

***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***



MEMORIA

El presente informe forma parte de los trabajos contemplados en el Convenio de Colaboración establecido entre el IGME y la Agencia Andaluza del Agua para el periodo 2003-2006. El equipo de realización ha estado constituido por el siguiente personal técnico:

Dirección del proyecto:

José Manuel Murillo Díaz (Instituto Geológico y Minero de España)

Isabel Clara Rodríguez Medina (Agencia Andaluza del Agua)

María Estirado Oliet (Agencia Andaluza del Agua)

Hidrogeología Regional:

Juan Carlos Rubio Campos (Oficina de Granada del Instituto Geológico y Minero de España)

Antonio González Ramón (Oficina de Granada del Instituto Geológico y Minero de España)

Elaboración del modelo matemático de uso conjunto y autoría del informe:

José Manuel Murillo Díaz (Instituto Geológico y Minero de España)

Juan Antonio Navarro Iañez (Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas-UPM)

Tratamiento informático de datos:

Catalina Sesmero Cediel (Hidrogeólogo)

Cálculo de los caudales ecológicos:

Domingo Baeza (Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes de Madrid)

Este informe contempla las siguientes asistencias técnicas:

- Realización del modelo de uso conjunto de la cornisa de la Vega de Granada.
- Estudio de la metodología para la integración de recursos hídricos subterráneos, superficiales y alternativos en la cornisa de la Vega de Granada. Tratamiento de datos, modelación matemática de acuíferos y modelación matemática del sistema superficial.
- Determinación y evaluación de la influencia que tienen las descargas subterráneas en el régimen ecológico que precisan los ríos que drenan la cornisa de la Vega de Granada para lograr un uso sostenible en los acuíferos de la cabecera del río Genil.
- Elaboración de una memoria síntesis sobre el empleo de técnicas de uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas al objeto de mejorar el actual abastecimiento a Granada capital y comarca.

Los trabajos recogidos en la presente memoria han sido posibles gracias a la colaboración de diferentes organismos públicos y empresas de carácter privado y estatal. En particular se agradece la colaboración de EMASAGRA, AGUASVIRA, Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, Diputación Provincial de Granada y muy especialmente al profesor **Andrés Sahuquillo** por su constante asesoramiento en la aplicación del método de los autovalores.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	OBJETIVOS Y ALCANCE	6
3.	ANTECEDENTES	7
3.1	ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS	11
3.2	ESTUDIOS DE REGULACIÓN DE RECURSOS SUPERFICIALES	13
3.3	ESTUDIOS RELACIONADOS CON EL ABASTECIMIENTO Y SANEAMIENTO URBANOS	13
3.4	ESTUDIOS DE USO CONJUNTO	14
4.	METODOLOGÍA	15
5.	ESTUDIO DE LAS DEMANDAS, USOS Y CONSUMOS	20
5.1	DEMANDAS, USOS Y CONSUMOS	24
5.2	DEMANDA URBANA	25
5.2.1	Consortio Sierra Nevada-Vega Sur	26
5.2.2	Consortio La Vega-Sierra Elvira	30
5.2.3	Zona septentrional de La Cornisa de Granada	34
5.2.4	Mancomunidad del Temple	37
5.2.5	Sistema Cornisa-Vega de Granada	40
5.3	DEMANDA DE RIEGOS	43
5.4	CAUDALES ECOLÓGICOS	59
5.5	DEMANDA TOTAL DEL SISTEMA CORNISA-VEGA DE GRANADA	78
6.	DETERMINACIÓN DE LAS APORTACIONES EN RÉGIMEN NATURAL	81
6.1	DATOS DE PARTIDA	82
6.2	DATOS MORFOMÉTRICOS	83
6.3	DATOS METEOROLÓGICOS	86
6.4	DATOS DE AFOROS EN CAUCES	91

6.5	SISTEMA HIDROLÓGICO SUPERFICIAL CORNISA VEGA DE GRANADA	92
6.6	TRATAMIENTO DE DATOS CLIMATOLÓGICOS	95
6.6.1	<u>Precipitaciones</u>	99
6.6.2	<u>Temperaturas</u>	103
6.7	DETERMINACIÓN DE LA ESCORRENTÍA TOTAL EN RÉGIMEN NATURAL	107
6.7.1	<u>Modelo de Temez</u>	107
6.8	CÁLCULO DE LA ESCORRENTÍA EN RÉGIMEN NATURAL	112
6.9	GENERACIÓN Y CALIBRACIÓN DE LAS SERIES DE ESCORRENTÍA EN RÉGIMEN NATURAL	127
6.9.1	<u>Embalse de Quéntar (E-21)</u>	131
6.9.2	<u>Embalse de Canales (E-20)</u>	135
6.9.3	<u>Embalse de Bermejales</u>	144
6.9.4	<u>Estación de aforos E-41 (Colomera)</u>	146
6.9.5	<u>Estación de aforos E-95 (Velillos)</u>	150
6.9.6	<u>Estación de aforos E-143 (Deifontes)</u>	153
6.9.7	<u>Series de aforos sintéticos de la Oficina de Planificación de la CHG</u>	163
7.	<u>EMBALSES SUBTERRÁNEOS</u>	167
8.	<u>ANÁLISIS DE LA INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA SUPERFICIAL Y DE LAS FUENTES NO CONVENCIONALES DE AGUA</u>	183
8.1	CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO CORNISA-VEGA DE GRANADA	183
8.1.1	<u>Subsistema Canales-Quéntar</u>	186
8.1.2	<u>Subsistema Cubillas-Colomera</u>	187
8.1.3	<u>Subsistema Bermejales</u>	189
8.1.4	<u>Infraestructuras de regulación superficial (embalses)</u>	190
8.2	FUENTES NO CONVENCIONALES DE RECURSOS HÍDRICOS	219
8.2.1	<u>Infraestructuras de Tratamientos de Aguas Residuales Urbanas</u>	219
8.2.2	<u>Posibilidades de reutilización en regadío</u>	224

8.2.3	<u>Condicionantes para la utilización de aguas residuales tratadas en el regadío de la Vega de Granada</u>	<u>228</u>
9.	<u>FUENTES DE SUMINISTRO</u>	<u>235</u>
10.	<u>CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN DE LA GESTIÓN CONJUNTA</u>	<u>239</u>
10.1	GENERALIDADES DE LA HERRAMIENTA INFORMÁTICA AQUATOOL	241
10.2	PROCEDIMIENTO OPERATIVO EMPLEADO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN DE LA GESTIÓN CONJUNTA DEL SISTEMA CORNISA-VEGA DE GRANADA	245
10.2.1	<u>Demandas consideradas en SIMGES</u>	<u>245</u>
10.2.2	<u>Tomas</u>	<u>250</u>
10.2.3	<u>Aportaciones</u>	<u>254</u>
10.2.4	<u>Conducciones</u>	<u>257</u>
10.2.5	<u>Retornos</u>	<u>260</u>
10.2.6	<u>Bombeos adicionales</u>	<u>261</u>
10.2.7	<u>Recarga Artificial de Acuíferos</u>	<u>261</u>
10.2.8	<u>Modelación de Embalses Subterráneos en SIMGES</u>	<u>265</u>
10.2.9	<u>Criterios de Garantía utilizados</u>	<u>309</u>
10.2.10	<u>Criterios de Simulación</u>	<u>310</u>
11.	<u>SIMULACIÓN DE ALTERNATIVAS DE GESTIÓN</u>	<u>313</u>
11.1	CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE GESTIÓN SIMULADO	313
11.2	SIMULACIÓN ESCENARIOS	319
11.3	COMPARACIÓN DE SIMULACIONES	456
11.4	INFLUENCIA DEL MANTENIMIENTO DEL RÉGIMEN ECOLÓGICO DE CAUDALES SOBRE LAS GARANTÍAS DEL SISTEMA	473
12.	<u>BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA</u>	<u>480</u>

ANEJOS

- Anejo 1. Cálculos hidrológicos. Series de precipitación, temperaturas, evapotranspiración, aforos en cauces y medidas de aforos en manantiales
- Anejo 2. Simulación precipitación–escorrentía (Modelo de Temez). Aportaciones en régimen natural.
- Anejo 3. Usos y demandas.
- Anejo 4. Simulación de la gestión conjunta.
- Anejo 5. Estimación del régimen de caudales ambientales del Sistema Cornisa–Vega de Granada.
- Anejo 6. Caracterización hidromorfológica de las subcuencas del Alto Genil
- Anejo 7. Caracterización Hidrogeológica de los Embalses Subterráneos

ÍNDICE DE PLANOS

- Plano 1.–** Plano de Situación.
- Plano 2.–** Hidrología. Subcuencas y cauces.
- Plano 3.–** Acuíferos asociados al Sistema Cornisa–Vega de Granada.
- Plano 4.–** Demandas dependientes del Sistema Cornisa–Vega de Granada.
- Plano 5.–** Infraestructuras del Sistema Cornisa–Vega de Granada.
- Plano 6.–** Esquema topológico sistema Cornisa–Vega de Granada

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Demanda urbana en el sistema Cornisa-Vega de Granada.	41
Tabla 2.	Datos de población abastecida, demandas e incrementos de la demanda para el Sistema Cornisa-Vega de Granada.	42
Tabla 3.	Demanda para regadíos Sistema Cornisa-Vega de Granada	45
Tabla 4.	Distribución mensual de las demandas de riego para el sistema Cornisa-Vega de Granada	49
Tabla 5.	Resumen de las características de los centros de demanda agrícola del Sistema Cornisa-Vega de Granada	53
Tabla 6.	Cauces sobre los que se ha realizado el estudio para fijar el régimen de caudales ecológicos.	63
Tabla 7.	Régimen de caudales ecológicos fijados para los cauces relacionados con los espacios naturales de Sierra de Huétor y Sierra Nevada. Datos en m ³ /s.	73
Tabla 8.	Régimen de caudales ecológicos fijados para los cauces relacionados con los espacios naturales de Sierra de Huétor y Sierra Nevada. Datos en hm ³ /mes.	73
Tabla 9.	Comparativa de los caudales ecológicos críticos fijados y los caudales correspondientes a la escorrentía superficial obtenidos en la restitución al régimen natural en años tipo MEDIO.....	77
Tabla 10.	Escorrentía total para el conjunto de cauces relacionados con las zonas protegidas del Alto Genil (ríos Darro, Aguas Blancas, Genil, Monachil y Dílar)	78
Tabla 11.	Demandas consolidadas en el Sistema Cornisa-Vega de Granada	79
Tabla 12.	Subcuencas delimitadas en el Sistema Cornisa Vega de Granada.....	84
Tabla 13.	Parámetros morfométricos de las subcuencas consideradas en el Sistema Cornisa Vega de Granada	86
Tabla 14.	Estaciones meteorológicas de precipitación.	87
Tabla 15.	Estaciones meteorológicas de temperatura.	87
Tabla 16.	Datos de precipitación de las estaciones del INM	89
Tabla 17.	Datos de temperaturas de las estaciones del INM.....	90
Tabla 18.	Estaciones de aforo consideradas (datos CHG) en el estudio.....	92
Tabla 19.	Superficies de las subcuencas asociadas al Sistema Cornisa-Vega de Granada....	94

Tabla 20.	Estaciones del INM consideradas en el estudio climatológico	98
Tabla 21.	Datos de precipitación según años tipo (serie 1951-2004)	100
Tabla 22.	Valores de ETP anuales (serie 1951-2004)	104
Tabla 23.	Precipitación y Evapotranspiración potencial por subcuencas.....	106
Tabla 24.	Reparto superficial de los polígonos de Thiessen en las subcuencas definidas (precipitaciones)	113
Tabla 25.	Reparto superficial de los polígonos de Thiessen en las subcuencas definidas (temperaturas)	114
Tabla 26.	Superficie permeable en subcuencas definidas	117
Tabla 27.	Parámetros modelo de Temez sistema Cornisa-Vega de Granada	119
Tabla 28.	Escorrentía total, superficial y subterránea calculada mediante el modelo de Temez modificado para el Sistema Cornisa-vega de Granada	120
Tabla 29.	Escorrentía total simulada mediante el modelo de Temez. Sistema Cornisa-Vega de Granada.....	121
Tabla 30.	Escorrentía superficial simulada mediante el modelo de Temez. Sistema Cornisa- Vega de Granada	122
Tabla 31.	Escorrentía subterránea simulada mediante el modelo de Temez. Sistema Cornisa-Vega de Granada	123
Tabla 32.	Escorrentía Total Sistema Cornisa-Vega de Granada (Años Tipo)	124
Tabla 33.	Escorrentía Subterránea Sistema Cornisa-Vega de Granada (Años Tipo)	126
Tabla 34.	Coefficientes de correlación mensual y anual entre la serie generada mediante el modelo P-E de Temez y las medidas en los puntos de control	130
Tabla 35.	Coefficientes de correlación obtenidos para las series hidrológicas obtenidas mediante el modelo P-E Temez modificado y las series sintéticas de la OPH-CHG	164
Tabla 36.	Embalses subterráneos definidos en el Sistema Cornisa-Vega de Granada	168
Tabla 37.	Balances hidrogeológicos Unidades Hidrogeológicas del Sistema Cornisa-Vega de Granada (Fuente: Normas de Explotación CHG-IGME).....	169
Tabla 38.	Resultados modelo de Temez. Escorrentía superficial directa y recarga de embalses subterráneos.....	171
Tabla 39.	Resultados modelo de Temez. Escorrentía total y escorrentía subterránea del Sistema Cornisa-Vega de Granada.....	171
Tabla 40.	Datos de balance hidrogeológico en las UHH del Sistema Cornisa-Vega de Granada	176

Tabla 41.	Recursos hídricos subterráneos del Sistema Cornisa-Vega de Granada	179
Tabla 42.	Recursos hídricos subterráneos del Sistema Cornisa-Vega de Granada según Unidades Hidrogeológicas	180
Tabla 43.	Volúmenes regulados en los embalses de la Cuenca del Guadalquivir. Sistema de Explotación de Recursos Alto Genil. Datos del PHCG-Cuadro III.15.....	190
Tabla 44.	Datos estadísticos de aportaciones al embalse de Quéntar.....	191
Tabla 45.	Datos del embalse de Quéntar. Superficie de lámina de agua y capacidad de almacenamiento	192
Tabla 46.	Evaporación en lámina libre para el embalse de Quéntar.....	194
Tabla 47.	Datos de evaporación en el embalse de Quéntar.....	194
Tabla 48.	Datos estadísticos de aportaciones al embalse de Canales	196
Tabla 49.	Datos del embalse de Canales. Superficie de lámina de agua y capacidad de almacenamiento	198
Tabla 50.	Evaporación en lámina libre para el embalse de Canales	199
Tabla 51.	Datos de evaporación en el embalse de Canales	200
Tabla 52.	Datos estadísticos de aportaciones al embalse de Canales	202
Tabla 53.	Datos del embalse de Cubillas. Superficie de lámina de agua y capacidad de almacenamiento	203
Tabla 54.	Evaporación en lámina libre para el embalse de Cubillas	205
Tabla 55.	Datos de evaporación en el embalse de Cubillas	206
Tabla 56.	Datos estadísticos de aportaciones al embalse de Colomera.....	208
Tabla 57.	Datos del embalse de Colomera. Superficie de lámina de agua y capacidad de almacenamiento	209
Tabla 58.	Evaporación en lámina libre para el embalse de Colomera.....	211
Tabla 59.	Datos de evaporación en el embalse de Colomera.....	211
Tabla 60.	Datos estadísticos de aportaciones al embalse de Los Bermejales.....	213
Tabla 61.	Datos del embalse de Los Bermejales. Superficie de lámina de agua y capacidad de almacenamiento	214
Tabla 62.	Evaporación en lámina libre para el embalse de Los Bermejales.....	216
Tabla 63.	Datos de evaporación en el embalse de Los Bermejales.....	216
Tabla 64.	Resultados del modelo P-E Temez en los embalses del Sistema Cornisa-Vega de Granada (datos promedio según años tipo)	218

Tabla 65.	Capacidad de tratamiento de las EDAR. Situación Actual	221
Tabla 66.	Actuaciones del Plan de Saneamiento y Depuración para el Área Metropolitana de Granada	222
Tabla 67.	Capacidad de tratamiento de las EDAR. Situación Futura	223
Tabla 68.	Directrices recomendadas sobre la calidad microbiológica de las aguas residuales utilizadas en agricultura.....	229
Tabla 69.	Métodos de tratamiento recomendados para satisfacer criterios sanitarios establecidos por la Norma OMS-1973 para la reutilización de aguas depuradas.....	229
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)	232
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).....	232
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)	233
Tabla 73.	Fuentes de Suministro según Demandas en el Sistema Cornisa-Vega de Granada	236
Tabla 74.	Fuentes de suministro de origen superficial y reguladas por embalses del sistema Cornisa-Vega de Granada	237
Tabla 75.	Fuentes de suministro de origen subterráneo y residuales depuradas del sistema Cornisa-Vega de Granada	238
Tabla 76.	Demandas consideradas en el modelo de simulación de la gestión	248
Tabla 77.	Aportaciones consideradas en el modelo de simulación (aportaciones en régimen natural obtenidas mediante la aplicación del método de Temez modificado).....	255
Tabla 78.	Parámetros de recarga diferida considerados en las conducciones Tipo 2	259
Tabla 79.	Parámetros modelación embalses subterráneos sector septentrional Cornisa de Granada. Modelos unicelulares	266
Tabla 80.	Acuíferos considerados en SIMGES. Sector septentrional Cornisa de Granada...	267
Tabla 81.	Parámetros simulación acuífero Sierra Arana	267

Tabla 82.	Valores del parámetro de agotamiento para el embalse subterráneo de Sierra Arana	269
Tabla 83.	Coefficiente correlación series mensuales y anuales descarga manantial Deifontes	271
Tabla 84.	Parámetros modelación embalses subterráneos sector Huétor-Sierra Nevada. Modelos unicelulares.....	273
Tabla 85.	Acuíferos considerados en SIMGES. Sector Huétor-Padúl	274
Tabla 86.	Parámetros modelación embalses subterráneos sector Meridional de la Cornisa de Granada. Modelos unicelulares	274
Tabla 87.	Acuíferos considerados en SIMGES-Sector Huétor-Padúl. Parámetros modelo P-E de Temez modificado	275
Tabla 88.	Coefficiente de agotamiento manantiales Játar- embalse subterráneo de Sierra Tejeda-vertiente Cacín	275
Tabla 89.	Parámetros de simulación del embalse subterráneo Tejeda-Almijara en SIMGES	277
Tabla 90.	Parámetros empleados para simular la transferencia lateral subterránea en la modelación del embalse subterráneo Vega de Granada	285
Tabla 91.	Parámetros simulación condición tipo río (efecto ducha-MODFLOW paquete river) en el embalse Vega de Granada	290
Tabla 92.	Balance del embalse Vega Granada régimen natural (sin bombeos) según el modelo en diferencias finitas MODLFLOW (régimen permanente).....	292
Tabla 93.	Retornos de riegos embalse subterráneo Vega de Granada.....	293
Tabla 94.	Datos de zonas regables del Sistema Cornisa-Vega de Granada	293
Tabla 95.	Acciones elementales consideradas en el modelo de autovalores Vega de Granada	303
Tabla 96.	Parámetros de control considerados en el modelo de autovalores Vega de Granada.....	304
Tabla 97.	Comparativa entre los datos de caudales obtenidos mediante el modelo de autovalores y el modelo MODLFLOW (régimen permanente)	307
Tabla 98.	Valores de déficits utilizados en los cálculos de garantías.....	310
Tabla 99.	Eficiencias regadíos Vega de Granada.....	315
Tabla 100.	Cuadro resumen de los escenarios de simulación contemplados.....	318
Tabla 101.	Resultados de la simulación Hipótesis 1-Situación Actual	320

Tabla 102.	Resultados de la simulación Hipótesis 1-Situación Actual sin bombeos Ronda Sur	321
Tabla 103.	Indicadores de garantía de las demandas para riego (Hipótesis-1)	323
Tabla 104.	Déficits medios mensuales (hm ³) de las demandas agrícolas. Hipótesis 1	324
Tabla 105.	Resultados de la simulación Hipótesis 2-Régimen Caudales Ecológicos Críticos	335
Tabla 106.	Resultados de la simulación Hipótesis 2-Régimen Caudales Ecológicos Críticos sin bombeos Ronda Sur.....	336
Tabla 107.	Indicadores de garantía de las demandas para riego (Hipótesis-2)	339
Tabla 108.	Indicadores de garantía para la demanda ecológica en el Régimen NO Influenciado y en la Hipótesis 2.....	342
Tabla 109.	Indicadores de garantía para la demanda ecológica en el Régimen NO Influenciado y en la Hipótesis 2.....	343
Tabla 110.	Caudales ecológicos fijados en el Alto Genil en función del PD-PHCG	354
Tabla 111.	Resultados de la simulación Hipótesis 3-Régimen Caudales Ecológicos PHCG .	356
Tabla 112.	Resultados de la simulación Hipótesis 3-Régimen Caudales Ecológicos PHCG sin bombeos Ronda Sur	357
Tabla 113.	Indicadores de garantía de las demandas para riego (Hipótesis-3)	359
Tabla 114.	Comparativa de los índices de garantía para el caudal ecológico entre las hipótesis 2 y 3.....	360
Tabla 115.	Resultados de la simulación Hipótesis 4-Conducción El Chaparral.....	371
Tabla 116.	Resultados de la simulación Hipótesis 4-Conducción El Chaparral sin bombeos Ronda Sur	371
Tabla 117.	Comparativa Hipótesis-2 e Hipótesis-4. Abastecimiento Urbano Vega de Granada	373
Tabla 118.	Resultados de la simulación Hipótesis 4-Conducción El Chaparral alternativa Canal de Loaysa	374
Tabla 119.	Resultados de la simulación Hipótesis 4-Conducción El Chaparral, alternativa con una capacidad de bombeo en la Ronda Sur de 3,5 hm ³ /mes	374
Tabla 120.	Indicadores de garantía de las demandas para riego (Hipótesis-4)	376
Tabla 121.	Comparativa índices de garantía Z.R. Canal Albolote	378
Tabla 122.	Resultados de la simulación Hipótesis 5-Embalse Velillos	389

Tabla 123.	Resultados de la simulación Hipótesis 5-Embalse Velillos sin bombeos Ronda Sur	
	390	
Tabla 124.	Indicadores de garantía de las demandas para riego (Hipótesis-5)	392
Tabla 125.	Comparativa índices de garantía Zonas Regables dependientes del Sistema Cubillas-Colomera	394
Tabla 126.	Comparativa de los índices de garantía para el caudal ecológico entre las hipótesis 2 y 5	396
Tabla 127.	Resultados de la simulación Hipótesis 6-Recarga Artificial	408
Tabla 128.	Indicadores de garantía de las demandas para riego (Hipótesis-6)	412
Tabla 129.	Demandas consideradas en SIMGES	415
Tabla 130.	Resultados de la simulación Hipótesis 7-Incremento Demanda Urbana	417
Tabla 131.	Indicadores de garantía de las demandas para riego (Hipótesis-7)	421
Tabla 132.	Zonas regables incluidas en el PHCG para mejora eficiencia de riegos	427
Tabla 133.	Datos de eficiencia y dotaciones y necesidades hídricas de las zonas regables objeto de mejora de riegos según el PHCG	427
Tabla 134.	Objetivos de eficiencias de riego considerados en la Hipótesis 8 de simulación	429
Tabla 135.	Posibilidades de reutilización de aguas depuradas en la Vega de Granada	431
Tabla 136.	Resultados de la simulación Hipótesis 8-Mejora regadíos y Reutilización	435
Tabla 137.	Indicadores de garantía de las demandas para riego (Hipótesis-8)	437
Tabla 138.	Comparativa índices de garantía Zonas Regables	439
Tabla 139.	Comparativa indicadores garantía ecológica hipótesis-2 e hipótesis-8	441
Tabla 140.	Resultados de la simulación Hipótesis 4bis-Apoyo Abastecimiento Acuíferos Cornisa	451
Tabla 141.	Comparativa entre simulaciones (Hipótesis 4 y 4bis)	451
Tabla 142.	Comparativa entre simulaciones (Hipótesis 4 y 4bis-alternativa 2)	452
Tabla 143.	Comparativa índices de garantía ecológica	452
Tabla 144.	Comparativa entre simulaciones (Hipótesis 4 y 4bis-alternativa 2)	453
Tabla 145.	Comparativa índices de garantía ecológica	453
Tabla 146.	Comparativa índices de garantía ecológica en el Sistema Canales-Quéntar (ríos Genil y Aguas Blancas)	454

Tabla 147. Hipótesis de simulación consideradas en el modelo SIMGES desarrollado para el Sistema Cornisa-Vega de Granada.....	456
Tabla 148. Elementos considerados en el esquema topológico correspondiente a cada escenario de simulación considerado	457
Tabla 149. Análisis comparativo escenarios de gestión conjunta simulados. Garantía mensual (Gm)	458
Tabla 150. Análisis comparativo escenarios de gestión conjunta simulados. Garantía volumétrica (Gv)	458
Tabla 151. Análisis comparativo escenarios de gestión conjunta simulados. Máximo Déficit Mensual (MDM)	459
Tabla 152. Datos resumen simulaciones.....	460
Tabla 153. Resultados índices de garantía demandas agrícolas zonas regables Vega de Granada	462
Tabla 154. Respuesta de los embalses en los diferentes escenarios de simulación.....	463
Tabla 155. Demandas servidas desde los embalses para los diferentes escenarios de simulación.....	464
Tabla 156. Resumen de los resultados de las hipótesis de simulación en el abastecimiento urbano a la Vega de Granada	466
Tabla 157. Resumen de los resultados de las hipótesis de simulación en el suministro para regadíos a la Vega de Granada	470
Tabla 158. Demandas satisfechas y déficits totales en las simulaciones de gestión realizadas para el sistema Cornisa-Vega de Granada.....	472
Tabla 159. Análisis caudales según función de ajuste de Goodrich	475
Tabla 160. Influencia en la satisfacción de las demandas consuntivas del sistema de la imposición del régimen de caudales ecológicos críticos.....	476
Tabla 161. Aumento de la Garantía del Caudal Ecológico en el Alto Genil mediante Bombeos de las Reservas de los Embalses Subterráneos	478
Tabla 162. Índices de garantía en abastecimiento urbano con simulación sondeos SER ...	479

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Localización y vista tridimensional del Sistema Cornisa-Vega de Granada	2
Figura 2.	Situación de las zonas seleccionadas. 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 (Sánchez-González y Murillo, 1997)	9
Figura 3.	Esquema Topológico del Alto Genil. 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 (Sánchez-González y Murillo, 1997)	10
Figura 4.	Sistemas de abastecimiento supramunicipales del Sistema Cornisa-Vega de Granada	23
Figura 5.	Consortio Sierra Nevada-Vega Sur.	27
Figura 6.	Datos de la demanda de agua para abastecimiento en el Consorcio Sierra Nevada-Vega Sur e incremento de demanda previsto	28
Figura 7.	Datos sobre dotaciones de abastecimiento urbano en el Consorcio Sierra Nevada-Vega Sur.	29
Figura 8.	Distribución mensual de la demanda urbana en el Consorcio Sierra Nevada-Vega Sur.	29
Figura 9.	Ubicación de la ETAP de Lancha de Genil.	30
Figura 10.	Consortio La Vega-Sierra Elvira.....	31
Figura 11.	Datos de la demanda de agua para abastecimiento en el Consorcio La Vega-Sierra Elvira e incremento de demanda previsto.	32
Figura 12.	Datos sobre dotaciones de abastecimiento urbano en el Consorcio La Vega-Sierra Elvira.....	33
Figura 13.	Distribución mensual de la demanda urbana en el Consorcio La Vega-Sierra Elvira.	33
Figura 14.	Municipios de la Zona Septentrional de la Cornisa de Granada.....	35
Figura 15.	Datos de la demanda de agua para abastecimiento en el Subsistema Septentrional de La Cornisa de Granada.....	36

Figura 16.	Datos sobre dotaciones de abastecimiento urbano en el Subsistema Septentrional de La Cornisa de Granada.	36
Figura 17.	Distribución mensual de la demanda urbana en el Subsistema Septentrional de La Cornisa de Granada.	37
Figura 18.	Municipios de la Zona Septentrional de la Cornisa de Granada.	38
Figura 19.	Datos sobre el suministro de aguas para abastecimiento en la Mancomunidad del Temple. 39	
Figura 20.	Datos sobre dotaciones de abastecimiento urbano en la Mancomunidad del Temple. 39	
Figura 21.	Distribución mensual de la demanda urbana en la Mancomunidad del Temple. 40	
Figura 22.	Demanda urbana en el sistema Cornisa-Vega de Granada	41
Figura 23.	Zonas regables en el Sistema Cornisa-Vega de Granada.	44
Figura 24.	Tipos de cultivos en el Sistema Cornisa-Vega de Granada.	46
Figura 25.	Procedencia del agua aplicada en el riego en el Sistema Cornisa-Vega de Granada. 47	
Figura 26.	Tipo de riego aplicado en parcela para el Sistema Cornisa-Vega de Granada. . 48	
Figura 27.	Distribución mensual de las dotaciones de riego según cultivos en el Sistema Cornisa-Vega de Granada	50
Figura 28.	Centros de demanda agrícola diferenciados para el Sistema Cornisa-Vega de Granada 52	
Figura 29.	Sistemas de regulación-aducción que dotan los riegos del Sistema Cornisa-Vega de Granada.....	54
Figura 30.	Zonas de interés hidroecológico en el sistema Cornisa-Vega de Granada.....	62
Figura 31.	Régimen natural conjunto Darro-Beas.....	64
Figura 32.	Régimen natural río Aguas Blancas.	65
Figura 33.	Régimen natural río Aguas Genil (antes de la confluencia con el Monachil y sin considerar la aportación del Aguas Blancas).	66
Figura 34.	Régimen natural del río Monachil.	67
Figura 35.	Régimen natural del río Dílar.	68
Figura 36.	Relación entre ecosistemas acuáticos de especial relevancia medioambiental y las aguas subterráneas (Parques Naturales de Sierra de Huétor y Sierra Nevada)	69

Figura 37.	Curvas APU-Caudal	70
Figura 38.	Análisis de caudales ecológicos en el río Darro	74
Figura 39.	Análisis de caudales en el río Aguas Blancas	74
Figura 40.	Análisis de caudales en el río Monachil	75
Figura 41.	Análisis de caudales en el río Dílar	75
Figura 42.	Comparativa del régimen de caudales ecológico y la esorrentía para los años Tipo Medio y Seco.....	77
Figura 43.	Distribución de las demandas consuntivas que registra el Sistema Cornisa-Vega de Granada según usos.....	79
Figura 44.	Subcuencas definidas en el Sistema Cornisa Vega de Granada.....	85
Figura 45.	Estaciones meteorológicas (INM) utilizadas en el estudio	88
Figura 46.	Correlación datos precipitación media anual-altitud.....	89
Figura 47.	Correlación datos ETP-altitud	90
Figura 48.	Estaciones de aforos. Datos hidrológicos	91
Figura 49.	Cuencas vertientes del Sistema Cornisa-Vega de Granada	93
Figura 50.	Estaciones meteorológicas empleadas para el estudio climatológico	97
Figura 51.	Isolíneas Precipitación año tipo SECO más probable (en mm).....	101
Figura 52.	Isolíneas precipitación año tipo MEDIO más probable (mm)	102
Figura 53.	Isolíneas precipitación año tipo HÚMEDO más probable (en mm).....	103
Figura 54.	Mapa de isolíneas de ETP	105
Figura 55.	Comparativa de Precipitaciones y ETP en el Sistema Cornisa-Vega de Granada (valores más probables)	105
Figura 56.	Componentes de la aportación en un intervalo de tiempo (modelo Temez modificado).....	109
Figura 57.	Polígonos de Thiessen utilizados para fijar las precipitaciones.....	115
Figura 58.	Polígonos de Thiessen utilizados para fijar las temperaturas	116
Figura 59.	Acuíferos del Sistema Cornisa-Vega de Granada	118
Figura 60.	Esorrentía mensual promedio del Sistema Cornisa-Vega de Granada	124
Figura 61.	Comparativa esorrentía total (año tipo Seco) y demandas consuntivas. Sistema Cornisa-Vega de Granada.....	125

Figura 62.	Comparativa escorrentía subterránea (año tipo Seco) y demandas consuntivas. Sistema Cornisa-Vega de Granada	126
Figura 63.	Comparativa series generadas modelo Temez y series reales. Coeficientes de correlación mensuales	128
Figura 64.	Comparativa series generadas modelo Temez y series reales. Coeficientes de correlación anuales	128
Figura 65.	Estaciones foronómica de la CHG y puntos de control hidrométrico (embalses). Sistema Cornisa-Vega de Granada	129
Figura 66.	Escorrentía específica en las estaciones de control. Aplicación del modelo P-E Temez	131
Figura 67.	Escorrentía total E. Quéntar (E-21). Análisis serie 1951-2004 obtenida mediante el modelo P-E de Temez modificado.....	131
Figura 68.	Calibración E-21 (E. Quéntar). Serie mensual 1951-2004	133
Figura 69.	Calibración E-21 (E. Quéntar). Serie anual 1951-2004	133
Figura 70.	Escorrentía total mensual promedio E-21(E. Quéntar).....	134
Figura 71.	Años Tipo E-21 (E. Quéntar). Serie 1951-2004.....	134
Figura 72.	Escorrentía total E. Canales (E-20). Análisis serie 1951-2004 obtenida mediante el modelo P-E de Temez modificado.....	135
Figura 73.	Modelo de fusión de la nieve empleado en Sierra Nevada (subcuenca del Alto Genil, Monachil y Dílar).....	140
Figura 74.	Comparativa de datos de escorrentía obtenidos con el modelo de Temez (considerando el deshielo) respecto a datos registrados en el embalse de Canales	141
Figura 75.	Calibración E-20 (E. Canales). Serie mensual 1951-2004.....	142
Figura 76.	Calibración E-21 (E. Quéntar). Serie anual 1951-2004	142
Figura 77.	Escorrentía total mensual promedio E-20 (E. Canales)	143
Figura 78.	Años Tipo E-20 (E. Canales). Serie 1951-2004	143
Figura 79.	Escorrentía total E. Bermejales (E-44b). Análisis serie 1951-2004 obtenida mediante el modelo P-E de Temez modificado.....	144
Figura 80.	Calibración E-44b (E. Bermejales). Serie mensual 1951-2004	145
Figura 81.	Calibración E-44b (E. Bermejales). Serie anual 1951-2004	145
Figura 82.	Escorrentía total mensual promedio E-44b (E. Bermejales)	146
Figura 83.	Años Tipo E-44b (E. Bermejales). Serie 1951-2004.....	146

Figura 84.	Escorrentía total E. Bermejales (E-44b). Análisis serie 1951-2004 obtenida mediante el modelo P-E de Temez modificado.....	147
Figura 85.	Calibración E-41 (E. Colomera). Serie mensual 1951-2004	148
Figura 86.	Calibración E-41 (E. Colomera). Serie anual 1951-2004	148
Figura 87.	Escorrentía total mensual promedio E-41 (E. Colomera).....	149
Figura 88.	Años Tipo E-41 (E. Colomera). Serie 1951-2004	149
Figura 89.	Escorrentía total e-95 (Velillos). Análisis serie 1951-2004 obtenida mediante el modelo P-E de Temez modificado	150
Figura 90.	Calibración e-95 (Velillos). Serie mensual 1951-2004	151
Figura 91.	Calibración e-95 (Velillos). Serie anual 1951-2004	151
Figura 92.	Escorrentía total mensual promedio e-95 (Velillos).....	152
Figura 93.	Años Tipo e-95 (Velillos). Serie 1951-2004.....	152
Figura 94.	Escorrentía total e-143 (M. Deifontes). Análisis serie 1951-2004 obtenida mediante el modelo P-E de Temez modificado.....	153
Figura 95.	Calibración e-143 (M. Deifontes). Serie mensual 1951-2004	154
Figura 96.	Calibración e-143 (M. Deifontes). Serie anual 1951-2004	154
Figura 97.	Escorrentía total mensual promedio e-143 (M. Deifontes)	155
Figura 98.	Años Tipo e-143 (Deifontes). Serie 1951-2004	155
Figura 99.	Embalse subterráneo Sierra Arana.....	160
Figura 100.	Calibración e-143 (M. Deifontes) modelo agotamiento. Serie mensual 1951-2004	161
Figura 101.	Calibración e-143 (M. Deifontes) modelo agotamiento. Serie anual 1951-2004	162
Figura 102.	Variación de reservas en el embalse subterráneo de Sierra Arana	163
Figura 103.	Ubicación de las secciones consideradas por la Oficina de Planificación Hidrológica de la CHG	165
Figura 104.	Comparativa series sintéticas anuales modelos P-E de Temez y P-E Sacramento (OP-CHG)	166
Figura 105.	Comparativa series sintéticas anuales modelos P-E de Temez y P-E Sacramento (OP-CHG)	166
Figura 106.	Distribución Anual de la Escorrentía Total y Subterránea del Sistema Cornisa-Vega de Granada. Periodo 1951-2004	172

Figura 107.	Distribución mensual de la Escorrentía Total y Subterránea (año Tipo Seco) del Sistema Cornisa-Vega de Granada.....	172
Figura 108.	Distribución mensual de la Escorrentía Total y Subterránea (año Tipo Medio) del Sistema Cornisa-Vega de Granada	173
Figura 109.	Distribución mensual de la Escorrentía Total y Subterránea (año Tipo Húmedo) del Sistema Cornisa-Vega de Granada.....	173
Figura 110.	Comparativa descarga a cauces en régimen natural entre las cifras del modelo P-E de Temez y las cifras consideradas en las Normas de explotación CHG-IGME	176
Figura 111.	Escorrentía subterránea Sistema Cornisa-Vega de Granada Distribución Anual en Régimen Natural (modelo P-E Temez modificado)	177
Figura 112.	Escorrentía subterránea Sistema Cornisa-Vega de Granada Distribución Mensual Años Tipo en Régimen Natural (modelo P-E Temez modificado)	178
Figura 113.	Reservas de agotamiento de los embalses subterráneos del Sistema Cornisa-Vega de Granada	182
Figura 114.	Infraestructuras hidráulicas Sistema Cornisa-Vega de Granada. Abastecimientos urbanos.....	184
Figura 115.	Infraestructuras hidráulicas Sistema Cornisa-Vega de Granada. Regadíos ...	185
Figura 116.	Hidrograma descarga manantial Deifontes (estac. aforos nº143 CHG)	187
Figura 117.	Rango de aportaciones más probables al embalse de Quéntar.....	192
Figura 118.	Curvas características del embalse de Quéntar	193
Figura 119.	Evolución del embalse de Quéntar (periodo 1986-2006)	193
Figura 120.	Datos de explotación del embalse de Quéntar. Fuente: CHG	195
Figura 121.	Explotación del embalse de Quéntar periodo 1986-2006. Comparativa entregas-aportación-almacenamiento	195
Figura 122.	Rango de aportaciones más probables al embalse de Canales	197
Figura 123.	Curvas características del embalse de Canales.....	198
Figura 124.	Evolución del embalse de Canales (periodo 1986-2006).....	199
Figura 125.	Datos de explotación del embalse de Canales. Fuente: CHG.....	200
Figura 126.	Explotación del embalse de Canales periodo 1986-2006. Comparativa entregas-aportación-almacenamiento	201
Figura 127.	Rango de aportaciones más probables al embalse de Cubillas.....	203

Figura 128.	Curvas características del embalse de Cubillas	204
Figura 129.	Evolución del embalse de Cubillas (periodo 1986-2006).....	204
Figura 130.	Datos de explotación del embalse de Cubillas. Fuente: CHG.....	206
Figura 131.	Explotación del embalse de Cubillas periodo 1986-2006. Comparativa entregas-aportación-almacenamiento	207
Figura 132.	Rango de aportaciones más probables al embalse de Colomera.....	209
Figura 133.	Curvas características del embalse de Cubillas	210
Figura 134.	Evolución del embalse de Colomera (periodo 1992-2006)	210
Figura 135.	Datos de explotación del embalse de Colomera. Fuente: CHG	212
Figura 136.	Explotación del embalse de Colomera periodo 1992-2006. Comparativa entregas-aportación-almacenamiento	212
Figura 137.	Rango de aportaciones más probables al embalse de Los Bermejales.....	214
Figura 138.	Curvas características del embalse de Los Bermejales	215
Figura 139.	Evolución del embalse de Los Bermejales (periodo 1986-2006)	215
Figura 140.	Datos de explotación del embalse de Los Bermejales. Fuente: CHG	217
Figura 141.	Explotación del embalse de Los Bermejales periodo 1986-2006. Comparativa entregas-aportación-almacenamiento	217
Figura 142.	Porcentaje que representa la escorrentía subterránea en la aportación a los embalses del Sistema Cornisa-Vega de Granada según Años Tipo	218
Figura 143.	Ubicación de las EDARs del Sistema Cornisa-Vega de Granada	220
Figura 144.	Comparativa de la capacidad de depuración y las necesidades de riego	225
Figura 145.	Porcentaje de demanda agrícola que se podrá cubrir en un futuro con aguas residuales depuradas en la Vega de Granada	226
Figura 146.	Zonas regables de la Vega de Granada e infraestructuras de depuración de aguas residuales urbanas	227
Figura 147.	Acuífero Vega de Granada. Tramos de ríos que recargan al acuífero.	263
Figura 148.	Embalse subterráneo de Sierra Arana. Datos piezométricos (espesor saturado sobre la cota de rebose).....	268
Figura 149.	Simulación de la descarga del manantial Deifontes (30a-Sierra Arana). Compartiva Modelo Pluricelular con Modelo Agotamiento Serie Mensual.....	270
Figura 150.	Simulación de la descarga del manantial Deifontes (30a-Sierra Arana). Compartiva Modelo Pluricelular con Modelo Agotamiento Serie Anual	270

