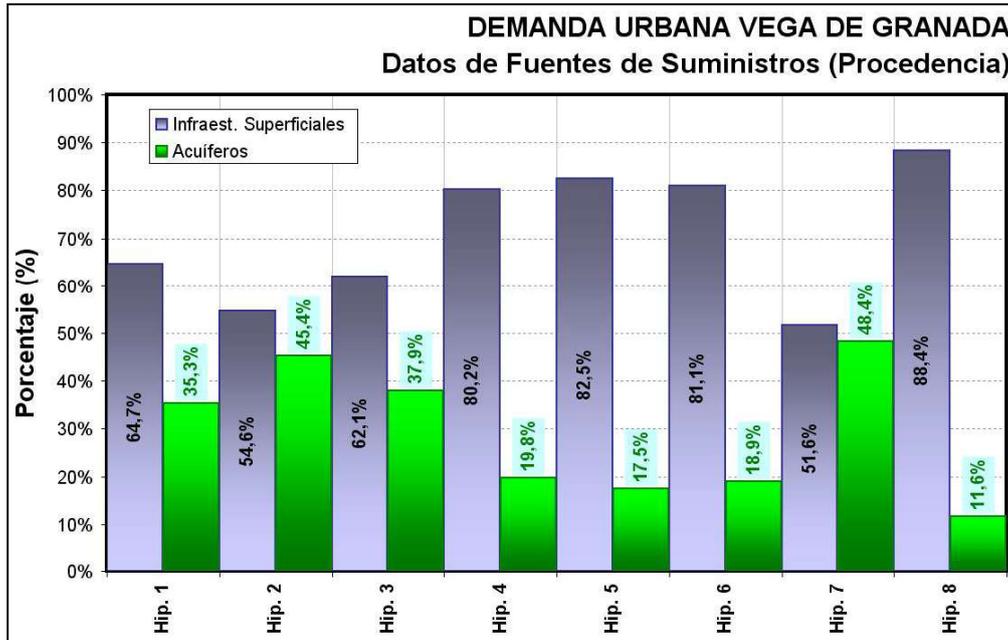


Figura 308. Datos de fuentes de suministros en el abastecimiento urbano a la Vega de Granada en las hipótesis consideradas

La evolución del suministro agrícola para los diferentes escenarios de simulación planteados permiten obtener las siguientes conclusiones (tabla 157 y Figuras 310 y 311):

- La importancia que presentan los embalses en el suministro agrícola, aportando por encima del 40% de los recursos demandados.
- Los acuíferos constituyen la única alternativa para dotar regadíos en la mayor parte de las zonas regables de la Cornisa de Granada (comarcas de Montefrío, Iznalloz y Alhama), donde se aprovecha el drenaje de los acuíferos o se captan recursos mediante sondeos. En la Vega de Granada, los recursos subterráneos aprovechados proceden de la descarga del embalse subterráneo Vega de Granada y se disponen sondeos para complementar los riegos cuando las dotaciones procedentes de los sistemas superficiales son insuficientes.
- La reutilización de aguas residuales urbanas tratadas es una alternativa que no constituye una solución al suministro de agua para riegos, dada la ingente cuantía de estas demandas frente al abastecimiento urbano.

- La puesta en servicio del embalse de Velillos no supondrá un aumento considerable de la regulación efectiva del sistema, de hecho sólo generaría un aumento en el suministro agrícola de 6,95 hm³ de promedio anual (hipótesis 5 frente a hipótesis 4), sin resolver las situaciones coyunturales de déficits que se registran en los periodos de sequía.

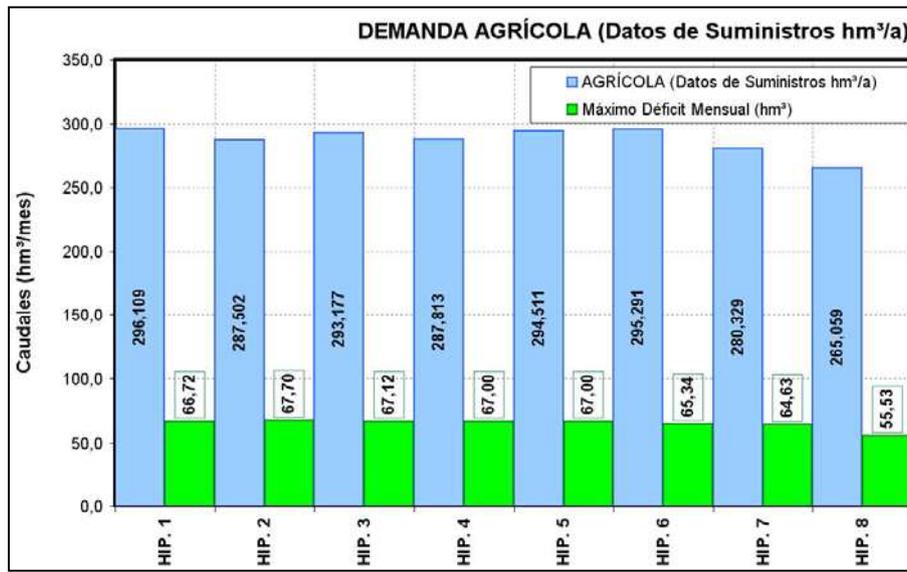


Figura 309. Resumen de los resultados de las simulaciones efectuadas para la demanda agrícola. Demandas y déficits

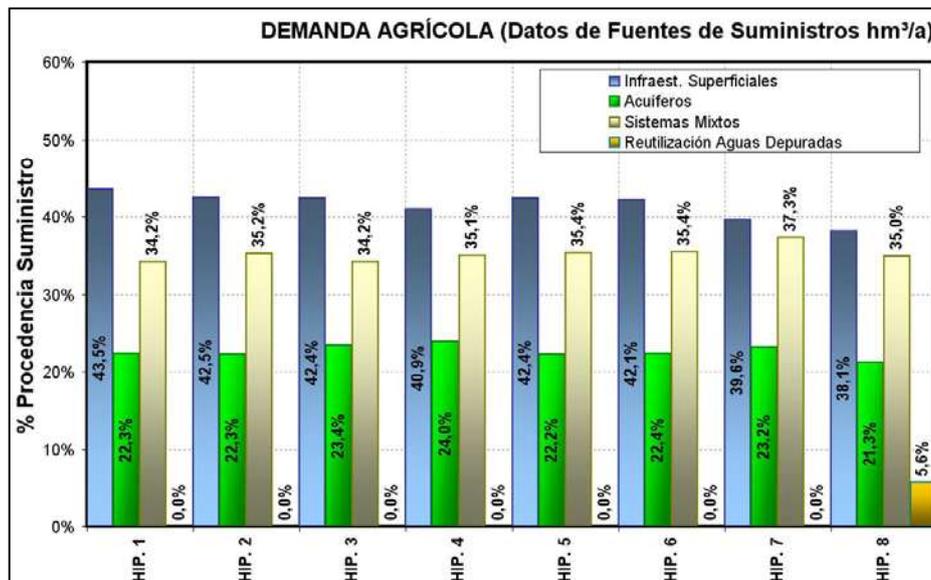


Figura 310. Datos de fuentes de suministros en la dotación para riegos a la Vega de Granada en las hipótesis consideradas