Figura 151.	Comparativa de la simulación de la descarga de los manantiales de Játar (S ^a Tejada) según el coeficiente de agotamiento	276
Figura 152.	Embalses subterráneos S ^a Tejada y Almirajara. Acuífero Tejada-Almirajara	277
Figura 153.	Comparativa de la aportación al embalse de Bermejales. Serie obtenida mediante SIMGES y la registrada por la CHG	278
Figura 154.	Serie de caudales utilizada en SIMGES para simular el trasvase desde el río Alhama al embalse de Bermejales	279
Figura 155.	Mallado en diferencias finitas considerado para la simulación del embalse subterráneo Vega de Granada	282
Figura 156.	Mapa de isopacas del acuífero que define el embalse subterráneo Vega de Granada	283
Figura 157.	Mapa de isobatas del muro del embalse subterráneo Vega de Granada	284
Figura 158.	286
Figura 159.	Condiciones de contorno consideradas en el modelo diferencias finitas (MODFLOW) del embalse subterráneo Vega de Granada.....	286
Figura 160.	Modelo diferencias finitas (MODFLOW). Distribución de permeabilidades ...	287
Figura 161.	Modelo diferencias finitas (MODFLOW). Distribución de porosidad eficaz ...	288
Figura 162.	Distribución de zonas regables Vega de Granada. Retornos de riegos.	294
Figura 163.	Piezometría obtenida mediante el modelo en diferencias finitas (MODFLOW) para el embalse subterráneo vega de Granada en régimen permanente...	295
Figura 164.	Piezometría Junio-1969 acuífero Vega de Granada (A. Castillo-1986).....	296
Figura 165.	Distribución de transmisividades (T _{xx} =T _{yy}) consideradas en el modelo de autovalores del embalse subterráneo Vega de Granada	298
Figura 166.	Mapa de isoespesor saturado del embalse subterráneo Vega de Granada....	299
Figura 167.	Distribución de porosidad eficaz considerada en el modelo de autovalores del embalse subterráneo Vega de Granada	300
Figura 168.	Valores establecidos en el modelo de autovalores en las celdas con nivel constante	301
Figura 169.	Condiciones de contorno consideradas en el modelo de autovalores (AQUIVAL)	302
Figura 170.	Situación de los piezómetros considerados como parámetros de control	305
Figura 171.	Correlación entre los datos piezométricos obtenidos mediante el modelo de autovalores y el modelo MODFLOW (régimen permanente)	308

Figura 172.	Déficits en la Demanda Urbana Sierra Nevada-Vega Sur Hipótesis 1-sin bombes de la Ronda Sur	321
Figura 173.	Suministro de agua para abastecimiento urbano Hipótesis-1.....	322
Figura 174.	Procedencia de los recursos suministrado para riegos. Hipótesis 1	324
Figura 175.	Evolución de los embalses del sistema Canales-Quéntar (Hipótesis 1)	325
Figura 176.	Evolución de los embalses del sistema Cubillas-Colomera (Hipótesis 1).....	325
Figura 177.	Evolución embalse Los Bermejales (Hipótesis 1).....	326
Figura 178.	Simulación de la descarga que recibe el río Genil del embalse subterráneo Vega de Granada mediante el modelo de autovalores. Hipótesis 1.....	327
Figura 179.	Piezómetros de control del embalse subterráneo Vega de Granada	328
Figura 180.	Bombes simulados embalse subterráneo Vega de Granada. Hipótesis 1-escenario actual.....	329
Figura 181.	Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 1. Piezómetro 194160035	330
Figura 182.	Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 1. Piezómetro 194170157	331
Figura 183.	Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 1. Piezómetro 194170067	331
Figura 184.	Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 1. Piezómetro 194170026	332
Figura 185.	Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 1. Piezómetro 194240172	332
Figura 186.	Aportación del Sistema Cornisa-Vega de Granada a Iznajar. Hipótesis 1	333
Figura 187.	Esquema topológico del Alto Genil-Hipótesis 2.....	335
Figura 188.	Déficits en la Demanda Urbana Sierra Nevada-Vega Sur Hipótesis 2-sin bombes Ronda Sur	337
Figura 189.	Suministro de agua para abastecimiento urbano Hipótesis-2.....	338
Figura 190.	Procedencia de los recursos suministrado para riegos. Hipótesis 2	340
Figura 191.	Régimen de caudales ecológicos calculados para el sistema Canales-Quéntar.	341
Figura 192.	Comparación demanda ecológica y esorrentía total en régimen NO influenciado. Ríos Genil y Aguas Blancas	341

Figura 193.	Déficits asociados a la demanda en caudales ecológicos sistema Canales-Quéntar. Hipótesis 2	342
Figura 194.	Régimen de caudales ecológicos en el Alto Genil	343
Figura 195.	Evolución de los embalses del sistema Canales-Quéntar (Hipótesis 2)	344
Figura 196.	Evolución de los embalses del sistema Cubillas-Colomera (Hipótesis 2)	344
Figura 197.	Evolución de los embalses del sistema Bermejales (Hipótesis 2)	345
Figura 198.	Bombeos en el embalse subterráneo Vega de Granada. Hipótesis 2	347
Figura 199.	Bombeos en el Campo de Pozos Ronda Sur (embalse subterráneo Vega de Granada). Hipótesis 2	347
Figura 200.	Simulación de la descarga que recibe el río Genil del embalse subterráneo Vega de Granada mediante el modelo de autovalores. Hipótesis 2	348
Figura 201.	Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 2. Piezómetro 194160035	349
Figura 202.	Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 2. Piezómetro 194170157	349
Figura 203.	Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 2. Piezómetro 194170172	350
Figura 204.	Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 2. Piezómetro 194240026	350
Figura 205.	Aportación del Sistema Cornisa-Vega de Granada a Iznajar. Hipótesis 2	351
Figura 206.	Comparativa de los caudales ecológicos mínimos que derivan de la aplicación del PD-PHCG con los caudales	355
Figura 207.	Comparativa caudales ecológicos críticos calculados y los caudales ecológicos mínimos del PD-PHCG	355
Figura 208.	Déficits en la Demanda Urbana Sierra Nevada-Vega Sur Hipótesis 3-sin bombeos Ronda Sur	357
Figura 209.	Suministro de agua para abastecimiento urbano Hipótesis-3	358
Figura 210.	Procedencia de los recursos suministrado para riegos. Hipótesis 3	360
Figura 211.	Déficits asociados a la demanda en caudales ecológicos sistema Canales-Quéntar. Hipótesis 3	361
Figura 212.	Evolución de los embalses del sistema Canales-Quéntar (Hipótesis 3)	362
Figura 213.	Evolución de los embalses del sistema Cubillas-Colomera (Hipótesis 3)	362

Figura 214.	Evolución de los embalses del sistema Bermejales (Hipótesis 3).....	363
Figura 215.	Descarga mensual promedio del acuífero Vega de Granada al río Genil. Relación río-acuífero	364
Figura 216.	Bombeos en el embalse subterráneo Vega de Granada. Hipótesis 3	364
Figura 217.	Simulación de la descarga que recibe el río Genil del embalse subterráneo Vega de Granada mediante el modelo de autovalores. Hipótesis 3.....	365
Figura 218.	Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 3. Piezómetro 194160035	366
Figura 219.	Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 3. Piezómetro 194170157	366
Figura 220.	Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 3. Piezómetro 194170172	367
Figura 221.	Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 3. Piezómetro 194240026	367
Figura 222.	Aportación del Sistema Cornisa-Vega de Granada a Iznajar. Hipótesis 3	368
Figura 223.	Déficits en la Demanda Urbana Sierra Nevada-Vega Sur Hipótesis 4-sin bombeos Ronda Sur	372
Figura 224.	Suministro de agua para abastecimiento urbano Hipótesis-4.....	375
Figura 225.	Procedencia de los recursos suministrado para riegos. Hipótesis 4	377
Figura 226.	Caudal circulante por el Canal Albolote en las hipótesis de simulación 2 y 4 378	
Figura 227.	Déficits asociados a la demanda en caudales ecológicos sistema Canales- Quéntar. Hipótesis 4	379
Figura 228.	Evolución de los embalses del sistema Canales-Quéntar (Hipótesis 4)	380
Figura 229.	Evolución de los embalses del sistema Cubillas-Colomera (Hipótesis 4).....	380
Figura 230.	Evolución de los embalses del sistema Bermejales (Hipótesis 4).....	381
Figura 231.	Simulación de la descarga que recibe el río Genil del embalse subterráneo Vega de Granada mediante el modelo de autovalores. Hipótesis 4.....	382
Figura 232.	Bombeos en el embalse subterráneo Vega de Granada. Hipótesis 4	383
Figura 233.	Bombeos simulados en el acuífero Vega de Granada para abastecimiento al Consortio La Vega-S ^a Elvira.....	383
Figura 234.	Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 4. Piezómetro 194160035	384

Figura 235.	Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 4. Piezómetro 194170157	384
Figura 236.	Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 4. Piezómetro 194170172	385
Figura 237.	Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 4. Piezómetro 194240026	385
Figura 238.	Aportación del Sistema Cornisa-Vega de Granada a Iznajar. Hipótesis 4	386
Figura 239.	Escorrentía total que registra la cuenca de recepción del embalse de Velillos 388	
Figura 240.	Déficits en la Demanda Urbana Sierra Nevada-Vega Sur Hipótesis 5-sin bombeos Ronda Sur	390
Figura 241.	Suministro de agua para abastecimiento urbano Hipótesis-5.....	391
Figura 242.	Procedencia de los recursos suministrado para riegos. Hipótesis 5	393
Figura 243.	Funcionamiento de la conexión Velillos-Colomera Hipótesis 5. Serie completa mensual simulada (1951-2004)	394
Figura 244.	Funcionamiento de la conexión Velillos-Colomera Hipótesis 5. Valores promedio mensuales.....	394
Figura 245.	Déficits simulados para las zonas regables del subsistema Cubillas-Colomera. Hipótesis 5 (embalse de Velillos)	395
Figura 246.	Déficits simulados para las zonas regables del subsistema Cubillas-Colomera. Hipótesis 1 (situación actual).....	395
Figura 247.	Déficits asociados a la demanda en caudales ecológicos sistema Canales- Quéntar. Hipótesis 5.....	396
Figura 248.	Evolución de los embalses del sistema Canales-Quéntar (Hipótesis 5)	397
Figura 249.	Evolución de los embalses del sistema Cubillas-Colomera (Hipótesis 5).....	398
Figura 250.	Regulación ofrecida por el sistema Cubillas-Colomera	398
Figura 251.	Evolución del embalse de Velillos (Hipótesis 5)	399
Figura 252.	Evolución de los embalses del sistema Bermejales (Hipótesis 5).....	399
Figura 253.	Simulación de la descarga que recibe el río Genil del embalse subterráneo Vega de Granada mediante el modelo de autovalores. Hipótesis 5.....	400
Figura 254.	Simulación de la descarga promedio mensual que recibe el río Genil del embalse subterráneo Vega de Granada. Comparativa Hipótesis 5-Régimen Natural.....	401
Figura 255.	Bombeos en el embalse subterráneo Vega de Granada. Hipótesis 5	402

Figura 256.	Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 5. Piezómetro 194160035	403
Figura 257.	Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 5. Piezómetro 194170157	403
Figura 258.	Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 5. Piezómetro 194170172	404
Figura 259.	Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 5. Piezómetro 194240026	404
Figura 260.	Aportación del Sistema Cornisa-Vega de Granada a Iznajar. Hipótesis 5	405
Figura 261.	Recarga artificial programada en el embalse subterráneo Vega Granada con excedentes de los ríos Genil y Monachil	406
Figura 262.	Recarga artificial programada en el embalse subterráneo Vega Granada con excedentes de los ríos Genil y Monachil. Valores promedio mensual	407
Figura 263.	Comparativa bombeos Vega Granada hipótesis 5 e hipótesis 6	407
Figura 264.	Comparativa bombeos Ronda Sur hipótesis 5 e hipótesis 6	408
Figura 265.	Suministro de agua para abastecimiento urbano Hipótesis-6	409
Figura 266.	Piezómetros de control del embalse subterráneo Vega de Granada	410
Figura 267.	Evolución piezométrica comparada PziGME 194240026	411
Figura 268.	Evolución piezométrica comparada PziGME 194170172	411
Figura 269.	Caudal circulante río Genil aguas abajo de la recarga artificial	413
Figura 270.	Caudal circulante promedio mensual en el río Genil aguas debajo de la recarga artificial	413
Figura 271.	Aportación del Sistema Cornisa-Vega de Granada a Iznajar. Hipótesis 5	414
Figura 272.	Suministro de agua para abastecimiento urbano Hipótesis-7	418
Figura 273.	Déficits en el abastecimiento urbano a la Vega de Granada-Hipótesis 7	419
Figura 274.	Suministro de agua para abastecimiento al Consorcio La Vega-Sierra Elvira	419
Figura 275.	Déficits en el abastecimiento urbano a la Vega de Granada-Hipótesis 7 con bombeos en la Vega de Granada para abastecimiento de 10 hm ³ /mes	420
Figura 276.	Procedencia de los recursos suministrado para riegos. Hipótesis 7	421
Figura 277.	Déficits asociados a la demanda en caudales ecológicos sistema Canales- Quéntar. Hipótesis 7	422

Figura 278.	Recarga artificial embalse subterráneo Vega de Granada. Promedio mensual-Hipótesis 7.....	423
Figura 279.	Recarga artificial embalse subterráneo Vega de Granada. Serie completa mensual-Hipótesis 7.....	423
Figura 280.	Evolución piezométrica comparada PziGME 194240026	424
Figura 281.	Evolución piezométrica comparada PziGME 194170172	424
Figura 282.	Descarga que registra el río Genil procedente del embalse subterráneo Vega de Granada	425
Figura 283.	Aportación del Sistema Cornisa-Vega de Granada a Iznajar. Hipótesis 7.....	426
Figura 284.	Posibilidades de reutilización de las aguas tratadas en el riego de la Vega de Granada	432
Figura 285.	Recarga artificial programada en el embalse subterráneo Vega Granada con excedentes de los ríos Genil y Monachil-Hipótesis 8.....	434
Figura 286.	Recarga artificial programada en el embalse subterráneo Vega Granada con excedentes de los ríos Genil y Monachil. Valores promedio mensual. Hipótesis 8.....	434
Figura 287.	Comparativa bombeos Vega Granada hipótesis 6 e hipótesis 8	435
Figura 288.	Suministro de agua para abastecimiento urbano Hipótesis-8.....	436
Figura 289.	Procedencia de los recursos suministrado para riegos. Hipótesis 8	438
Figura 290.	Déficits simulados para las zonas regables del subsistema Cubillas-Colomera. Hipótesis 8	440
Figura 291.	Déficits asociados a la demanda en caudales ecológicos sistema Canales-Quéntar. Hipótesis 8.....	441
Figura 292.	Evolución de los embalses del sistema Canales-Quéntar (Hipótesis 8)	442
Figura 293.	Evolución de los embalses del sistema Cubillas-Colomera (Hipótesis 8).....	443
Figura 294.	Evolución del embalse de Velillos (Hipótesis 8)	443
Figura 295.	Evolución de los embalses del sistema Bermejales (Hipótesis 8).....	444
Figura 296.	Simulación de la descarga que recibe el río Genil del embalse subterráneo Vega de Granada mediante el modelo de autovalores. Hipótesis 8.....	445
Figura 297.	Comparativa de la descarga que recibe el río Genil del embalse subterráneo Vega de Granada	445
Figura 298.	Bombeos en el embalse subterráneo Vega de Granada. Hipótesis 8	446

Figura 299.	Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 8. Piezómetro 194170172	447
Figura 300.	Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 5. Piezómetro 194240026	447
Figura 301.	Aportación del Sistema Cornisa-Vega de Granada a Iznajar. Hipótesis 8.....	448
Figura 302.	Sectores de explotación propuestos para el aprovechamiento de aguas subterráneas en la Cornisa de Granada	450
Figura 303.	Simulación de bombeos embalse subterráneo Aguas Blancas. Promedio mensual	455
Figura 304.	Simulación de bombeos embalse subterráneo Aguas Blancas. Bombeo total anual	455
Figura 305.	Respuesta de los embalses en los diferentes escenarios de simulación.....	464
Figura 306.	Demandas servidas desde los embalses para los diferentes escenarios de simulación	465
Figura 307.	Resumen de los resultados de las simulaciones efectuadas para la demanda urbana. Demandas y déficits.....	467
Figura 308.	Datos de fuentes de suministros en el abastecimiento urbano a la Vega de Granada en las hipótesis consideradas	468
Figura 309.	Resumen de los resultados de las simulaciones efectuadas para la demanda agrícola. Demandas y déficits	469
Figura 310.	Datos de fuentes de suministros en la dotación para riego a la Vega de Granada en las hipótesis consideradas	469
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.....	472
Figura 312.	Demandas satisfechas por el Sistema Cornisa-Vega de Granada en los diferentes escenarios de simulación	473
Figura 313.	Comparativa de la escorrentía en régimen natural de los cauces del Alto Genil y el régimen de caudales ecológico crítico calculado	474
Figura 314.	Serie de escorrentía (1953-2004) en régimen natural de los cauces del Alto Genil y régimen de caudales ecológico crítico calculado	474
Figura 315.	Escorrentía Total régimen natural en el Alto Genil y caudales ecológicos críticos	475

Figura 316. Déficits en la satisfacción de la demanda asociada al régimen de caudales ecológico críticos del Alto Genil	477
Figura 317. Sondeos Regulación Ecológica Alto Genil. Garantía mensual en la Demanda Ecológica	479

1. INTRODUCCIÓN

El **Sistema Cornisa-Vega de Granada** lo conforman el sistema hidráulico del Alto Genil y todos los sistemas que circundan la Vega de Granada (Figura 1). De este sistema depende el abastecimiento al “Área Metropolitana de Granada” y los núcleos de la Vega de Granada, aglutinados bajo los Consorcios de Sierra Nevada-Vega Sur, que gestiona la empresa Emasagra y el Consorcio La Vega-Sierra Elvira, que gestiona la empresa AGUASVIRA; los municipios situados en la cabecera de los ríos Beiro, Darro, Aguasvivas y Genil, que disponen de sistemas de abastecimiento independientes; los municipios de Sierra Colomera y Madrid-Parapanda (borde norte de la Vega de Granada) y los municipios acogidos a la Mancomunidad del Temple (borde sur de la Vega de Granada), en total unas 534.000 personas. Asimismo, el sistema incluye los regadíos de la Vega de Granada, unas 35.000 ha (zonas regables de la Vega de Granada y del Canal del Cacín), y los regadíos de la Cornisa de Granada (algo más de 12.000 ha distribuidos entre las zonas regables de Montefrío, Iznalloz y Alhama de Granada) y las demandas asociadas a importantes Polígonos Industriales que se han desarrollado en la propia Vega de Granada.

Las grandes infraestructuras hidráulicas de que dispone el **Sistema Cornisa-Vega de Granada** están vinculados a la regulación, conducción y distribución de recursos hídricos para el suministro a la importante demanda agrícola existente en la Vega de Granada, que demanda unos recursos medios anuales de 211 hm³.

No obstante, en los últimos años y como consecuencia del constante crecimiento de la demanda urbana y la necesidad de mejorar los sistemas de abastecimiento y saneamiento de la zona metropolitana de Granada y los núcleos de la Vega de Granada, que exigen un suministro medio anual de 66 hm³, se están acometiendo una serie de actuaciones que repercutirán en una modificación sustancial de la gestión de los recursos hídricos del sistema destinados al abastecimiento urbano.

Junto a estas actuaciones de índole supramunicipal se proyectan llevar a efecto, se han venido desarrollado actuaciones de ámbito municipal que han mejorado el abastecimiento a municipios de la Cornisa de Granada, bien por iniciativa propia de los ayuntamientos o por actuaciones promovidas por la Diputación Provincial de Granada.

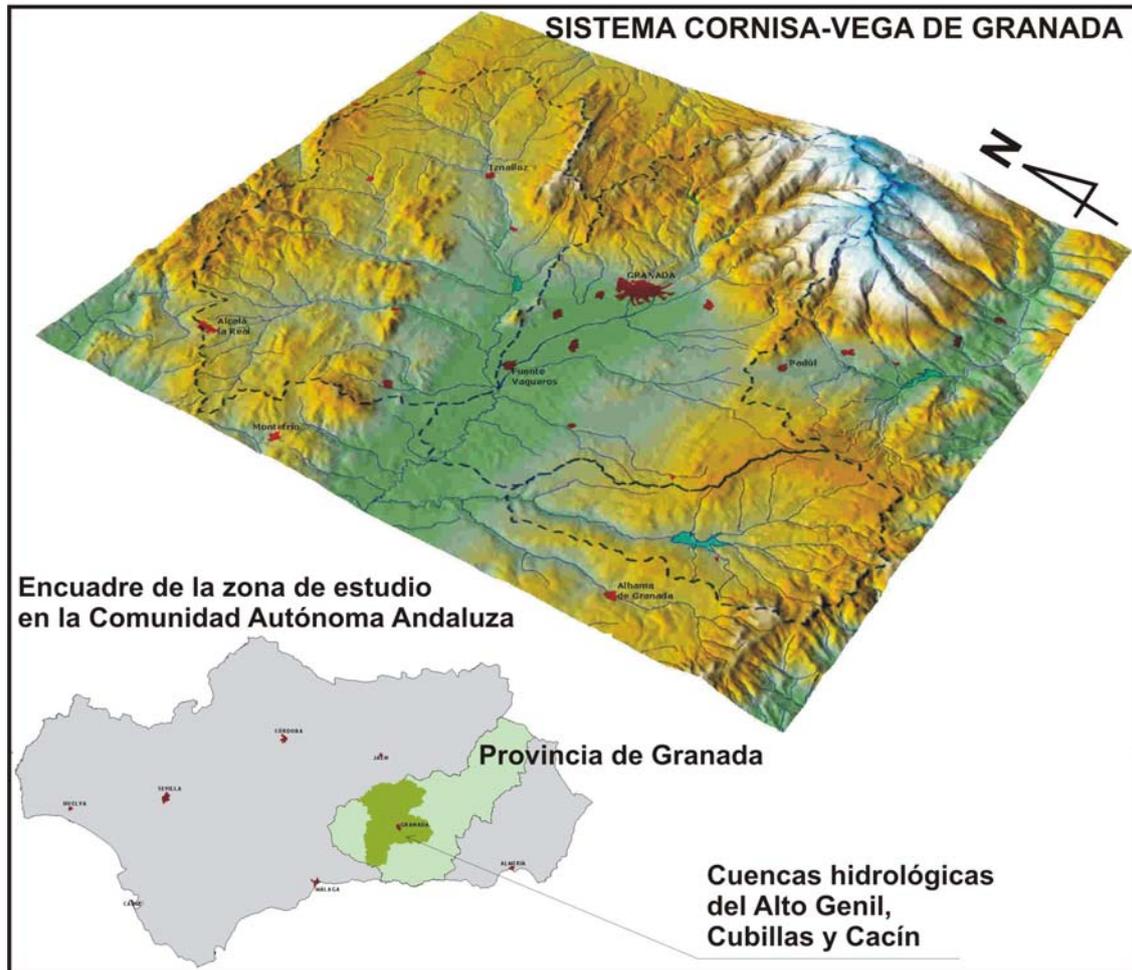


Figura 1. Localización y vista tridimensional del Sistema Cornisa-Vega de Granada

En el presente estudio se ha recopilado una importante cantidad de información de diversa índole sobre la zona de estudio, que han permitido configurar el funcionamiento hidráulico del Sistema Cornisa-Vega de Granada, que se articula como

un sistema muy complejo, el cual ha sido necesario simplificar de manera que sea factible proceder al análisis de la gestión del mismo bajo una óptica de uso conjunto de los recursos hídricos superficiales y subterráneos, que redunde en una mejora sustancial de los indicadores de satisfacción de las demandas servidas considerando el régimen hidrológico de aportaciones que reciben y las infraestructuras hidráulicas existentes o que se prevén implantar en un futuro próximo, como consecuencia del desarrollo del Plan Hidrológico de la Cuenca del Guadalquivir o de las iniciativas que se deriven de los estudios previos que, sobre el Ciclo Integral del Agua, para los sistemas Granada, Sierra Nevada–Vega Sur y La Vega–Sierra Elvira, está desarrollando la Junta de Andalucía.

Los datos que han sido utilizados en el presente estudio son de procedencia diversa. Este hecho es consecuencia de la relevancia que este sistema presenta, lo que ha suscitado que numerosos organismos de la administración autonómica o estatal hayan dedicado esfuerzos para mejorar su conocimiento, tanto en lo referente a la diversificación de las fuentes de suministro, como a los sistemas de regulación, conducción y distribución; así como por la limitación que para la gestión impone el régimen concesional existente.

El hecho de abordar un proyecto de uso conjunto, como el que se recoge en el presente documento, responde a la necesidad de ofrecer respuestas, en términos de gestión, a la reordenación que se está produciendo en los aprovechamientos agrícolas, en función de la propia evolución del mercado, las exigencias asociadas a la normativa europea derivada del nuevo sistema de financiación de la Política Agrícola Común (PAC) y la presión urbanística; y la creciente necesidad de dotar a los sistemas de abastecimiento urbanos de unos mejores índices de garantía, a través de una diversificación de las fuentes de suministro, mejora de la calidad del agua suministrada, mejora de las conducciones y sistemas de potabilización, y de una mejora sustancial en los sistemas de saneamiento.

La complejidad que deviene de la interrelación de todos estos aspectos, exige analizar con detalle el conjunto de elementos que intervienen en la gestión de los recursos hídricos del sistema, mediante técnicas que permitan la simulación de diferentes escenarios e hipótesis de gestión conjunta a establecer en el sistema, como consecuencia de la previsible evolución de las demandas como de la implantación de nuevas infraestructuras hidráulicas de regulación, conducción, potabilización o saneamiento.

El **Sistema Cornisa-Vega** de Granada ha presentando a lo largo de las últimas décadas una relativa gestión conjunta de los recursos hídricos superficiales y subterráneos de que dispone, bien mediante el uso alternativo de estos recursos, derivado de un intrincado régimen concesional que afecta, sobre todo, al suministro agrícola o de la necesidad de dotar de recursos al suministro urbano ante situaciones de escasez o por el empeoramiento de la calidad del agua suministrada.

De hecho los acuíferos o embalses subterráneos asociados al sistema son objeto de un intensivo aprovechamiento de sus recursos, bajo una óptica de utilización de los mismos que ha permitido dotar las demandas dependientes del sistema cuando el subsistema estrictamente superficial ha fallado, lo que ha derivado en unas reglas de operación, para la gestión de los recursos subterráneos, que no es consecuencia de una estrategia de gestión conjunta previamente planificada, sino la respuesta a impulsos derivados de un aumento de la demanda o de la escasez de recursos.

El estudio que se presenta constituye una herramienta para la gestión conjunta del Sistema Cornisa-Vega de Granada, que parte de un exhaustivo trabajo de recopilación, análisis y tratamiento de los datos climatológicos e hidrológicos disponibles para el periodo 1951-2004, con el objetivo de disponer de una serie suficientemente larga (53 años) de las aportaciones en régimen natural de cada uno de los elementos del sistema, descomponiendo las componentes superficial y subterránea.

Además, se han actualizado los datos existentes sobre demandas al objeto de fijar las mismas según los diferentes usos existentes, tanto consuntivos como no consuntivos, para la situación actual como la prognosis para futuros horizontes de planificación. También se ha analizado el régimen hidráulico de funcionamiento de las infraestructuras existentes y las que se proyectan implantar.

Así, el trabajo desarrollado se apoya en tres pilares básicos: aportaciones, demandas e infraestructuras. Para la simulación de la gestión conjunta de los recursos hídricos se ha utilizado el paquete AQUATOOL (en el apartado 10.1 de la presente memoria se detallan las características de esta aplicación informática), que permite la comparación de diferentes alternativas de gestión de los recursos hídricos.

Además, en el modelo de uso conjunto desarrollado se han incluido restricciones medioambientales, aplicando una metodología específica para fijar los *caudales ecológicos* en algunos cauces del sistema, considerando los caudales ambientales fijados como una restricción en la regulación del sistema hidrológico.

2. OBJETIVOS Y ALCANCE

El presente estudio ha sido concebido y desarrollado de acuerdo a la metodología, programación, personal y medios auxiliares necesarios para llevar a cabo satisfactoriamente un plan de trabajo que ha cumplido los siguientes objetivos:

- Análisis las **alternativas de uso conjunto** de los recursos superficiales, subterráneos y no convencionales (aguas residuales regeneradas) del Sistema Cornisa-Vega de Granada, como vía para la optimización en la gestión de sus recursos hídricos que redunde en una mejora en la garantía de satisfacción de las demandas, en la recuperación de acuíferos intensamente explotados y en la protección de áreas de interés ambiental.
- Incorporación de criterios de gestión de recursos hídricos fundamentados en la **minimización del coste del agua** suministrada y en la **maximización de las garantías**.
- Desarrollo de una metodología de trabajo que permita **incorporar criterios de gestión de recursos hídricos basados en la protección medioambiental de cauces**, mediante la consideración de caudales ecológicos o ambientales.

3. ANTECEDENTES

El presente estudio toma referencias metodológicas de los trabajos desarrollados en 1997 por el Ministerio de Medio Ambiente (Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas-DGOHCA-) y el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) bajo el título “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” (Sánchez-González y Murillo, 1997). En estos trabajos se recogían las actuaciones asociadas al Programa nº16 del Libro Blanco de las Aguas Subterráneas (MOPTMA-MINER, 1994) titulado “Integración de las Unidades Hidrogeológicas en los Sistemas de Explotación” con el objetivo de implantar la utilización conjunta en las zonas donde puede obtenerse una mejora significativa en la gestión, estableciendo la necesidad de recorrer tres etapas secuenciales:

- Realización de estudios y análisis de sistemas de explotación.
- Redacción de proyectos de las infraestructuras necesarias.
- Implantación real de los esquemas de uso conjunto.

El estudio del Sistema Cornisa-Vega de Granada se enmarcaría dentro de la primera etapa, donde se fijaban los siguientes resultados:

- Determinación de los recursos disponibles.
- Identificación de las infraestructuras.
- Concreción de las reglas básicas de operación de las infraestructuras.
- Valoración de variables de trascendencia económica.
- Efectos externos inducidos (modificación en la disponibilidad de recursos aguas abajo del sistema estudiado, afección a zonas de interés ecológico o modificaciones inducidas a usuarios de aguas subterráneas no integrables en el sistema de uso conjunto).

En el mencionado documento elaborado por la DGOHCA y el IGME se seleccionaron un total de 27 esquemas (Figura 2) donde realizar los estudios y análisis de uso conjunto, atendiendo a criterios de competencia hidráulica de la Administración del Estado, cuantía de los recursos subterráneos implicados, persistencia de una configuración topológica adecuada y coordinación con otros programas de aguas subterráneas (recarga artificial y emergencias de sequía). Entre los 27 esquemas seleccionados se consideraba el Sistema de Explotación **Alto Genil**, que se definió en referencia a los siguientes elementos:

- Unidades Hidrogeológicas:
 - 05.28/Montes Orientales
 - 05.29/Sierra Colomera
 - 05.30/Sierra Arana
 - 05.31 /La Peza
 - 05.32/Depresión de Granada
 - 05.41 /Padúl
 - 05.42/Tejeda–Almijara–Guajaras

- Principales Infraestructuras Hidráulicas de superficie:
 - Embalse de Quéntar.
 - Embalse de Cubillas.
 - Embalse de Canales.
 - Embalse de Bermejales.
 - Embalse de Colomera.

Y cuyo objetivo principal de Utilización Conjunta era el apoyo a la dotación del abastecimiento de Granada y al riego en su Vega.

El **Sistema Cornisa–Vega de Granada** analizado en el presente estudio se corresponde con el sistema de explotación Alto Genil al que hace referencia el documento DGOHCA–IGME. En la Figura 3 se expresa el esquema topológico del sistema.

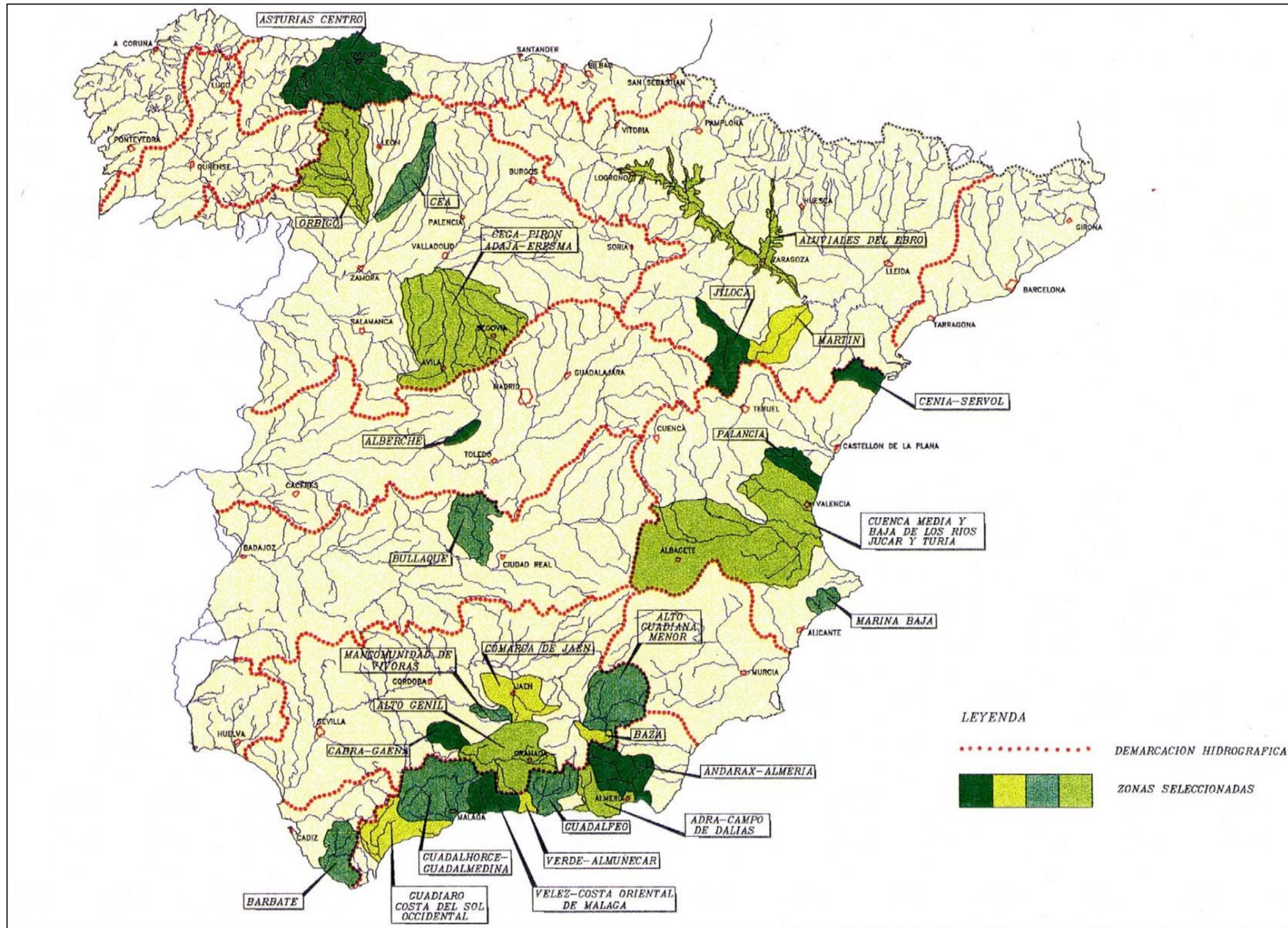


Figura 2. Situación de las zonas seleccionadas. INTEGRACIÓN DE LOS ACUÍFEROS EN LOS SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS. PROGRAMA ESTATAL DE ESTUDIOS PARA LA DEFINICIÓN DE LA UTILIZACIÓN COORDINADA DE LOS RECURSOS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEOS (Sánchez-González y Murillo, 1997)

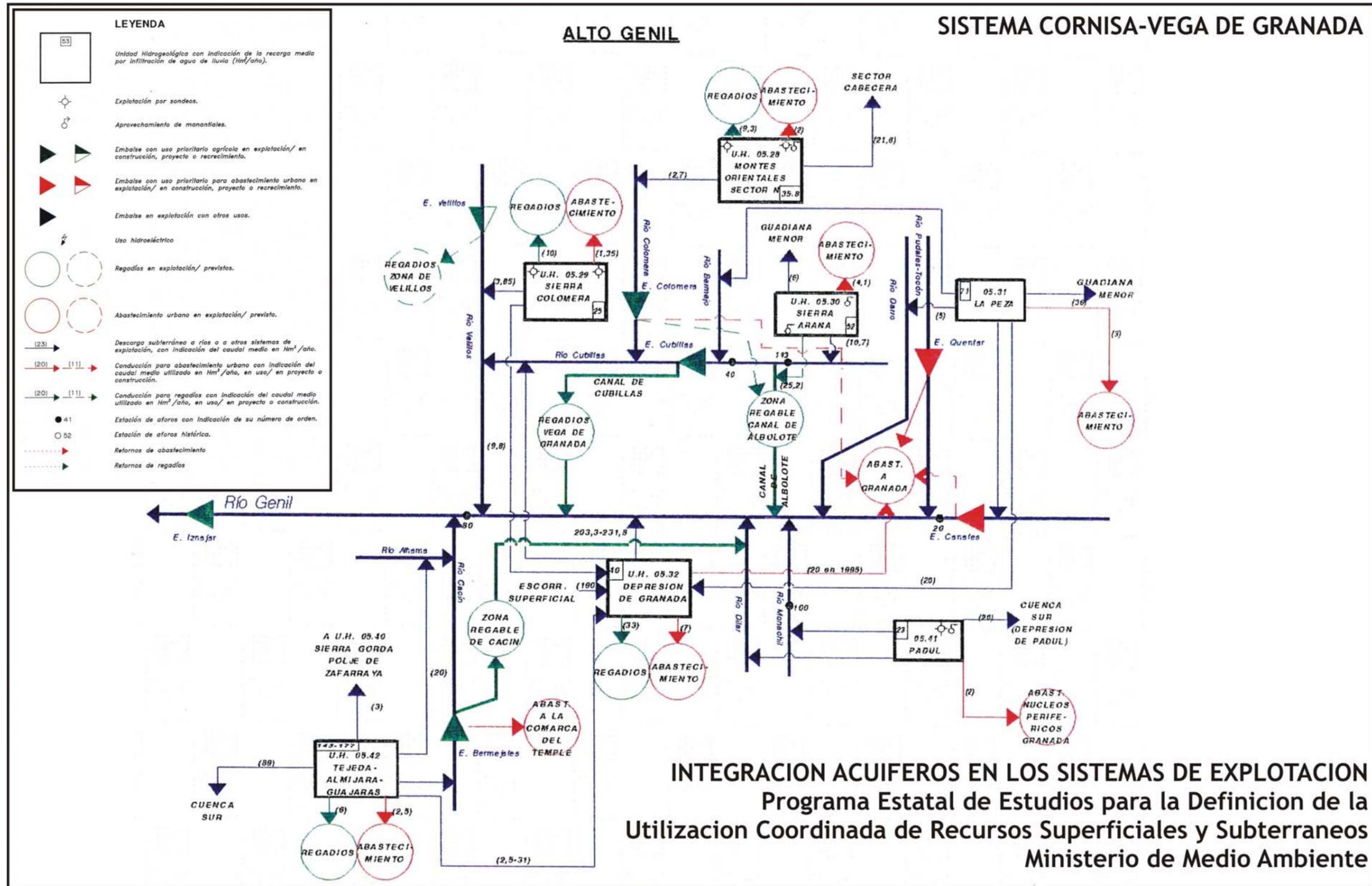


Figura 3. Esquema Topológico del Alto Genil. INTEGRACIÓN DE LOS ACUIFEROS EN LOS SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS. PROGRAMA ESTATAL DE ESTUDIOS PARA LA DEFINICIÓN DE LA UTILIZACIÓN COORDINADA DE LOS RECURSOS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEOS (Sánchez-González y Murillo, 1997)

Para el desarrollo del presente estudio ha sido necesario consultar trabajos existentes de diversa naturaleza y en particular todos aquellos estudios hidrogeológicos y de regulación de recursos superficiales que se han llevado a efecto en el Sistema Cornisa–Vega de Granada.

3.1 ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS

En la zona objeto de análisis se han venido realizando numerosos estudios hidrogeológicos auspiciados por diversos organismos públicos (Dirección General de Obras Hidráulicas, IGME, Universidad de Granada y Junta de Andalucía), como muestra del interés que suscitan los acuíferos en este sistema como fuente alternativa de recursos hídricos. El primero de los estudios de relevancia que aparecen en la bibliografía corresponde al “Informe de utilización de las aguas subterráneas para la mejora del regadío en la Vega de Granada”, desarrollado por la FAO en 1972.

De los numerosos estudios realizados desde entonces, han sido seleccionados los que se detallan a continuación, como de mayor interés documental respecto al objeto del presente estudio:

- “Análisis hidrogeológico del Alto y Medio Darro (Granada)”, trabajo realizado en 1977 por José Luis Díaz Hernández (Universidad de Granada).
- “Estudio Hidroquímico del acuífero de la Vega de Granada”, trabajo que corresponde a la Tesis Doctoral de Antonio Castillo Martín (Facultad de Ciencias de la Universidad de Granada), realizado en 1986.
- “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”, realizado por el IGME.
- “Serie: Manuales de utilización de acuíferos. Vega de Granada”, trabajo desarrollado por el IGME en 1989.

- “Estudio hidrogeológico de las Sierras Tejeda, Almijara y Guajaras (Málaga y Granada)”, realizado en 1991 por el Servicio Geológico de la Dirección General de Obras Hidráulicas.
- “Estudio hidrogeológico de la Sierra de Albuñuelas”, realizado en 1992 por el Servicio Geológico de la Dirección General de Obras Hidráulicas.
- “Plan de Integración de los recursos hídricos subterráneos en los sistemas de abastecimiento público de Andalucía: Sector de acuíferos Padúl-La Peza y Albuñuelas”, realizado durante el periodo 1997–1999 por el IGME.
- “Implementación del modelo matemático MODFLOW al tratamiento del flujo en régimen permanente del acuífero de la Vega de Granada”, desarrollado por el IGME.
- “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”, desarrollado por el IGME en 2004.

Otra fuente interesante de información son las numerosas comunicaciones científicas realizadas por la Universidad de Granada o el IGME sobre los acuíferos de la Vega de Granada y la Cornisa de la Vega de Granada, así como el Atlas Hidrogeológico de la Provincia de Granada, realizado en 1990 bajo un convenio de colaboración entre el IGME y la Diputación Provincial de Granada.

Por último, destacan como fuente de información hidrogeológica los documentos correspondientes a las **Normas de Explotación de las Unidades Hidrogeológicas**, elaboradas bajo un convenio de colaboración entre la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir y el IGME. La información contenida en estos documentos atiende a aspectos relacionados con las formaciones geológicas que definen los acuíferos, las propiedades hidrodinámicas de éstos, concreción de los modelos conceptuales de funcionamiento hidrogeológico y datos de balance hidrogeológico, usos y calidad de las aguas subterráneas.

Estos trabajos hidrogeológicos permiten disponer de un conocimiento mínimo sobre el funcionamiento hidrogeológico de los acuíferos que intervienen en el **Sistema Cornisa-Vega de Granada**, así como de los aspectos relacionados con el balance, usos y calidad de las aguas.

3.2 ESTUDIOS DE REGULACIÓN DE RECURSOS SUPERFICIALES

Se ha considerado la información relativa a los embalses presentes en el **Sistema Cornisa-Vega de Granada**, esto es, los embalses de Canales, Quéntar, Cubillas, Colomera y Los Bermejales, utilizando para ello los correspondientes documentos XYZT y las Normas de Explotación, Conservación y Vigilancia de las citadas presas.

Estos documentos han sido aportados por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir y en ellos se ofrecen datos de gran relevancia sobre las series de aportación que registran ambos embalses y las normas de explotación, datos fundamentales para el desarrollo de los trabajos vinculados al presente estudio.

3.3 ESTUDIOS RELACIONADOS CON EL ABASTECIMIENTO Y SANEAMIENTO

URBANOS

Entre este tipo de estudio destaca el realizado por la Junta de Andalucía en 2003 bajo el título “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”, con el objetivo de fijar un plan de actuaciones para la mejora de las condiciones de abastecimiento y saneamiento urbano en la comarca de la Vega de Granada.

3.4 ESTUDIOS DE USO CONJUNTO

El estudio de uso conjunto que constituye el presente documento contempla la documentación recogida y las conclusiones obtenidas en estudios de uso conjunto previamente desarrollados, cuyos títulos son:

- “Estudio de utilización conjunta de las aguas superficiales y subterráneas de la Vega de Granada”, trabajo realizado en 1982 por la Dirección General de Obras Hidráulicas.
- “Propuestas para la gestión integral del agua en la Vega de Granada”, desarrollado por la Fundación Empresa Universidad de Granada para la empresa EMASAGRA en 2004.

4. METODOLOGÍA

Considerando los aspectos anteriormente expuestos, se ha desarrollado una metodología que se adapta a las necesidades de la zona de trabajo y a los objetivos previstos. En relación con los objetivos del estudio, indicar que son numerosas las experiencias, tanto en el ámbito nacional como internacional, en las que la integración de las aguas subterráneas en los sistemas de abastecimiento urbano, en un marco de utilización conjunta de recursos hídricos, se ha mostrado como una herramienta de gestión eficaz, sobre todo en sistemas en los que la componente subterránea constituye una importante porción de la aportación regulada.

Las actividades que se han llevado a cabo dentro de la metodología aplicada se agrupan en tres apartados:

1. Caracterización hidrológica del Sistema Cornisa-Vega de Granada, que implica llevar a efecto una serie de actividades concatenadas que pueden concretarse en:
 - a) Cálculo de las aportaciones (superficiales y subterráneas) que registra el sistema en régimen natural en determinados puntos significativos del mismo.
 - b) Caracterización de las infraestructuras hidráulicas referidas tanto al almacenamiento superficial (embalses) como al subterráneo (acuíferos) y a las infraestructuras de conexión entre elementos.
 - c) Análisis de las posibilidades de utilización de recursos no convencionales (aguas desaladas o regeneradas).
 - d) Cuantificación de las demandas consuntivas y no consuntivas.
2. Construcción y elaboración de un modelo de gestión conjunta del Sistema Cornisa-Vega de Granada para la simulación de alternativas de gestión. Para lo que se han contemplado las directrices marcadas por el Plan Hidrológico de la

Cuenca del Guadalquivir y las actuaciones de abastecimiento y saneamiento que plantea realizar la Junta de Andalucía.

3. Elaboración de conclusiones y recomendaciones sobre la gestión conjunta de los recursos del Sistema Cornisa-Vega de Granada, a partir de las simulaciones realizadas, que permita integrar de manera eficaz los recursos subterráneos para resolver o reducir los problemas de abastecimiento urbano; así como la reutilización de los recursos no convencionales (aguas regeneradas) con el objetivo de mejorar las condiciones de suministro al regadío de la Vega de Granada.

El trabajo desarrollado ha consistido en la ejecución de una serie de actividades concatenadas que han servido de referencia para construir un modelo matemático para la simulación de la gestión de los recursos hídricos del Sistema Cornisa-Vega de Granada, mediante el cual se pueden establecer las pautas para una optimización en el uso conjunto de los recursos superficiales y subterráneos ante los diferentes escenarios que se plantean. Concretamente, los trabajos parciales desarrollados han consistido en las siguientes tareas:

- Recopilación de información básica sobre hidrometeorología, hidrología, hidrogeología, infraestructuras, demandas, usos y consumos.
- Análisis de variables hidrometeorológicas, hidrológicas e hidrogeológicas para la restitución de las aportaciones en régimen natural correspondiente a la serie 1951–2004 (53 años). Este trabajo se ha desarrollado en referencia a la restitución de series de precipitación y temperatura partiendo de los datos ofrecidos por el Instituto Nacional de Meteorología (INM) para un total de 29 estaciones; la restitución de series hidrológicas de aforos en cuatro estaciones de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG); el análisis de las series de descarga de manantiales de las redes de control hidrométrico de la CHG y el IGME y de las series de aportaciones a los embalses del Colomera, Cubillas, Quéntar, Canales y Los Bermejales registradas por la CHG. Para el

cálculo de las aportaciones en régimen natural se ha utilizado el método de Temez (Temez, J.R., 1979).

- Análisis de las demandas, usos y consumos de recursos hídricos considerando los datos de encuestas a ayuntamientos, documentos ofrecidos por la CHG y las empresas de gestión de aguas para abastecimiento, datos de la Consejería de Agricultura de la Junta de Andalucía y datos ofrecidos por Comunidades de Regantes.
- Caracterización de las infraestructuras hidráulicas existentes, en referencia a datos aportados por la CHG, empresas de gestión de aguas para abastecimiento (EMASAGRA y AGUASVIRA), Diputación Provincial de Granada y Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Asimismo, se ha recabado información sobre las nuevas infraestructuras de abastecimiento y saneamiento que proyecta ejecutar la Junta de Andalucía y la CHG. Este conjunto de datos ha permitido disponer de información sobre el esquema de distribución, su funcionamiento, limitaciones, la capacidad de aducción y las pérdidas.
- Análisis de la información hidrogeológica disponible en el IGME, al objeto de desarrollar modelos hidrogeológicos de descarga en régimen natural de las unidades hidrogeológicas definidas en el Sistema Cornisa-Vega de Granada: Montes Orientales, Sierra Colomera, Sierra Arana, La Peza, Depresión de Granada, Sierra Elvira, Madrid-Parapanda, Tejeda-Almijara-Las Guajaras y Sierra Padúl. Asimismo, se han obtenido datos sobre balances hidrogeológicos y aprovechamientos de aguas subterráneas en los acuíferos de las unidades hidrogeológicas anteriormente referenciadas, con el objetivo de evaluar la sostenibilidad de las explotaciones que se realizan en los mismos.
- Cálculo de los caudales ecológicos en determinados cauces de las cuencas de los ríos Aguas Blancas, Genil, Dílar y Darro aplicando una metodología fundamentada en las características que adquiere el hábitat con la geomorfología del cauce y los condicionantes que las variables del hábitat imponen a los seres vivos que constituyen las comunidades naturales de los

ríos estudiados. En concreto, se ha utilizado el método IFIM, que analiza las variaciones del hábitat con el caudal y las preferencias de la fauna por ese hábitat (Anejo 5).

- Construcción de un modelo para la simulación de la gestión conjunta basado en el código SIMGES, aplicación desarrollada por la Universidad Politécnica de Valencia que se incluye en el paquete AQUATOOL, que permite combinar datos de aportaciones en régimen natural de aguas superficiales y subterráneas, con datos de infraestructuras hidráulicas de regulación, conducción y potabilización y depuración y con datos de demandas para ofrecer resultados sobre la alternativa de gestión óptima para la satisfacción de las demandas, esto es, la alternativa de gestión que permite obtener unos más altos índices de garantía.
- Análisis de alternativas de gestión de los recursos hídricos convencionales y no convencionales del Sistema Cornisa-Vega de Granada considerando varios escenarios:
 - **Situación actual**, donde se contemplan las pautas de gestión actualmente implantadas como consecuencia del régimen concesional, las reglas de operación de embalses que practica la CHG y el régimen de funcionamiento de los sistemas de saneamiento y de aprovechamiento de las aguas residuales depuradas.
 - **Situación futura** correspondiente a la entrada en funcionamiento de las infraestructuras de regulación incluidas en el Plan Hidrológico de la Cuenca del Guadalquivir y las vinculadas a los proyectos de abastecimiento y saneamiento de la Junta de Andalucía.
 - **Escenario alternativo** que implica la utilización del acuífero de la Vega de Granada como un elemento adicional de regulación, aprovechando la capacidad de regulación natural que ofrece este acuífero en combinación con técnicas de recarga artificial, para lograr un aprovechamiento sostenible de los acuíferos de la Vega de Granada en el apoyo al abastecimiento urbano en situaciones de escasez.

- Incorporación de criterios ecológicos en la optimización de la gestión de recursos hídricos, considerando los resultados obtenidos en el cálculo del régimen de caudales ecológico en cauces de la cabecera del río Genil.
- Establecimiento de conclusiones y recomendaciones para la gestión y aprovechamiento óptimos de los recursos superficiales y subterráneos del Sistema Cornisa-Vega de Granada bajo consideración de aspectos económicos y ecológicos.

5. ESTUDIO DE LAS DEMANDAS, USOS y CONSUMOS

En este apartado se presenta una evaluación de los centros de demanda dependientes del **Sistema Cornisa-Vega de Granada**, segregándolos según usos consuntivos y no consuntivos.

Para la concreción de los datos de demandas se ha efectuado un prolijo trabajo de recopilación de datos en los organismos públicos y privados que gestionan las principales infraestructuras hidráulicas del sistema y en los organismos y entidades públicas y privadas relacionadas con las diferentes actividades económicas demandantes de recursos hídricos (actividades agrarias e industriales).

Para el desarrollo de este trabajo se ha contado con la estrecha colaboración de los siguientes organismos y entidades:

- Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (oficina de Proyectos de Granada).
- Delegación Provincial de la exconsejería de Obras Públicas y Transportes de la Junta de Andalucía.
- Delegación Provincial de Granada de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía.
- Diputación Provincial de Granada
- Empresas de gestión de aguas: EMASAGRA y AGUASVIRA.

La zona objeto de estudio, **Sistema Cornisa-Vega de Granada**, constituye el principal sistema de abastecimiento de la provincia de Granada, ya que suministra agua al 63,13% de la población de la demarcación provincial.

Desde el punto de vista del abastecimiento, este sistema se considera subdividido en cuatro subsistemas supramunicipales (Figura 4):

- Consorcio Sierra Nevada–Vega Sur
- Consorcio La Vega–Sierra Elvira
- Zona septentrional de La Cornisa de Granada
- Mancomunidad del Temple

Los dos primeros subsistemas agrupan la ciudad de Granada y su zona metropolitana, así como núcleos de la Vega de Granada y de Sierra Nevada. Dentro de estos subsistemas se incluyen los sistemas de gestión del ciclo del agua que ejecutan las empresas EMASAGRA y AGUASVIRA, ambas pertenecientes al Grupo Aguas de Barcelona (Agbar).

Bajo la denominación de Zona Septentrional de La Cornisa de Granada se incluyen todos los municipios asociados a los relieves montañosos existentes en la provincia de Granada al norte de La Vega de Granada y que quedan dentro de los límites hidrológicos del sistema Cornisa–Vega de Granada analizado. Los relieves montañosos aludidos corresponden a afloramientos de formaciones geológicas de comportamiento acuífero, que suelen ser el origen de los abastecimientos municipales (unidades hidrogeológicas de Montes Orientales, Sierra Colomera, Madrid–Parapanda y Sierra Arana).

La Mancomunidad del Temple aglutina el conjunto de municipios situados en el sector suroccidental de la Vega de Granada, que son abastecidos con aguas procedentes del embalse de Los Bermejales y de captaciones en el acuífero de Albuñuelas (Unidad Hidrogeológica Tejeda–Almijara–Las Guájaras).

Junto a los abastecimientos urbanos, coexiste una importante demanda de regadío de diferente naturaleza (fundamentalmente por inundación o gravedad, y en menor

medida por aspersión y localizado) en la Vega de Granada y zonas de La Cornisa de Granada.

Según los datos del Inventario de Regadíos de la Junta de Andalucía (IRJA) en la comarca Vega de Granada, que incluye las zonas regables de la Vega de Granada, del Cacín y Vega Baja, se estima una superficie regada de 34.773 ha, con una demanda bruta de 221,68 hm³/a.

Esta misma fuente de información fija en 12.132 ha la superficie dedicada al riego en las Comarcas de la Cornisa de Granada (Alhama, Iznalloz y Montefrío).

Por tanto, para el Sistema Cornisa-Vega de Granada el IRJA considera una superficie regada de 46.905 ha con una dotación teórica media de 5.417 m³/ha/a, lo que supone una demanda bruta de 254 hm³/año.

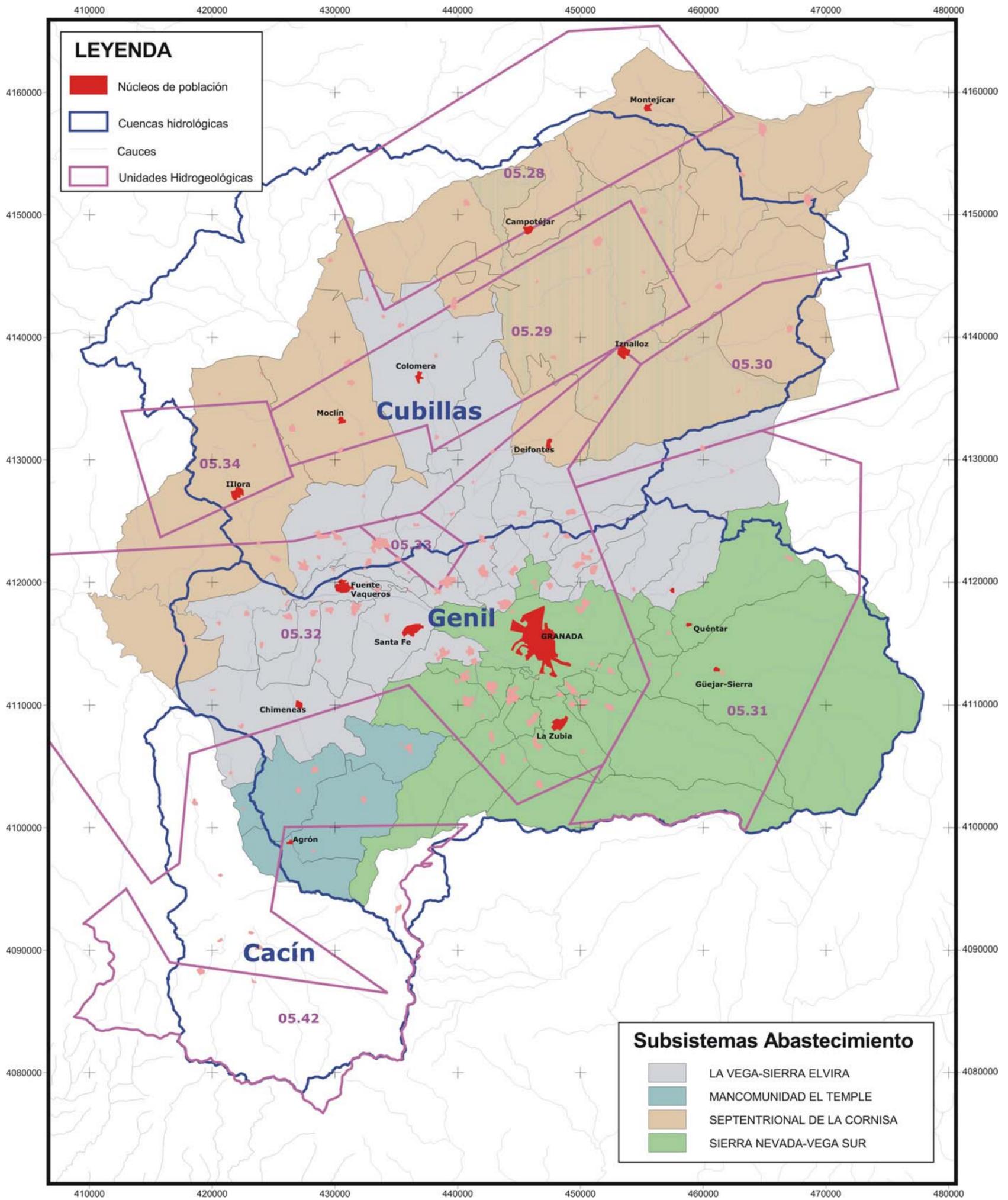


Figura 4. Sistemas de abastecimiento supramunicipales del Sistema Cornisa-Vega de Granada

5.1 DEMANDAS, USOS Y CONSUMOS

Las demandas consideradas en el presente estudio de regulación se agrupan en las siguientes categorías según usos:

- Urbanas, donde se incluyen las demandas de agua potable en los núcleos de población, con destino a cubrir las necesidades humanas e industriales vinculadas a las redes de abastecimiento municipal.
- Agrícolas, fundamentalmente asociadas a los regadíos tradicionales hortícolas y los nuevos regadíos localizados de olivar.
- Ecológicos, vinculados a los caudales ecológicos que es necesario mantener en ciertos tramos de los cauces públicos o zonas de interés medioambiental.
- Hidroeléctricos, donde se incluyen los caudales exigidos para la producción de energía hidroeléctrica.

Las demandas consuntivas a satisfacer en el sistema corresponden, por un lado, a los abastecimientos urbanos, incluyendo los grandes sistemas de abastecimiento (consorcios Vega Sierra Nevada–Vega Sur y La Vega–Sierra Elvira) y los sistemas municipales, y por otra parte a los regadíos agrícolas de La Vega y Cornisa de Granada.

Además, aunque la legislación vigente considera el caudal ecológico como una restricción desde el punto de vista operativo, en el estudio realizado se considera este como una demanda más que ha de “suministrarse” desde los ríos principales del sistema, definiendo como tales aquellos relacionados con el Parque Natural de Sierra Nevada (Genil, Monachil y Dílar), además del río Aguasvivas; y con el Parque Natural de Sierra Huétor (río Darro).

Los datos sobre consumos de recursos hídricos en el sistema han sido obtenidos de organismos oficiales, entidades gestoras del agua, organismos vinculados con los

sectores productivos demandantes de agua e informes, estudios y proyectos vinculados con el ciclo integral del agua en la zona objeto de estudio. En función de los datos obtenidos ha sido factible establecer las demandas mensuales que presentan los sistemas de abastecimiento urbano, cifras que han sido utilizadas en el modelo de simulación de la gestión conjunta.

Para el consumo de agua en el sector agrícola se han utilizado los datos de dotaciones de riego y hectáreas de riego en el Inventario y Caracterización de Regadíos en Andalucía (IRJA), de que dispone la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, y los datos de la Oficina de Planificación Hidrológica de la Confederación Hidrográfica de la Cuenca del Guadalquivir.

5.2 DEMANDA URBANA

Los datos de demanda para abastecimiento urbano (núcleos urbanos y urbanizaciones, incluyendo el suministro de agua potable a la población y a las industrias que se abastecen de la red de distribución de aguas potables) se han obtenido, fundamentalmente, a partir de tres fuentes de información:

- Datos incluidos en el “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” realizado por la Junta de Andalucía.
- Datos que aparecen en el capítulo 4–Análisis de Demandas del estudio “Propuestas para la Gestión Integral del Agua en la Vega de Granada” desarrollado por la Fundación Empresa–Universidad de Granada, cuyas fuentes de información proceden de las empresas de gestión del abastecimiento urbano (EMASAGRA y AGUASVIRA) y de la Excm. Diputación Provincial de Granada.

- Datos de la “Encuesta de Infraestructura y Equipamientos Locales–Año 2000” elaborado por el Área de Cooperación Local y Desarrollo de la Excm. Diputación provincial de Granada.

La demanda urbana del Sistema Cornisa–Vega de Granada se suministra desde cuatro grandes subsistemas de abastecimiento urbano que se analizan a continuación.

5.2.1 Consorcio Sierra Nevada–Vega Sur

Este subsistema aglutina los abastecimientos dependientes de la empresa EMASAGRA y una serie de municipios del Alto Genil (Sierra Nevada) y Vega Sur de Granada (Figura 5).

EMASAGRA gestiona el ciclo integral del agua de la ciudad de Granada y un total de 12 municipios del área Metropolitana (Vega Sur de Granada), suministrando aguas potables a una población de 340.204 habitantes. Los municipios de la Vega Sur de Granada cuya gestión de abastecimiento y saneamiento desarrolla EMSAGRA corresponden a: Alhendín, Armilla, Cájar, Cenes de la Vega, Cúllar Vega, Las Gabias, Gójar, Granada capital, Huétor Vega, Ogíjares, Pinos Genil, Pulianas y la Zubia.

Además de los municipios abastecidos por EMASAGRA, en el consorcio Sierra Nevada–Vega Sur se incluyen una serie de municipios de Sierra Nevada: Dílar, Dudar, Güejar–Sierra, Monachil, Otura y Quéntar; y el municipio de Churriana de la Vega, situado en la Vega Sur de Granada.

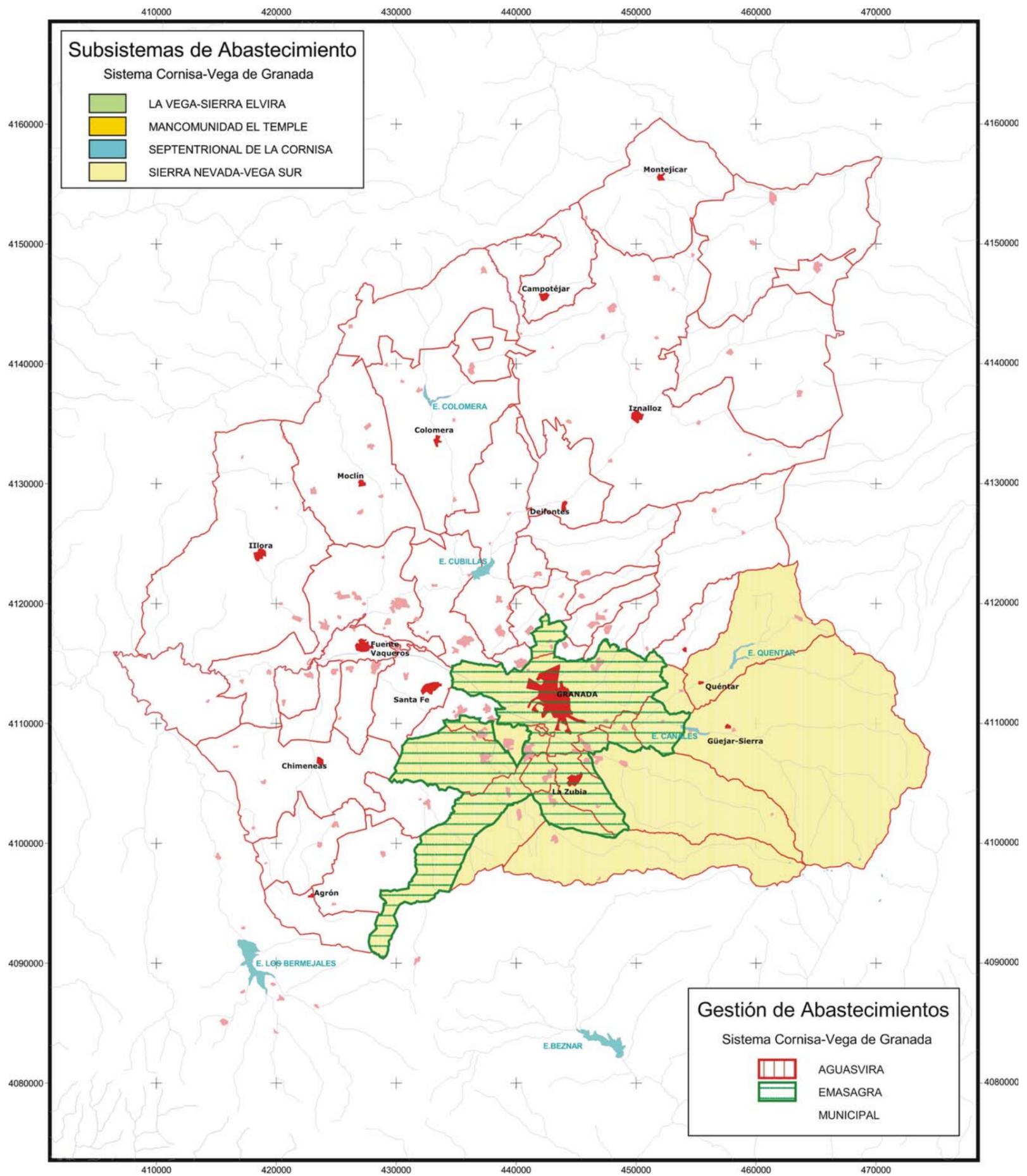


Figura 5. Consorcio Sierra Nevada-Vega Sur.

En total, el Consorcio Sierra Nevada–Vega Sur acoge el abastecimiento a una población de 370.371 habitantes distribuidos en 20 municipios, con una demanda media anual de 38,9 hm³ (según datos de las encuestas realizadas por la Junta de Andalucía en 2003). El incremento de demanda previsto para los municipios incluidos en este subsistema de abastecimiento se ha calculado partiendo de los datos que sobre planeamiento urbanístico se recogen en las encuestas realizadas por la Junta de Andalucía en 2003, respecto al aumento potencial de población y las perspectivas de desarrollo industrial, considerando en el primer caso que las dotaciones actuales se mantienen y en el segundo una dotación anual por hectárea de suelo industrial ocupado de 7.000 m³. Partiendo de estos supuestos (mantenimiento de las dotaciones actuales) se produciría un incremento de demanda en este subsistema de 29,38 hm³/a.

En las Figuras 6, 7 y 8 se muestran los datos relativos a las demandas actuales y el incremento previsto, las dotaciones y la distribución mensual de la demanda urbana actual.

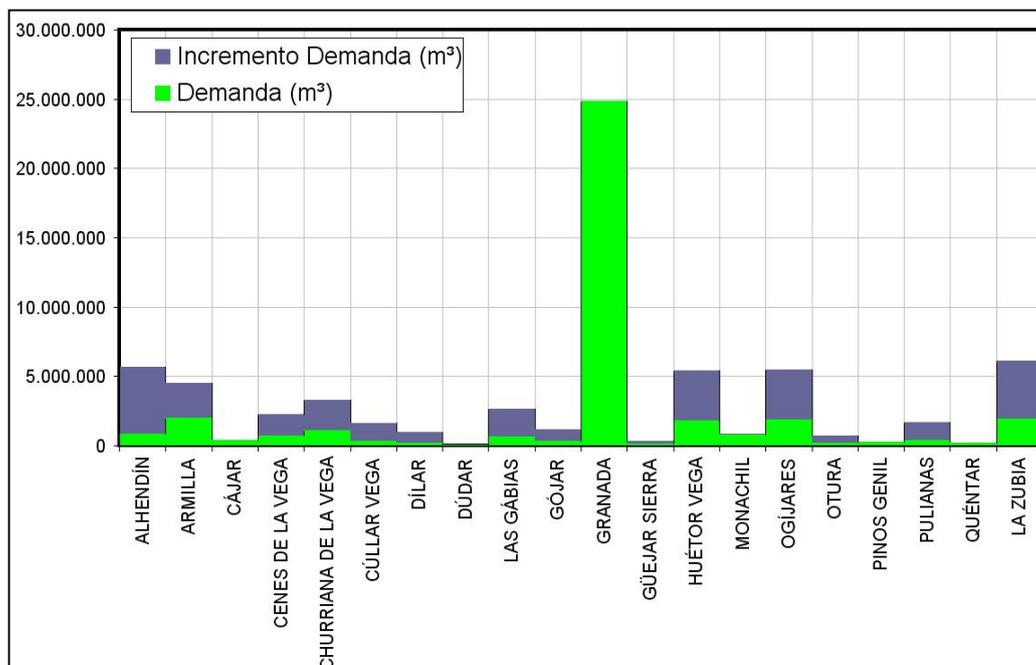


Figura 6. Datos de la demanda de agua para abastecimiento en el Consorcio Sierra Nevada–Vega Sur e incremento de demanda previsto

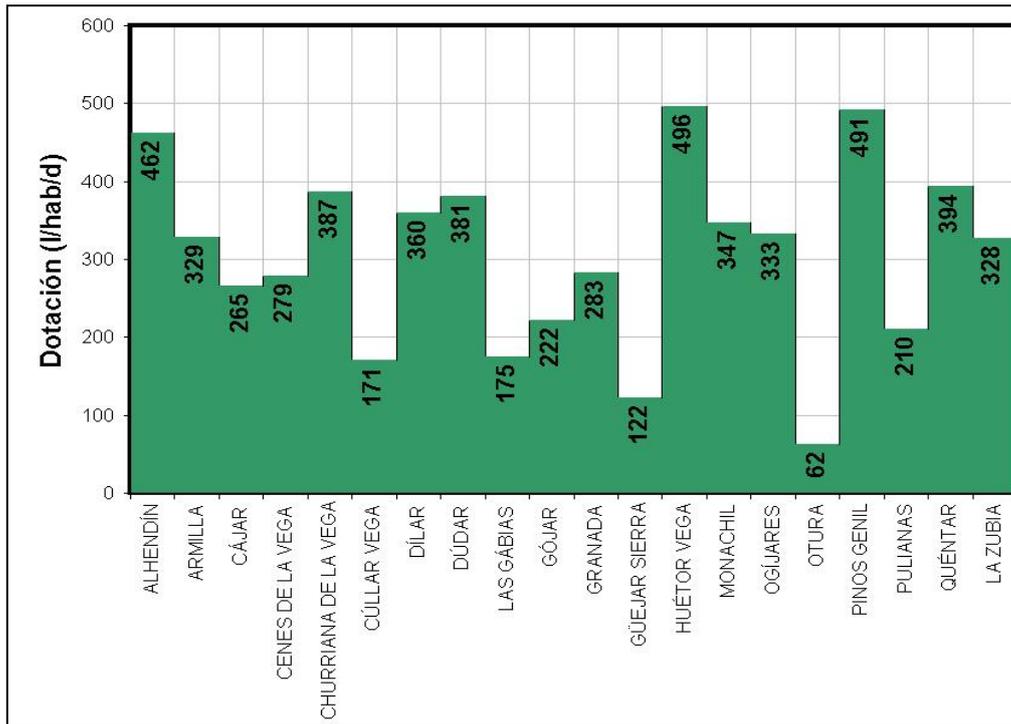


Figura 7. Datos sobre dotaciones de abastecimiento urbano en el Consorcio Sierra Nevada-Vega Sur.

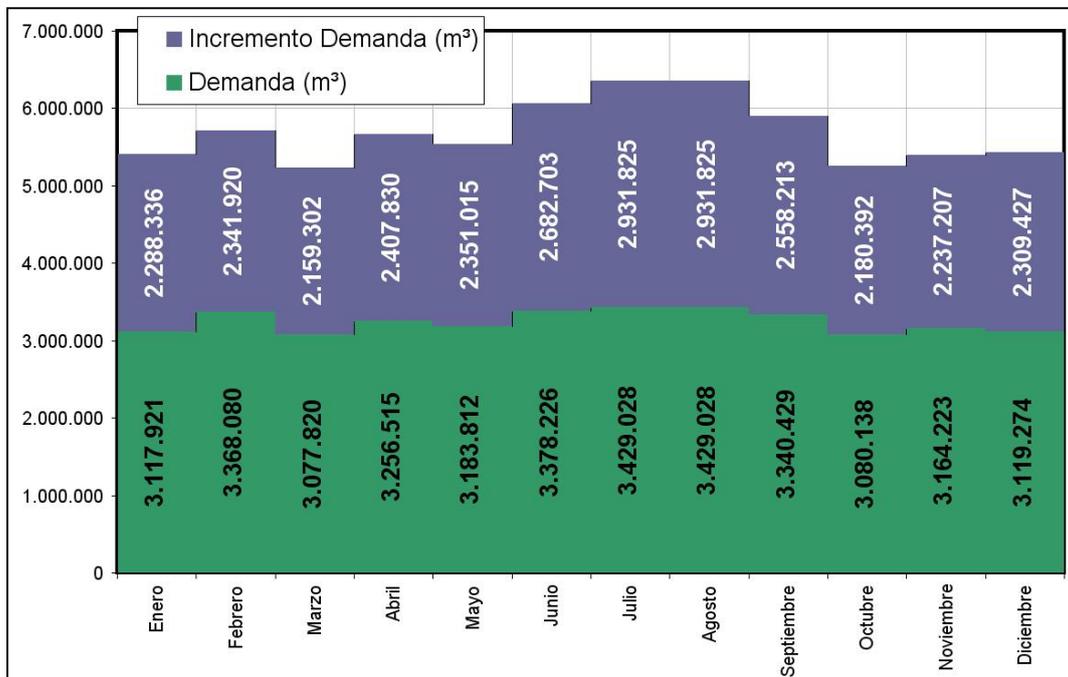


Figura 8. Distribución mensual de la demanda urbana en el Consorcio Sierra Nevada-Vega Sur.

El Consorcio Sierra Nevada–Vega Sur dispone de una estación para el tratamiento de aguas potables (ETAP) situada en Lancha de Genil, con una capacidad de tratamiento máximo de 2.450 l/s y cinco pequeñas plantas de tratamientos en municipios del área metropolitana de Granada. La ETAP de Lancha de Genil permite la potabilización de un volumen medio de 104.313 m³/d, lo que supone una dotación media de 313 l/hab/d. Y

dispone de una capacidad de almacenamiento de 100.780 m³.

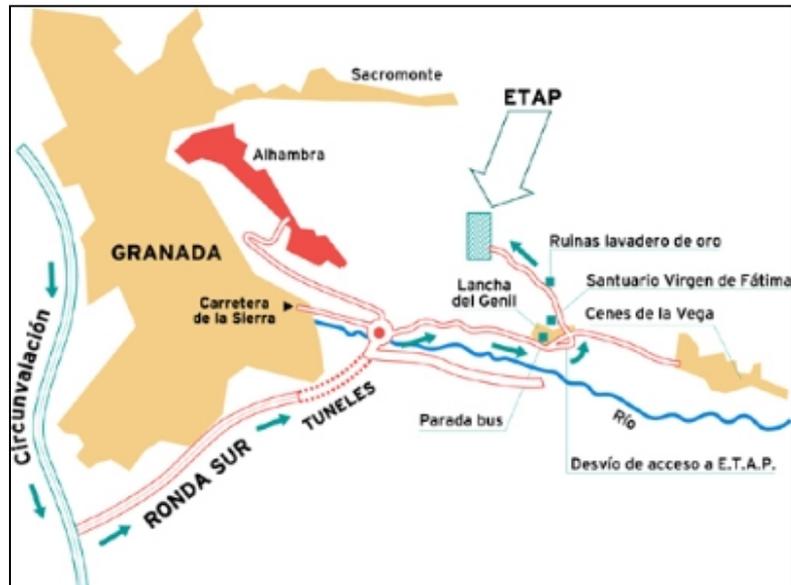


Figura 9. Ubicación de la ETAP de Lancha de Genil.

5.2.2 Consorcio La Vega–Sierra Elvira

Este subsistema incluye los abastecimientos que gestiona la empresa AGUASVIRA, que aglutina a 17 municipios (Albolote, Atarfe, Calicasas, Chauchina, Chimeneas, Cijuela, Colomera, Fuente Vaqueros, Güevejar, Jun, Láchar, Maracena, Nívar, Peligros, Pinos–Puentes, Santa Fé y Vegas del Genil) y una serie de municipios situados en la zona septentrional de la unidad Padúl–La Peza (Alfacar, Beas de Granada, Gogollos–Vega, Huétor–Santillán y Víznar) (Figura 10).

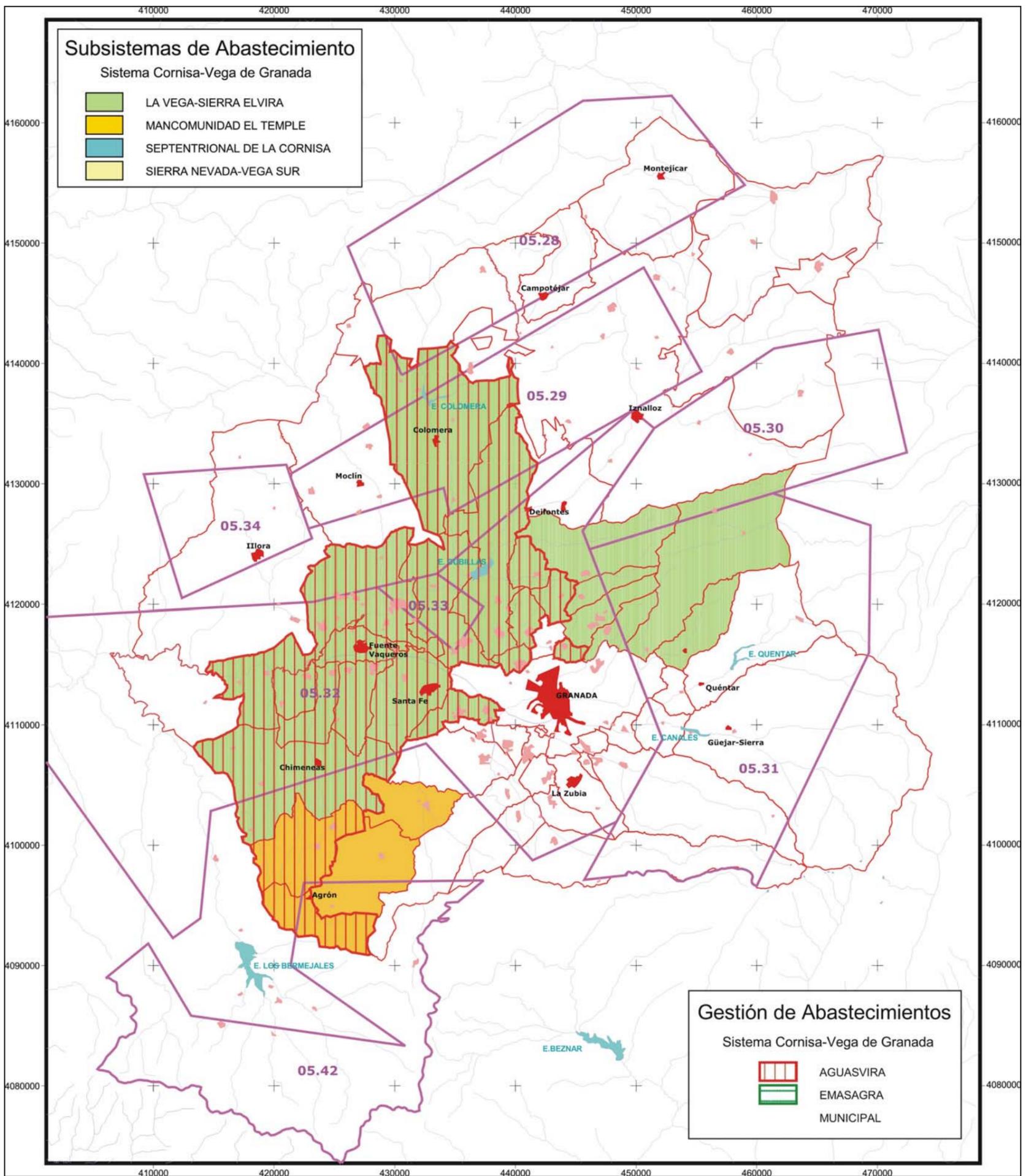


Figura 10. Consorcio La Vega-Sierra Elvira.

En total bajo este subsistema agrupa 22 municipios que suponen una población de 121.840 habitantes, que presentan una demanda anual media de 15,3 hm³. El incremento de demanda previsto para los municipios incluidos en este subsistema de abastecimiento se ha fijado en 35,75 hm³/a, como consecuencia del gran desarrollo urbanístico que se espera.

Este subsistema carece de infraestructuras de potabilización supramunicipales, por lo que la potabilización se desarrolla a escala municipal. En las Figuras 11, 12 y 13 se muestran los datos relativos a las demandas actuales y el incremento previsto, las dotaciones y la distribución mensual de la demanda urbana actual.