| Fuentes de suministro | | | | Demandas servidas | Demanda (hm³/a) | Suministro (hm³/a) | | | | | | | |
|-------------------------------|---|----------------------------|---------------------------------------|---------------------------|-----------------|-----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Infraestruct. Superficiales | | | | | | HIP. 1 | HIP. 2 | HIP. 3 | HIP. 4 | HIP. 5 | HIP. 6 | HIP. 7 | HIP. 8 |
| Sistema Canales-Quéntar | | | | ZV Vega Alta D-16 | 36,780 | 34,059 | 27,502 | 32,722 | 26,650 | 26,839 | 26,570 | 14,808 | 15,770 |
| Sistema Cubillas-Colomera | Canal Albolote | | ZR Canal Albolote D-26 | 19,130 | 16,627 | 16,705 | 15,894 | 15,832 | 17,942 | 17,948 | 17,247 | 14,867 | |
| | Canal Cubillas | | ZR Canal Cubillas D-25 | 21,463 | 12,300 | 13,130 | 9,503 | 10,218 | 10,684 | 9,896 | 12,555 | 7,589 | |
| | Embalse Cubillas | | ZR Pantano Cubillas D-24 | 11,078 | 10,473 | 10,421 | 10,447 | 10,327 | 10,584 | 10,647 | 10,444 | 8,616 | |
| Embalse Bermejales | | | | ZR Cacin D-8 | 33,630 | 32,679 | 32,616 | 32,771 | 32,793 | 32,864 | 33,028 | 33,166 | 27,360 |
| Toma en cauces | Río Velillos | | ZR Velillos D-23 | 5,419 | 0,708 | 0,708 | 0,662 | 0,708 | 4,907 | 4,907 | 4,636 | 5,461 | |
| | Río Agrón | | Comarca Alhama D-7 | 17,622 | 0,267 | 0,267 | 0,746 | 0,267 | 0,262 | 0,262 | 0,262 | 0,262 | |
| | Alto Genil | | Alto Genil D-18 | 26,230 | 10,599 | 9,449 | 10,320 | 9,663 | 9,324 | 9,278 | 6,192 | 10,042 | |
| | Monachil | | ZR Monachil-Dilar D-17 | 29,819 | 7,252 | 7,974 | 7,938 | 7,975 | 7,972 | 8,465 | 8,220 | 8,023 | |
| | Dilar | | | 3,763 | 3,398 | 3,269 | 3,396 | 3,399 | 3,423 | 3,400 | 3,009 | | |
| Suma | | | | | 201,172 | 128,725 | 122,169 | 124,271 | 117,828 | 124,778 | 124,425 | 110,931 | 100,999 |
| % Respecto suministro total | | | | | | 43,5% | 42,5% | 42,4% | 40,9% | 42,4% | 42,1% | 39,6% | 38,1% |
| Acuíferos | | | | Demanda (hm³/a) | HIP. 1 | HIP. 2 | HIP. 3 | HIP. 4 | HIP. 5 | HIP. 6 | HIP. 7 | HIP. 8 | |
| U.H. 05.29/Sierra Colomera | Los Morrones (14) | Bombeo | Comarca Iznalloz D-15 | 23,734 | 0,548 | 0,539 | 0,604 | 0,582 | 0,180 | 0,180 | 0,266 | 0,152 | |
| U.H.31/La Pezara | La Pezara-Darro (17) | Manantiales | ZR Alfacar-Beas (Mts. Triásicos) D-19 | 10,324 | 3,926 | 1,514 | 3,183 | 2,322 | 2,326 | 2,322 | 1,963 | 2,362 | |
| U.H.32/Vega de Granada | Vega de Granada (9) | Bombeos | ZR Vega Alta D-16 | | 0,843 | 2,938 | 1,211 | 3,230 | 3,184 | 3,269 | 6,493 | 1,327 | |
| | | | ZR Monachil-Dilar D-17 | | 15,095 | 15,003 | 14,917 | 15,003 | 15,003 | 14,780 | 14,903 | 12,891 | |
| | | | ZR Vega Media MI D-20 | | 0,734 | 1,038 | 0,582 | 0,651 | 0,464 | 0,480 | 1,167 | 0,226 | |
| | | | ZR Láchar-Cijuela D-21 | | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | |
| | | | ZR Fte Vaqueros-Vald. D-22 | | 0,156 | 0,168 | 0,162 | 0,157 | 0,138 | 0,133 | 0,100 | 0,077 | |
| | | | ZR Velillos D-23 | | 3,587 | 3,587 | 3,613 | 3,587 | 0,391 | 0,391 | 0,609 | 0,456 | |
| | | | ZR Canal Cubillas D-25 | | 1,257 | 1,424 | 1,137 | 1,316 | 0,783 | 0,784 | 1,086 | 0,524 | |
| | | Manantiales | ZR Vega Media MI D-20 | 18,190 | 15,306 | 14,254 | 15,862 | 15,513 | 16,272 | 16,256 | 13,787 | 11,697 | |
| | | | ZR Canal Cubillas D-25 | | 7,606 | 6,605 | 10,556 | 9,547 | 9,713 | 10,529 | 7,476 | 9,604 | |
| | | | U.H. 34/Madrid-Parapanda | Madrid-Pelada-Obéilar (1) | Bombeo | Comarca Montefrío D-4 | 22,672 | 5,412 | 5,412 | 5,529 | 5,412 | 5,412 | 5,412 |
| U.H.42/Tejeda-Almijara | Albuñuelas (7) | Bombeo | Comarca Alhama D-7 | | 8,914 | 8,912 | 8,510 | 8,912 | 8,912 | 8,912 | 8,912 | 8,912 | |
| | Tejeda-Almijara (8) | Manantiales | | | 2,733 | 2,708 | 2,713 | 2,740 | 2,745 | 2,745 | 2,744 | 2,745 | |
| Suma | | | | | 74,920 | 66,116 | 64,102 | 68,579 | 68,971 | 65,521 | 66,192 | 64,916 | 56,382 |
| % Respecto suministro total | | | | | | 22,3% | 22,3% | 23,4% | 24,0% | 22,2% | 22,4% | 23,2% | 21,3% |
| Sistemas Mixtos | | | | Demanda (hm³/a) | HIP. 1 | HIP. 2 | HIP. 3 | HIP. 4 | HIP. 5 | HIP. 6 | HIP. 7 | HIP. 8 | |
| Sistema Canales-Quéntar | Captación manantiales Vega de Granada y tomas en el cauce del río Genil | ZR Láchar-Cijuela D-21 | 3,290 | 3,178 | 3,156 | 3,179 | 3,179 | 3,192 | 3,202 | 3,219 | 2,936 | | |
| | | ZR Fte Vaqueros-Vald. D-22 | 6,290 | 6,085 | 6,064 | 6,071 | 6,075 | 6,108 | 6,113 | 6,155 | 5,118 | | |
| | | ZR Vega Baja D-9 | 63,520 | 62,033 | 61,888 | 62,084 | 62,071 | 62,111 | 62,558 | 62,887 | 51,733 | | |
| Sistema Cubillas-Colomera | Captación de manantiales UHs 28,29 y 30 y tomas en cauces | Comarca Montefrío D-4 | | 10,443 | 10,443 | 10,096 | 10,443 | 10,443 | 10,443 | 10,443 | 10,443 | | |
| | | Comarca Iznalloz D-15 | | 19,529 | 19,679 | 18,895 | 19,247 | 22,358 | 22,358 | 21,777 | 22,516 | | |
| Suma | | | | | 73,100 | 101,268 | 101,231 | 100,326 | 101,015 | 104,213 | 104,674 | 104,482 | 92,746 |
| % Respecto suministro total | | | | | | 34,2% | 35,2% | 34,2% | 35,1% | 35,4% | 35,4% | 37,3% | 35,0% |
| Reutilización Aguas Depuradas | | | | Demanda (hm³/a) | HIP. 1 | HIP. 2 | HIP. 3 | HIP. 4 | HIP. 5 | HIP. 6 | HIP. 7 | HIP. 8 | |
| EDARs Vega de Granada | ZR Vega Media MI D-20 | | | | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 2,823 | |
| | ZV Vega Alta D-16 | | | | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 12,106 | |
| Suma | | | | | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 14,931 | |
| % Respecto suministro total | | | | | | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 5,6% |
| TOTAL | | | | | 349,192 | 296,109 | 287,502 | 293,177 | 287,813 | 294,511 | 295,291 | 280,329 | 265,059 |
| Máximo Déficit Mensual (hm³) | | | Zonas Regables Vega de Granada | | 56,09 | 55,58 | 56,44 | 56,38 | 56,38 | 54,72 | 54,01 | 44,92 | |
| | | | Zonas Regables Cornisa | | 10,63 | 12,12 | 10,68 | 10,62 | 10,62 | 10,62 | 10,62 | 10,62 | |
| | | | Sistema Cornisa-Vega de Granada | | 66,72 | 67,70 | 67,12 | 67,00 | 67,00 | 65,34 | 64,63 | 55,53 | |