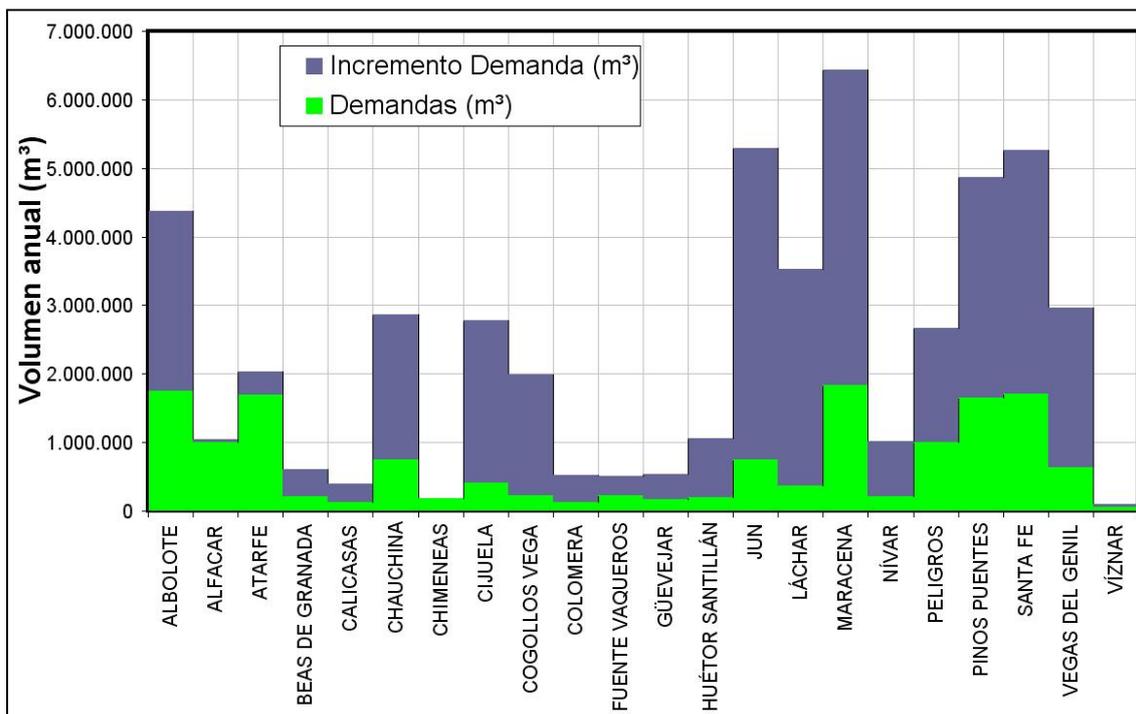


Figura 11. Datos de la demanda de agua para abastecimiento en el Consorcio La Vega-Sierra Elvira e incremento de demanda previsto.

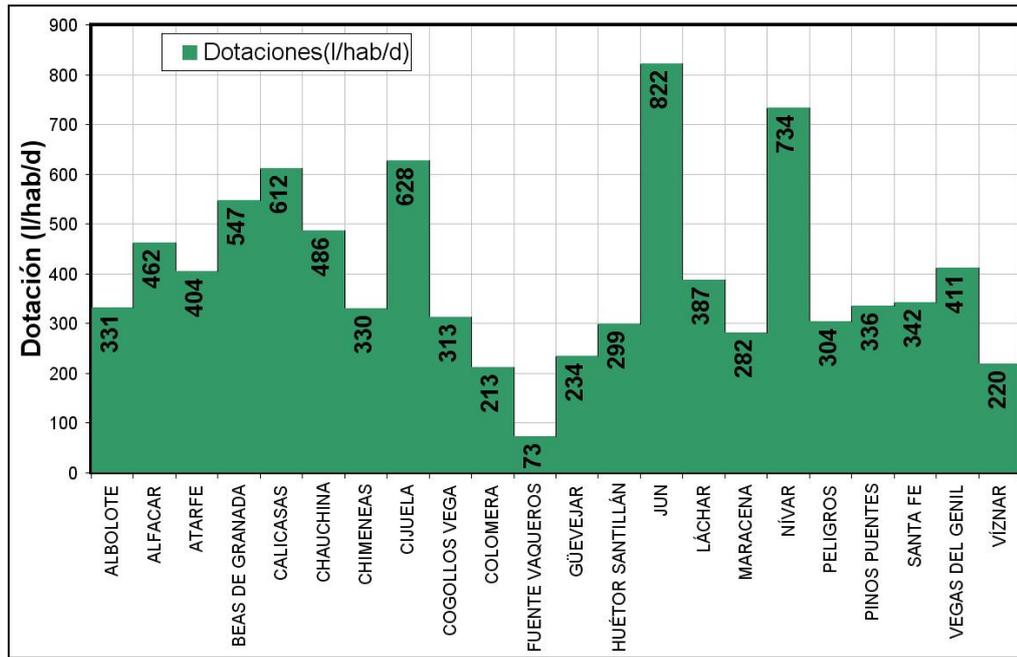


Figura 12. Datos sobre dotaciones de abastecimiento urbano en el Consorcio La Vega-Sierra Elvira.

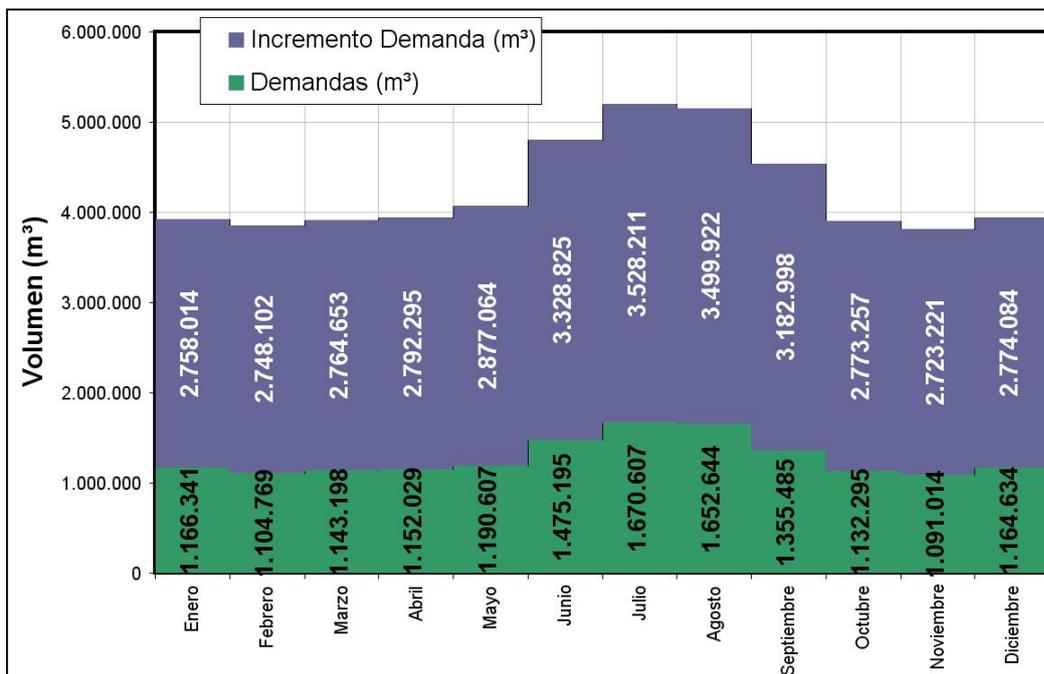


Figura 13. Distribución mensual de la demanda urbana en el Consorcio La Vega-Sierra Elvira.

5.2.3 Zona septentrional de La Cornisa de Granada

Bajo este subsistema se agrupan un total de 12 municipios situado en la franja septentrional del Sistema Cornisa-Vega de Granada y que corresponden a (Figura 14):

- Benalúa de las Villas
- Campotéjar
- Deifontes
- Guadahortuna
- Íllora
- Iznalloz
- Moclín
- Montejícar
- Montillana
- Moraleda de Zafayona
- Piñar
- Torre-Cardela

En total, el subsistema septentrional de La Cornisa de Granada aglutina una población de 37.821 habitantes con una demanda media anual de 3,38 hm³.

Este subsistema carece de infraestructuras de potabilización supramunicipales, por lo que la potabilización se desarrolla a escala municipal. En las Figuras 15, 16 y 17 se muestran los datos relativos a las demandas actuales y el incremento previsto, las dotaciones y la distribución mensual de la demanda urbana actual.

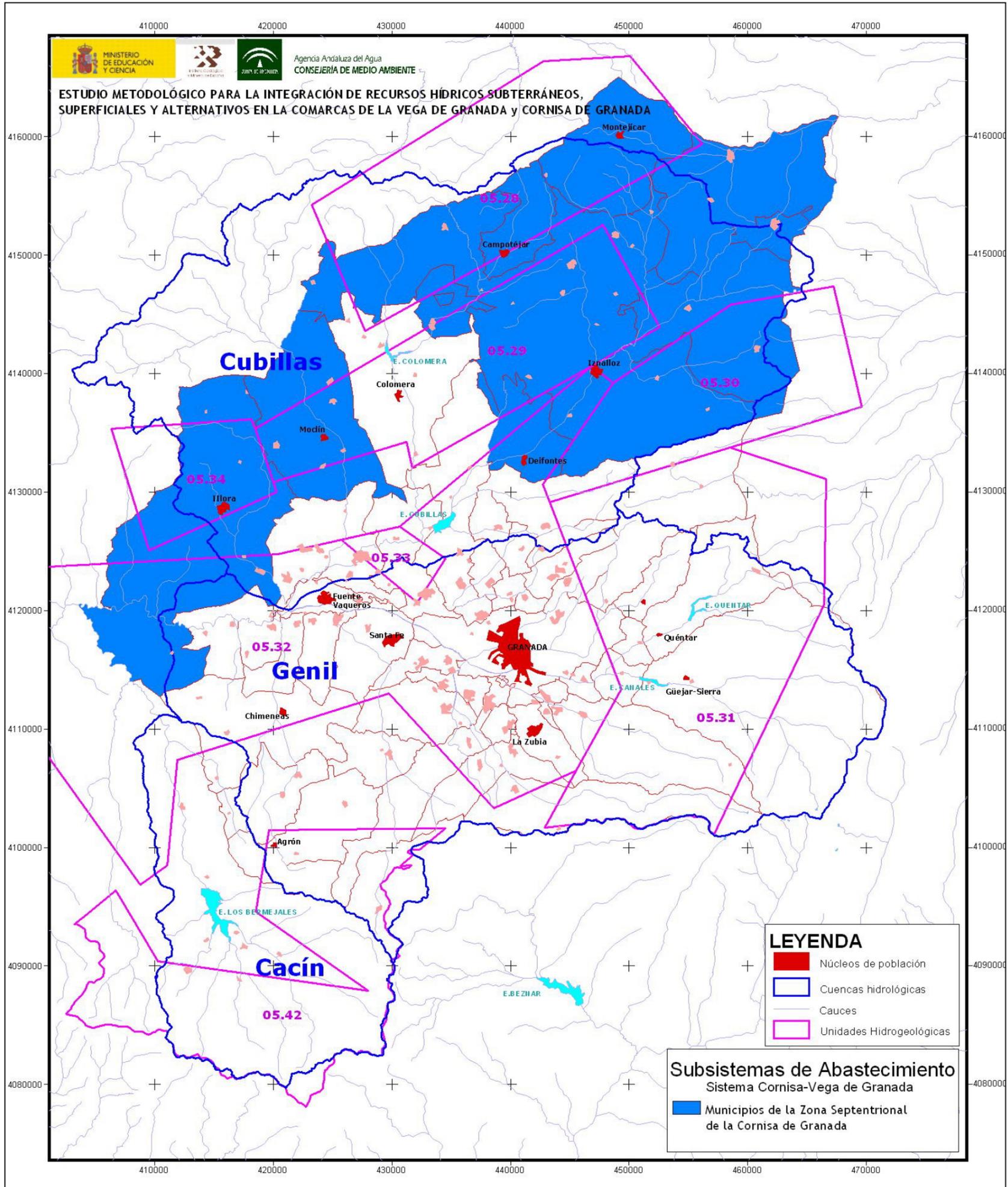


Figura 14. Municipios de la Zona Septentrional de la Cornisa de Granada.

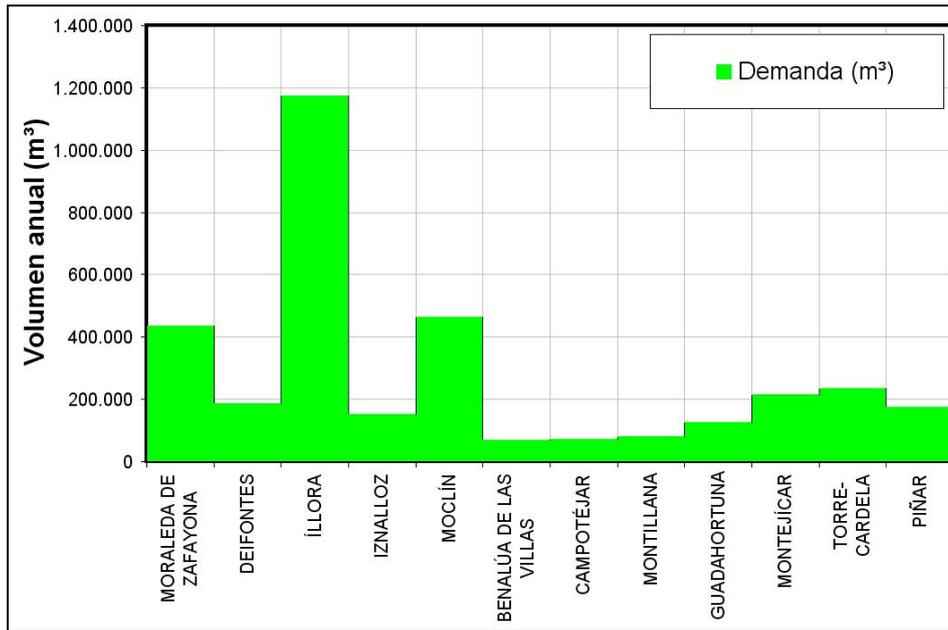


Figura 15. Datos de la demanda de agua para abastecimiento en el Subsistema Septentrional de La Cornisa de Granada.

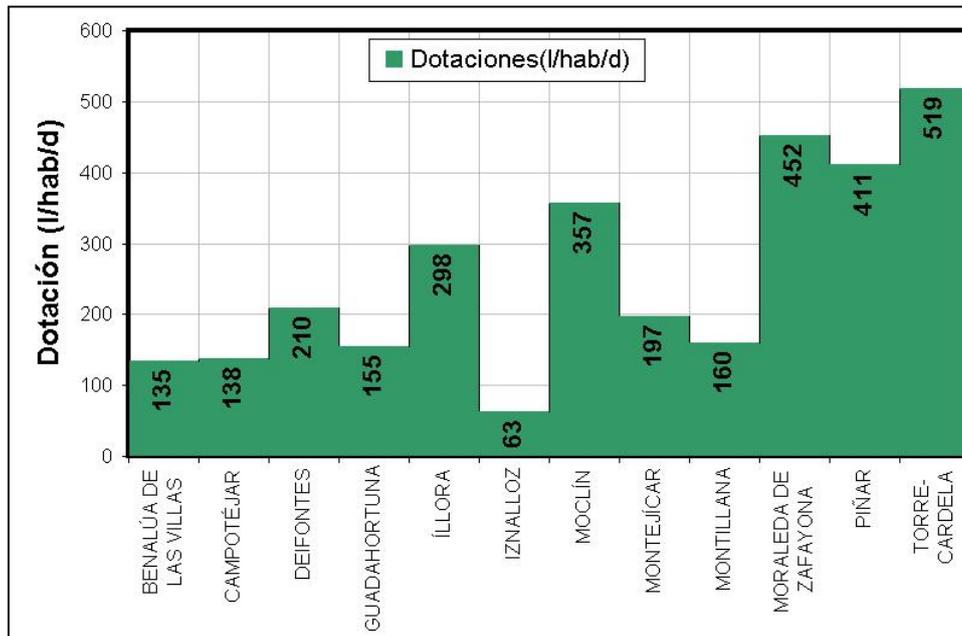


Figura 16. Datos sobre dotaciones de abastecimiento urbano en el Subsistema Septentrional de La Cornisa de Granada.

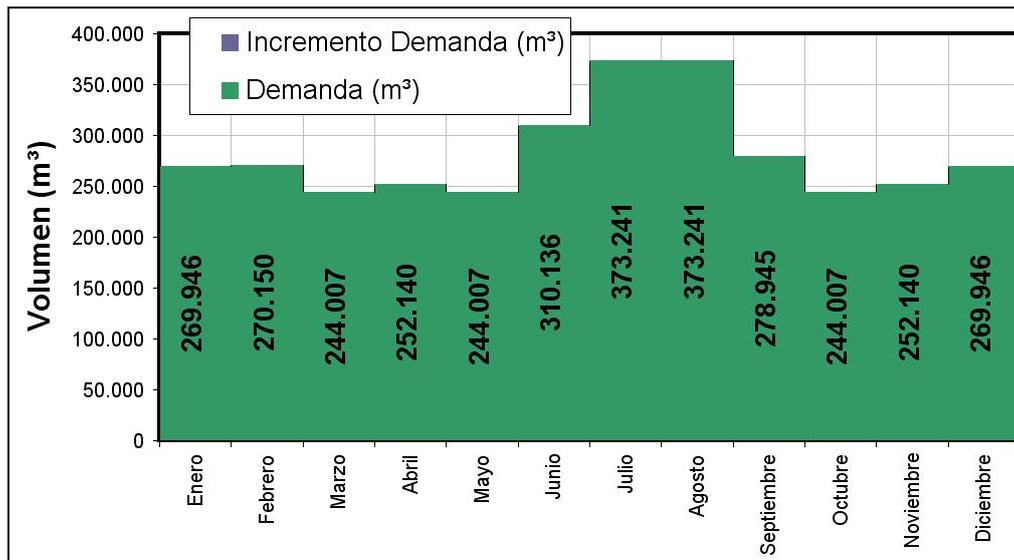


Figura 17. Distribución mensual de la demanda urbana en el Subsistema Septentrional de La Cornisa de Granada.

5.2.4 Mancomunidad del Temple

Acoge 4 municipios situados en el sector su-occidental de la Vega de Granada, de los cuales 2 se incluyen dentro del sistema que gestiona AGUASVIRA (Agrón y Ventas de Huelma); mientras que los dos restantes disponen de una gestión municipal (Escúzar y La Malahá) (Figura 18). En total, el subsistema de la Mancomunidad del Temple aglutina una población de 3.700 habitantes con una demanda media anual de 0,68 hm³.

Este subsistema carece de infraestructuras de potabilización supramunicipales, por lo que la potabilización se desarrolla a escala municipal. En las Figuras 19, 20 y 21 se muestran los datos relativos a las demandas actuales y el incremento previsto, las dotaciones y la distribución mensual de la demanda urbana actual.

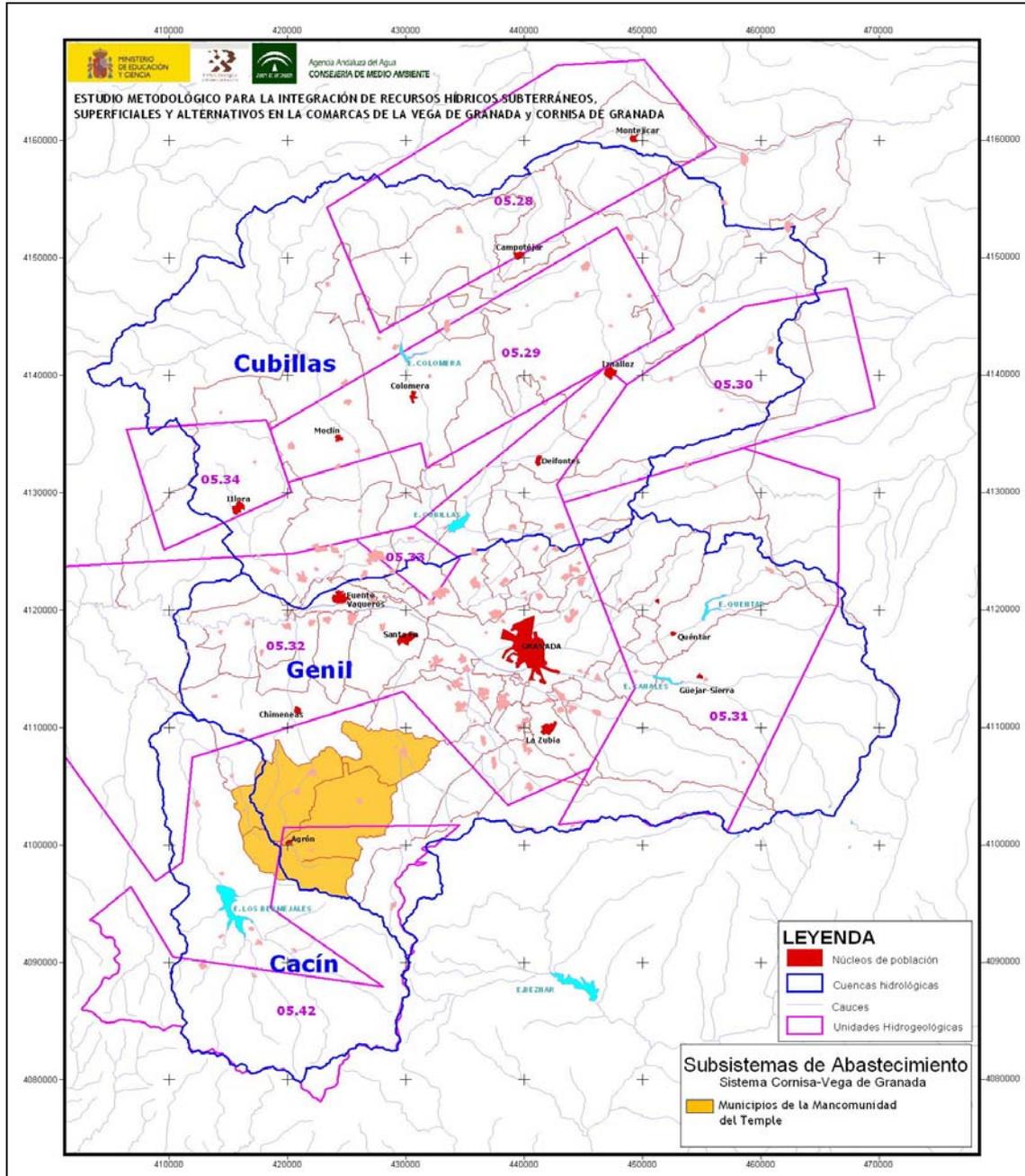


Figura 18. Municipios de la Zona Septentrional de la Cornisa de Granada.

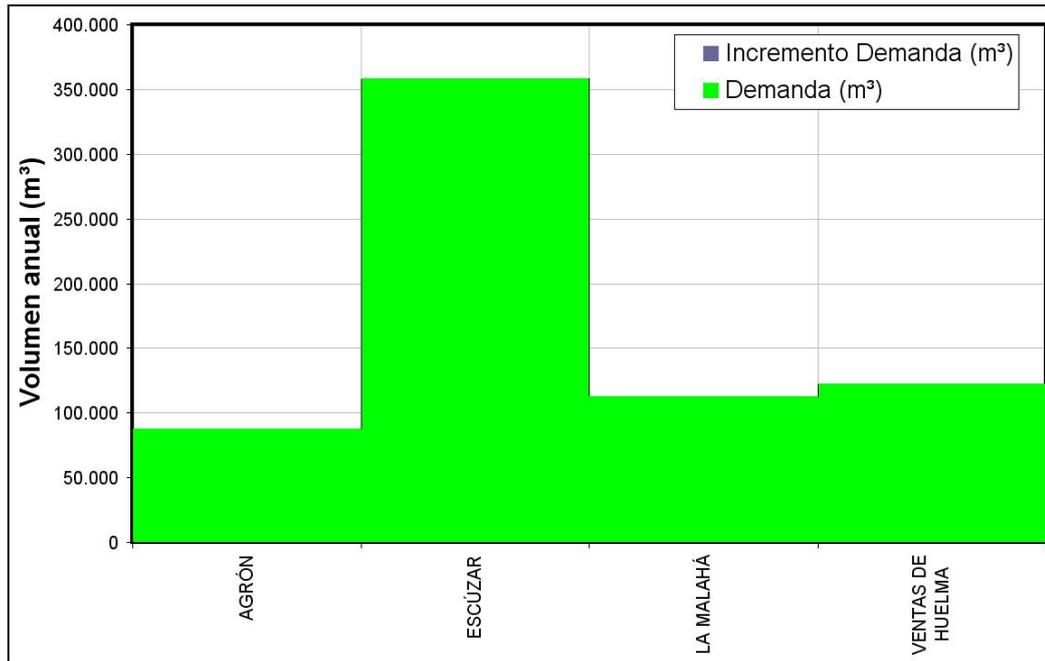


Figura 19. Datos sobre el suministro de aguas para abastecimiento en la Mancomunidad del Temple.

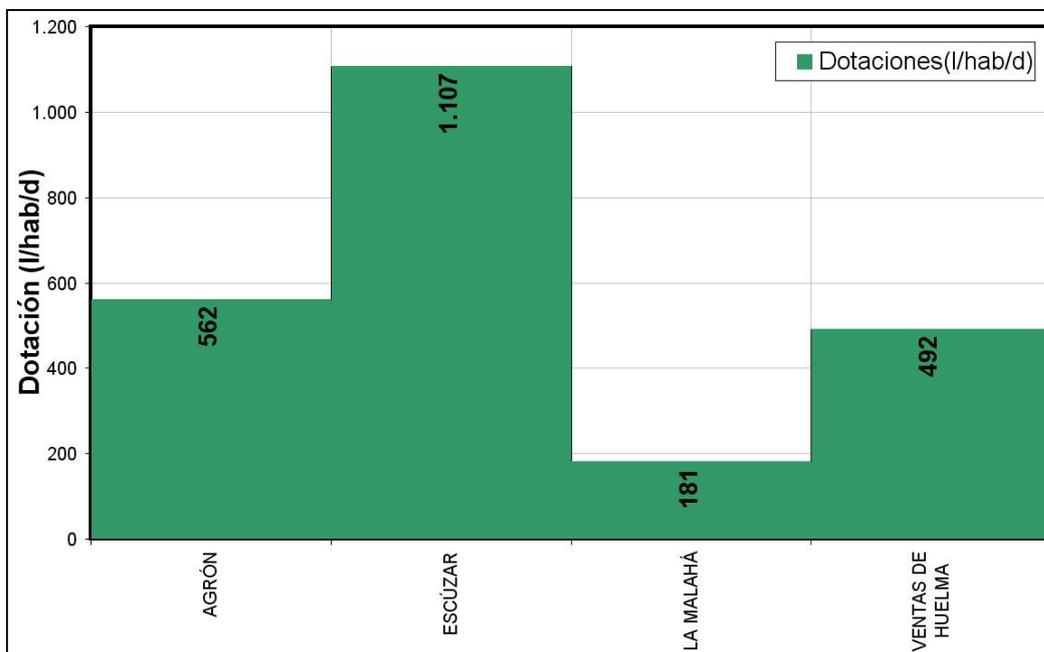


Figura 20. Datos sobre dotaciones de abastecimiento urbano en la Mancomunidad del Temple.

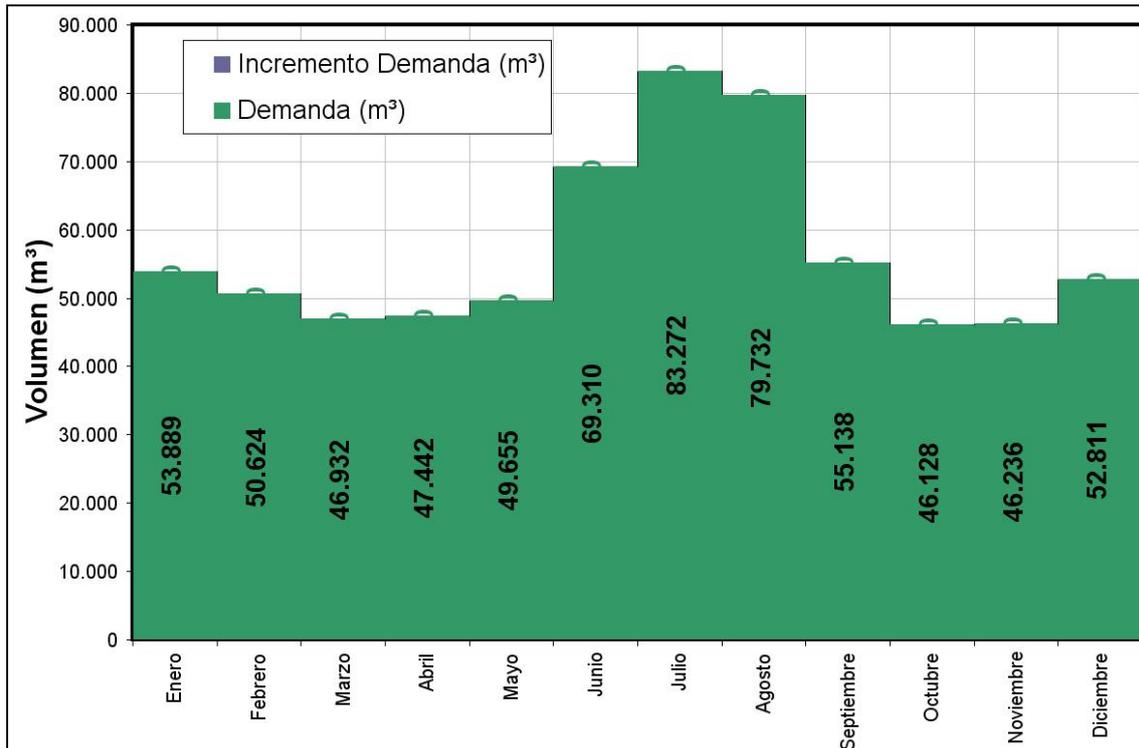


Figura 21. Distribución mensual de la demanda urbana en la Mancomunidad del Temple.

5.2.5 Sistema Cornisa-Vega de Granada

Agrupando los datos de demandas urbanas correspondientes a los subsistemas definidos se obtiene que el sistema Cornisa-Vega de Granada abastece a una población de 533.732 habitantes, distribuidos en 58 municipios, que presentan una demanda media anual de 58,306 hm³. El incremento de demanda urbana que se fija como consecuencia del desarrollo urbanístico de la Vega de Granada asciende a 65,13 hm³/a.

En la Tabla 1 se muestran los datos relativos a la demanda para abastecimiento urbano, desglosados según la entidad que realiza la gestión del abastecimiento y según los subsistemas de abastecimiento considerados; mientras que en la tabla 2 se resume estos datos según municipios.

Entidad que ejecuta la gestión del abastecimiento	Población (hab)		Demanda (m ³ /a)		Incremento Demanda (m ³)	
AGUASVIRA	111.374	20,9%	13.807.448	23,7%	32.645.467	50,1%
EMASAGRA	340.204	63,7%	36.240.763	62,2%	25.721.729	39,5%
MUNICIPAL	82.154	15,4%	8.258.178	14,2%	6.763.443	10,4%
Suma	533.732		58.306.389		65.130.638	

SUBSISTEMAS de ABASTECIMIENTO	Población (hab)		Demanda (m ³ /a)		Incremento Demanda (m ³)	
LA VEGA-SIERRA ELVIRA	121.840	22,8%	15.298.818	26,2%	35.750.645	54,9%
MANCOMUNIDAD EL TEMPLE	3.700	0,7%	681.171	1,2%	0	0,0%
SEPTENTRIONAL DE LA CORNISA	37.821	7,1%	3.381.907	5,8%	0	0,0%
SIERRA NEVADA-VEGA SUR	370.371	69,4%	38.944.493	66,8%	29.379.994	45,1%
Suma	533.732		58.306.389		65.130.638	

Tabla 1. Demanda urbana en el sistema Cornisa-Vega de Granada.

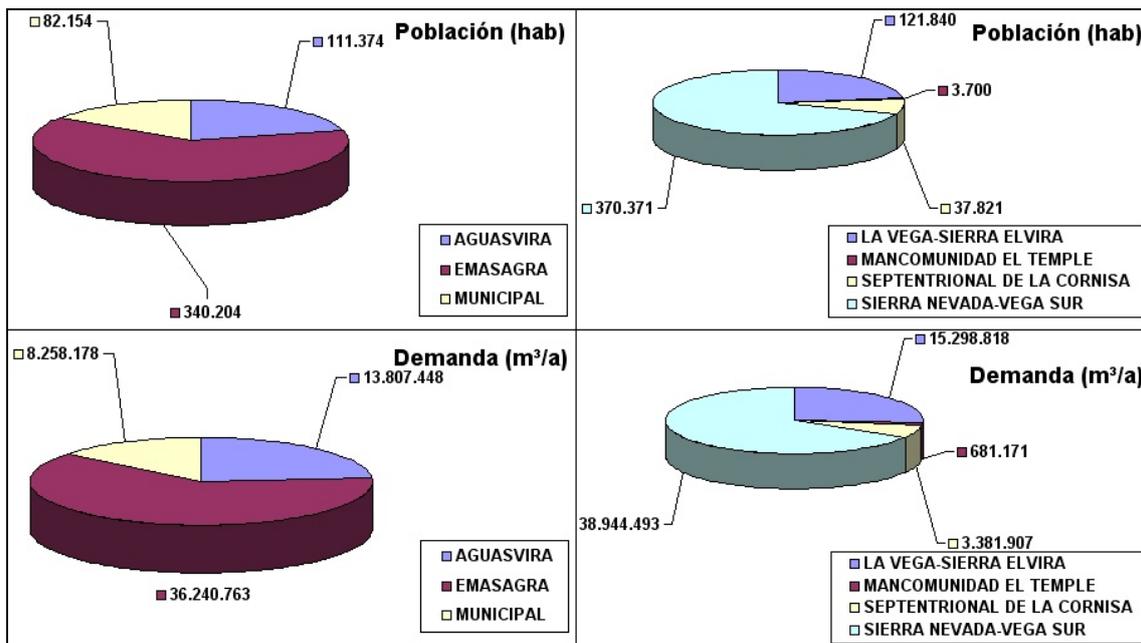


Figura 22. Demanda urbana en el sistema Cornisa-Vega de Granada

SUBSISTEMA	MUNICIPIO	GESTION	Población (hab)	Suministro (m³/a)	Incremento Suministro (m³/a)			
LA VEGA-SIERRA ELVIRA	ALBOLOTE	AGUASVIRA	14.481	1.750.276	2.619.490			
	ALFACAR	MUNICIPAL	5.925	1.000.000	47.600			
	ATARFE	AGUASVIRA	11.445	1.689.021	350.000			
	BEAS DE GRANADA	MUNICIPAL	1.065	212.500	399.061			
	CALICASAS	AGUASVIRA	590	131.890	268.251			
	CHAUCHINA	AGUASVIRA	4.216	747.802	2.116.607			
	CHIMENEAS	AGUASVIRA	1.510	182.133	0			
	CIJUELA	AGUASVIRA	1.800	412.500	2.361.667			
	COGOLLOS VEGA	MUNICIPAL	2.023	231.158	1.762.974			
	COLOMERA	AGUASVIRA	1.683	130.556	397.794			
	FUENTE VAQUEROS	AGUASVIRA	8.440	223.427	278.685			
	GÜEVÉJAR	AGUASVIRA	2.000	171.000	370.000			
	HUÉTOR-SANTILLÁN	MUNICIPAL	1.823	198.898	854.733			
	JUN	AGUASVIRA	2.500	750.000	4.542.000			
	LÁCHAR	AGUASVIRA	2.600	367.224	3.159.300			
	MARACENA	AGUASVIRA	17.800	1.831.262	4.605.196			
	NÍVAR	AGUASVIRA	800	214.250	803.438			
	PELIGROS	AGUASVIRA	9.000	998.743	1.672.600			
	PINOS-PUENTE	AGUASVIRA	13.522	1.657.894	3.204.429			
	SANTA FE	AGUASVIRA	13.675	1.708.445	3.560.800			
VEGAS DEL GENIL	AGUASVIRA	4.200	630.339	2.335.211				
VÍZNAR	MUNICIPAL	742	59.500	40.810				
MANCOMUNIDAD DEL TEMPLE	AGRÓN	AGUASVIRA	429	87.940	0			
	ESCÚZAR	MUNICIPAL	886	358.065	0			
	MALAHÁ (LA)	MUNICIPAL	1.702	112.420	0			
	VENTAS DE HUELMA	AGUASVIRA	683	122.746	0			
SEPTENTRIONAL DE LA CORNISA	BENALÚA DE LAS VILLAS	MUNICIPAL	1.394	68.620	0			
	CAMPOTÉJAR	MUNICIPAL	1.423	71.730	0			
	DEIFONTES	MUNICIPAL	2.415	185.000	0			
	GUADAHORTUNA	MUNICIPAL	2.229	126.000	0			
	ÍLLORA	MUNICIPAL	10.791	1.174.752	0			
	IZNALLOZ	MUNICIPAL	6.587	152.190	0			
	MOCLÍN	MUNICIPAL	3.547	462.455	0			
	MONTEJÍCAR	MUNICIPAL	3.006	215.715	0			
	MONTILLANA	MUNICIPAL	1.392	81.450	0			
	MORALEDA DE ZAFAYONA	MUNICIPAL	2.637	435.240	0			
	PIÑAR	MUNICIPAL	1.160	174.060	0			
TORRE-CARDELA	MUNICIPAL	1.240	234.695	0				
SIERRA NEVADA- VEGA SUR	ALHENDÍN	EMASAGRA	4.923	829.893	4.838.620			
	ARMILLA	EMASAGRA	16.394	1.966.429	2.522.792			
	CÁJAR	EMASAGRA	3.863	374.228	0			
	CENES DE LA VEGA	EMASAGRA	6.800	692.327	1.569.192			
	CHURRIANA DE LA VEGA	MUNICIPAL	7.950	1.123.636	2.162.068			
	CÚLLAR VEGA	EMASAGRA	5.500	342.709	1.298.715			
	DÍLAR	MUNICIPAL	1.550	203.636	733.619			
	DÚDAR	MUNICIPAL	315	43.750	0			
	GABIAS (LAS)	EMASAGRA	10.100	643.527	2.002.466			
	GÓJAR	EMASAGRA	4.192	338.963	808.595			
	GRANADA	EMASAGRA	240.661	24.840.320	0			
	GÜEJAR-SIERRA	MUNICIPAL	3.050	135.585	200.043			
	HUÉTOR-VEGA	EMASAGRA	9.800	1.774.576	3.621.584			
	MONACHIL	MUNICIPAL	6.334	802.340	19.950			
	OGÍJARES	EMASAGRA	15.200	1.846.809	3.597.515			
	OTURA	MUNICIPAL	9.756	220.283	507.585			
	PINOS-GENIL	EMASAGRA	1.390	249.282	8.050			
	PULIANAS	EMASAGRA	5.000	383.000	1.269.200			
	QUÉNTAR	MUNICIPAL	1.212	174.500	35.000			
	ZUBIA (LA)	EMASAGRA	16.381	1.958.700	4.185.001			
Suma			533.732	533.732	58.306.389	58.306.389	65.130.638	65.130.638

Tabla 2. Datos de población abastecida, demandas e incrementos de la demanda para el Sistema Cornisa-Vega de Granada.

5.3 DEMANDA DE RIEGOS

La demanda de regadíos en el sistema Cornisa–Vega de Granada se ha calculado a partir de las siguientes fuentes de información:

- Los datos de dotaciones y necesidades hídricas según tipos de cultivos se han tomado de los trabajos realizados para la demarcación de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir en el marco del convenio de colaboración entre la Sociedad estatal Aguas de la Cuenca del Guadalquivir (AQUAVIR) y la Empresa Pública de Desarrollo Agrario y Pesquero, SA (Mayo de 2005). (AQUAVIR, 2005).
- Los datos de superficie regadas han sido obtenidos del Inventario de Regadíos de la Junta de Andalucía (IRJA) (Junta de Andalucía, 2004).

A partir de estas fuentes de información se ha evaluado la superficie regada (Figura 23) y las dotaciones demandadas por los cultivos para las zonas regables del Alto Genil incluidas en los límites del Sistema Cornisa–Vega de Granada. Una vez fijadas las demandas según tipos de cultivos, se han calculado las dotaciones mensuales atendiendo a criterios agronómicos.

Para el conjunto del Sistema Cornisa–Vega de Granada se ha determinado una superficie regada de 46.893 ha, a la que corresponde una demanda anual media de 356,28 hm³ y un consumo de 254,86 hm³, por lo que la eficiencia media de los regadíos sería del 71,54% (considerando en la eficacia los sistemas de conducción, distribución y aplicación). Las cifra de dotación para el conjunto del sistema es de 7.598 m³/ha/a y de 5.435 m³/ha/a para las necesidades hídricas en el año tipo medio.