Tabla 157. Resumen de los resultados de las hipótesis de simulación en el suministro para regadíos a la Vega de Granada

Si se considera el conjunto del Sistema Cornisa–Vega de Granada en los diferentes escenarios de gestión analizados se obtienen las siguientes conclusiones respecto a las actuaciones simuladas:

- La imposición del régimen de caudales ecológicos críticos en los cauces asociados a los parques naturales de S^a Huétor y S^a Nevada supone un aumento de los déficits vinculados a las demandas consuntivas del sistema, pero por el contrario origina un aumento de la aportación al embalse de Iznajar (receptor de la esorrentía del sistema Cornisa–Vega de Granada en régimen influenciado) (Figura 312).
- La puesta en servicio de la conducción para abastecimiento urbano Deifontes–El Chaparral y sus infraestructuras de abastecimiento asociadas supone un aumento de los déficits vinculados a las demandas consuntivas del sistema, aunque mejoren las condiciones del abastecimiento urbano a la Vega de Granada. Asimismo, este escenario implica un aumento de la aportación al embalse de Iznajar.
- La puesta en servicio del embalse de Velillos supondría una disminución de los déficits que impondrían al sistema la restricción del régimen de caudales ecológicos críticos en los cauces asociados a los parques naturales de S^a Huétor y S^a Nevada y la conducción Deifontes–El Chaparral y sus infraestructuras de abastecimiento asociadas. Pero con la merma de la aportación del sistema al embalse de Iznajar.
- La puesta en servicio de la instalación de recarga artificial en el embalse subterráneo Vega de Granada implica una disminución en los déficits vinculados a las demandas consuntivas del sistema y originarían una disminución de la aportación del sistema al embalse de Iznajar.
- El incremento de la demanda urbana fijado como consecuencia de los potenciales desarrollos urbanísticos de la Vega de Granada impondrían al sistema un aumento significativo en los déficits vinculados a las demandas

consuntivas del sistema, pero sin influencia en la aportación del sistema al embalse de Iznajar.

- El ahorro de agua asociado a la mejora de la eficiencia de los regadíos de la Vega de Granada y la reutilización de aguas residuales urbanas tratadas supone una notable disminución de los déficits vinculados a las demandas consuntivas del sistema, así como un aumento considerable de la aportación del sistema al embalse de Iznajar frente al resto de hipótesis de simulación.

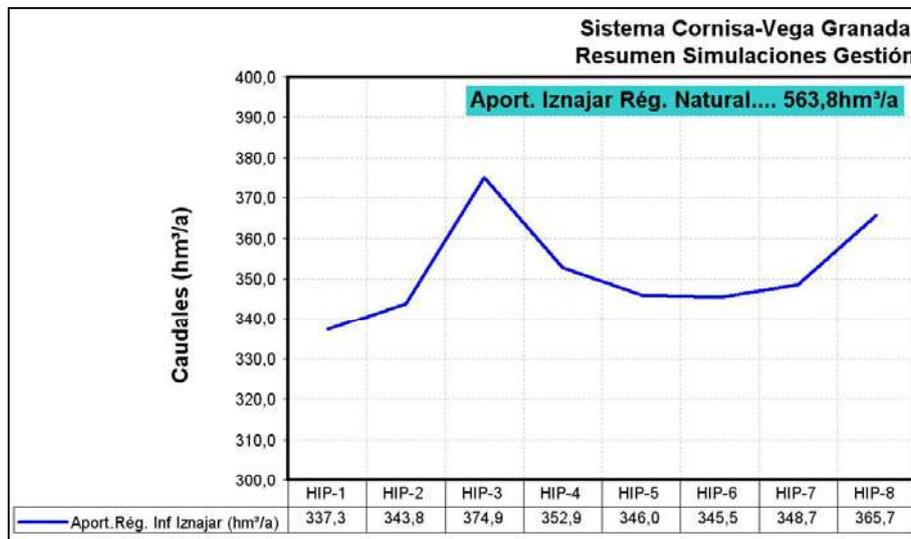


Figura 311. Aportación del Sistema Cornisa-Vega de Granada al embalse de Iznajar en las condiciones de régimen influenciado que suponen los escenarios de simulación considerados

| Hipótesis de simulación | Máximo Déficit Mensual (MDM) hm³/mes | Aport. Rég. Natural (hm³/a) | Aport. Rég. Influenc. Iznajar (hm³/a) | Demandas (hm³/a) | Demandas Servidas (hm³/a) | % Demanda total servida | Déficit promedio anual (hm³) |
|-------------------------|--|-----------------------------|---------------------------------------|------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------------|
| 1 | Estado cero | 563,8 | 337,3 | 412,0 | 361,2 | 87,7% | 50,8 |
| 2 | Régimen Caudales Ecológicos Críticos | | 343,8 | 412,0 | 352,5 | 85,6% | 59,5 |
| 3 | Caudales Ecológicos PHCG | | 374,9 | 412,0 | 358,4 | 87,0% | 53,6 |
| 4 | Conducción El Chaparral | | 352,9 | 412,0 | 351,9 | 85,4% | 60,1 |
| 5 | Embalse Velillos | | 346,0 | 412,0 | 352,2 | 85,5% | 59,8 |
| 6 | Recarga artificial Vega Granada | | 345,5 | 412,0 | 360,8 | 87,6% | 51,2 |
| 7 | Incremento demanda urbana | | 348,7 | 477,1 | 399,2 | 83,7% | 78,0 |
| 8 | Mejora eficiencia riegos y reutilización aguas depuradas | | 365,7 | 371,3 | 330,6 | 89,0% | 40,7 |

Tabla 158. Demandas satisfechas y déficits totales en las simulaciones de gestión realizadas para el sistema Cornisa-Vega de Granada

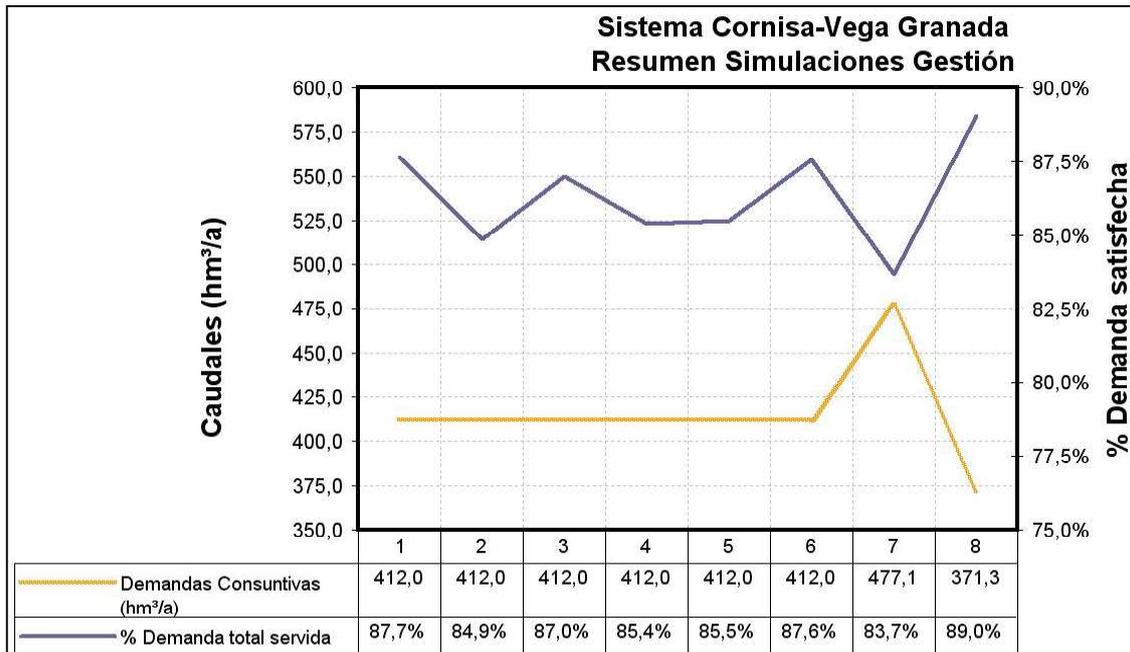


Figura 312. Demandas satisfechas por el Sistema Cornisa-Vega de Granada en los diferentes escenarios de simulación

11.4 INFLUENCIA DEL MANTENIMIENTO DEL RÉGIMEN ECOLÓGICO DE CAUDALES SOBRE LAS GARANTÍAS DEL SISTEMA

El régimen de caudales ecológicos fijados para los cauces asociados a los parques naturales de Sierra Huétor y Sierra Nevada, simulados como una demanda no consuntiva, presenta unos indicadores de garantía en cierta medida desfavorables en el conjunto de simulaciones realizadas.

La razón reside en lo exigente del régimen hidroecológico fijado, ya que suponen un 36,7% de la aportación que registran estos ríos para el año tipo medio y un 95,5% del caudal correspondiente al año tipo seco (Figura 314), por lo que en los años más secos el propio sistema en régimen natural no consigue satisfacer las

exigencias impuestas por el régimen de caudales ecológicos, a pesar que han sido considerados los denominados caudales ecológicos críticos (Figura 315).

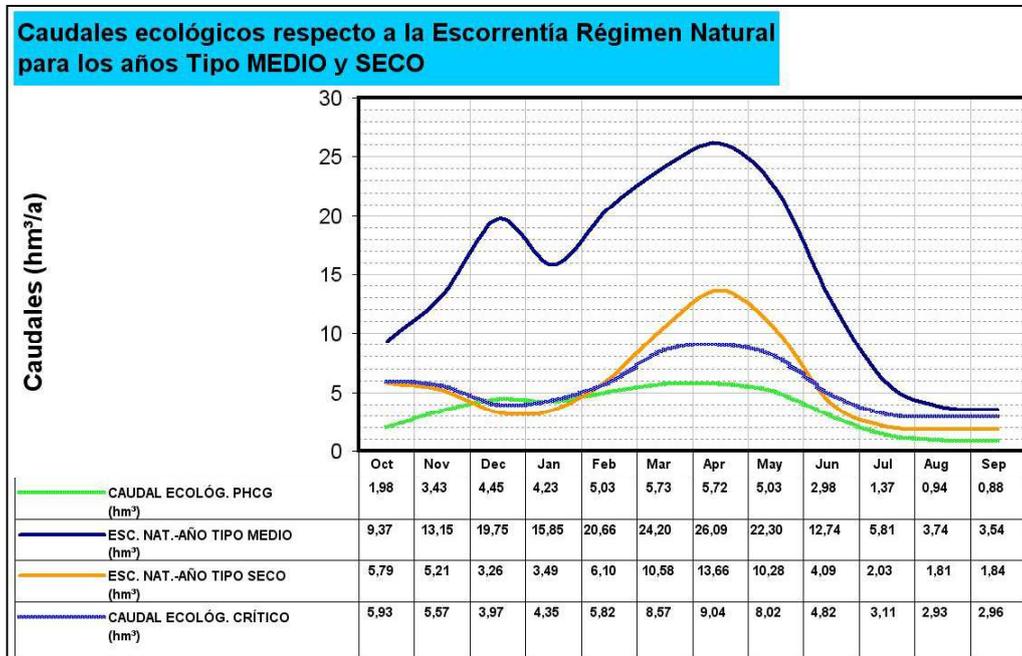


Figura 313. Comparativa de la escorrentía en régimen natural de los cauces del Alto Genil y el régimen de caudales ecológico crítico calculado