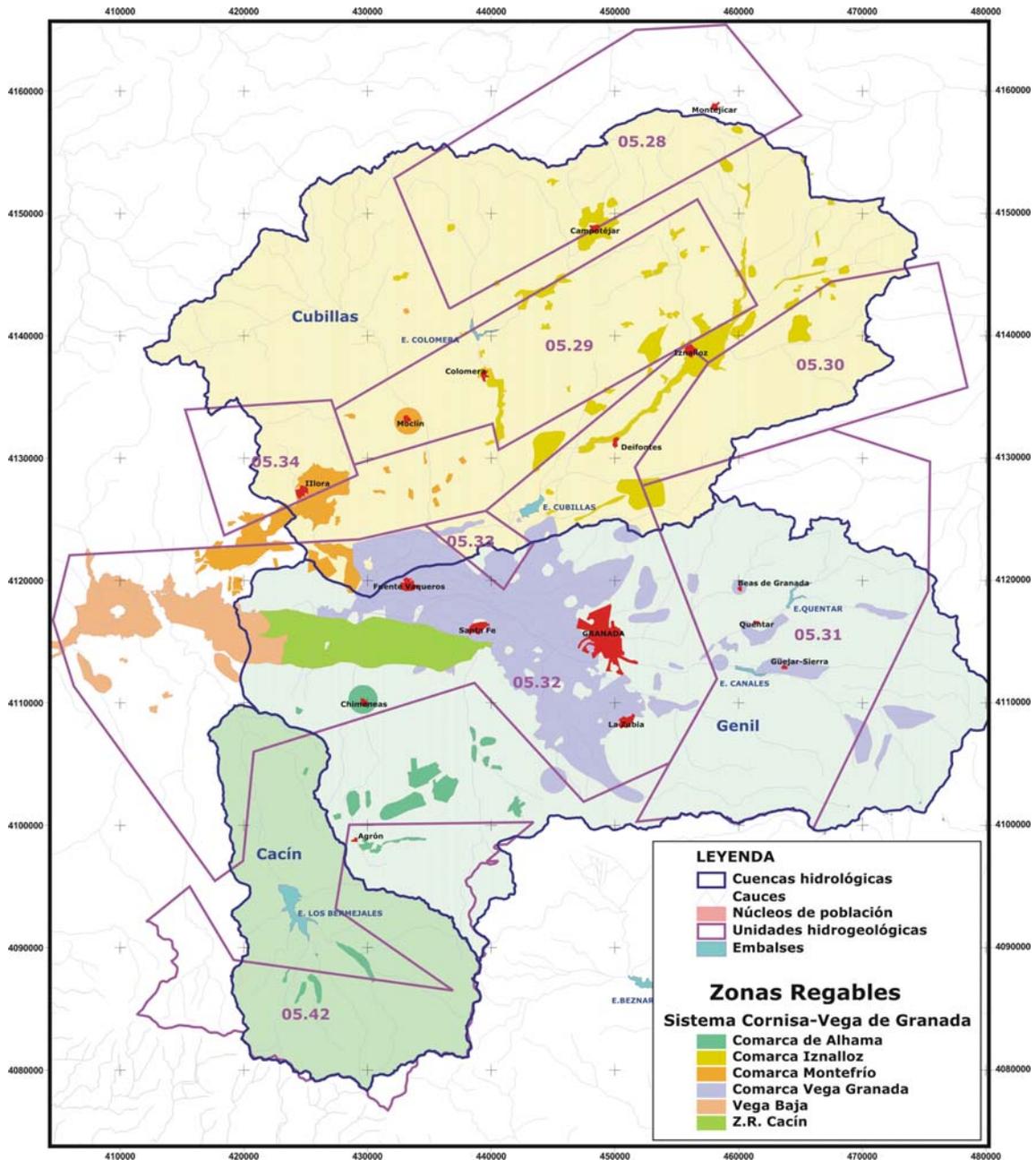


Figura 23. Zonas regables en el Sistema Cornisa-Vega de Granada.

En la tabla 3 se incluyen de forma resumida los datos correspondientes a la demanda agrícola del sistema Cornisa-Vega de Granada. La información recogida en esta tabla permite fijar las siguientes consideraciones:

- La mayor parte del riego se efectúa mediante el sistema de gravedad (74,51% de la superficie regada), que presenta una menor eficiencia (67,18%) y unas mayores dotaciones (8.888 m³/ha/a).
- Los riegos que se dotan con aguas subterráneas presentan unas mayores eficiencias, ya que suelen corresponder a riegos localizados o por aspersión.
- Un 70,76% de la superficie regada se dota con aguas reguladas mediante infraestructuras superficiales.
- Según los datos oficiales no se reutilizan aguas residuales urbanas en los riegos del Alto Genil.

Cultivos	Superficie Regada (ha)	Demanda (hm ³)	Consumo (hm ³)	Eficiencia (%)	DOTACIÓN (m ³ /ha/a)	NECESIDAD HÍDRICA (m ³ /ha/a)
Extensivos de invierno	796	1,84	1,19	67,03%	2.308	1.500
Extensivos de verano	3.034	29,49	20,03	67,90%	9.721	6.600
Frutales	2.972	25,82	17,53	67,90%	8.689	5.900
Hortícolas aire libre	17.920	162,62	116,08	73,33%	9.075	6.478
Olivar	11.571	36,44	31,96	88,65%	3.149	2.762
Otros (Alfalfa)	10.600	100,06	68,08	68,03%	9.440	6.422
Tipo de Riego	Superficie Regada (ha)	Demanda (hm ³)	Consumo (hm ³)	Eficiencia (%)	DOTACIÓN (m ³ /ha/a)	NECESIDAD HÍDRICA (m ³ /ha/a)
Aspersión	79	0,56	0,51	90,00%	7.136	6.422
Gravedad	34.738	308,52	207,82	67,17%	8.881	5.982
Localizado y gravedad	1.069	4,90	4,38	89,42%	4.581	4.100
Localizado	11.007	42,30	42,16	99,84%	3.843	3.830
Origen del Agua	Superficie Regada (ha)	Demanda (hm ³)	Consumo (hm ³)	Eficiencia (%)	DOTACIÓN (m ³ /ha/a)	NECESIDAD HÍDRICA (m ³ /ha/a)
Mixto	2.115	15,27	10,55	71,87%	7.221	4.987
Subterránea	11.031	46,09	44,41	95,65%	4.179	4.026
Superficial	33.747	294,91	199,90	70,69%	8.739	5.924
Reutilizada	0	0,00	0,00			
ZONAS REGABLES	Superficie 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	23,73	21,42	90,25%	8.565	7.730
Comarca Iznalloz	7.710	23,73	21,42	90,25%	3.078	2.778
Comarca Montefrío	3.915	22,67	22,39	98,78%	5.791	5.720
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. Cacin	4.475	33,63	21,72	64,58%	7.515	4.853
Sistema Cornisa-Vega de Granada	46.893	356,28	254,86	71,54%	7.598	5.435

Tabla 3. Demanda para regadíos Sistema Cornisa-Vega de Granada

En la Figura 24 se resume la información relativa a los tipos de cultivos. Asimismo, en la Figura 25 se indica la procedencia del agua aplicada en el riego; y en la Figura 26 el tipo de riego aplicado en la parcela.

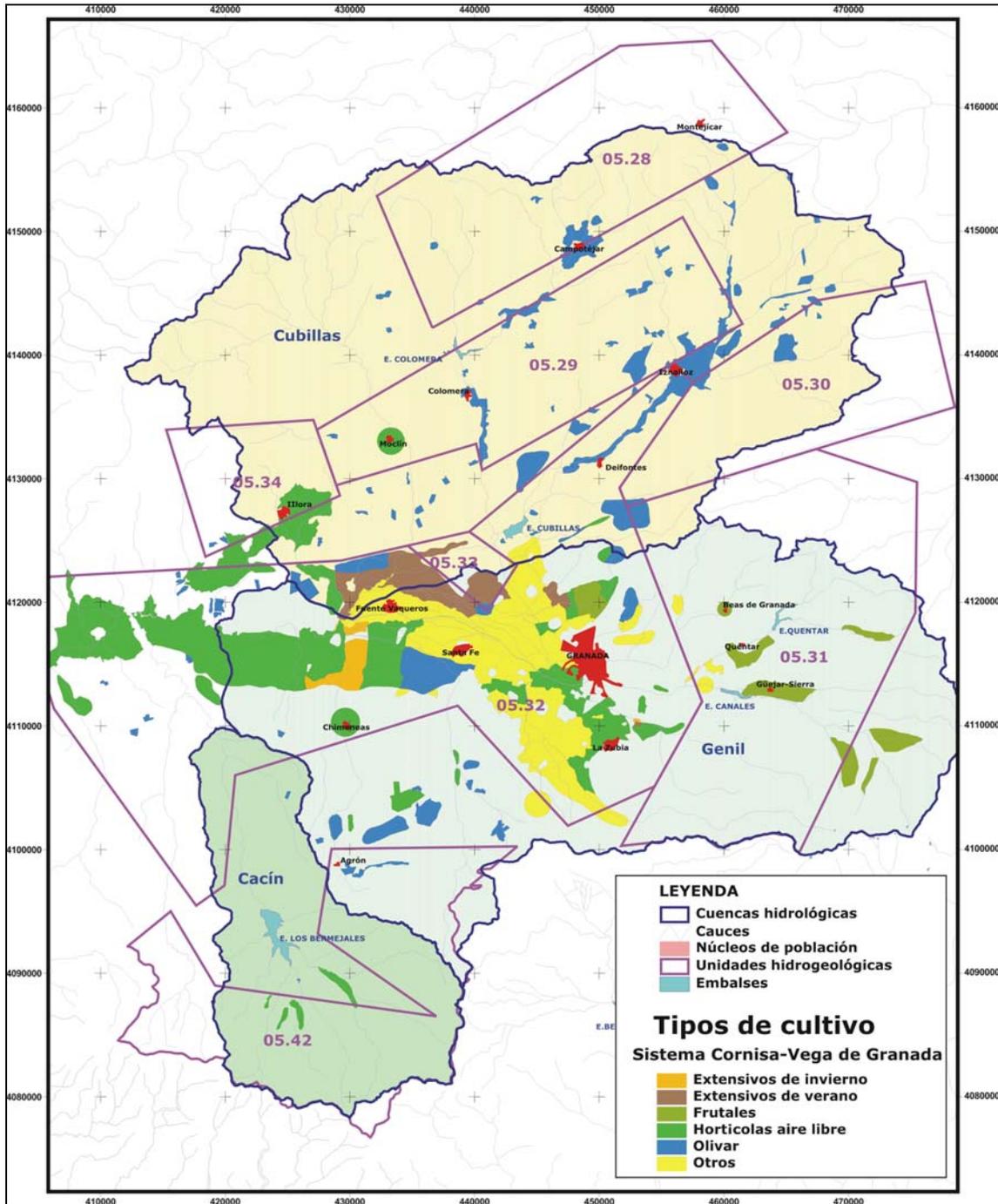


Figura 24. Tipos de cultivos en el Sistema Cornisa-Vega de Granada.

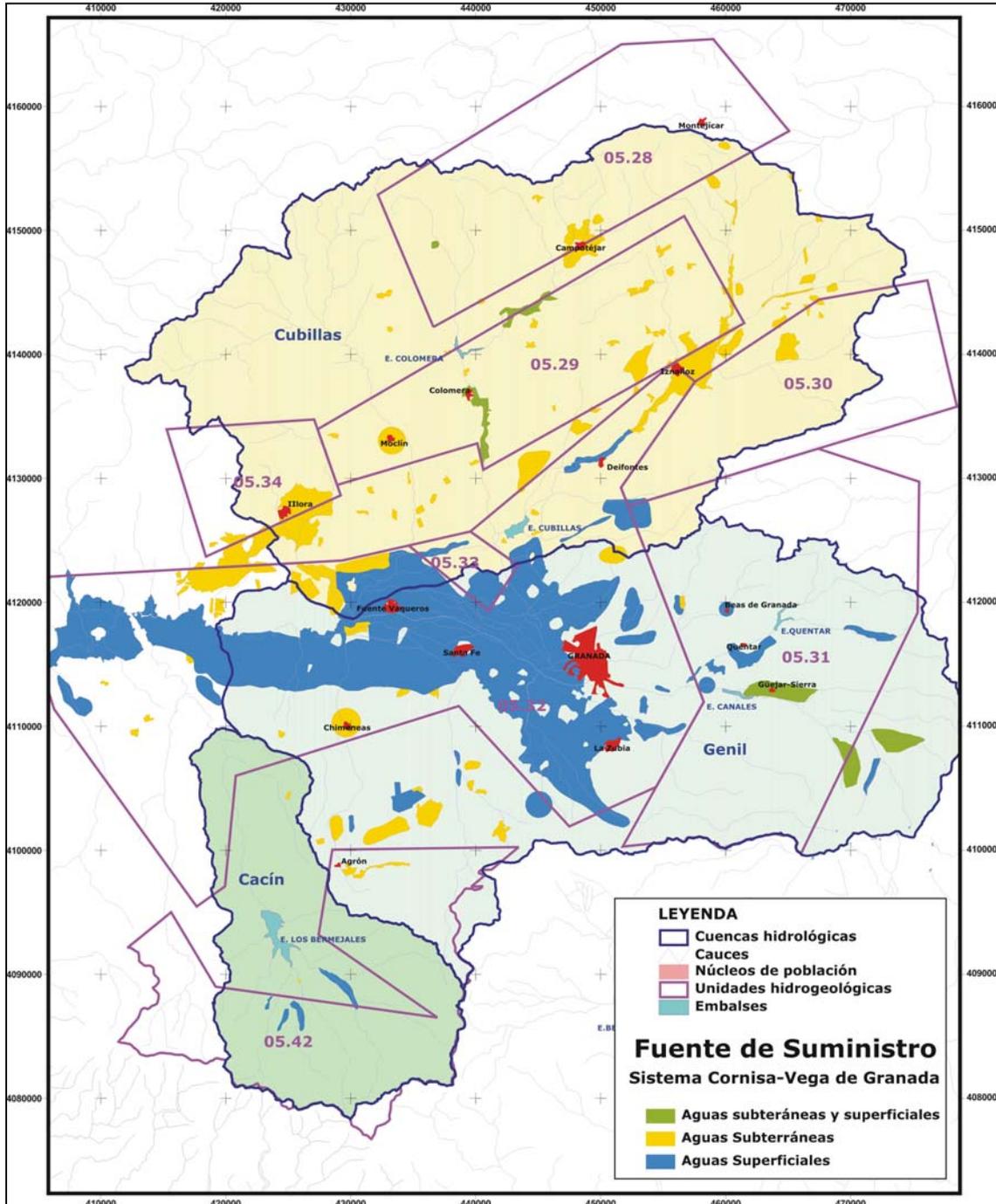


Figura 25. Procedencia del agua aplicada en el riego en el Sistema Cornisa-Vega de Granada.

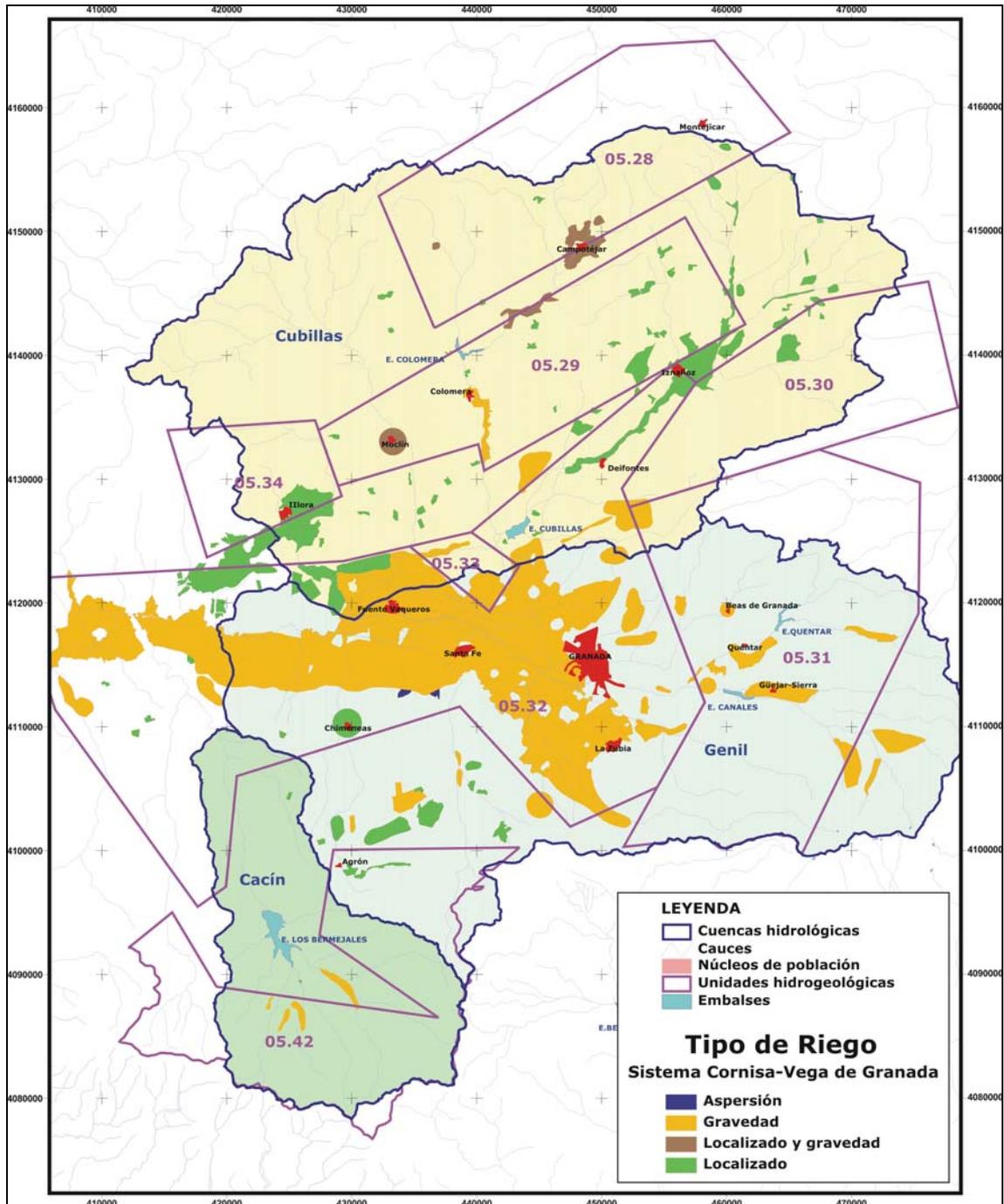


Figura 26. Tipo de riego aplicado en parcela para el Sistema Cornisa-Vega de Granada.

Por tanto, el Sistema Cornisa-Vega de Granada incluye un total de 46.893 ha de regadíos, con una demanda de 356,28 hm³/a, para satisfacer un consumo de 254,86 hm³/a, lo que supone una eficiencia media en el regadío del 71,54%. Así, la dotación media para satisfacer los regadíos del sistema ascendería a 7.598 hm³/a, con una necesidad hídrica en los riegos de 5.435 hm³/a.

Para determinar la distribución mensual de las dotaciones de riego se ha utilizado información procedente de diferentes estudios agronómicos, considerando cada tipo de cultivo por separado. En el Anejo 3 se recogen todos los datos utilizados y los resultados obtenidos, los cuales se resumen en la Tabla 4, para el conjunto del sistema, y se expresan gráficamente en la Figura 27.

DISTRIBUCIÓN MENSUAL DEL RIEGO (hm³/mes)												
Sistema Cornisa-Vega de Granada												
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35	1,26	0,23	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	2,95	7,85	8,58	7,20	2,74
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,23	2,93	7,84	8,89	4,94
	17,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,25	17,89	27,65	27,66	39,03	29,26
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,09	4,01	8,38	9,47	8,02	5,47
	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	4,00	11,01	22,01	25,02	22,01	11,01
Suma	21,89	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	8,87	38,35	69,06	78,56	85,15	53,41
	6,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	2,5%	10,8%	19,4%	22,1%	23,9%	15,0%

Tabla 4. *Distribución mensual de las demandas de riego para el sistema Cornisa-Vega de Granada*

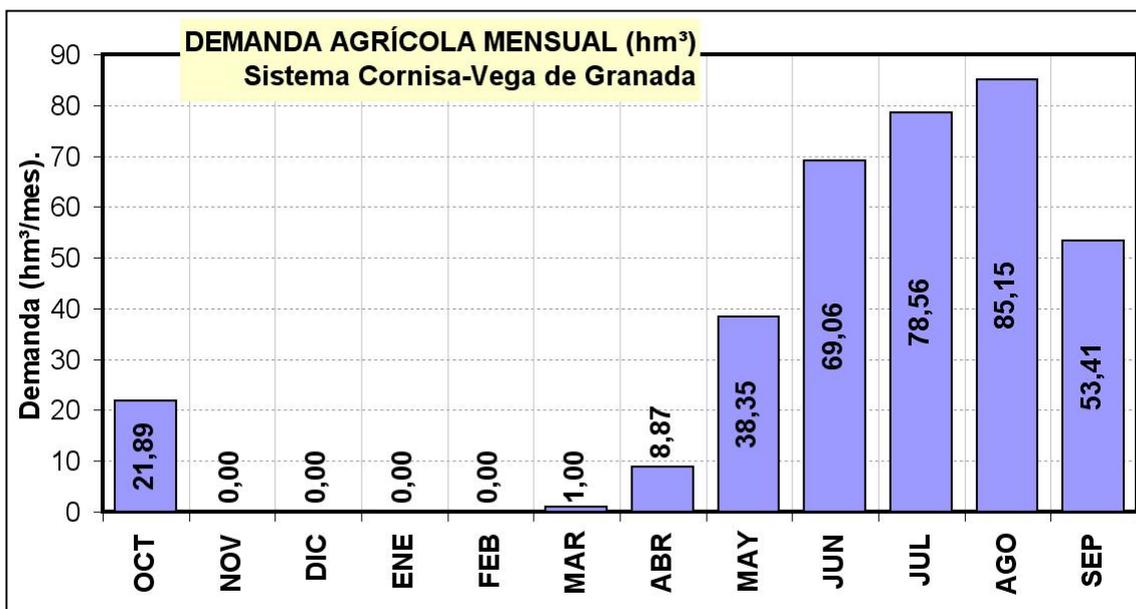


Figura 27. Distribución mensual de las dotaciones de riego según cultivos en el Sistema Cornisa-Vega de Granada

Para establecer los centros de demanda agrícola del sistema Cornisa-Vega de Granada (Figura 28) se ha partido de:

- Datos del inventario de regadíos de la Junta de Andalucía (IRJA) y de la Oficina de Planificación Hidrológica de la C.H. del Guadalquivir respecto al Sistema de Explotación 05103/Alto Genil (UDA: Unidades de Demanda Agrícola).
- Datos del funcionamiento de las infraestructuras de regulación-aducción que dotan las zonas regables del Sistema Cornisa-Vega de Granada.

Así, se han establecido un conjunto de centros de demandas agrícolas (ver Figura 28) para el sistema, cuyas características básicas se resumen en la Tabla 5, que se agrupan según zonas regables, donde mantienen en común los sistemas de regulación-aducción. Los centros de demanda agrícola definidos se corresponden con los siguientes:

- **Zona regable Cubillas–Colomera**

- Riegos del Canal de Albolote. Esta zona presenta una superficie regada de 2.013 ha, que se dotan con recursos procedentes del Canal de Albolote¹ (sistema Cubillas–Colomera). La demanda anual es de 19,12 hm³/a para un consumo anual de 12,98 hm³, lo que implica una eficiencia en el riego del 68% (el 100% de la superficie se riega mediante el sistema de gravedad) y una dotación de 9.499 m³/ha/a para unas necesidades hídricas de 6.450 m³/ha/a.
- Riegos del Canal de Cubillas. Esta zona presenta una superficie regada de 2.283 ha, que se dotan con recursos procedentes del Canal de Cubillas (sistema Cubillas–Colomera), de la descarga natural del acuífero Vega de Granada y, ocasionalmente, mediante sondeos existentes en el acuífero Vega de Granada. La demanda anual es de 21,46 hm³/a para un consumo anual de 14,57 hm³, lo que implica una eficiencia en el riego del 68% (el 100% de la superficie se riega mediante el sistema de gravedad) y una dotación de 9.403 m³/ha/a para unas necesidades hídricas de 6.385 m³/ha/a.
- Riegos del Pantano de Cubillas. Esta zona presenta una superficie regada de 1.140 ha, que se dotan con recursos procedentes del embalse de Cubillas (sistema Cubillas–Colomera). La demanda anual es de 11,08 hm³/a para un consumo anual de 7,52 hm³, lo que implica una eficiencia en el riego del 68% (el 100% de la superficie se riega mediante el sistema de gravedad) y una dotación de 9.716 m³/ha/a para unas necesidades hídricas de 6.597 m³/ha/a.

¹ La localización de los embalses superficiales, unidades hidrogeológicas e infraestructuras hidráulicas, a los que se hace referencia en el texto aparecen en la Figura 29.

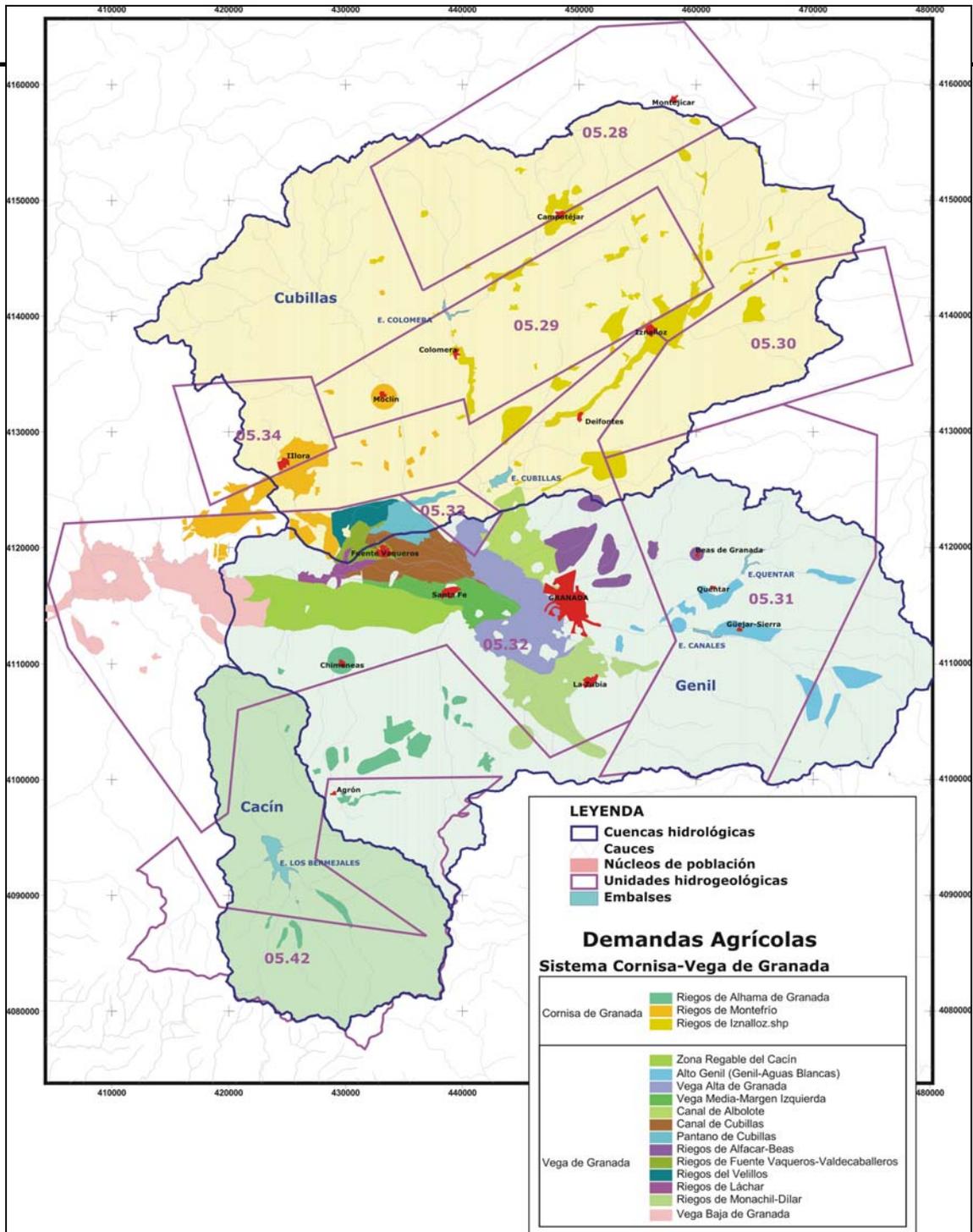


Figura 28. Centros de demanda agrícola diferenciados para el Sistema Cornisa-Vega de Granada

Zona Regable	Centro de Demanda Agrícola	Superf. Regada (ha)	Procedencia del agua	Demanda Anual (hm ³ /a)	Consumo Anual (hm ³ /a)	Sistema de Riego	Eficiencia	Dotación (m ³ /ha/a)	Necesidad Hídrica (m ³ /ha/a)
Cubillas-Colomera	Canal de Albolote	2.013	Canal de Albolote (<i>manantial de Deifontes</i> ; E. Colomera y bombeos E. Cubillas)	19,12	12,98	Gravedad	68%	9.499	6.450
	Canal de Cubillas	2.283	Canal de Cubillas (E. de Cubillas) y bombeos UH 05.32/Depresión de Granada	21,46	14,57	Gravedad	68%	9.403	6.385
	Riegos del Pantano de Cubillas	1.140	E. de Cubillas	11,08	7,52	Gravedad	68%	9.716	6.597
	Riegos del Velillos	772	Río Velillos y bombeos UH 05.32/Depresión de Granada	5,42	3,95	Gravedad (61%) Localizado (39%)	73%	7.017	5.109
Genil	Alto Genil	2.981	Ríos Genil y Aguas Blancas	26,23	17,81	Gravedad	68%	8.800	5.975
	Vega Alta del Genil	3.931	Sistema Canales-Quéntar (acequias Gorda, cadí, Arabueila y Tarramonta) y bombeos UH 05.32/Depresión de Granada	36,78	24,98	Gravedad	68%	9.358	6.354
	Vega Media del Genil Margen Izquierda	1.939	Sistema Canales-Quéntar y captaciones UH 05.32/Depresión de Granada (descargas naturales y bombeos)	18,17	12,46	Gravedad (96%) Aspersión (4%)	69%	9.370	6.427
	Láchar-Cijuela	376	Sobrantes Genil	3,30	2,24	Gravedad	68%	8.761	5.954
	Fuentevaqueros-Valdecaballeros	657	Sobrantes Cubillas-Colomera y bombeos UH 05.32/Depresión de Granada	6,30	4,28	Gravedad	68%	9.590	6.512
	Vega Baja	3.493	Sobrantes Genil	33,80	22,63	Gravedad	67%	9.677	6.478
	Canal del Cacín	4.475	Canal del Cacín (E. Bermejales y trasvase río Alhama)	33,63	21,72	Gravedad	65%	7.515	4.853
	Alfacar-Beas de Granada (manantiales triásicos)	2.164	Drenaje UH 05.31/La Peza	17,41	11,86	Gravedad	68%	8.047	5.483
Monachil-Dílar	3.152	Ríos Monachil y Dílar; sistema Canales-Quéntar (canal Loaysa) y bombeos UH 05.32/Depresión de Granada	29,82	20,25	Gravedad	68%	9.459	6.423	
Comarca Alhama de Granada	2.771	Arroyos Los Frailes y Salado; captación de manantiales y bombeos en la UH 05.42/Tejeda-Almijara-Las Guajaras y bombeos en el acuífero Mio-plioceno UH 05.32/Depresión de Granada	17,62	13,84	Gravedad (45%) Localizado (55%)	79%	6.360	4.996	
Comarca de Iznalloz	7.710	Captación de manantiales y bombeos en las UHs 05.28/Montes Orientales, 05.29/Sierra Colomera y 05-30/Sierra Arana	23,73	21,42	Localizado (72%) Gravedad (19%) Mixtos (9%)	90%	3.078	2.778	
Comarca de Montefrío	3.915	Captación de manantiales y bombeos en las UHs 05.29/Sierra Colomera y 05.34/Madrid-Parapanda	22,67	22,39	Localizado	100%	5.791	5.720	

Tabla 5. Resumen de las características de los centros de demanda agrícola del Sistema Cornisa-Vega de Granada

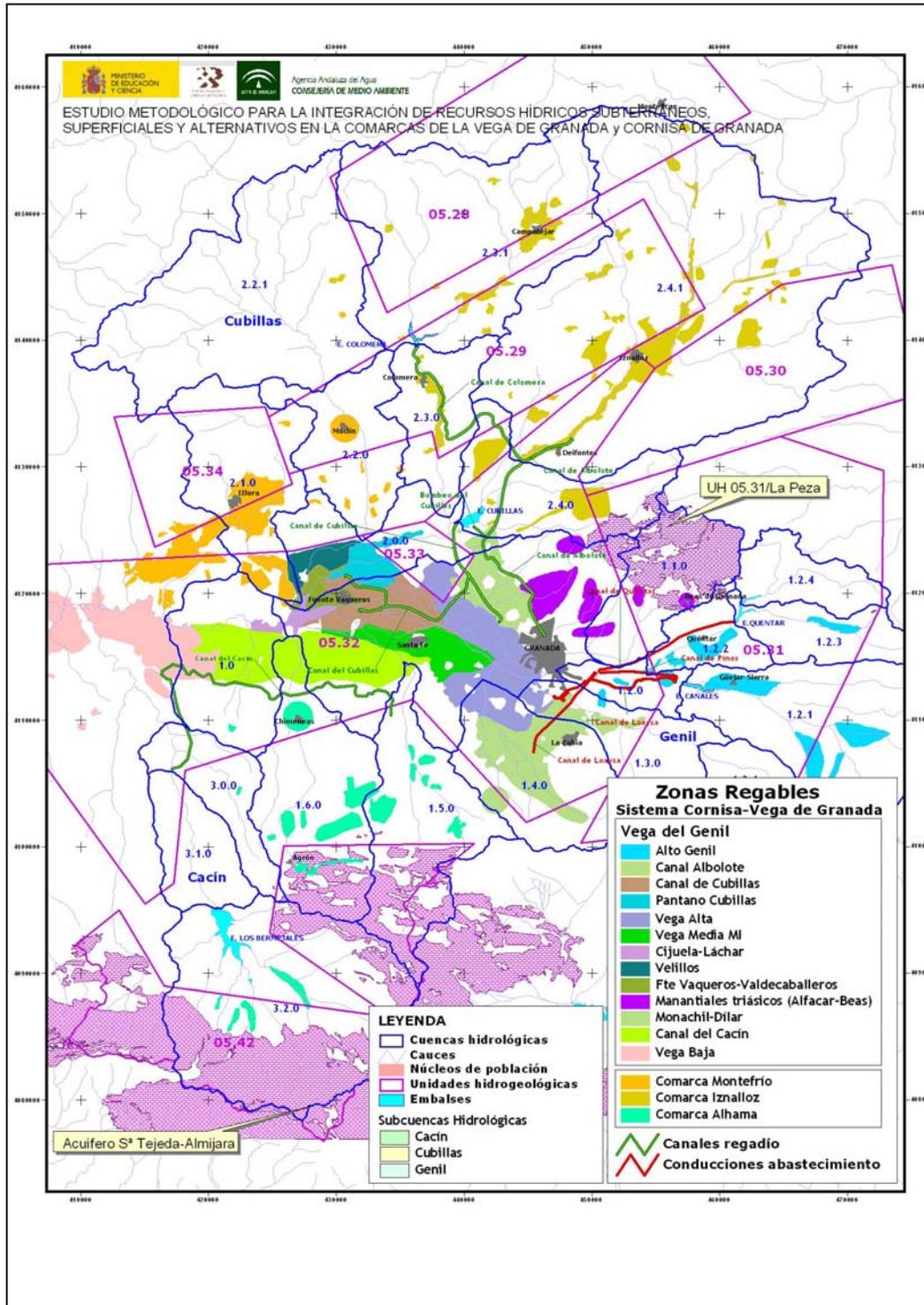


Figura 29. Sistemas de regulación-adsucción que dotan los riegos del Sistema Cornisa-Vega de Granada

Riegos del Velillos. Esta zona presenta una superficie regada de 772 ha, que se dotan con recursos procedentes del río Velillos y bombeos en el acuífero Vega de Granada. La demanda anual se fija en 5,42 hm³/a para un consumo anual de 3,95 hm³, lo que implica una eficiencia en el riego del 73% (el 61% de la superficie se riega mediante el sistema de gravedad y el 39% restante mediante riego localizado) y una dotación de 7.017 m³/ha/a para unas necesidades hídricas de 5.109 m³/ha/a.

- **Riegos del Genil** :

- Riegos del Alto Genil (cabecera del Genil y río Aguas Blancas). Esta zona presenta una superficie regada de 2.981 ha, que se dotan con recursos captados en cauces de la cuenca alta del Genil y del río Aguas Blancas. Estos cauces recogen la escorrentía subterránea de los acuíferos de la Sierra de La Peza y Sierra del Padúl, en particular, el río Aguas Blancas constituye el drenaje de los sectores Aguas Blancas y Arroyo Los Padules de la unidad Sierra de La Peza, mientras que el Genil recoge la descarga del sector Güejar-Sierra (Sierra de La Peza) y el sector septentrional del sector Víboras-Monachil (Sierra del Padúl). La demanda anual se establece en 26,23 hm³/a para un consumo anual de 17,81 hm³, lo que implica una eficiencia en el riego del 68% (el 100% de la superficie se riega mediante el sistema de gravedad) y una dotación de 8.800 m³/ha/a para unas necesidades hídricas de 5.975 m³/ha/a.
- Riegos de la Vega Alta del Genil. Esta zona presenta una superficie regada de 3.931 ha, que se dotan con recursos del sistema Canales-Quéntar (alto Genil), a través de las redes de acequia de la acequias Gorda, Cadí, Arabueila y Tarramonta, aunque ocasionalmente también toman recursos del acuífero Vega de Granada, sobrantes del río Darro y aguas residuales urbanas tratadas (tratamiento secundario). La demanda anual es de 36,78 hm³/a para un consumo anual de 24,98 hm³, lo que implica una eficiencia en el riego del 68%

(el 100% de la superficie se riega mediante el sistema de gravedad) y una dotación de 9.358 m³/ha/a para unas necesidades hídricas de 6.354 m³/ha/a.

- Riegos de la Vega Media del Genil margen izquierda. Esta zona presenta una superficie regada de 1.939 ha, que se dotan con recursos sobrantes del sistema Canales-Quéntar (alto Genil) y con captaciones en el acuífero Vega de Granada (descargas naturales y sondeos). La demanda anual es de 18,17 hm³/a para un consumo anual de 12,46 hm³, lo que implica una eficiencia en el riego del 69% (el 96% de la superficie se riega mediante el sistema de gravedad y el 4% mediante aspersión) y una dotación de 9.370 m³/ha/a para unas necesidades hídricas de 6.427 m³/ha/a.
- Riegos de Lachar-Cijuela. Esta zona presenta una superficie regada de 376 ha, que se dotan con recursos sobrantes del sistema Canales-Quéntar (alto Genil) y con captaciones en el acuífero Vega de Granada (descargas naturales y sondeos). La demanda anual es de 3,30 hm³/a para un consumo anual de 2,24 hm³, lo que implica una eficiencia en el riego del 68% (el 100% de la superficie se riega mediante el sistema de gravedad) y una dotación de 8.761 m³/ha/a para unas necesidades hídricas de 5.954 m³/ha/a.
- Riegos de Fuentevaqueros-Valdecaballeros. Esta zona presenta una superficie regada de 657 ha, que se dotan con captaciones en el acuífero Vega de Granada (sondeos) y sobrantes del sistema Cubillas-Colomera. La demanda anual es de 6,30 hm³/a para un consumo anual de 4,28 hm³, lo que implica una eficiencia en el riego del 68% (el 100% de la superficie se riega mediante el sistema de gravedad) y una dotación de 9.590 m³/ha/a para unas necesidades hídricas de 6.512 m³/ha/a.
- Riegos de la Vega Baja. Esta zona presenta una superficie regada de 6.614 ha, que se dotan con sobrantes del Alto Genil y recursos procedentes del Cacán-

Alhama, además de captaciones de aguas subterráneas. Esta demanda se sitúa parcialmente fuera del sistema Cornisa-Vega de Granada y sólo debería ser objeto de inclusión en este estudio la porción que se riega con sobrantes del Genil, que se estima en una superficie de 3.493 ha. Para el conjunto de los riegos de la Vega Baja se establece una demanda anual de 63,53 hm³/a para un consumo anual de 42,59 hm³, lo que implica una eficiencia en el riego del 67% (el 99% de la superficie se riega mediante el sistema de gravedad) y una dotación de 9.605 m³/ha/a para unas necesidades hídricas de 6.439 m³/ha/a. Para la porción de esta zona regable que pertenece al sistema Cornisa-Vega de Granada se fija una demanda anual de 33,80 hm³/a para un consumo anual de 22,63 hm³, lo que implica una eficiencia en el riego del 67% (el 100% de la superficie se riega mediante el sistema de gravedad) y una dotación de 9.677 m³/ha/a para unas necesidades hídricas de 6.478 m³/ha/a.

- Zona Regable del Canal del Cacín. Esta zona presenta una superficie regada de 4.475 ha, que se dotan con recursos procedentes del sistema Bermejales a través del Canal del Cacín. La demanda anual es de 33,63 hm³/a para un consumo anual de 21,72 hm³, lo que implica una eficiencia en el riego del 65% (mas del 99% de la superficie se riega mediante el sistema de gravedad) y una dotación de 7.515 m³/ha/a para unas necesidades hídricas de 4.853 m³/ha/a.
- Riegos de Alfacar-Beas de Granada. Según los datos del IRJA, esta zona presenta una superficie regada de 2.164 ha, que se dotan con recursos procedentes de los manantiales que drenan el sector noroccidental de la unidad hidrogeológica Sierra de La Peza, recursos de los ríos Beiro y Darro y bombeos en el acuífero Vega de Granada. La demanda anual es de 17,41 hm³/a para un consumo anual de 11,86 hm³, lo que implica una eficiencia en el riego del 68% (el 100% de la superficie se riega mediante el sistema de gravedad) y una dotación de 8.047 m³/ha/a para unas necesidades hídricas de 5.483 m³/ha/a.

- **Riegos de Monachil-Dílar.** Esta zona presenta una superficie regada de 3.152 ha, que se dotan con recursos procedentes de los ríos Monachil y Dílar, los cuales recogen la descarga subterránea de los sectores Víboras-Monachil y Dílar de la unidad hidrogeológica Sierra del Padúl, así como, recursos procedentes del sistema Canales-Quéntar a través del Canal de Loaysa (este canal parte del embalse de Canales) y bombeos en la UH 05.32/Depresión de Granada. La demanda anual es de 29,82 hm³/a para un consumo anual de 20,25 hm³, lo que implica una eficiencia en el riego del 68% (el 100% de la superficie se riega mediante el sistema de gravedad) y una dotación de 9.459 m³/ha/a para unas necesidades hídricas de 6.423 m³/ha/a.

- **Comarca de Alhama de Granada.** Esta zona regable presenta una superficie regada de 2.771 ha, que se dotan con recursos subterráneos de la UH 05.42/Tejeda-Almijara-Las Guajaras; bombeos en el acuífero Mio-plioceno de la UH 05.32/Depresión de Granada y los drenajes que recogen los arroyos Los Frailes y Salado. La demanda anual es de 17,62 hm³/a para un consumo anual de 13,84 hm³, lo que implica una eficiencia en el riego del 79% (el 45% de la superficie se riega mediante el sistema de gravedad y el 55% restante mediante riego localizado) y una dotación de 6.360 m³/ha/a para unas necesidades hídricas de 4.996 m³/ha/a.