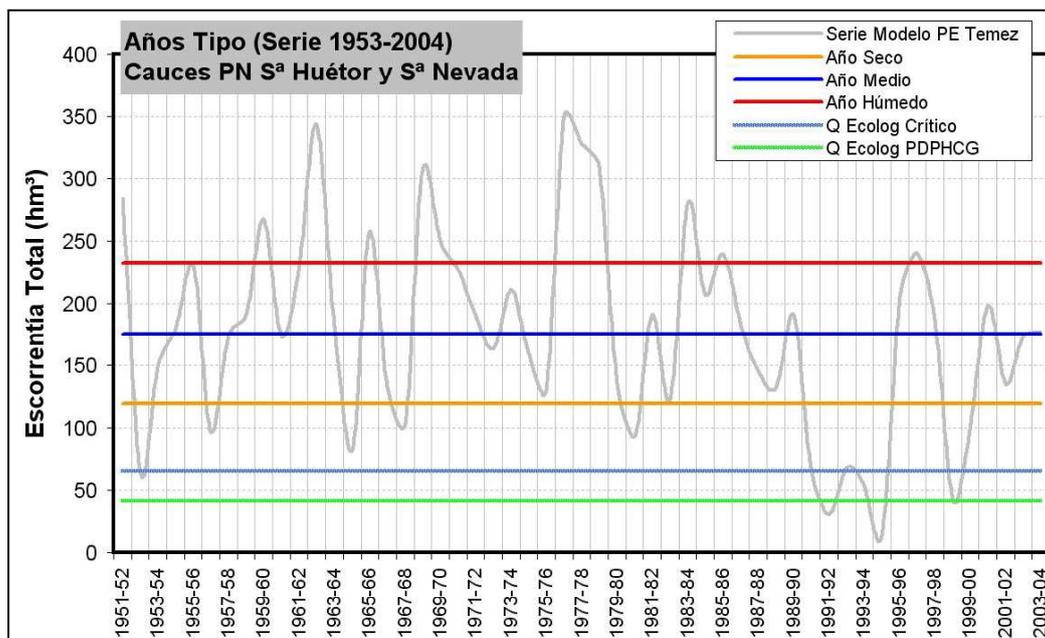


Figura 314. Serie de escorrentía (1953-2004) en régimen natural de los cauces del Alto Genil y régimen de caudales ecológico crítico calculado

Por el contrario el régimen de caudales ecológico mínimo que se deriva de la aplicación de la Propuesta de Directrices del Plan Hidrológico de la Cuenca del Guadalquivir (PDPHCG) sólo supone el 23,6% de la aportación que registran estos ríos para el año tipo medio y un el 61,3% del caudal correspondiente al año tipo seco (Figura 314), por lo que en los años más secos es más probable que el sistema pueda satisfacer las exigencias impuestas por el régimen de caudales ecológicos del PDPHCG (Figura 315).

| | Caudal anual promedio (hm ³ /a) | Probabilidad Goodrich |
|----------------------------------|--|-----------------------|
| Años Tipo Seco ⁽¹⁾ | 65,57 | 8,45% |
| Años Tipo Medio ⁽²⁾ | 175,34 | 49,85% |
| | Caudal anual (hm ³) | Probabilidad Goodrich |
| Régimen Caudal Ecológico PDPHCG | 41,77 | 4,27% |
| Régimen Caudal Ecológico Crítico | 65,09 | 8,35% |
| Régimen Caudal Ecológico 50% | 107,53 | 20,43% |
| Régimen Caudal Ecológico 80% | 207,15 | 64,60% |
| Régimen Caudal Ecológico Óptimo | 376,32 | 99,32% |

⁽¹⁾ Promedio anual de años con probabilidad de ocurrencia inferior al 25%

⁽²⁾ Promedio anual de años con probabilidad de ocurrencia de entre el 25% y el 75%

Tabla 159. Análisis caudales según función de ajuste de Goodrich

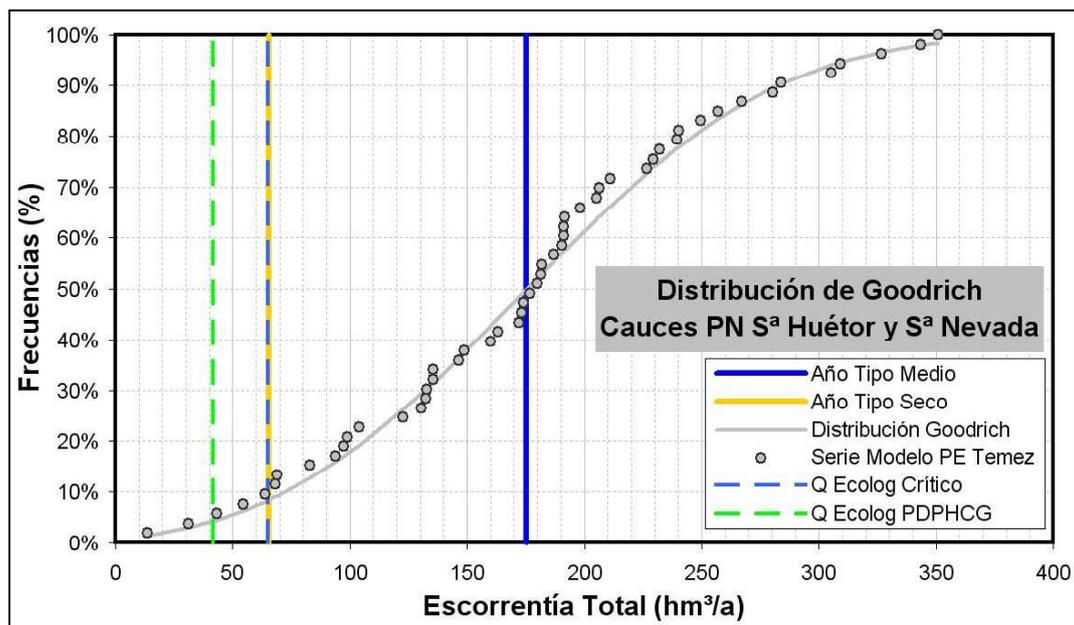


Figura 315. Escorrentía Total régimen natural en el Alto Genil y caudales ecológicos críticos

La influencia que tiene el mantenimiento del régimen de caudales ecológicos críticos como prioridad máxima del sistema Cornisa-Vega de Granada sobre los indicadores de satisfacción de la demanda consuntiva se observa comparando los resultados de la hipótesis 1 (escenario actual o estado cero) y la hipótesis 2 (hipótesis 1 con las restricciones de los caudales ecológicos), como se muestra en la tabla 160.

| Indicador de Garantía | Hipótesis de simulación Garantía mensual (Gm) | | Consorcio La Vega-S ^a Elvira | Consorcio S ^a Nevada-Vega Sur | Mancom. del Temple | Municipios Sector Septentrional | Regadíos Vega Granada | Regadíos Cornisa | Caudales ecológicos |
|---|---|--------------------------------------|---|--|--------------------|---------------------------------|-----------------------|------------------|---------------------|
| Garantía mensual (Gm) | 1 | Estado cero | 99,7% | 99,4% | 100,0% | 100,0% | 66,8% | 60,4% | - |
| | 2 | Régimen Caudales Ecológicos Críticos | 93,2% | 81,8% | 100,0% | 100,0% | 61,3% | 50,0% | 81,4% |
| Garantía volumétrica (Gv) | 1 | Estado cero | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 87,9% | 74,7% | - |
| | 2 | Régimen Caudales Ecológicos Críticos | 99,3% | 98,6% | 100,0% | 100,0% | 85,1% | 61,8% | 94,5% |
| Máximo Déficit Mensual (hm ³) | 1 | Estado cero | 0,09 | 0,16 | 0,00 | 0,00 | 56,09 | 10,63 | - |
| | 2 | Régimen Caudales Ecológicos Críticos | 0,17 | 0,43 | 0,00 | 0,00 | 55,58 | 12,12 | 5,18 |

Tabla 160. Influencia en la satisfacción de las demandas consuntivas del sistema de la imposición del régimen de caudales ecológicos críticos

El déficit máximo mensual fijado para estas demandas no consuntivas es de 7,99 hm³, una cuantía muy importante que no permite plantear la utilización de las reservas de los embalses subterráneos de cabecera (Padúl-La Peza) para el mantenimiento de caudales ecológicos en todos estos cauces en periodos de intensa sequía.

En cualquier caso, para el aprovechamiento de las reservas hidrogeológicas con un objetivo medioambiental, será necesario analizar la respuesta de los acuíferos ante los bombeos que impondrían los **sondeos ecológicos de regulación (sondeos tipo SER)**.

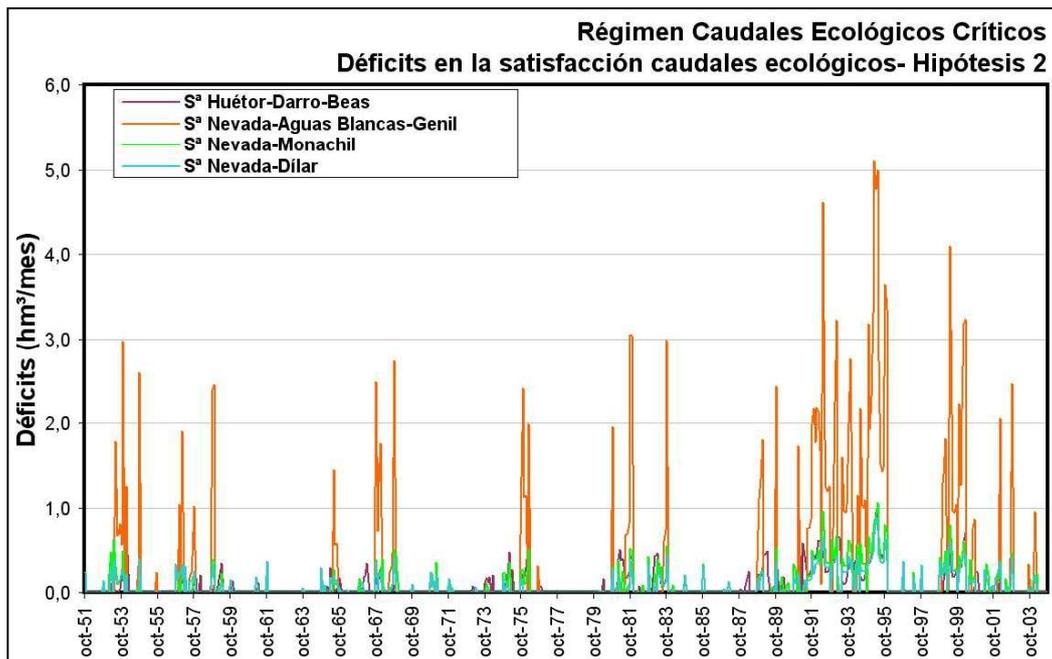


Figura 316. Déficit en la satisfacción de la demanda asociada al régimen de caudales ecológico críticos del Alto Genil

Los déficits ecológicos en los ríos Aguas Blancas y Genil, regulados mediante los embalses de Quéntar y Canales, presentan un carácter coyuntural asociado a los años más secos de la serie simulada, donde no es posible satisfacer la demanda ecológica fijada. En el resto de cauces, donde no existen embalses de regulación, los déficits ecológicos son casi permanentes, quizás en estos cauces podría plantearse la implantación de **sondeos ecológicos de regulación en manantiales (sondeos tipo SER)**, dada la menor cuantía de los déficits ecológicos,

Al objeto de analizar el dimensionamiento de la infraestructura de sondeos tipo SER que habría que implantar en los ríos Darro, Monachil y Dílar, se ha realizado un análisis comparativo del aumento que se conseguiría en la garantía del caudal ecológico en estos cauces mediante bombeos de recursos hídricos almacenados en los embalses subterráneos existentes en la cabecera de esta cuenca (tabla 161).