- **Comarca de Iznalloz.** Esta zona presenta una superficie regada de 7.710 ha, que se dotan con recursos subterráneos procedentes de la descarga natural y/o bombeos de los acuíferos de las unidades hidrogeológicas Montes Orientales (sectores Montillana y Alta Coloma), Sierra Coloma (sectores Sierra Pozuelo-Las Cabras y Sierra Moclín-Los Morrones) y Sierra Arana (sector Periarte-Moreda-Piñar²), además de los drenajes que recogen las cuencas altas de los ríos Colomera y Cubillas

² Se deriva un pequeño caudal del manantial de Deifontes (descarga natural del acuífero de Sierra Arana), para dotar regadíos en el municipio de Deifontes.

(antes de los embalses). La demanda anual es de 23,73 hm³/a para un consumo anual de 21,42 hm³, lo que implica una eficiencia en el riego del 90% (el 72% de la superficie se riega mediante riego localizado, el 19% mediante el sistema de gravedad y el 9% restante mediante métodos mixtos gravedad-localizado) y una dotación de 3.078 m³/ha/a para unas necesidades hídricas de 2.778 m³/ha/a.

- **Comarca de Montefrío.** Esta zona regable presenta una superficie regada de 3.915 ha, que se dotan con recursos subterráneos procedentes de la descarga natural y/o bombeos de los acuíferos de las unidades hidrogeológicas Sierra Coloma (sector Sierra Moclín-Los Morrones), Madrid-Parapanda (sectores Sierra Madrid y Sierra de Parapanda), así como escorrentías de los ríos Velillos y Escóznar. La demanda anual es de 22,67 hm³/a para un consumo anual de 22,39 hm³, lo que implica una eficiencia en el riego del 100% (prácticamente el 100% de la superficie se riega mediante riego localizado) y una dotación de 5.791 m³/ha/a para unas necesidades hídricas de 5.720 m³/ha/a.

5.4 CAUDALES ECOLÓGICOS

La metodología de trabajo usualmente utilizada en estudios de uso conjunto presenta un objetivo esencialmente garante, esto es, coordinar la utilización de los recursos convencionales y no convencionales de un sistema de explotación con el objetivo de obtener unos índices de garantía, en la satisfacción de las demandas del sistema hídrico, superiores a los que se obtendrían si en este se operan los recursos disponibles de forma no coordinada.

Aunque entre las demandas que se pueden considerar en un sistema de recursos hídricos se suelen incluir los **caudales ecológicos** como un tipo de **demanda no consuntiva**, ésta no suele considerarse como prioritaria y, por tanto, no ha

constituido uno de los objetivos principales de los modelos de uso conjunto que se han realizado hasta la fecha.

No obstante, a raíz de la aplicación de la Directiva Marco de Agua (DMA– Directiva 2000/60/CE) y los trabajos que se están realizando para la elaboración de los planes hidrológicos de cuenca, en los modelos de gestión conjunta que se están desarrollando actualmente, además de considerar aspectos cuantitativos, esto es, optimizar el reparto de los recursos hídricos con el único objeto de satisfacer unos determinados volúmenes de demanda, se están incorporando aspectos relacionados con la calidad de las aguas tanto en lo relativo a las exigencias que se precisan según los usos del agua, como en la consecución de los objetivos de calidad que se exigen en el dominio público hidráulico. Éste último aspecto es primordial en cuanto al mantenimiento de las condiciones ecológicas de los cursos fluviales.

Así, aunque la herramienta de simulación de la gestión conjunta que se ha aplicado al Sistema Cornisa–Vega de Granada ha sido SIMGES, código que sólo atiende a criterios cuantitativos para la simulación de la gestión conjunta de recursos hídricos, se ha estimado conveniente definir distintos escenarios de gestión enfocados a analizar la sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos relacionados a zonas protegidas (PN Sierra Nevada y PN Sierra Huétor) . Éstos escenarios se han establecido fijando un patrón temporal para los caudales ecológicos en las zonas protegidas del sistema que aseguren la estructura y composición de los sistemas acuáticos y hábitat asociados y verificando como estas restricciones medioambientales influyen sobre los índices de garantía del sistema en la satisfacción de las demandas consuntivas.

El establecimiento del régimen de caudales ecológicos debe atender a criterios de diferente índole: hidrológico (cantidad y calidad del agua), geomorfológico (morfología del cauce) y biológico (comunidades acuáticas). Atendiendo a esta circunstancia, es conveniente incidir en que los modelos de uso conjunto pueden constituir herramientas de decisión en el establecimiento de los caudales ecológicos,

tanto si se utilizan métodos basados en el análisis de los caudales de estiaje, como si se emplean métodos que, en función de los caudales circulantes, fijan las pautas de variación de las comunidades acuáticas.

Considerando las características hidrológicas del Sistema Cornisa-Vega de Granada y la relación de Espacios naturales Protegidos de la Junta de Andalucía para la provincia de Granada, se han fijado como **zonas de interés ecológico** las siguientes:

- Cauces del Alto Genil interrelacionados con el **Parque Natural de Sierra Nevada**: Aguas Blancas, Genil, Monachil y Dílar.
- Cauces interrelacionados con el **Parque Natural de Sierra de Huétor**: ríos Darro y Beas.

En total se han estudiado 6 cauces (Figura 30 -Darro, Aguas Blancas, Genil, Monachil y Dílar) que presentan como característica común el que parte de su cuenca de recepción se ubica dentro de los límites de los Parques Naturales de Sierra Nevada o Sierra de Huétor y además, reciben la descarga subterránea de los acuíferos carbonatados de la unidades hidrogeológicas 05.32/Padúl y 05.61/La Peza.

La determinación de los caudales ecológicos en un sistema de gestión de recursos hídricos complejo, como es el caso del Sistema Cornisa-Vega de Granada, se fundamenta en el desarrollo de estudios técnicos destinados a determinar el régimen de caudales ecológicos en aquellos ecosistemas acuáticos relacionadas con zonas protegidas, masas de aguas naturales o muy modificadas (según la clasificación que concreta la DMA); pero exige unos procesos complementarios de concertación, implantación y seguimiento.

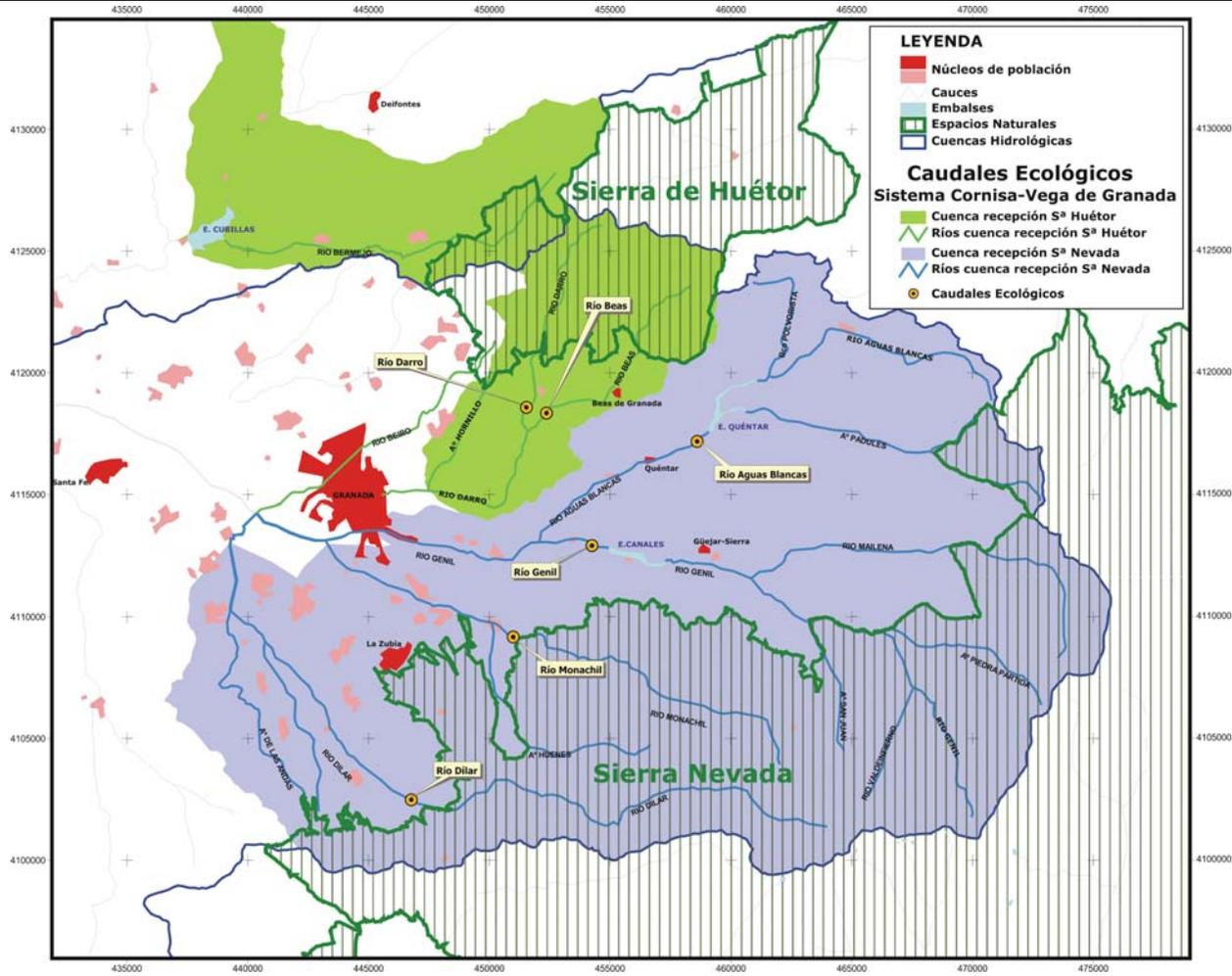


Figura 30. Zonas de interés hidroecológico en el sistema Cornisa-Vega de Granada

Mediante el estudio llevado a cabo en este trabajo sólo se recoge de forma tentativa la primera fase en la determinación del régimen de caudales ecológicos y sólo en ecosistemas asociados a zonas protegidas. El propio modelo de simulación de la gestión conjunta desarrollado constituye una herramienta útil en las posteriores fases de concertación, implantación y seguimiento, pero es necesario complementar los estudios realizados extendiendo los estudios a masas de aguas naturales o muy modificadas que así sean declaradas por el nuevo Plan Hidrológico del Guadalquivir que está en fase de elaboración.

Por tanto, fijada la metodología de cálculo del régimen de caudales ecológicos y una vez se concluya el Plan Hidrológico del Guadalquivir y se cataloguen las masas de aguas del sistema Alto Genil será necesario complementar los trabajos aquí realizados y actualizar el modelo de simulación conjunta desarrollado.

A continuación se detallan las características hidrológicas de los cauces estudiados mediante el presente trabajo (Tabla 6).

Cauce	Zona Protegida	Procedencia de la descarga subterránea	Tipo de descarga	Tomas en cauces (capacidad de toma en l/s)			Aport. en rég. Natural (hm ³ /a)			Aport. Año Tipo Medio	
				Abastecimiento	Regadío	Hidroeléctrico	Año Tipo Seco	Año Tipo Medio	Año Tipo Húmedo	% Escorrentía Superficial	% Escorrentía Subterránea
Darro-Beas	PN Sierra Huétor	UH 05.31 /La Peza	Puntual y difusa	5	80	150	10,17	23,45	40,74	55,5%	44,5%
Aguas Blancas			Puntual y difusa	-	142	-	13,71	34,69	55,32	67,2%	32,8%
Genil (antes confluencia Aguas Blancas)	PN Sierra Nevada	UH 05.31 /La Peza UH 05.65 /Padúl	Puntual y difusa	-	-	-	30,32	80,08	128,90	84,7%	15,3%
Monachil		UH 05.65 /Padúl	Puntual y difusa	79	167	SD	8,05	20,89	33,99	70,4%	29,6%
Dílar			Puntual y difusa	-	221	SD	5,87	18,09	34,84	69,7%	30,3%
SUMAS							68,13	177,20	293,80	74,2%	25,8%

Tabla 6. *Cauces sobre los que se ha realizado el estudio para fijar el régimen de caudales ecológicos.*

- **Conjunto Darro-Beas**, que aglutina los cauces del Darro, Beas y A° Carchite, estos dos últimos afluentes del primero, que reciben la descarga subterránea del sector noroccidental de la unidad hidrogeológica 05.31/La Peza (manto alpujárride de Alfaguara) (Figura 36). Esta descarga de aguas subterráneas corresponde a lo que se conoce como manantiales triásicos, los cuales son captados para abastecimiento urbano y regadíos en la Vega de Granada. Las descargas corresponden a manantiales (descargas puntuales) y a descargas difusas a cauces situados sobre los afloramientos acuíferos carbonatados del manto de Alfaguara y a cauces situados en los afloramientos neógenos de la Depresión de Granada, que recogen la descarga lateral subterránea procedente de los carbonatos del manto de Alfaguara.

Se trata, por tanto, de cauces influenciados por las numerosas captaciones existentes para regadíos (80 l/s), abastecimiento urbano (5 l/s) y derivaciones para usos hidroeléctricos (150 l/s en la confluencia entre el Darro y el A° Carchite), que en régimen natural presentan una aportación media anual de 23,45 hm³, de la que un 44,5% corresponde a escorrentía subterránea. La aportación mínima para el periodo 1951-2004 se ha evaluado en 2,01 hm³/a (año 1994-95).

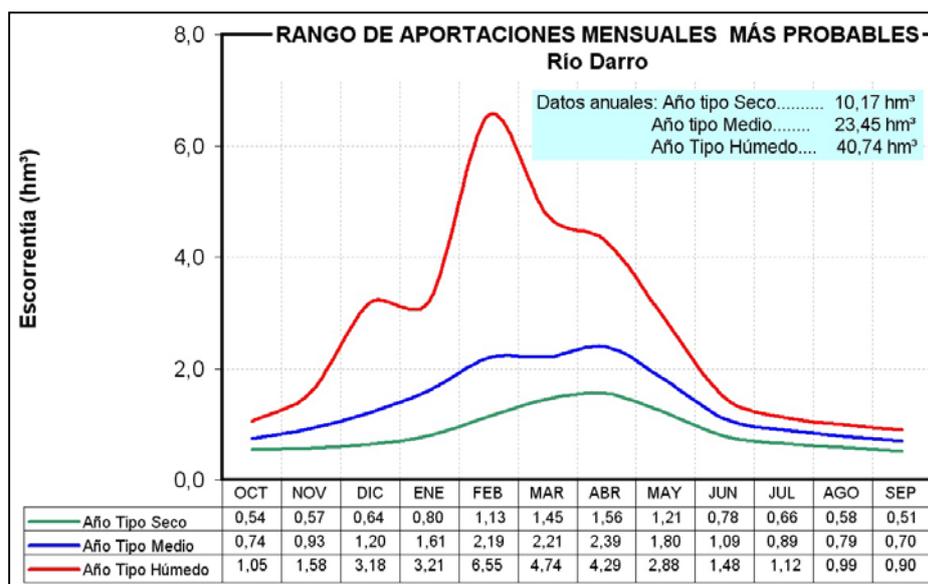


Figura 31. Régimen natural conjunto Darro-Beas.

- Río Aguas-Blancas**, recibe la descarga subterránea procedente de los materiales carbonatados del manto alpujárride de Alfaguara (sector Aguas Blancas de la unidad hidrogeológica 05.31/La Peza) hacia el río Aguas Blancas y sus tributarios, la cual queda regulada por el embalse de Quéntar, aunque estas descargas son parcialmente captadas aguas arriba de este embalse para usos agrícolas. Las descargas corresponden a manantiales (descargas puntuales) y a descargas difusas a cauces situados sobre los afloramientos carbonatados del manto de Zujeiro.

Se trata de un cauce influenciado por las numerosas captaciones existentes para regadíos (142 l/s), que en régimen natural presentan una aportación media anual de 34,69 hm³, de la que un 32,8% corresponde a escorrentía subterránea. La aportación mínima para el periodo 1951–2004 se ha evaluado en 1,68 hm³ (año 1994–95).

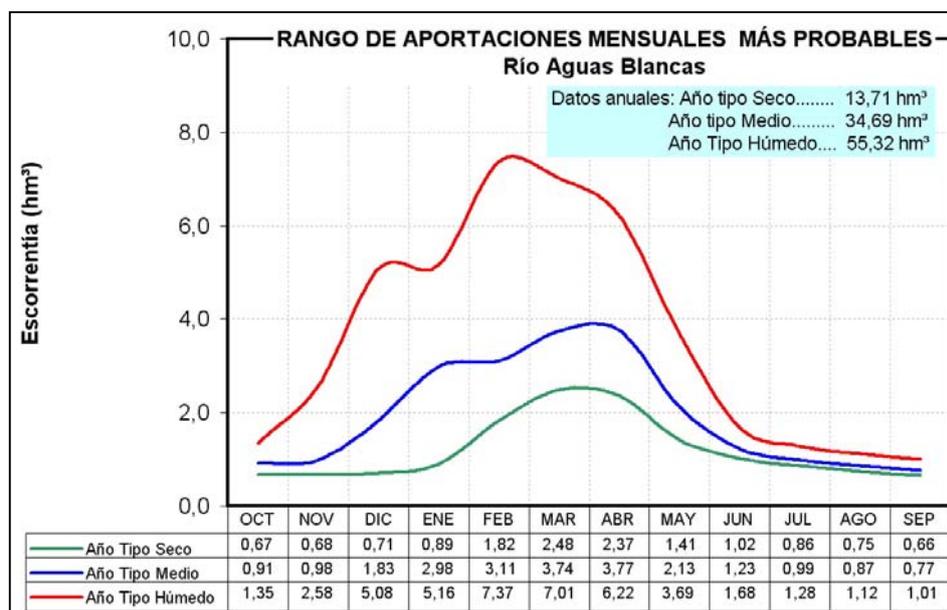


Figura 32. Régimen natural río Aguas Blancas.

- Río Genil**, recibe la descarga subterránea procedente del sector meridional de los materiales carbonatados del manto alpujárride de Zujeiro (sector de Güejar-Sierra de la unidad hidrogeológica 05.32/La Peza) y del sector septentrional de los materiales carbonatados del manto del Víboras (porción septentrional del

sector Víboras–Monachil de la unidad hidrogeológicas 05.65/Sierra de Padúl), la cual queda regulada por el embalse de Canales, aunque estas descargas son parcialmente captadas aguas arriba de este embalse para usos agrícolas. Las descargas corresponden a manantiales (descargas puntuales) y a descargas difusas a cauces situados sobre los afloramientos acuíferos carbonatados de los mantos de Zujeiro y Víboras. Se trata, por tanto, de un cauce influenciado por las numerosas captaciones existentes, que en régimen natural presentan una aportación media anual de 80,08 hm³, de la que un 15,3% corresponde a escorrentía subterránea. La aportación mínima para el periodo 1951–2004 se ha evaluado en 7,35 hm³/a (año hidrológico 1994–95).

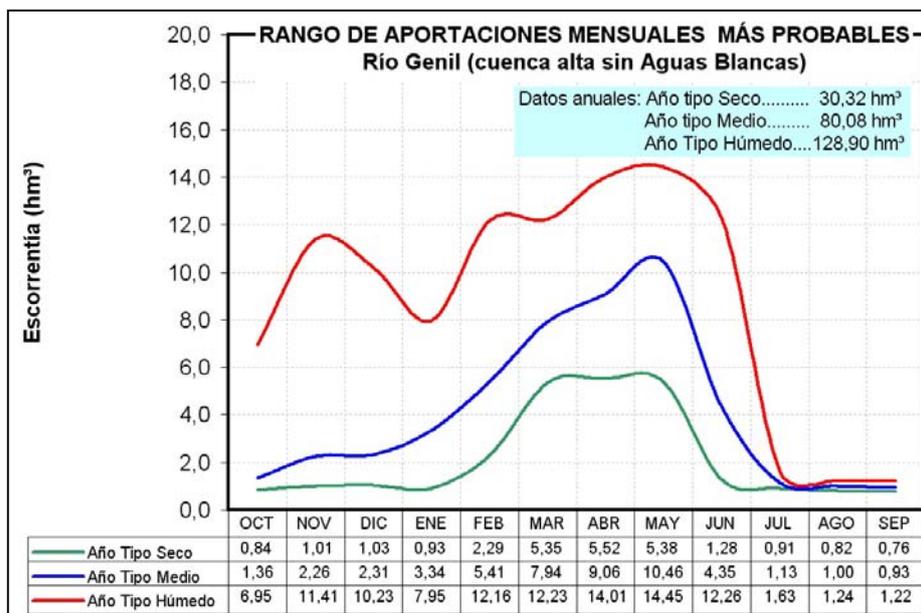


Figura 33. Régimen natural río Aguas Genil (antes de la confluencia con el Monachil y sin considerar la aportación del Aguas Blancas).

- **Río Monachil**, recibe la descarga subterránea procedente de la porción meridional del sector Víboras–Monachil de la unidad hidrogeológica 05.65/Padúl, aunque estas descargas son parcialmente captadas para usos agrícolas y abastecimientos urbanos. Las descargas corresponden a manantiales (descargas puntuales) y a descargas difusas a cauces situados sobre los afloramientos acuíferos

carbonatados del manto alpujárride Víboras (calizas masivas y tableadas con calcoesquistos y calizas margosas).

Se trata, por tanto, de un cauce influenciado por las numerosas captaciones existentes para regadíos (167 l/s) y usos urbanos (79 l/s), además de derivaciones para usos hidroeléctricos (centrales eléctricas de Díchar, La Vega y Monachil), que en régimen natural presentan una aportación media anual de 20,89 hm³, de la que un 29,6% corresponde a escorrentía subterránea. La aportación mínima para el periodo 1951–2004 se ha evaluado en 1,403 hm³/a (año hidrológico 1994–95).

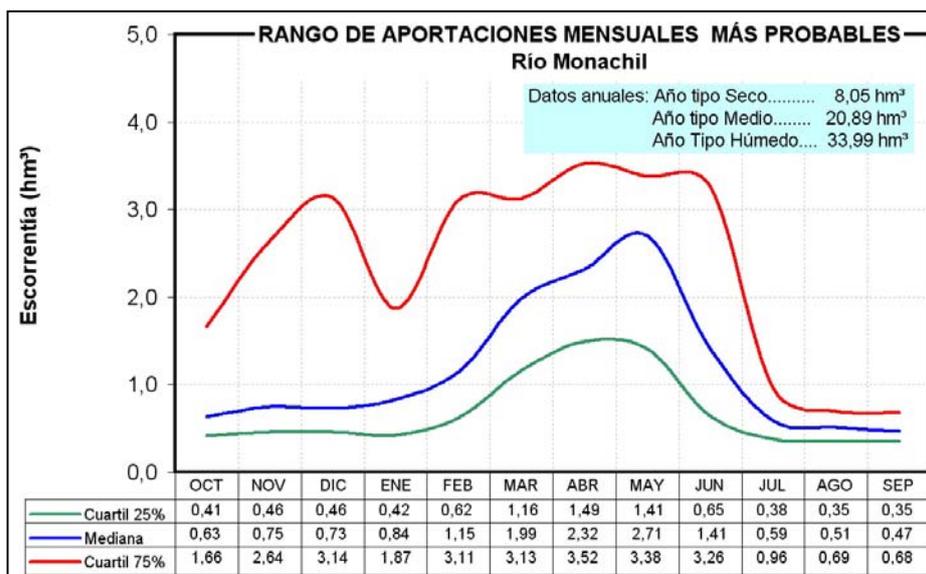


Figura 34. Régimen natural del río Monachil.

- **Río Dílar**, recibe la descarga subterránea procedente de la porción septentrional del sector Padúl de la unidad hidrogeológica 05.65/Padúl. Las descargas corresponden a manantiales (descargas puntuales) y a descargas difusas a cauces situados sobre los afloramientos carbonatados de los mantos Víboras–Travenque. Aguas abajo de los afloramientos carbonatados, el río Dílar se encaja en los sedimentos de la Depresión de Granada donde se comporta como

perdedor (el IGME ha valorado el caudal recargado hacia el acuífero en 46 l/s en el tramo previo a las derivaciones de las acequias de Gójar y Otura–IGME, 2004–). Se trata de un cauce influenciado por las numerosas captaciones existentes para regadíos (221 l/s) y la derivación para la central hidroeléctrica de Dílar, que en régimen natural presentan una aportación media anual de 18,09 hm³, de la que un 30,3% corresponde a escorrentía subterránea. La aportación mínima para el periodo 1951–2004 se ha evaluado en 1,298 hm³/a (año hidrológico 1994–95).

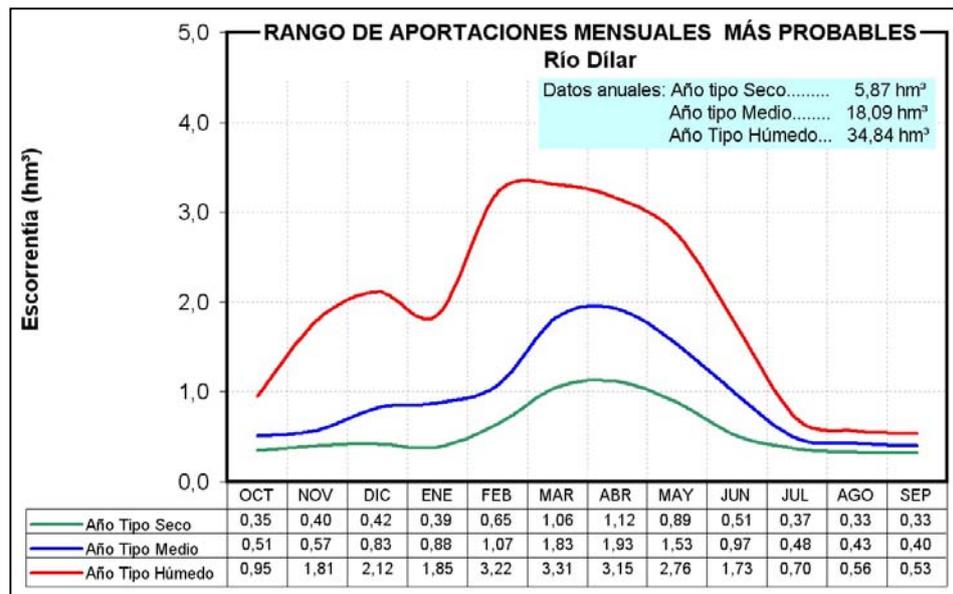


Figura 35. Régimen natural del río Dílar.

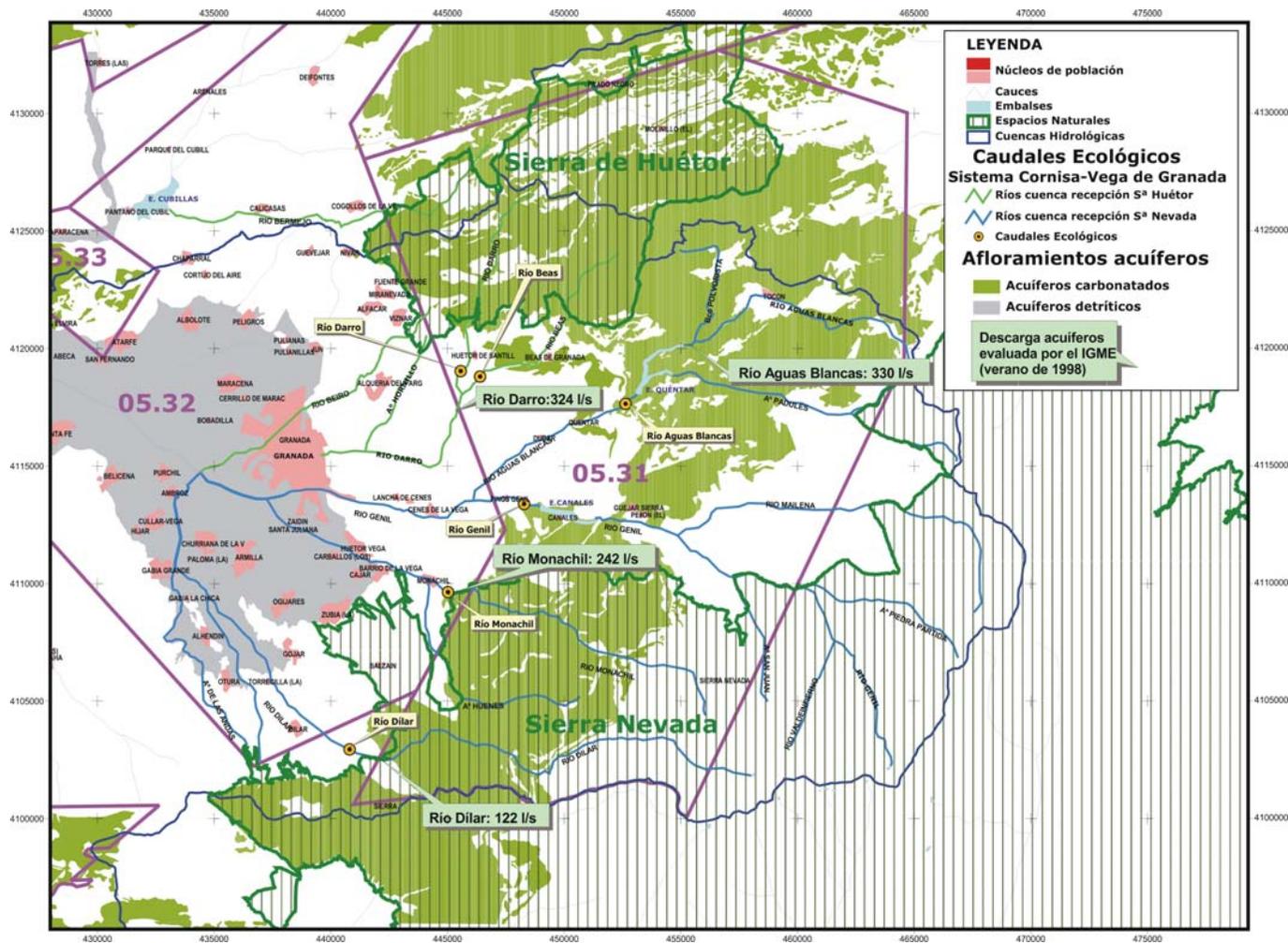


Figura 36. Relación entre ecosistemas acuáticos de especial relevancia medioambiental y las aguas subterráneas (Parques Naturales de Sierra de Huétor y Sierra Nevada)

Con objeto de cuantificar la demanda del sistema en concepto de caudales ecológicos, se ha empleado una metodología que permite determinar los caudales que deben circular por los cursos fluviales que garantizan la conservación de los procesos que se producen en los sistemas fluviales en condiciones no influenciadas (Anejo 5).

Previamente, se considera importante distinguir entre **caudales ecológicos**, considerados aquellos que se asemejan a los caudales circulantes en condiciones naturales y que reproducen las variables naturales que definen el sistema fluvial, tanto en magnitud como en frecuencia y fecha de ocurrencia; y los **caudales ecológicos mínimos o caudales críticos**, entendiéndose como tales aquellos que mantengan las poblaciones naturales del río y sus valores ecológicos, y que cualquier disminución de su cuantía implique una pérdida drástica de las condiciones de habitabilidad del río.

La metodología empleada en el marco del presente estudio está fundamentada en las características que adquiere el hábitat con la geomorfología del cauce y los condicionantes que las variables del hábitat imponen a los seres vivos que constituyen las comunidades naturales de los ríos estudiados.

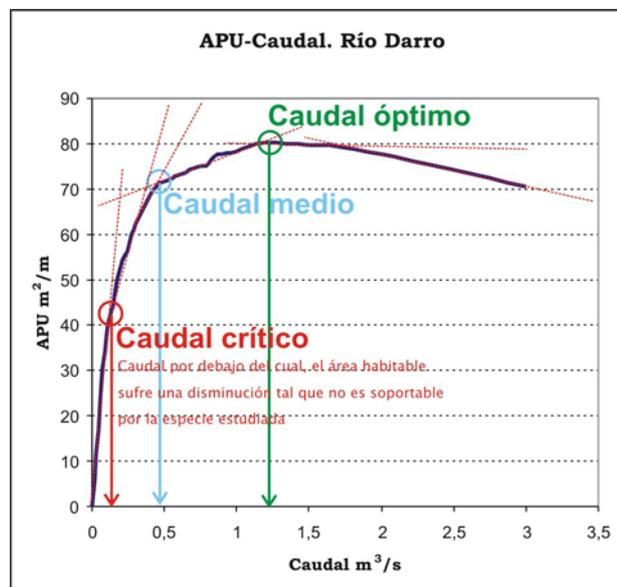


Figura 37. Curvas APU-Caudal

En concreto, se ha utilizado una doble metodología, que se explica brevemente a continuación.

- El **método IFIM** (“Instream Flow Incremental Methodology”) desarrollada por el Departamento de Pesca y Vida Silvestre de EEUU –USFWS–; Bovee, K. D., 1982), que analiza las variaciones del hábitat con el caudal y las preferencias de la fauna por ese hábitat (Anejo 5). En dicho método se obtiene, a partir de la morfología del cauce y de las curvas de preferencia de las especies, el área habitable (APU) para las especies consideradas en función del caudal circulante. En este caso la especie seleccionada ha sido la trucha. De la representación gráfica del área habitable (APU) frente al caudal circulante, se obtiene el caudal crítico, por debajo del cual el área habitable sufre una disminución tal que no es soportable por la especie estudiada, para los diferentes estadios de crecimiento de la trucha. El punto máximo de dicha curva correspondería al caudal óptimo para el desarrollo del individuo y el caudal intermedio entre ambos correspondería al caudal medio.

El régimen de caudales ecológicos (Q_{c_n} , $n = 1$ a 12) se ha diseñado a partir del caudal ecológico crítico ($Q_{crítico}$), obtenido con el método IFIM, aplicándole mensualmente un índice de variación mensual (I_n). Para calcular este índice se parte de la serie de caudales medios mensuales correspondientes al régimen natural (\bar{Q}_n , $n = 1$ a 12).

Se define este índice de variación mensual como la raíz cuadrada del cociente entre el caudal medio mensual (\bar{Q}_n) y el caudal medio mensual del mes con un caudal mínimo ($\bar{Q}_{n(\min)}$). Esto permite obtener doce valores de caudal al multiplicar los doce índices por el caudal ecológico crítico.

$$I_n = \sqrt{\frac{\bar{Q}_n}{\bar{Q}_{n(\min)}}} \Rightarrow Q_{c_n} = I_n \cdot Q_{crítico}$$

- El **método hidrológico** (Baeza y García de Jalón, 1999 y Baeza y Marchamalo, 2000) fundamentado en el análisis de los caudales históricos registrados en las estaciones de aforos, obteniendo los índices mensuales de variación del régimen natural de caudales, a partir de los cuales se han reconstruido los caudales ecológicos mensuales de los ríos analizados.

Para el conjunto Darro-Beas se han elaborado unas curvas de preferencia para macroinvertebrados basadas en los trabajos de Jowett et al (1991), Quinn and Hickey (1994), Jowett (2003) y Brooks et al (2005), además de las obtenidas para ríos españoles (Brotons Floria, P.A., 1986). La finalidad en este caso es obtener un hábitat que potencie la máxima diversidad y abundancia de los individuos de este grupo biológico.

En las Tablas 7 y 8 se incluyen los resultados obtenidos respecto al régimen de caudales ecológicos para los diferentes cauces considerados. Para el río Genil no se han efectuado cálculos concretos de caudal ecológico, por tratarse de un cauce muy influenciado. No obstante, a partir de los caudales ecológicos obtenidos en el resto de cauces se ha fijado el régimen de caudales ecológicos en el Genil, considerando que se presenta unas condiciones medioambientales similares.

Asimismo, se presentan una serie de gráficos (Figuras 38 a 41) donde se compara los caudales ecológicos críticos fijados con la distribución de probabilidad de las escurrentías correspondientes al régimen natural de los ríos analizados. En ellos puede observarse como la probabilidad de que el cauce mantenga caudales, en régimen natural, superiores al caudal ecológico crítico es superior al 80%, en los cauces analizados. Mientras que, la probabilidad de que el cauce mantenga caudales, en régimen natural, superiores al caudal ecológico óptimo es inferior al 5%.

Meses	REGÍMENES DE CAUDALES ECOLÓGICOS					
	CAUDAL ECOLÓGICO CRÍTICO (m ³ /s)					
	Río Darro y Beas	Río Aguas Blancas	Río Monachil	Río Dílar	Río Genil	SUMA
Octubre	0,24	0,25	0,32	0,26	1,20	2,29
Noviembre	0,24	0,29	0,30	0,18	1,14	2,15
Diciembre	0,21	0,28	0,22	0,19	0,62	1,53
Enero	0,24	0,28	0,21	0,19	0,76	1,68
Febrero	0,32	0,33	0,30	0,22	1,08	2,24
Marzo	0,34	0,39	0,38	0,30	1,89	3,31
Abril	0,41	0,46	0,47	0,38	1,77	3,49
Mayo	0,33	0,34	0,43	0,31	1,69	3,09
Junio	0,24	0,21	0,28	0,19	0,93	1,86
Julio	0,20	0,19	0,18	0,16	0,47	1,20
Agosto	0,19	0,18	0,17	0,15	0,44	1,13
Septiembre	0,19	0,18	0,17	0,15	0,45	1,14
ANUAL	3,16	3,39	3,43	2,69	12,44	25,11
PROMEDIO	0,26	0,28	0,29	0,22	1,04	2,09

Tabla 7. Régimen de caudales ecológicos fijados para los cauces relacionados con los espacios naturales de Sierra de Huétor y Sierra Nevada. Datos en m³/s.

Meses	REGÍMENES DE CAUDALES ECOLÓGICOS					
	CAUDAL ECOLÓGICO CRÍTICO (hm ³ /mes)					
	Río Darro y Beas	Río Aguas Blancas	Río Monachil	Río Dílar	Río Genil	SUMA
Octubre	0,63	0,65	0,84	0,68	3,12	5,93
Noviembre	0,63	0,74	0,78	0,47	2,94	5,57
Diciembre	0,55	0,74	0,56	0,50	1,62	3,97
Enero	0,61	0,72	0,55	0,49	1,98	4,35
Febrero	0,82	0,86	0,79	0,56	2,79	5,82
Marzo	0,89	1,01	1,00	0,77	4,90	8,57
Abril	1,06	1,20	1,21	0,99	4,59	9,04
Mayo	0,85	0,87	1,12	0,80	4,38	8,02
Junio	0,63	0,56	0,72	0,50	2,41	4,82
Julio	0,53	0,50	0,46	0,41	1,22	3,11
Agosto	0,49	0,47	0,44	0,39	1,14	2,93
Septiembre	0,50	0,47	0,44	0,39	1,16	2,96
ANUAL	8,19	8,79	8,90	6,97	32,25	65,09
PROMEDIO	0,68	0,73	0,74	0,58	2,69	5,42

Tabla 8. Régimen de caudales ecológicos fijados para los cauces relacionados con los espacios naturales de Sierra de Huétor y Sierra Nevada. Datos en hm³/mes.

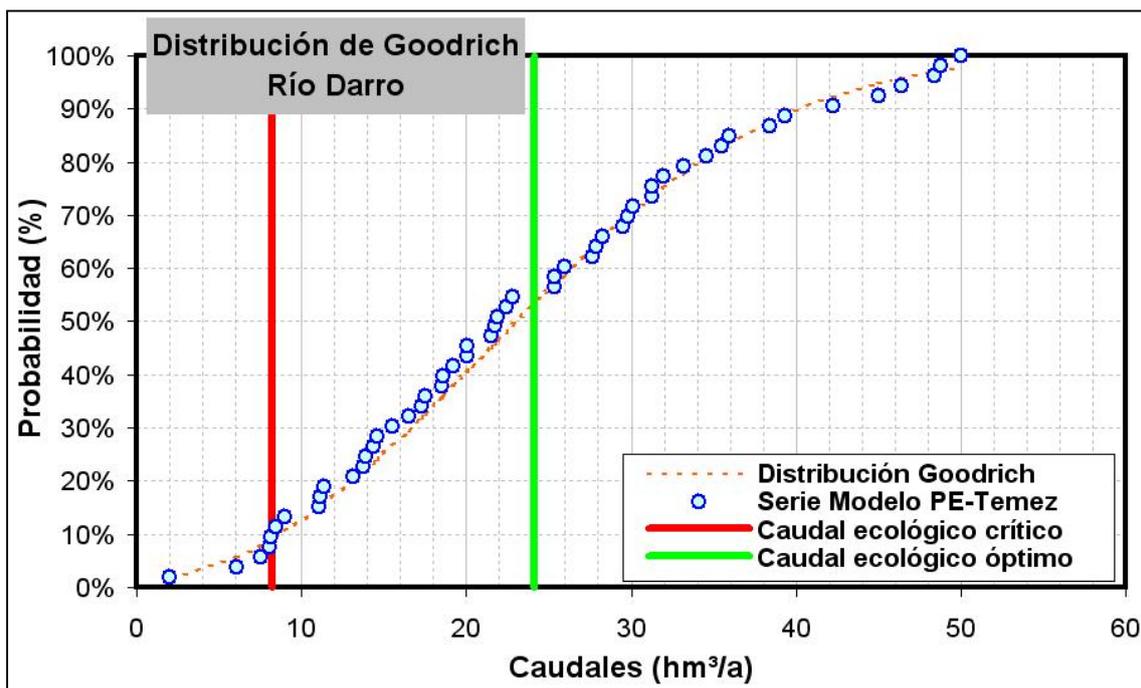


Figura 38. Análisis de caudales ecológicos en el río Darro

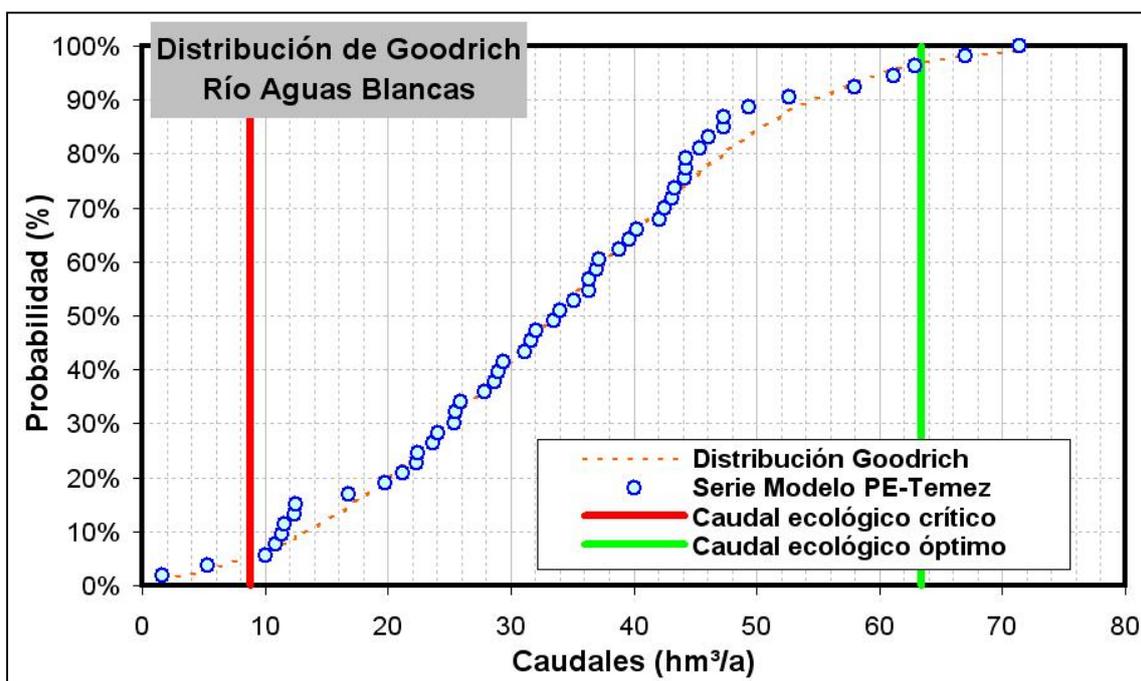


Figura 39. Análisis de caudales en el río Aguas Blancas

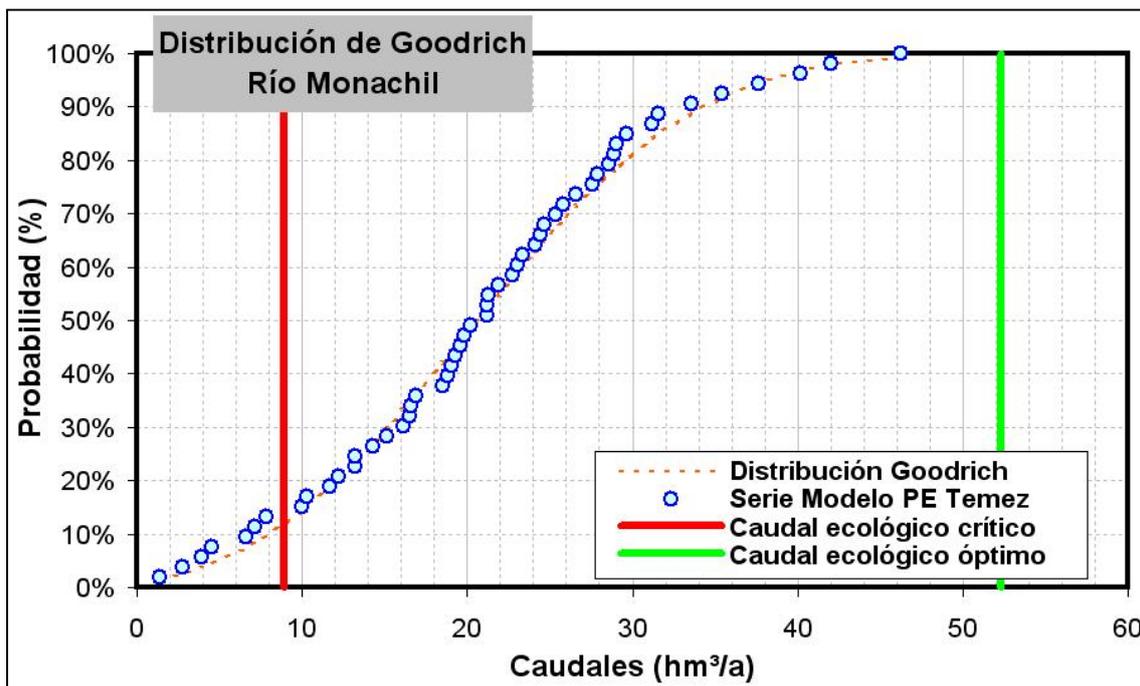


Figura 40. Análisis de caudales en el río Monachil

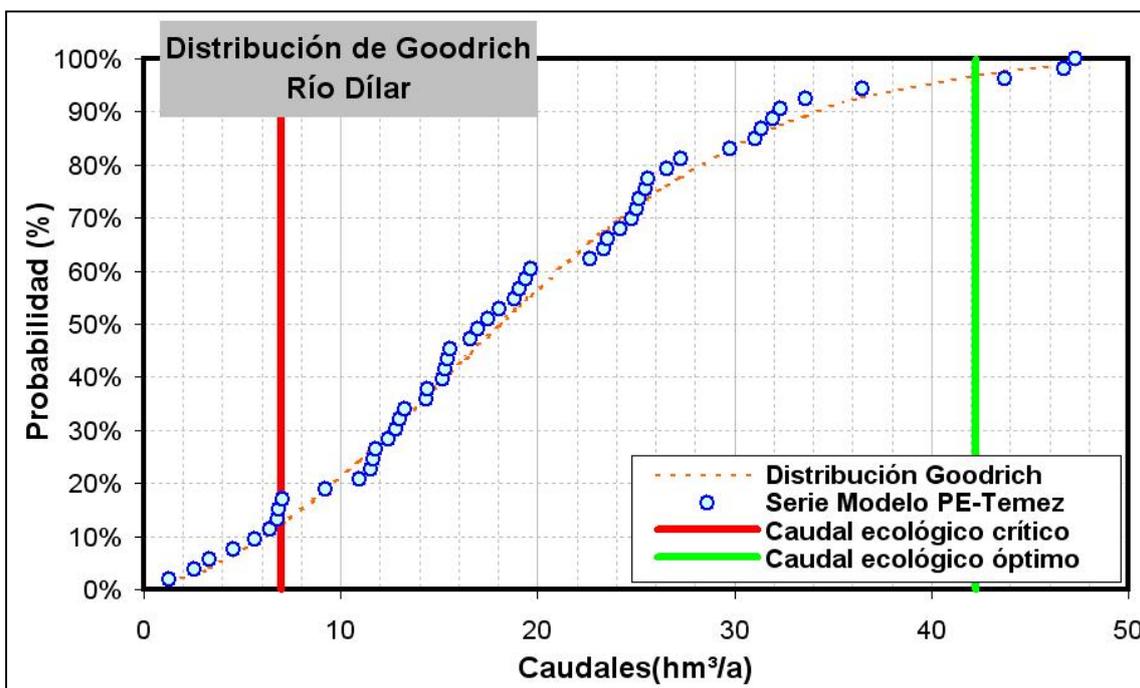


Figura 41. Análisis de caudales en el río Dílar

Si los caudales ecológicos se consideran como una demanda, el modelo de simulación adoptado (SIMGES) sólo permite adoptar una única serie de datos mensuales para las demandas, por lo que se adopta como régimen de caudales ecológicos el obtenido a partir del caudal crítico fijado a través del método IFIM y el índice de variación mensual, el cual se fija para todo el periodo de simulación.

A este respecto conviene indicar que si toma como régimen de caudales ecológicos en el modelo de simulación los resultados derivados de aplicar el caudal ecológico medio o el óptimo, se obtendrían resultados sesgados respecto a las garantías de las demandas consuntivas del sistema (abastecimiento y agrícola), sobre todo en años secos, ya que en estos supuestos las exigencias medioambientales superarían ampliamente las condiciones naturales de flujo de caudal en los cauces.

Parece, por tanto, más lógico fijar como régimen de caudales ecológicos los correspondientes al caudal ecológico crítico, de manera que en las simulaciones de gestión que se formulen, la restricción que supone la prioridad de satisfacer la demanda ecológica, no condicione excesivamente los resultados del modelo. Al mismo tiempo que se obliga al sistema a atender una demanda ecológica mínima que asegure un buen estado medioambiental de los cauces.

Con este procedimiento se pretende asegurar un régimen de caudales ecológicos mínimo o crítico que garantice la integridad ecológica de los ecosistemas naturales, incluso en los años más secos, analizando como esta restricción en el uso de los recursos hídricos influye en las garantías que ofrece el sistema de explotación para la satisfacción de las demandas consuntivas.

MESES	CAUDAL ECOLÓG. CRÍTICO (hm³)						ESCORRENTÍA RÉG. NATURAL (AÑO TIPO MEDIO) (hm³)						Ratio entre el Caudal Ecológ. Crítico y el Rég.Nat. año Tipo MEDIO
	Río Darro y Beas	Río Aguas Blancas	Río Monachil	Río Dílar	Río Genil	SUMA	Río Darro y Beas	Río Aguas Blancas	Río Monachil	Río Dílar	Río Genil	SUMA	
Octubre	0,633	0,652	0,841	0,685	3,123	5,93	0,99	1,37	1,37	0,95	4,70	9,37	63,3%
Noviembre	0,632	0,744	0,775	0,469	2,945	5,57	1,36	1,84	1,66	1,49	6,80	13,15	42,3%
Diciembre	0,548	0,739	0,561	0,504	1,618	3,97	2,45	4,26	2,21	1,84	9,00	19,75	20,1%
Enero	0,609	0,724	0,546	0,488	1,980	4,35	2,61	4,76	1,41	1,71	5,36	15,85	27,4%
Febrero	0,818	0,860	0,790	0,561	2,789	5,82	3,58	5,26	1,82	2,26	7,74	20,66	28,2%
Marzo	0,889	1,009	0,998	0,773	4,905	8,57	3,28	5,00	2,52	2,58	10,81	24,20	35,4%
Abril	1,059	1,197	1,207	0,987	4,586	9,04	3,25	4,74	3,06	2,41	12,63	26,09	34,6%
Mayo	0,848	0,871	1,117	0,804	4,380	8,02	2,37	3,25	2,97	2,12	11,59	22,30	36,0%
Junio	0,633	0,557	0,722	0,499	2,407	4,82	1,12	1,44	1,92	1,27	7,00	12,74	37,8%
Julio	0,527	0,499	0,459	0,414	1,215	3,11	0,91	1,05	0,91	0,58	2,36	5,81	53,6%
Agosto	0,492	0,467	0,441	0,392	1,140	2,93	0,81	0,92	0,53	0,46	1,03	3,74	78,4%
Septiembre	0,501	0,468	0,443	0,389	1,163	2,96	0,72	0,82	0,51	0,43	1,06	3,54	83,8%
ANUAL	8,190	8,786	8,899	6,966	32,252	65,09	23,45	34,69	20,89	18,09	80,08	177,20	
PROMEDIO	0,682	0,732	0,742	0,580	2,688	5,424	1,95	2,89	1,74	1,51	6,67	14,77	36,7%

Tabla 9. Comparativa de los caudales ecológicos críticos fijados y los caudales correspondientes a la escorrentía superficial obtenidos en la restitución al régimen natural en años tipo MEDIO.

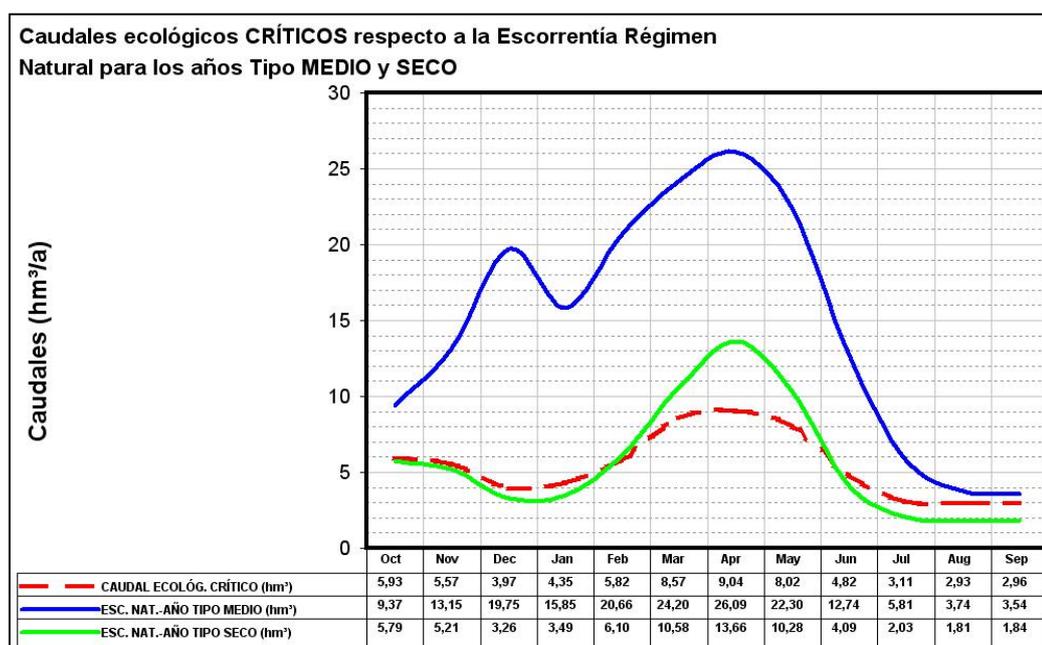


Figura 42. Comparativa del régimen de caudales ecológico y la escorrentía para los años Tipo Medio y Seco

Según los datos definidos para el régimen de caudales ecológicos de los ríos del conjunto Sierra Huétor–Sierra Nevada (Tabla 9 y Figura 42), estos caudales constituyen el 36,7% del caudal circulante para el año tipo Medio y el 95,5% del caudal correspondiente al año tipo Seco. Observando la Figura 42, el régimen de caudales ecológicos en el Alto Genil corresponde, prácticamente al régimen natural para años tipo seco.

Escorrentía Total según Años Tipo			
	SECO	MEDIO	HÚMEDO
Mínimo	13,74	122,78	239,70
Cuartil 25%	48,91	148,19	255,15
Promedio	65,57	177,20	287,83
Mediana	68,22	178,36	282,29
Cuartil 75%	88,35	191,36	313,73
Desv.Estándar	28,43	31,46	39,15
C _v	2,31	5,57	7,35
Máximo	103,82	232,04	350,81

Tabla 10. *Escorrentía total para el conjunto de cauces relacionados con las zonas protegidas del Alto Genil (ríos Darro, Aguas Blancas, Genil, Monachil y Dílar)*

Estas cifras implicarían que para el mantenimiento de los regímenes de caudales ecológicos calculados en los cauces relacionados con el Alto Genil en los periodos secos (escorrentía más probable entre 48,91 y 88,35 hm³/a, Tabla 10), se debería respetar que por dichos cauces circulase el agua como si de un régimen natural se tratase.

5.5 DEMANDA TOTAL DEL SISTEMA CORNISA–VEGA DE GRANADA

Las consultas realizadas a organismos y entidades gestoras del recurso hídrico, junto con los cálculos efectuados para la elaboración del presente documento han permitido establecer la demanda que registra el Sistema Cornisa–Vega de Granada, segregada según usos.

TIPO de DEMANDA	ENTIDAD o SECTOR DEMANDANTE	DEMANDAS CONSUNTIVAS (hm ³ /año)		DEMANDAS NO CONSUNTIVAS (hm ³ /año)
		Actuales	Incremento previsto (a)	
URBANA	Consortio La Vega-Sierra Elvira	15,3	51,0	
	Consortio Sierra Nevada-Vega Sur	38,9	68,3	
	Municipios de la zona septentrional	3,4	-	
	Mancomunidad del Temple	0,7	-	
RIEGOS	Comarcas de la Cornisa de Granada	64,0		
	Regadíos de la Vega de Granada	292,2		
CAUDAL ECOLÓGICO (b)	Cauces P.N. Sierra Huétor			8,2
	Cauces P.N. Sierra Nevada			56,9
SISTEMA CORNISA-VEGA DE GRANADA		414,6	119,3	65,1

(a) Considerando los planes de desarrollo urbano municipales (Fuente: *Junta de Andalucía, 2003*).

Tabla 11. Demandas consolidadas en el Sistema Cornisa-Vega de Granada

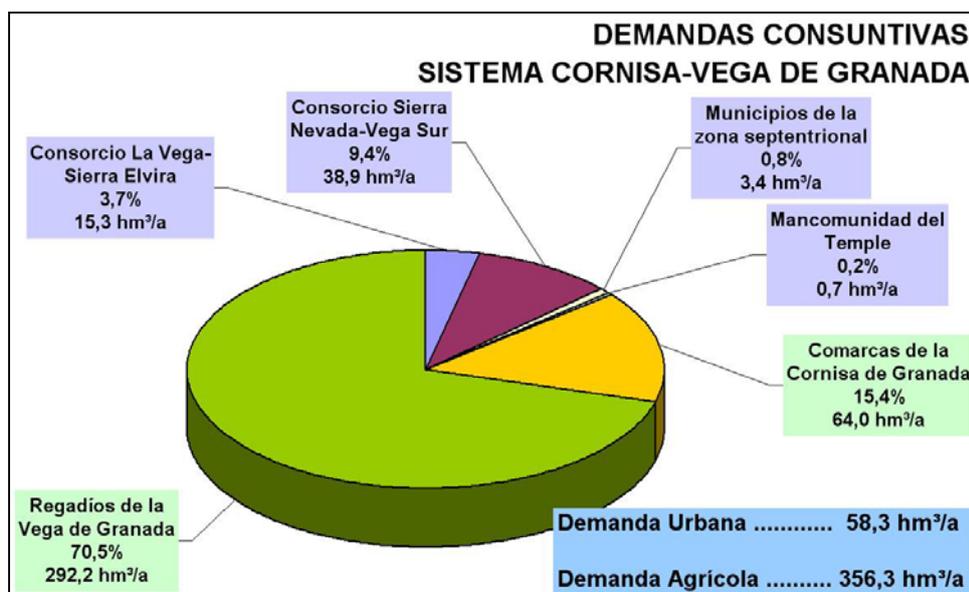


Figura 43. Distribución de las demandas consuntivas que registra el Sistema Cornisa-Vega de Granada según usos

La demanda total del Sistema Cornisa-Vega de Granada (SCVG) asciende a un promedio anual de 479,7 hm³, de la que un 82,4% es demanda consuntiva (414,60 hm³/a) y el 13,6% restante corresponden a caudales ecológicos (65,1 hm³/a). Las demandas consuntivas máximas se han fijado en 475,8 hm³/a.

Considerando sólo los usos consuntivos, el sistema Cornisa-Vega de Granada presenta una demanda anual de 414,6 hm³/a, de la que un 86% corresponde a demandas agrícolas (356,3 hm³/a) y tan sólo un 14% a demandas urbanas (58,3 hm³/a), donde se incluye la demanda industrial, incluida en las redes de abastecimiento urbano (Figura 43).

La demanda agrícola de mayor cuantía (292,2 hm³/a) corresponde a los riegos de la Vega de Granada y representa el 70,5% de la demanda total del sistema, mientras que los regadíos de las comarcas situadas en la Cornisa de Granada (comarcas de Alhama, Iznalloz y Montefrío) aglutinan el 15,4 % de la demanda consuntiva del sistema.

Los grandes centros de demanda urbana se ubican en la Vega de Granada, distribuidos según dos grandes sistemas de abastecimiento: el Consorcio La Vega-Sierra Elvira (gestionado por la empresa Aguasvira) que absorbe el 3,7% de la demanda total; y el Consorcio Sierra Nevada-Vega Sur (gestionado por la empresa Emasagra y que incluye la zona metropolitana de Granada) que aglutina el 9,4% de la demanda consuntiva del sistema.

6. DETERMINACIÓN DE LAS APORTACIONES EN RÉGIMEN NATURAL

Para la construcción del modelos de simulación de uso conjunto es fundamental disponer de las aportaciones que registra el sistema en régimen natural, por cuanto, los modelos de simulación de la gestión conjunta en lo referente a la simulación de la relación río–acuífero actúan por superposición.

Esto es, parten de considerar que la relación hidráulica entre el río y el acuífero puede ser simulada mediante un modelo matemático basado en ecuaciones lineales y por tanto, las acciones que se ejerzan sobre el régimen hidrológico del río o el acuífero, pueden ser representadas matemáticamente como una combinación lineal de efectos (superposición matemática).

Así, por ejemplo, un río y un acuífero que están hidráulicamente conectados (tramo del río funcionando como perdedor y/o ganador respecto al acuífero) y funcionando en régimen natural, si se actúa sobre el acuífero mediante un bombeo, esta acción se traducirá en una merma de los caudales circulantes por el río (disminuye la descarga del acuífero al río en los tramos que éste funciona como ganador), es decir, se producirá una detracción de caudales al río. Este proceso hidráulico se simula mediante una ecuación lineal, de forma que el efecto de la acción elemental que constituye el bombeo se superpone al régimen natural. Igualmente, si en los tramos donde el río funciona como perdedor se produce una toma directa, esta acción se traducirá en un disminución de la recarga diferida que recibe el acuífero, acción elemental que también se simula mediante una ecuación lineal y que se superpone al régimen natural. Ambos efectos pueden combinarse o superponerse en el tiempo si, como se ha comentado, se representan matemáticamente mediante ecuaciones lineales.

A continuación se presenta el desarrollo metodológico seguido en el presente estudio para el cálculo de las aportaciones en régimen natural, para una serie suficientemente representativa (53 años periodo 1951–2004), que se fundamenta en la ejecución de las siguientes tareas:

- Análisis de datos hidrometeorológicos (precipitación y temperaturas) para la restitución y completado de series y cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP).
- Análisis estadístico de series de precipitación y evapotranspiración.
- Aplicación de un modelo de parámetros agregados precipitación–aportación para el cálculo de la aportación por subcuencas, segregando la componente superficial de la subterránea.
- Análisis de calibración de las series obtenidas utilizando las series de aforos medidos en cauces. En aquellas estaciones de aforo que registran aportaciones correspondientes a cuencas no influenciadas se toman los datos de aforos tal cual, pero en aquellas que están sujetas a regulación es necesario restituir dichas series de aforos al régimen natural utilizando los datos de regulación y/o captaciones disponibles, tanto de tipo superficial como subterráneo.

6.1 DATOS DE PARTIDA

El modelo matemático que se ha diseñado mediante la presente asistencia técnica para la simulación de la gestión conjunta de los recursos hídricos superficiales, subterráneos y no convencionales (aguas residuales urbanas regeneradas) del Sistema Cornisa Vega de Granada, exige disponer de las aportaciones a dicho sistema hidrológico para el régimen natural, las características de las infraestructuras hidráulicas y los datos de las demandas a satisfacer.

Para obtener las series de aportación en régimen natural ha sido utilizado un modelo precipitación–aportación (modelo P–A) el cual parte de datos morfométricos de las cuencas hidrológicas y datos hidrometeorológicos (precipitación y evapotranspiración) y se calibra mediante datos foronómicos.

Considerando los aspectos anteriormente detallados, los datos de partida que han sido utilizados pueden catalogarse en los siguientes grupos:

- Datos morfométricos.
- Datos meteorológicos.
- Datos foronómicos (aforos en cauces y en redes de control de manantiales).
- Datos de infraestructuras.
- Datos de demandas.

6.2 DATOS MORFOMÉTRICOS

El sistema objeto de análisis ha sido dividido en 3 grandes subcuencas correspondientes a los tres principales cursos fluviales del sistema Cornisa Vega de Granada: río Cacán, río Cubillas y río Genil.

A su vez dichas subcuencas se han dividido en un total de 25 subcuencas de menor orden o subsistemas hidrológicos los cuales se indican en la Tabla 12 y se expresan gráficamente en la Figura 44.

Cuenca	NÚMERO	NOMBRE
Genil	1.0	Bajo Genil (Vega de Granada)
	1.0.0	Genil (Vega de Granada)
	1.1.0	Darro
	1.2.0	Genil (S ^a Nevada)
	1.2.1	Alto Genil (Canales)
	1.2.2	Bajo Aguas Blancas
	1.2.3	Aguas Blancas-Los Padules
	1.2.4	Alto Aguas Blancas (Quéntar)
	1.3.0	Bajo Monachil
	1.3.1	Alto Monachil
	1.4.0	Bajo Dílar
	1.4.1	Alto Dílar
	1.5.0	Arroyo del Salado
	1.6.0	Arroyo del Noniles
Cubillas	2.0.0	Cubillas Bajo
	2.1.0	Arroyo del Charcón
	2.2.0	Bajo Velillas
	2.2.1	Alto Velillas
	2.3.0	Colomera
	2.3.1	Río de Las Juntas
	2.4.0	Embalse Cubillas
	2.4.1	Cubillas-Deifontes
Cacín	3.0.0	Bajo Cacín
	3.1.0	Cacín
	3.2.0	Cacín (Bermejales)

Tabla 12. *Subcuencas delimitadas en el Sistema Cornisa Vega de Granada*

La delimitación de las subcuencas se ha efectuado considerando las cuencas vertientes de las estaciones de aforos de que dispone la CHG, en función de que la calibración del modelo precipitación-escorrentía (modelo P-E) se tiene que realizar a partir de los aforos registrados en dichas secciones de control foronómico.

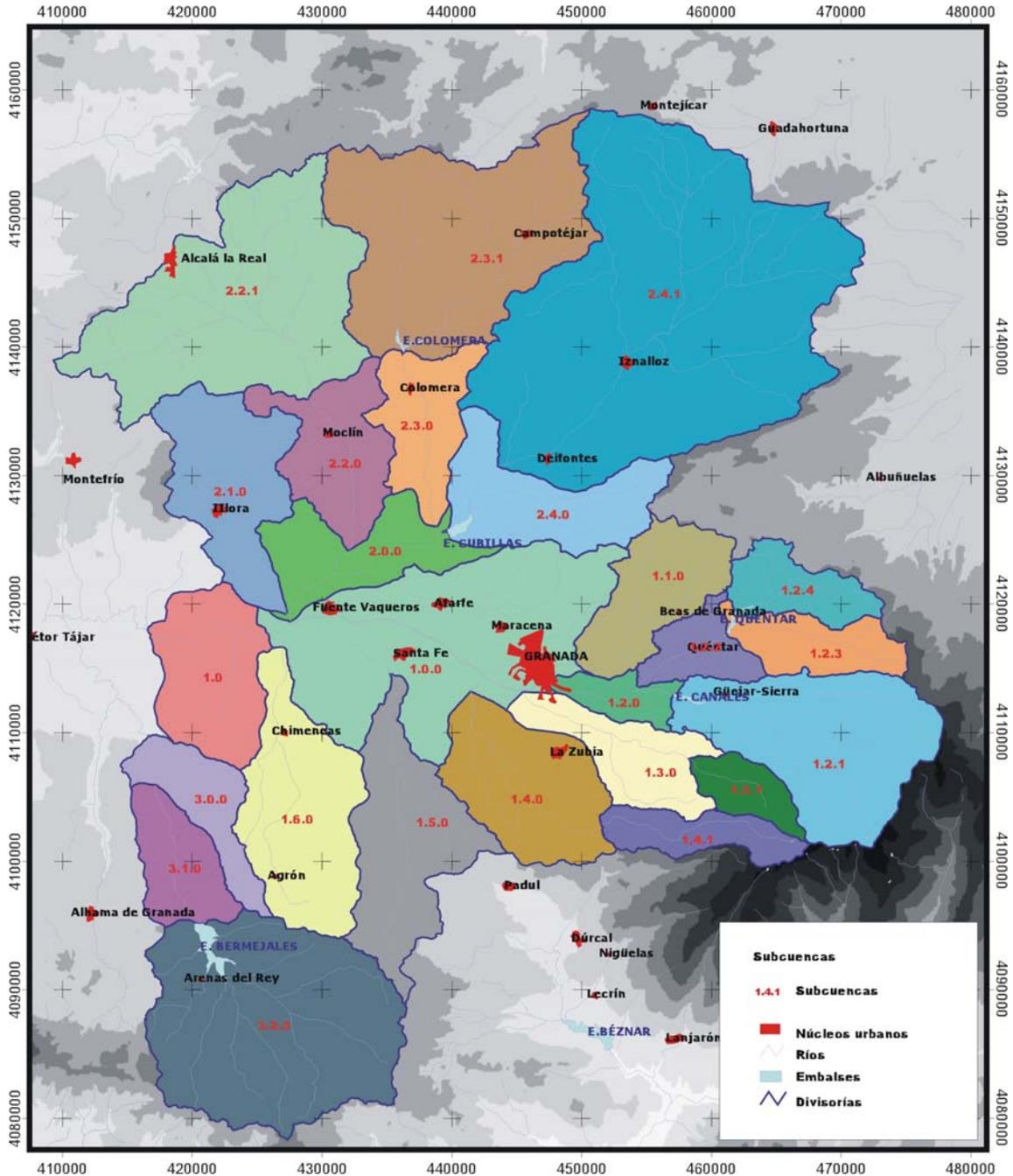


Figura 44. Subcuencas definidas en el Sistema Cornisa Vega de Granada

Para la delimitación de las diferentes subcuencas se ha partido de la topografía 1:10.000 de la Junta de Andalucía y del Modelo Digital de Elevaciones (MDE) del CEDEX (100x100 m).

Utilizando el MDE ha sido posible calcular los parámetros morfométricos característicos de las diferentes subcuencas diferenciadas (Tabla 13), que han sido objeto de análisis en el modelo P-E desarrollado.

CUENCA	NÚMERO	NOMBRE	COTAS TOPOGRÁFICAS			DATOS DEL CANAL PRINCIPAL			Perímetro (m)	Área (ha)
			Máxima (m s.n.m.)	Mínima (m s.n.m.)	Media (m s.n.m.)	Longitud (m)	Diferencia de cota (m)	Pendiente (%)		
Genil	1.0	Bajo Genil (Vega de Granada)	870	500	682	13.546	23	0,16	43.200	9.896
	1.0.0	Genil (Vega de Granada)	1.557	508	1.000	24.710	151	0,61	101.677	26.767
	1.1.0	Darro	1.625	763	1.196	16.861	620	3,60	47.117	8.305
	1.2.0	Genil (Sª Nevada)	1.479	659	1.025	10.375	189	1,82	29.947	2.741
	1.2.1	Alto Genil (Canales)	3.443	850	2.053	20.851	1.809	8,67	63.622	17.659
	1.2.2	Bajo Aguas Blancas	1.842	761	1.222	8.222	285	4,67	33.589	3.810
	1.2.3	Aguas Blancas-Los Padules	2.314	1.008	1.646	13.631	1.147	8,40	40.974	5.301
	1.2.4	Alto Aguas Blancas (Quéntar)	1.925	1.042	1.477	12.406	612	4,90	37.269	4.827
	1.3.0	Bajo Monachil	2.292	643	1.355	19.122	1.185	6,20	50.515	7.192
	1.3.1	Alto Monachil	3.366	1.272	2.146	7.993	1.175	14,69	27.324	3.158
	1.4.0	Bajo Dílar	1.712	626	1.070	16.932	453	2,67	47.011	11.665
	1.4.1	Alto Dílar	3.360	988	2.067	16.928	1.803	10,65	39.980	4.479
	1.5.0	Arroyo del Salado	1.437	589	1.009	25.912	742	2,86	73.964	13.172
	1.6.0	Arroyo del Noniles	1.356	541	948	25.571	648	2,50	61.413	14.182
Cubillas	2.0.0	Cubillas Bajo	1.057	520	754	18.522	94	0,50	63.790	8.264
	2.1.0	Arroyo del Charcón	1.572	520	1.002	26.572	488	1,83	61.172	11.759
	2.2.0	Bajo Velillas	1.279	549	904	13.704	191	1,34	56.843	8.793
	2.2.1	Alto Velillas	1.493	745	1.100	116.298	603	0,51	91.878	26.728
	2.3.0	Colomera	1.331	605	953	16.248	183	1,13	47.505	7.110
	2.3.1	Río de Las Juntas	1.636	772	1.196	22.883	472	2,06	86.763	25.607
	2.4.0	Embalse Cubillas	1.881	625	1.217	18.191	1.108	6,04	59.134	10.228
	2.4.1	Cubillas-Deifontes	1.949	667	1.288	38.838	548	1,41	117.761	54.471
Cacín	3.0.0	Bajo Cacín	1.256	630	913	15.224	404	2,60	44.630	5.595
	3.1.0	Cacín	1.160	661	908	12.686	128	1,00	34.414	5.787
	3.2.0	Cacín (Bermejales)	1.821	795	1.281	16.442	595	3,60	73.301	26.689

Tabla 13. *Parámetros morfométricos de las subcuencas consideradas en el Sistema Cornisa Vega de Granada*

6.3 DATOS METEOROLÓGICOS

Los datos hidrometeorológicos utilizados proceden de las estaciones de control del Instituto Nacional de Meteorología (INM). Concretamente las estaciones más

próximas a la zona de estudio se muestran en las tablas 14 y 15 y gráficamente en la Figura 45.

Estaciones de precipitación					
Número	Denominación	Coordenadas UTM		Altitud (m)	Provincia
		X	Y		
5101	LA PEZA	474707,66	4125485,45	1085	GRANADA
5115	DIEZMA	470661,39	4130429,46	1233	GRANADA
5501	GUEJAR-SIERRA	461103,38	4112748,19	1084	GRANADA
5508	ALFACAR 'LA ALFAGUARA'	454005,32	4122799,79	1480	GRANADA
5511E	GRANADA 'SIERRA NEVADA'	465514,12	4105641,07	2507	GRANADA
5517	DILAR 'CENTRAL ELECTRICA'	451179,4	4102784,14	980	GRANADA
6253	NIGUELAS	452113,16	4093225,49	931	GRANADA
5406	ALCALA LA REAL	418146,11	4146805,41	940	JAEN
5131	TORRE-CARDELA	468524,19	4151085,52	1217	GRANADA
5254	CAMPILLO DE ARENAS	443886,58	4156762,89	874	JAEN
5536	IZNALLOZ	452985,9	4138677,02	805	GRANADA
5544	CAMPOTEJAR	445426,83	4148431,2	936	GRANADA
5553	MOCLIN	430439,26	4133132,6	1065	GRANADA
5579	MONTEFRIO	410974,93	4130943,77	833	GRANADA
5514	GRANADA/BASE AEREA	443943,66	4110225,37	685	GRANADA
5502	PINOS-GENIL	455555,36	4113083,81	774	GRANADA
5513	MONACHIL	451960,6	4109867,69	810	GRANADA
5515	GRANADA 'CARTUJA'	446574,42	4116526,01	720	GRANADA
5529	SANTA FE	436217,19	4116289,97	579	GRANADA
5538	DEIFONTES	447405,87	4131159,61	737	GRANADA
5541	PANTANO CUBILLAS	440478,54	4126120,81	630	GRANADA
5559	VENTAS DE HUELMA	426977,29	4102804,54	851	GRANADA
5563	MORALEDA DE ZAFAYONA LORETO	416238,44	4115694,65	596	GRANADA
5574	PRESA DE CACIN	417374,72	4105820,89	680	GRANADA
5582	LOJA AFOROS	397475,58	4114052,98	480	GRANADA
6250	PADUL AGUADERO	446699,44	4097264,06	740	GRANADA
5572	PANTANO DE BERMEJALES	420481,22	4094850,1	800	GRANADA
5569E	ALBUÑUELAS HUIDA	435225,5	4083321,95	1120	GRANADA
6378	ALHAMA DE GRANADA ALCAICERIA	412992,86	4087835,11	1040	GRANADA

Tabla 14. Estaciones meteorológicas de precipitación.

Estaciones de temperatura					
Número	Denominación	Coordenadas UTM		Altitud (m)	Provincia
		X	Y		
5406E	ALCALA LA REAL 'CHARILLA'	419777,1	4150334,07	920	JAEN
5511E	GRANADA 'SIERRA NEVADA'	465514,12	4105641,07	2507	GRANADA
5530E	GRANADA/AEROPUERTO	431088,59	4116299,6	570	GRANADA
5536I	IZNALLOZ 'EL FRAGE'	448190,06	4138551,3	890	GRANADA
5541	PANTANO CUBILLAS	440478,54	4126120,81	630	GRANADA
5545E	COLOMERA EL LEON	436741,83	4136780,96	860	GRANADA
5562E	ILLORA 'MOLINO REY'	420388,82	4124284,12	778	GRANADA
5562O	PINOS PUENTE FUENSANTA	420056,05	4115195,21	580	GRANADA
5572	PANTANO DE BERMEJALES	420481,22	4094850,1	800	GRANADA
5578U	MONTEFRIO 'HUERTA SAN FRANCIS-	409867,98	4131017,26	810	GRANADA
6249	PADUL	444232,43	4097896,3	753	GRANADA
6258	LANJARON	456526,89	4086113,92	710	GRANADA

Tabla 15. Estaciones meteorológicas de temperatura.

Respecto a los datos de precipitaciones, en la tabla 16 se muestran las series de datos de precipitación disponibles y los valores medio y máximo registrados para la precipitación mensual; mientras que para los datos de temperatura se indican e la

tabla 17 los datos correspondientes a amplitud de la series y datos de temperaturas mensual promedio, mínima y máxima.

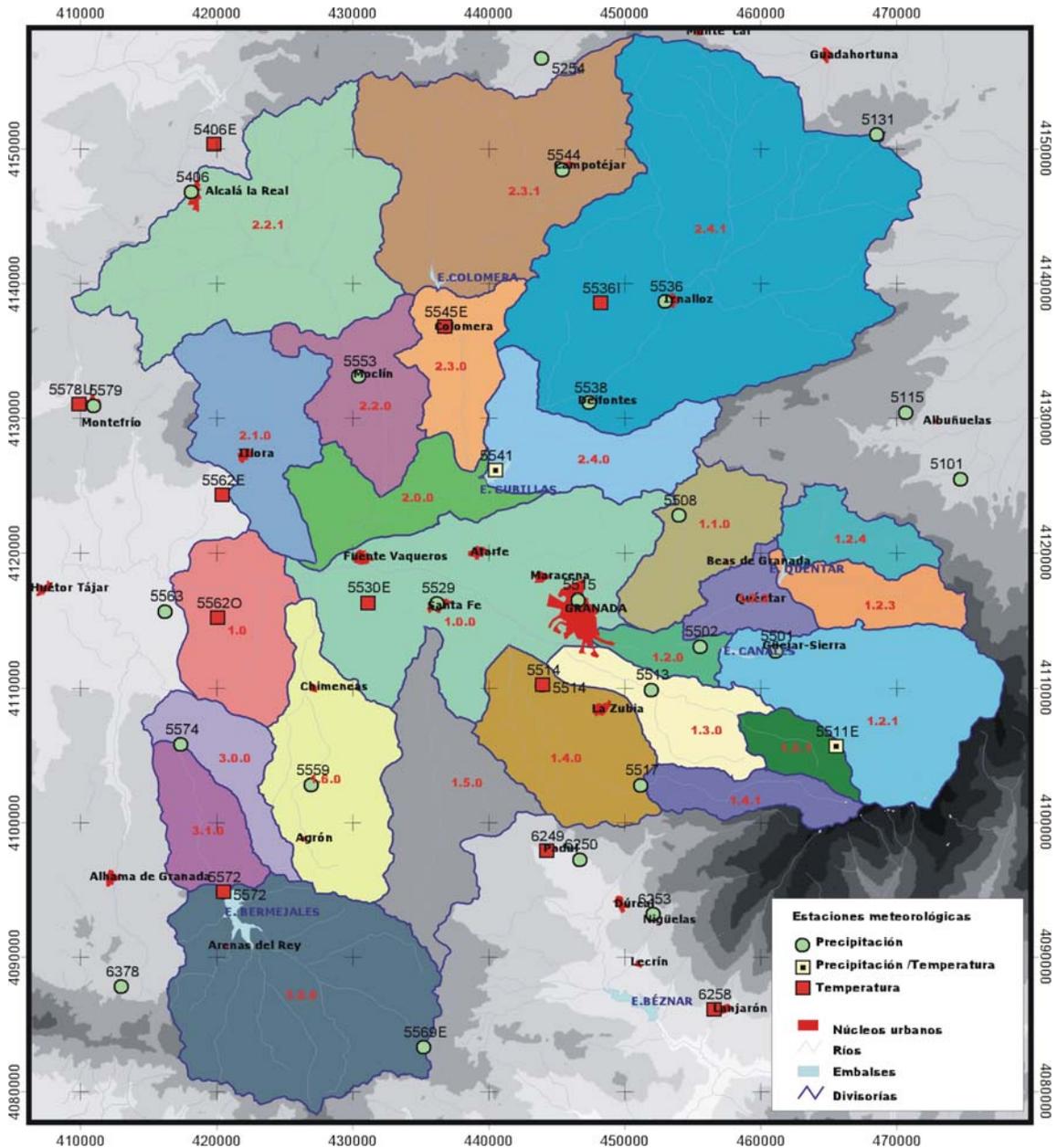


Figura 45. Estaciones meteorológicas (INM) utilizadas en el estudio

El análisis de los datos de precipitación muestra una escasa variabilidad de los datos para las diferentes estaciones, incluso se observa una tenue correlación entre los datos de precipitación y la altura topográfica de las estaciones (Figura 46), siendo la

relación algo mayor en el caso de las precipitaciones máximas mensuales. Para los datos de temperatura no existe correlación con la altitud (Figura 47).