| Caudal de Bombeo | | Garantía Caudal Ecológico Crítico ríos Darro, Monachil y Dílar | | | |
|--|------------|--|-----------------------------|------------------------|-----------------------|
| Río Darro (PN Sierra Huétor) | | | | | |
| hm ³ /mes | l/s | Garantía Mensual (Gm %) | Garantía Volumétrica (Gv %) | MDM (hm ³) | Ratio MDM/Qecológ (%) |
| 0,00 | 0 | 68,9% | 88,2% | 0,938 | 11,5% |
| 0,25 | 96 | 77,5% | 92,4% | 0,809 | 9,9% |
| 0,50 | 193 | 86,3% | 96,7% | 0,559 | 6,8% |
| 0,75 | 289 | 95,4% | 99,2% | 0,309 | 3,8% |
| 1,00 | 386 | 98,6% | 99,9% | 0,059 | 0,7% |
| 1,50 | 579 | 99,2% | 100,0% | 0,028 | 0,3% |
| 2,00 | 772 | 99,2% | 100,0% | 0,028 | 0,3% |
| Río Monachil (PN Sierra Nevada) | | | | | |
| hm ³ /mes | l/s | Gm (%) | Gv (%) | hm ³ | % |
| 0,00 | 0 | 68,1% | 88,4% | 1,054 | 11,8% |
| 0,25 | 96 | 78,6% | 93,6% | 0,867 | 9,7% |
| 0,50 | 193 | 90,6% | 97,9% | 0,617 | 6,9% |
| 0,75 | 289 | 96,7% | 99,6% | 0,367 | 4,1% |
| 1,00 | 386 | 98,6% | 99,9% | 0,117 | 1,3% |
| 1,50 | 579 | 99,1% | 100,0% | 0,030 | 0,3% |
| 2,00 | 772 | 99,1% | 100,0% | 0,030 | 0,3% |
| Río Dílar (PN Sierra Nevada) | | | | | |
| hm ³ /mes | l/s | Gm (%) | Gv (%) | hm ³ | % |
| 0,00 | 0 | 68,2% | 88,3% | 0,899 | 12,9% |
| 0,25 | 96 | 81,0% | 94,6% | 0,724 | 10,4% |
| 0,50 | 193 | 94,7% | 99,1% | 0,474 | 6,8% |
| 0,75 | 289 | 98,4% | 99,9% | 0,224 | 3,2% |
| 1,00 | 386 | 99,2% | 100,0% | 0,018 | 0,3% |
| 1,50 | 579 | 99,2% | 100,0% | 0,018 | 0,3% |
| 2,00 | 772 | 99,2% | 100,0% | 0,018 | 0,3% |
| MDM | | Máximo Déficit Mensual (hm ³) | | | |
| QEcolog | | Caudal ecológico crítico fijado (hm ³ /a) | | | |

Tabla 161.

Aumento de la Garantía del Caudal Ecológico en el Alto Genil mediante Bombeos de las Reservas de los Embalses Subterráneos

Según las simulaciones realizadas para el escenario de la hipótesis 2 (Régimen Caudales Ecológicos Críticos), se obtiene que, para conseguir una garantía ecológica mensual superior al 95%, es necesario disponer unas infraestructuras de regulación que permitan aportar al cauce del río Monachil un total de 0,50 hm³/mes, de 0,40 hm³/mes al río Dílar y de 0,60 hm³/mes al río Darro.

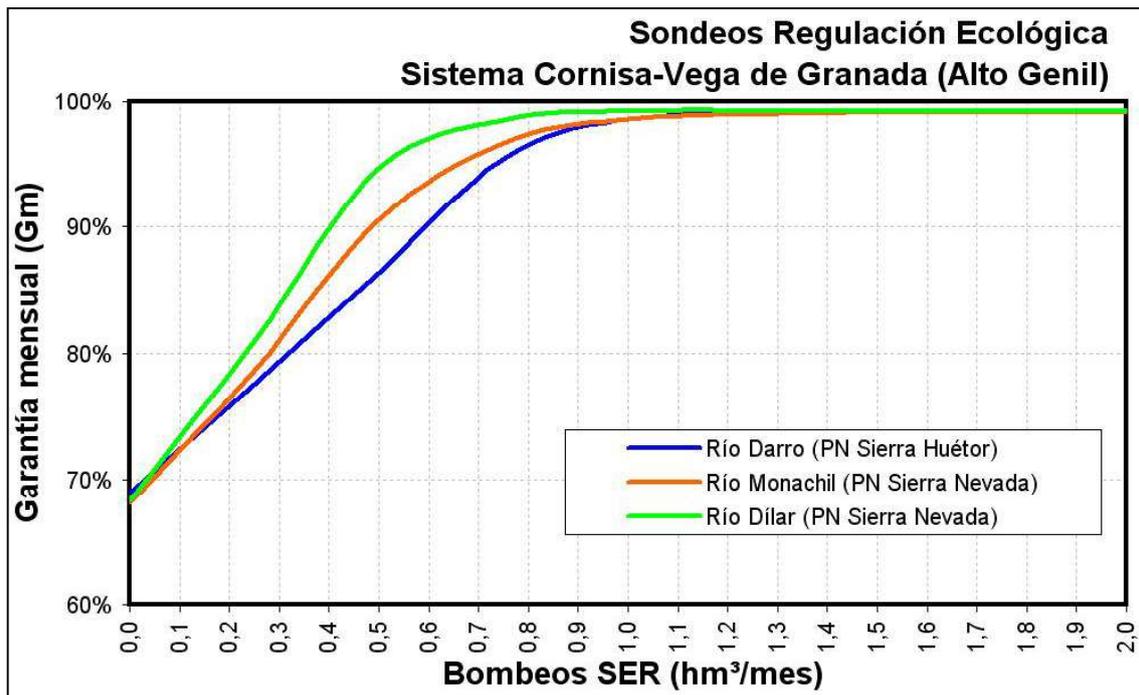


Figura 317. Sondeos Regulación Ecológica Alto Genil. Garantía mensual en la Demanda Ecológica

Si bien, es necesario considerar que estos Sondeos de Regulación Ecológica a disponer en los embalses subterráneos del Alto Genil, provocarían un cierto descenso en los índices de garantía de las demandas consuntivas dependientes del sistema Canales-Quéntar, si bien, este descenso no es significativo (tabla 162).

| CAUDALES ECOLÓGICOS y DEMANDAS URBANAS | | SIN Sondeos SER | | CON Sondeos SER (Bombeo de 0,5 hm³/mes) | |
|--|-----------|-----------------------------|-----------------------------|---|-----------------------------|
| | | Consortio La Vega-Sª Elvira | Consortio SªNevada-Vega Sur | Consortio La Vega-Sª Elvira | Consortio SªNevada-Vega Sur |
| Garantía mensual | Nº Fallos | 35 | 117 | 42 | 116 |
| | Gm | 94,5% | 81,6% | 93,4% | 81,8% |
| | Gv | 99,5% | 98,6% | 99,3% | 98,6% |
| MDM (hm³/a) | 1 mes | 0,171 | 0,429 | 0,171 | 0,429 |
| | 2 meses | 0,324 | 0,858 | 0,324 | 0,858 |
| PHN | Nº fallos | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Garantía | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% |
| | DEF15 | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE |
| | DEF25 | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE |
| | DEF50 | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE |
| | DEF75 | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE | CUMPLE |

Tabla 162. Índices de garantía en abastecimiento urbano con simulación sondeos SER

12. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

Andreu, J. (1984): “Aplicación del método de autovalores al análisis de sistemas con uso conjunto de recursos hidráulicos superficiales y subterráneos. Tesis Doctoral–Universidad Politécnica de Valencia. Valencia–España.

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. y Sauquillo, A., (1987): “Efficient aquifer simulation in complex systems” Journal Water Resources. Planning and Manangement, 113 (1), pág. 110–129.

AQUAVIR,SA (Sociedad Estatal Aguas del Guadalquivir, SA) (2005): “Superficie de los Cultivos de Regadío y sus Necesidades de Riego, en la Demarcación de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir”.

Baeza D y Marchamalo M. (2000): “Una nueva metodología para calcular caudales ecológicos en la cuenca del Tajo”. II Congreso Ibérico sobre Planeamiento e Gestao de Aguas. Oporto (Portugal), Noviembre de 2000.

Baeza D y García de Jalón D. (1999): “Cálculo de caudales de mantenimiento en ríos de la cuenca del Tajo a partir de variables climáticas y de sus cuencas”. Limnetica 16: 69–84.

Brotos Floria, Plácido Antonio (1986): “Condicionamientos hidráulicos sobre la distribución en densidad de las comunidades de macroinvertebrados del bentos,

Estudio en un tramo del río Jarama (Madrid)". Proyecto Fin de Carrera–Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes–Universidad Politécnica de Madrid.

Brooks et al, (2005) : “Hydraulic microhabitats and the distribution of macroinvertebrate assemblage in riffles”. Freshwater Biology: 50.

Bovee, K. D. (1982) : “A guide to stream habitat analysis using the Instream Flow Incremental Methodology”. Instream Flow Information Paper No. 12. U.S. Fish and Wildlife Service, FWS/OBS–82/26. Fort Collins, Colorado.

Castillo Martín, Antonio (1986) : “Estudio Hidroquímico del acuífero de la Vega de Granada”. Tesis Doctoral Facultad de Ciencias de la Universidad de Granada.

Delgado García, J, et all (1996): Delgado García,J,, Riera Rico,J,, del Valle Cardente, M,, Cardenete López, J,M,: “Contribución del acuífero de la Vega de Granada al abastecimiento de Granada capital”, IV SIAGA, Almería,1996,Tomo I:403–414.

DGOHCA–ITGE (1994) : “Libro Blanco de las Aguas Subterráneas”. Series Monográficas MOPTMA. ISBN: 84–498–00501.

Dirección General de Obras Hidráulicas (1982) : “Estudio de utilización conjunta de las aguas superficiales y subterráneas de la Vega de Granada”.

Díaz Hernández, José Luis (1977) :“Análisis hidrogeológico del Alto y Medio Darro (Granada)”, Universidad de Granada.

Estrada Lorenzo, F. (1994): “ Garantía en los sistemas de explotación de los Recursos Hidráulicos”. CEDEX–Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas.

Excma. Diputación de Granada (2000): “Encuesta de Infraestructura y Equipamientos Locales–Año 2000”, elaborada por el Área de Cooperación Local y Desarrollo de la Excma Diputación Provincial de Granada.

FAO (1972): “Informe de utilización de las aguas subterráneas para la mejora del regadío en la Vega de Granada”.

Fundación Empresa–Universidad de Granada (2004): “Propuestas para la gestión integral del agua en la Vega de Granada”, desarrollado por la para la empresa Emasagra.

García de Jalón et al (1997): “Regímenes de Caudales Ecológicos o de compensación: El método IFIM o del APU”. Jornada sobre caudales ecológicos y Caudales de Mantenimiento. Valladolid. 9–21.

García de Jalón et all (1993): “Principios y técnicas de gestión de la pesca en aguas continentales”. Edita Mundi–Prensa. Madrid.

IGME–Junta de Andalucía (2004): “Actividad 3.2: Fase complementaria de definición de obras de captación y del esquema de utilización coordinada de aguas superficiales–subterráneas para los núcleos de la Cornisa de la Vega de Granada”.

IGME (1997–1999): “Plan de Integración de los recursos hídricos subterráneos en los sistemas de abastecimiento público de Andalucía: Sector de acuíferos Padúl–La Peza y Albuñuelas”.

IGME (1990): “Proyecto de apoyo a la infraestructura hidrogeológica en la cuenca alta del Guadalquivir. Cuantificación de las extracciones anuales en el acuífero de la Vega de Granada para el periodo 1985–90”.

IGME (1989): “Serie: Manuales de utilización de acuíferos. Vega de Granada”.

IGME (1986): “Implementación del modelo matemático MOD-FLOW al tratamiento del flujo en régimen permanente del acuífero de la Vega de Granada”.

Jowett (2003): “Hydraulics constraints on habitat suitability for benthic invertebrates in gravel-bed rivers”. River Research and Applications 19:495–507.

Jowett et al. (1991): “Microhabitat preferences of benthic invertebrates and the development of generalised Dletium spp, Habitat suitability curves, applied to four New Zealand rivers”. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research 25,

Junta de Andalucía (2004): “Inventario y caracterización de los regadíos de Andalucía. Actualización 2004”. Consejería de Agricultura y Pesca. Colección "Agricultura. Serie Riegos". ISBN: 84-8474-117-6

Junta de Andalucía (2003): “Estudio previo de infraestructuras del Ciclo Integral del agua y análisis económico y de gestión de los sistemas: Granada, Sierra Nevada-Vega Sur y La Vega-Sierra Elvira”. Proyecto desarrollado por GIASA-Consejería de Obras Públicas y Transportes.

Mangin, A. (1982): L'approche systémique du karst, conséquences conceptuelles et méthodologiques. Reunión Monográfica Karst Larra. 141–157. Diputación Foral de Navarra, Pamplona.

MOPTMA-MINER (1994): “Libro Blanco de las Aguas Subterráneas”

Quinn and Hickey (1994): “Hydraulic parameters and benthic invertebrate distributions in two gravel-bed New Zealand rivers”. Freshwater Biology, 32, 489–500.

Sánchez-González, A. y Murillo Díaz, J.M. (1997): “Integración de los acuíferos en los sistemas de explotación de recursos hídricos. programa estatal de estudios para la definición de la utilización coordinada de los recursos superficiales y subterráneos” (DGOHCA-ITGE).

Servicio Geológico de la Dirección General de Obras Hidráulicas (1992) : “Estudio hidrogeológico de la Sierra de Albuñuelas”. Ministerio de Medio Ambiente.

Servicio Geológico-Dirección General de Obras Hidráulicas (1991) : “Estudio hidrogeológico de las Sierras Tejeda, Almijara y Guajaras (Málaga y Granada)”. Ministerio de Medio Ambiente.

Temez, J.R. (1977) : “Modelo matemático de transformación precipitación-aportación. Asociación de Investigación Industrial Eléctrica-ASINEL.