Estación Meteorológica	Serie Inicial		Datos de precipitación (en mm)	
	Año Inicio	Año Fin	Media	Máxima
5101	1951	1999	37,82	253,80
5115	1955	1999	43,81	313,70
5501	1951	1999	52,42	346,00
5508	1955	1991	66,03	379,86
5511E	1951	1987	56,08	530,70
5517	1946	1999	56,08	530,70
6253	1934	1999	40,36	260,50
5406	1882	1999	37,81	253,80
5131	1951	1999	45,79	239,30
5254	1951	1999	51,83	330,20
5536	1951	1978	49,29	284,90
5544	1951	1999	47,22	268,70
5553	1951	1999	47,71	272,50
5579	1918	1999	52,93	279,70
5514	1937	1999	31,50	195,00
5502	1951	1999	46,39	275,50
5513	1925	1994	36,70	192,00
5515	1872	1999	38,38	234,57
5529	1951	1999	30,77	202,00
5538	1947	1995	40,43	237,95
5541	1952	1999	41,74	240,00
5559	1951	1999	32,93	201,00
5563	1958	1999	38,34	205,00
5574	1951	1999	33,53	205,00
5582	1917	1999	40,46	249,80
6250	1950	1999	36,29	233,20
5572	1951	1999	35,14	302,50
5569E	1956	1999	62,48	578,60
6378	1951	1998	74,38	807,00

Mínimo	30,77	192,00
Q25%	37,81	234,57
Mediana	41,74	260,50
Promedio	44,99	307,02
Q75%	51,83	313,70
Máximo	74,38	807,00
Desv. Estándar	10,73	138,95
CV	4,19	2,21

Tabla 16. Datos de precipitación de las estaciones del INM

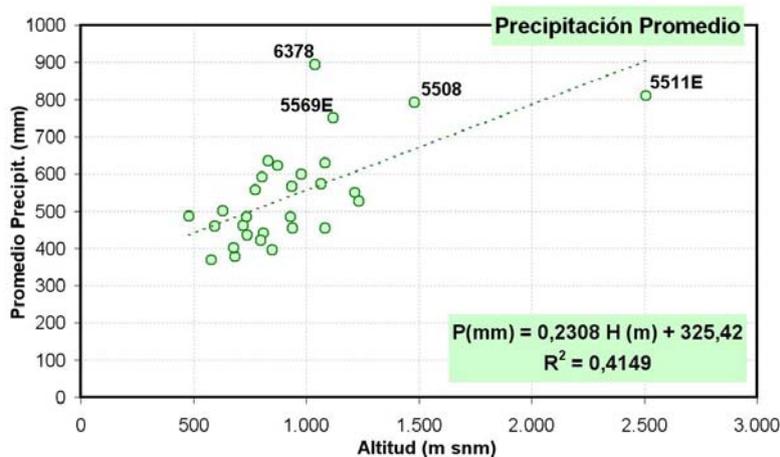


Figura 46. Correlación datos precipitación media anual–altitud

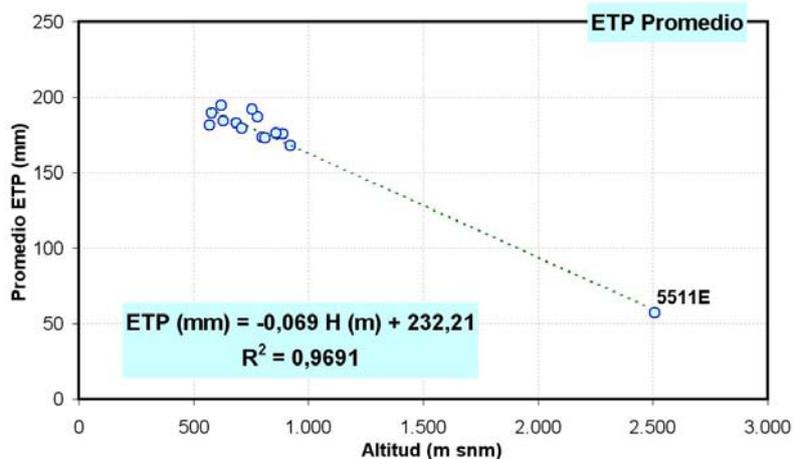


Figura 47. Correlación datos ETP–altitud

Estación Meteorológica	Serie Inicial		Datos de temperatura media mensual (en °C)		
	Año Inicio	Año Fin	Mínimo	Promedio	Máximo
5514	1951	1999	3,30	15,23	28,20
5403	1973	1997	5,11	16,22	29,60
5406E	1984	1999	1,87	14,02	26,80
5511E	1985	1993	-6,50	4,77	19,78
5530E	1972	1999	3,47	15,14	27,30
5536I	1974	1999	1,73	14,66	27,60
5541	1985	1999	0,80	15,36	27,40
5545E	1977	1999	0,80	14,67	28,40
5562E	1973	1999	4,29	15,56	28,90
5562O	1971	1999	3,30	15,81	30,20
5572	1990	1999	2,15	14,45	28,20
5578U	1975	1999	3,79	14,40	28,20
6249	1961	1999	4,30	15,99	29,20
6258	1948	1999	5,00	14,96	26,20
	Mínimo		-6,50	4,77	19,78
	Q25%		1,77	14,50	27,33
	Mediana		3,30	15,05	28,20
	Promedio		2,39	14,37	27,57
	Q75%		4,16	15,51	28,78
	Máximo		5,11	16,22	30,20
	Desv. Estándar		2,92	2,84	2,49
	CV		0,82	5,06	11,07

Tabla 17. Datos de temperaturas de las estaciones del INM

6.4 DATOS DE AFOROS EN CAUCES

Los datos hidrológicos utilizados en el presente estudio corresponden a las series de aforos de que dispone la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG). En la tabla 18 se indican los datos referentes a las estaciones de aforos utilizadas, las cuales pueden localizarse con ayuda de la Figura 48..

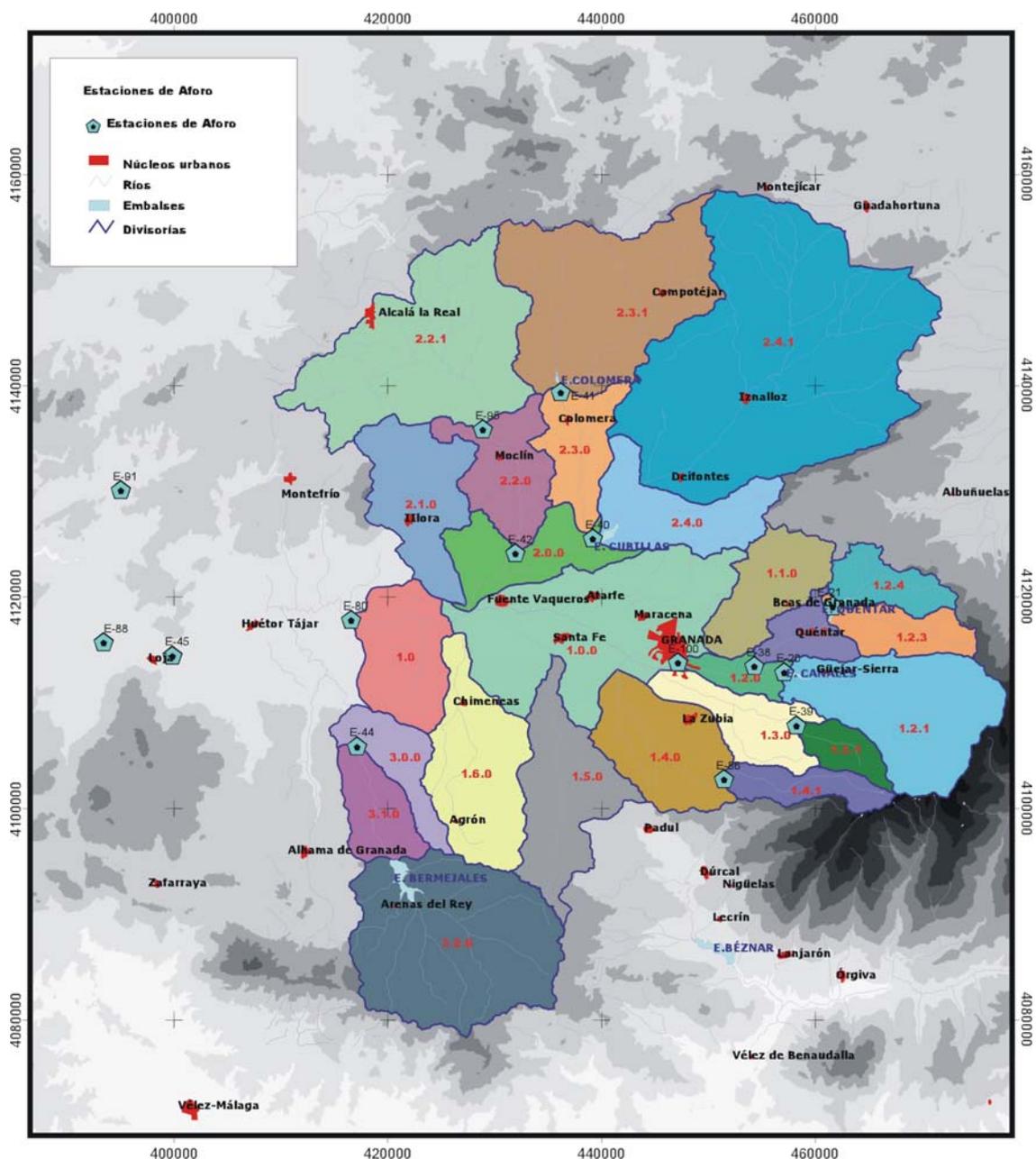


Figura 48. Estaciones de aforos. Datos hidrológicos

Estación de aforos		Coordenadas UTM		Cuenca vertiente (km ²)	Aportación mensual (hm ³ /mes)		Aportación mensual específica (hm ³ /mes/km ²)	
Código	Cauce	X	Y		Media	Máxima	Media	Máxima
E-20	GENIL	457120	457120	178	6,58	76,98	0,0369	0,4325
E-21	AGUAS BLANCAS	461645	461645	51	0,66	3,24	0,0037	0,0182
E-38	AGUAS BLANCAS	454330	454330	139	1,69	18,17	0,0095	0,1021
E-39	MONACHL	458291	458291	48	3,50	95,41	0,0197	0,5360
E-40	CUBILLAS	439232	439232	620	8,65	39,00	0,0486	0,2191
E-41	COLOMERA	436221	436221	246	2,00	52,39	0,0112	0,2943
E-42	FRAILES	431984	431984	357	5,93	48,49	0,0333	0,2724
E-44	CACIN	417170	417170	340	5,55	23,21	0,0312	0,1304
E-45	GENIL	399881	399881	4.210	34,01	345,40	0,1911	1,9404
E-80	GENIL	416587	416587	2.944	19,61	168,60	0,1102	0,9472
E-86	DILAR	451489	451489	41	2,15	13,06	0,0121	0,0734
E-88	FRÍO	393427	393427	172	4,58	27,57	0,0257	0,1549
E-91	PESQUERA	395038	395038	62	1,78	15,37	0,0100	0,0863
E-95	FRAILES	428935	428935	168	2,87	25,05	0,0161	0,1407
E-100	GENIL	447177	447177	525	2,29	20,24	0,0129	0,1137

Tabla 18. Estaciones de aforo consideradas (datos CHG) en el estudio

6.5 SISTEMA HIDROLÓGICO SUPERFICIAL CORNISA VEGA DE GRANADA

El sistema hidrológico superficial se vertebra a partir de tres cauces principales: los río Genil, Cubillas y Cacán (Figura 49).

El río Genil nace de la confluencia de los río Real y Guarnón y es afluente del río Guadalquivir por el margen izquierdo. La cuenca vertiente del río Genil hasta la estación de aforos E-80 en Puente Tocón presenta una superficie de 2.861,1 km². Los principales afluentes en este tramo son los río Darro, Aguas Blancas, Monachil y Dílar y los arroyos Salado y Noniles. La cabecera del río Genil está parcialmente regulada por los embalses de Quéntar en el Aguas Blancas y Canales en el propio río Genil.

El río Cubillas es afluente del río Genil por la margen derecha y presenta una cuenca vertiente de 1.529,6 km². Presenta su principal aportación en los manantiales de Deifontes (Sierra Arana) y desemboca en el río Genil en las proximidades de Lanchar. La cuenca está constituida por las subcuencas de los arroyos de Los Frailes,

Charcón y el río Colomera. Los embales de Cubillas y Colomera regulan parcialmente las aguas de los ríos Cubillas y Colomera, respectivamente.

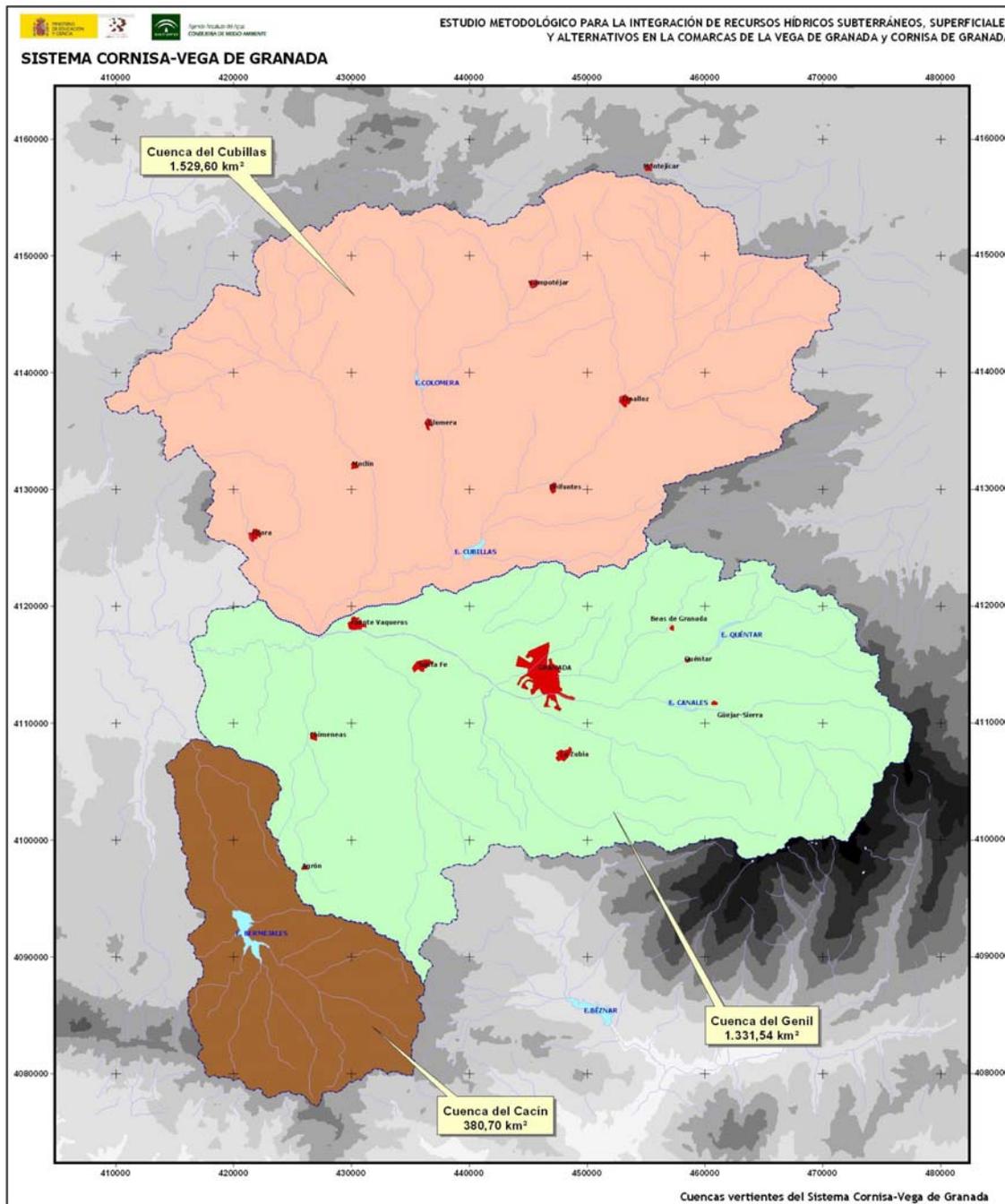


Figura 49. Cuencas vertientes del Sistema Cornisa-Vega de Granada

La cuenca del río Cacín considerada en el presente estudio, abarca una superficie de 380,7 km². El río Cacín es afluente del Genil por su margen izquierda y en el

confluyen numerosos cauces fluviales, siendo los más importantes el río Granada, Río Grande y el Barranco de la Zahora. Se encuentra regulado parcialmente por el embalse de Bermejales localizado sobre el propio río Cacán.

En la tabla 19 se muestran las superficies vertientes de las 25 subcuencas en las que se ha subdividido el Sistema Cornisa-Vega de Granada. En la misma se hace referencia tanto a la superficie total como a la superficie de afloramientos permeables e impermeables, así como a los porcentajes.

SUBCUENCAS		Superficie (km ²)	Superficie permeable (km ²)	Porcent. que representan los afloramientos permeables (%)	Superficie impermeable (km ²)
1.0	Bajo Genil (Vega de Granada)	99,0	6,6	6,7%	92,4
1.0.0	Medio Genil (Vega de Granada)	267,7	137,0	51,2%	130,7
1.1.0	Darro	83,0	41,2	49,6%	41,8
1.2.0	Genil (S ^a Nevada)	27,4	2,3	8,4%	25,1
1.2.1	Alto Genil (Canales)	176,6	20,4	11,6%	156,2
1.2.2	Bajo Aguas Blancas	38,1	6,9	18,1%	31,2
1.2.3	Aguas Blancas-Padules	53,0	23,9	45,1%	29,1
1.2.4	Alto Aguas Blancas (Quéntar)	48,3	38,9	80,7%	9,3
1.3.0	Bajo Monachil	71,9	49,3	68,6%	22,6
1.3.1	Alto Monachil	31,6	7,5	23,7%	24,1
1.4.0	Bajo Dílar	116,7	39,3	33,7%	77,3
1.4.1	Alto Dílar	44,8	17,8	39,7%	27,0
1.5.0	Arroyo del Salado	131,7	29,4	22,3%	102,4
1.6.0	Arroyo del Noniles	141,8	22,1	15,6%	119,8
2.0.0	Cubillas Bajo	82,6	22,8	27,6%	59,8
2.1.0	Arroyo del Charcón	117,6	30,0	25,5%	87,6
2.2.0	Bajo Velillos	87,9	23,5	26,7%	64,4
2.2.1	Alto Velillos	267,3	0,0	0,0%	267,3
2.3.0	Colomera	71,1	15,2	21,4%	55,9
2.3.1	Riío de Las Juntas	256,1	41,8	16,3%	214,2
2.4.0	Bermejo-Embalse Cubillas	102,3	13,5	13,2%	88,8
2.4.1	Cubillas-Deifontes	544,7	176,2	32,3%	368,5
3.0.0	Bajo Cacán	55,9	0,0	0,0%	55,9
3.1.0	Medio Cacán	57,9	0,0	0,0%	57,9
3.2.0	Alto Cacán (Bermejales)	266,9	189,7	71,1%	77,2
TOTALES		3.241,9	955,3	29,47%	2.286,5

Tabla 19. Superficies de las subcuencas asociadas al Sistema Cornisa-Vega de Granada

6.6 TRATAMIENTO DE DATOS CLIMATOLÓGICOS

El objetivo básico de este apartado consiste en el tratamiento de la información disponible de tipo climático, para obtener los datos de partida necesarios para el modelo de precipitación–aportaciones, mediante el que se evaluarán las aportaciones del sistema en régimen natural. Así, los datos meteorológicos de referencia corresponden a:

- Precipitaciones mensuales.
- Temperaturas medias mensuales.
- Evapotranspiración potencial mensual.

El área de estudio se extiende entre las siguientes coordenadas UTM:

$$X_{\text{mínima}} = 409.347$$

$$X_{\text{máxima}} = 478.105$$

$$Y_{\text{mínima}} = 4.077.954$$

$$Y_{\text{máxima}} = 4.158.693$$

Es decir, aproximadamente un rectángulo de 69 km de este a oeste por 80 km de norte a sur, con centro geográfico situado en un punto de coordenadas X(UTM)= 443.631,36 e Y (UTM)= 4.118.447,49 en el núcleo urbano de Maracena.

Los datos de partida corresponden a los datos de las estaciones de observación del Instituto Nacional de Meteorología (I.N.M.) citados en el apartado 6.2 (Datos meteorológicos). Para el tratamiento de las series climatológicas, se han empleado los programas pertenecientes al paquete HIDROBAS (hidrología básica), integrado dentro del PAI (Paquete de Apoyo Informático a la Hidrología) del IGME. La metodología de trabajo seguida ha consistido en los siguientes pasos:

Para las **precipitaciones**:

- Análisis previo de la información y selección de estaciones y zonas.
- Contraste, corrección y completado de datos (correlación ortogonal).
- Análisis de la variabilidad de la precipitación (ajuste log-normal).
- Definición y cálculo de años tipo (medios, secos y húmedos).
- Trazado de isoyetas.

Para las **temperaturas**:

- Análisis previo de la información y selección de estaciones.
- Corrección y completado de datos (correlación ortogonal).

Para la **evapotranspiración potencial (ETP)**:

- Cálculo de la ETP a partir de los datos de temperaturas mediante el método de Thornthwaite.
- Trazado de las isolíneas de ETP para años tipo seco, medio y húmedo.

En el anejo 1 se detallan los datos de partida utilizados y las series restituidas para el periodo 1951–2004.

Se han seleccionado para el estudio 43 estaciones termopluviométricas (Figura 50 y tabla 20), de las cuales 6 se han considerado completas.

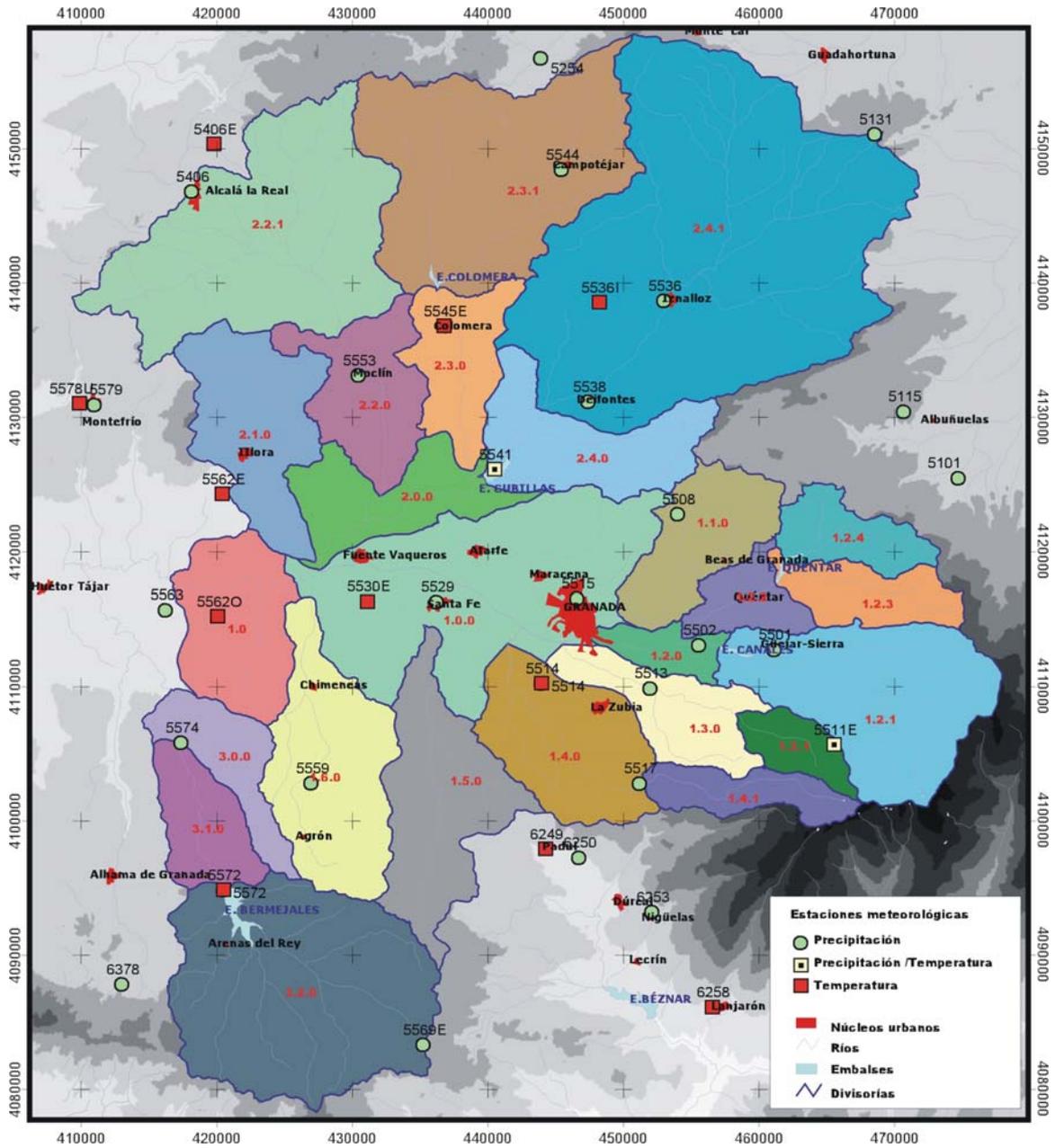


Figura 50. Estaciones meteorológicas empleadas para el estudio climatológico

PRECIPITACIÓN							
Código	Nombre	Tipo	UTM X	UTM Y	Altitud (m snm)	Provincia	
5101	LA PEZA	P	474707,66	4125485,45	1.085,00	GRANADA	Completa
5115	DIEZMA	P	470661,39	4130429,46	1.233,00	GRANADA	Restituida
5501	GUEJAR-SIERRA	P/T	461103,38	4112748,19	1.084,00	GRANADA	Restituida
5508	ALFACAR 'LA ALFAGUARA'	P/T	454005,32	4122799,79	1.480,00	GRANADA	Restituida
5511E	GRANADA 'SIERRA NEVADA'	P/T	465514,12	4105641,07	2.507,00	GRANADA	Restituida
5517	DILAR 'CENTRAL ELECTRICA'	P	451179,40	4102784,14	980,00	GRANADA	Restituida
6253	NIGUELAS	P	452113,16	4093225,49	931,00	GRANADA	Restituida
5406	ALCALA LA REAL	P	418146,11	4146805,41	940,00	JAEN	Completa
5131	TORRE-CARDELA	P	468524,19	4151085,52	1.217,00	GRANADA	Restituida
5254	CAMPILLO DE ARENAS	P	443886,58	4156762,89	874,00	JAEN	Restituida
5536	IZNALLOZ	P	452985,90	4138677,02	805,00	GRANADA	Restituida
5544	CAMPOTEJAR	P	445426,83	4148431,20	936,00	GRANADA	Restituida
5553	MOCLIN	P	430439,26	4133132,60	1.065,00	GRANADA	Restituida
5579	MONTEFRIO	P	410974,93	4130943,77	833,00	GRANADA	Restituida
5514	GRANADA/BASE AEREA	P/T	443943,66	4110225,37	685,00	GRANADA	Completa
5502	PINOS-GENIL	P/T	455555,36	4113083,81	774,00	GRANADA	Restituida
5513	MONACHIL	P	451960,60	4109867,69	810,00	GRANADA	Restituida
5515	GRANADA 'CARTUJA'	P/T	446574,42	4116526,01	720,00	GRANADA	Restituida
5529	SANTA FE	P	436217,19	4116289,97	579,00	GRANADA	Restituida
5538	DEIFONTES	P	447405,87	4131159,61	737,00	GRANADA	Restituida
5541	PANTANO CUBILLAS	P/T	440478,54	4126120,81	630,00	GRANADA	Restituida
5559	VENTAS DE HUELMA	P	426977,29	4102804,54	851,00	GRANADA	Restituida
5563	MORALEDA DE ZAFAYONA LORETO	P	416238,44	4115694,65	596,00	GRANADA	Restituida
5574	PRESA DE CACIN	P	417374,72	4105820,89	680,00	GRANADA	Restituida
5582	LOJA AFOROS	P/T	397475,58	4114052,98	480,00	GRANADA	Restituida
6250	PADUL AGUADERO	P/T	446699,44	4097264,06	740,00	GRANADA	Restituida
5572	PANTANO DE BERMEJALES	P/T	420481,22	4094850,10	800,00	GRANADA	Completa
5569E	ALBUUELAS HUIDA	P	435225,50	4083321,95	1.120,00	GRANADA	Restituida
6378	ALHAMA DE GRANADA ALCAICERIA	P	412992,86	4087835,11	1.040,00	GRANADA	Restituida

TEMPERATURAS							
Código	Nombre	Tipo	UTM X	UTM Y	Altitud (m snm)	Provincia	
5514	GRANADA/BASE AEREA	P/T	443943,66	4110225,37	685,00	GRANADA	Restituida
5403	ALMEDINILLA	P/T	403496,80	4144188,12	620,00	CORDOBA	Restituida
5406E	ALCALA LA REAL 'CHARILLA'	P/T	419777,10	4150334,07	920,00	JAEN	Restituida
5511E	GRANADA 'SIERRA NEVADA'	P/T	465514,12	4105641,07	2.507,00	GRANADA	Restituida
5530E	GRANADA/AEROPUERTO	P/T	431088,59	4116299,60	570,00	GRANADA	Restituida
5536I	IZNALLOZ 'EL FRAGE'	P/T	448190,06	4138551,30	890,00	GRANADA	Restituida
5541	PANTANO CUBILLAS	P/T	440478,54	4126120,81	630,00	GRANADA	Restituida
5545E	COLOMERA EL LEON	P/T	436741,83	4136780,96	860,00	GRANADA	Restituida
5562E	ILLORA 'MOLINO REY'	P/T	420388,82	4124284,12	778,00	GRANADA	Restituida
5562O	PINOS PUENTE FUENSANTA	P/T	420056,05	4115195,21	580,00	GRANADA	Restituida
5572	PANTANO DE BERMEJALES	P/T	420481,22	4094850,10	800,00	GRANADA	Restituida
5578U	MONTEFRIO 'HUERTA SAN FRANCIS-	P/T	409867,98	4131017,26	810,00	GRANADA	Restituida
6249	PADUL	P/T	444232,43	4097896,30	753,00	GRANADA	Restituida
6258	LANJARON	P/T	456526,89	4086113,92	710,00	GRANADA	Restituida

Tabla 20. Estaciones del INM consideradas en el estudio climatológico

6.6.1 Precipitaciones

A partir de las series de precipitación restituidas para las 43 estaciones de referencia, correspondiente al periodo 1951–2004, se han establecido los años tipo seco, medio y húmedo. Tomando estos datos se han trazado las isoyetas para años tipo.

Así, para el año tipo medio el valor de precipitación más probable para la zona de estudio oscilaría entre 132,9 y 366,6 mm/año, para el año seco el rango más probable de precipitación sería 297,4 a 628,1 mm/año y para el año tipo húmedo 515,4 a 1224,86 mm/año.

Estación INM		OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
5101	Seco	9,0	23,5	20,3	16,0	15,1	19,5	17,0	14,0	7,2	0,0	0,0	1,4
	Medio	42,9	39,2	47,4	41,1	35,0	41,5	37,8	24,1	12,5	0,0	0,0	12,1
	Húmedo	72,7	72,8	83,1	72,8	88,3	88,3	66,0	48,3	29,0	2,0	5,0	28,5
5115	Seco	17,5	30,1	28,9	17,1	21,8	27,8	25,8	20,9	9,5	0,0	0,0	2,5
	Medio	41,9	52,9	50,4	49,0	39,5	50,2	50,1	32,6	19,5	0,0	4,3	15,6
	Húmedo	73,5	86,8	104,0	73,8	87,7	83,9	75,7	48,5	28,6	2,0	8,5	34,0
5501	Seco	23,0	40,0	45,1	27,0	27,5	38,0	41,2	19,0	7,0	0,0	0,0	3,1
	Medio	57,3	62,5	68,3	62,1	54,7	60,5	60,8	41,0	17,3	1,6	1,1	20,0
	Húmedo	84,3	113,3	129,9	87,5	106,2	93,0	81,0	72,7	31,9	3,6	4,8	37,2
5508	Seco	29,7	58,8	48,6	39,2	43,5	42,0	45,6	38,4	13,5	0,0	1,0	6,3
	Medio	69,2	82,1	76,0	72,4	78,2	65,6	71,5	57,5	28,5	0,7	2,1	24,0
	Húmedo	111,5	142,0	157,6	118,0	142,5	120,0	116,1	83,0	48,7	2,0	4,5	50,1
5511E	Seco	27,3	52,6	39,0	32,6	45,7	42,6	27,5	19,7	15,2	0,0	0,0	11,2
	Medio	67,4	74,5	65,0	55,0	65,4	57,1	54,0	38,2	27,8	4,4	0,2	26,0
	Húmedo	108,2	133,7	106,2	97,2	99,5	83,4	89,9	84,4	44,1	6,0	4,8	50,9
5517	Seco	17,5	37,0	39,6	19,0	28,2	34,1	32,7	13,0	4,5	0,0	0,0	2,0
	Medio	45,3	58,6	75,0	57,7	54,5	58,0	51,6	33,7	15,0	0,0	0,0	16,0
	Húmedo	91,9	101,3	138,7	93,5	93,6	110,1	76,2	61,0	28,5	3,0	3,5	39,6
6253	Seco	13,5	28,0	26,5	21,5	26,4	24,0	23,5	8,5	3,5	0,0	0,0	4,0
	Medio	37,4	53,9	55,9	42,0	45,0	40,3	25,0	13,5	0,0	0,6	15,0	
	Húmedo	84,0	84,5	112,0	70,0	75,1	64,8	68,5	59,0	23,4	2,5	2,0	32,5
5406	Seco	9,0	24,0	20,3	16,0	15,1	19,5	17,0	14,0	7,2	0,0	0,0	1,4
	Medio	42,9	39,0	47,4	41,1	35,0	41,5	37,8	24,1	12,5	0,0	0,0	12,1
	Húmedo	72,7	72,8	83,1	72,8	88,3	88,3	66,0	48,3	29,0	2,0	5,0	28,5
5131	Seco	16,5	34,0	31,4	21,5	28,8	30,5	32,0	19,9	9,5	0,0	0,0	3,8
	Medio	41,2	51,9	55,3	45,2	46,5	50,7	47,3	33,7	23,2	0,9	3,4	14,2
	Húmedo	89,1	94,0	119,5	81,3	94,3	76,7	71,9	73,4	40,0	6,0	12,1	34,5
5254	Seco	17,0	36,0	30,5	23,5	24,8	32,1	29,3	16,8	8,5	0,0	0,3	9,3
	Medio	54,9	60,0	72,5	54,5	45,5	56,0	46,4	36,2	20,3	0,0	5,4	25,4
	Húmedo	91,4	110,0	122,6	116,1	118,6	83,3	76,6	71,0	39,8	3,6	15,0	45,0
5536	Seco	29,1	42,3	32,2	38,3	30,5	38,0	24,9	18,1	17,0	0,7	0,0	5,6
	Medio	59,5	60,0	74,2	63,2	48,4	60,6	42,9	34,2	21,1	4,5	2,0	14,0
	Húmedo	94,4	86,3	123,1	88,4	99,2	97,0	59,0	62,6	25,7	6,4	6,1	35,8
5544	Seco	14,6	40,0	30,7	24,7	21,5	34,0	26,7	13,5	10,8	0,0	0,0	5,7
	Medio	45,7	56,9	60,5	48,7	45,3	54,6	40,3	29,8	18,9	0,0	1,5	16,0
	Húmedo	87,1	113,0	130,4	105,4	96,2	87,3	62,5	70,4	34,0	4,7	9,7	42,0
5553	Seco	14,0	36,0	27,0	32,1	26,6	33,6	29,5	9,0	7,0	0,0	0,0	2,0
	Medio	42,1	59,0	71,0	56,5	57,0	55,0	41,5	37,5	24,0	0,0	0,0	18,6
	Húmedo	81,7	98,0	116,6	103,9	94,7	89,8	60,6	81,0	38,0	2,0	4,0	35,3
5579	Seco	16,6	49,0	35,4	28,0	27,5	36,5	31,0	7,0	7,0	0,0	0,0	3,8
	Medio	49,9	68,0	76,7	51,0	53,0	51,1	52,8	31,5	19,3	0,0	3,4	19,0
	Húmedo	98,7	118,0	138,1	122,5	120,0	87,1	74,0	59,0	33,3	3,0	8,9	42,6
5514	Seco	16,6	26,0	21,0	15,6	15,0	22,4	20,9	8,1	3,4	0,0	0,0	3,2
	Medio	37,9	37,0	47,0	36,2	28,1	36,7	33,7	24,5	8,9	0,0	0,5	10,7
	Húmedo	62,4	66,0	67,1	57,5	55,9	57,4	54,9	48,9	20,7	3,0	2,0	28,2
5502	Seco	16,3	36,0	27,6	21,0	24,0	27,5	30,5	13,7	7,0	0,0	0,0	2,3
	Medio	53,6	54,0	58,8	57,0	44,9	50,3	51,6	34,2	17,3	0,0	1,1	15,1
	Húmedo	90,3	96,0	111,0	100,3	95,7	91,6	71,1	65,4	30,1	2,5	4,5	37,2
5513	Seco	16,8	28,9	22,9	24,7	22,3	23,3	21,7	10,9	5,0	0,0	0,0	4,5
	Medio	45,8	46,0	46,0	43,4	35,7	42,3	42,6	31,6	10,0	1,3	0,1	12,0
	Húmedo	83,8	74,1	79,4	60,0	61,5	70,2	62,0	59,0	20,6	1,6	2,1	33,0
5515	Seco	22,1	29,0	29,1	21,0	23,0	26,8	26,7	14,4	4,8	0,0	0,0	4,8
	Medio	41,4	47,0	50,7	40,6	36,4	44,2	41,2	34,0	10,1	1,0	0,5	12,6
	Húmedo	75,9	79,5	85,6	75,0	73,4	70,6	56,9	57,9	21,0	3,7	3,5	36,4

Estación INM		OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
5529	Seco	7,2	24,1	20,8	14,7	15,5	19,2	18,0	6,7	2,9	0,0	0,0	1,8
	Medio	38,0	40,0	46,7	30,8	31,4	31,1	32,2	27,8	9,3	0,0	0,6	9,3
	Húmedo	58,2	74,0	77,8	59,1	53,7	52,5	49,3	40,6	17,6	1,7	3,1	27,8
5538	Seco	13,5	24,1	22,3	18,2	19,9	24,0	24,5	10,8	7,4	0,0	0,0	3,0
	Medio	42,4	46,3	61,9	44,1	35,3	42,8	40,7	28,8	15,8	1,8	0,4	12,2
	Húmedo	74,7	89,6	98,3	79,7	79,7	68,5	69,3	59,1	37,2	3,0	3,3	35,8
5541	Seco	12,1	32,0	31,5	22,5	18,6	26,3	26,4	10,9	5,2	0,0	0,0	3,6
	Medio	42,2	46,0	59,1	43,0	37,9	41,7	44,6	28,8	15,3	0,1	1,9	12,4
	Húmedo	71,8	98,0	98,7	76,7	75,2	76,2	62,4	60,9	32,5	4,3	6,1	31,3
5559	Seco	9,5	28,4	18,5	22,1	16,9	20,0	21,5	8,3	2,0	0,0	0,0	2,9
	Medio	33,8	40,0	44,6	34,7	36,5	33,5	31,8	18,5	13,2	0,0	0,0	13,9
	Húmedo	64,5	67,0	76,0	64,2	54,6	57,7	51,0	49,2	23,5	1,3	2,0	30,5
5563	Seco	17,5	37,1	30,1	25,1	23,3	22,5	22,6	15,0	6,5	0,0	0,0	7,9
	Medio	45,0	50,0	63,8	45,7	39,6	37,5	35,8	25,0	12,5	0,0	1,5	15,2
	Húmedo	71,9	78,0	87,0	68,0	77,4	70,0	55,0	52,5	24,0	4,0	4,0	35,5
5574	Seco	13,0	28,0	24,0	18,0	20,0	21,0	22,5	9,0	3,0	0,0	0,0	1,6
	Medio	38,9	42,0	45,8	33,0	34,5	33,8	35,5	23,5	12,1	0,0	0,0	15,5
	Húmedo	61,5	69,0	77,0	57,5	66,7	50,5	49,0	46,0	30,0	0,2	3,0	35,0
5582	Seco	17,4	36,7	30,3	24,8	19,1	27,5	30,3	11,5	9,3	0,0	0,0	4,2
	Medio	45,4	48,8	66,7	44,9	44,0	44,3	43,0	30,4	14,7	0,4	3,3	12,0
	Húmedo	69,9	89,0	97,0	79,9	73,0	77,2	64,8	47,3	27,6	0,7	4,4	34,8
6250	Seco	11,0	27,0	21,0	14,5	18,0	25,5	21,7	6,0	5,2	0,0	0,0	1,4
	Medio	35,5	46,0	62,5	38,0	40,0	40,0	36,9	23,0	14,0	0,0	0,0	13,0
	Húmedo	63,0	77,9	89,5	62,5	68,0	62,5	64,8	56,1	26,5	2,0	1,0	32,5
5572	Seco	13,6	26,2	22,0	18,5	22,0	26,3	18,6	10,0	2,5	0,0	0,0	3,5
	Medio	41,7	41,5	43,1	34,0	38,1	42,5	30,5	22,1	15,5	0,0	0,1	10,5
	Húmedo	75,5	78,0	81,6	60,0	60,0	61,0	54,7	49,0	33,5	3,8	4,0	29,0
5569E	Seco	17,0	42,3	26,0	27,4	33,5	36,6	28,9	6,9	2,0	0,0	0,0	3,2
	Medio	59,6	81,0	95,2	61,4	68,0	69,0	51,0	25,6	13,0	0,0	1,1	12,1
	Húmedo	130,7	175,0	178,3	96,1	102,6	98,3	94,2	62,0	27,1	2,7	3,5	40,5
6378	Seco	25,2	44,1	27,0	33,8	35,3	48,0	35,2	10,3	1,2	0,0	0,0	2,4
	Medio	64,6	88,0	95,9	87,8	76,9	81,6	61,6	42,1	10,4	0,0	0,0	10,0
	Húmedo	128,2	185,7	218,5	164,1								

Las isólinas de precipitación se han trazado mediante interpolación por krikeage, para un año tipo seco, medio y húmedo más probable (ver Figuras 51 a 53).

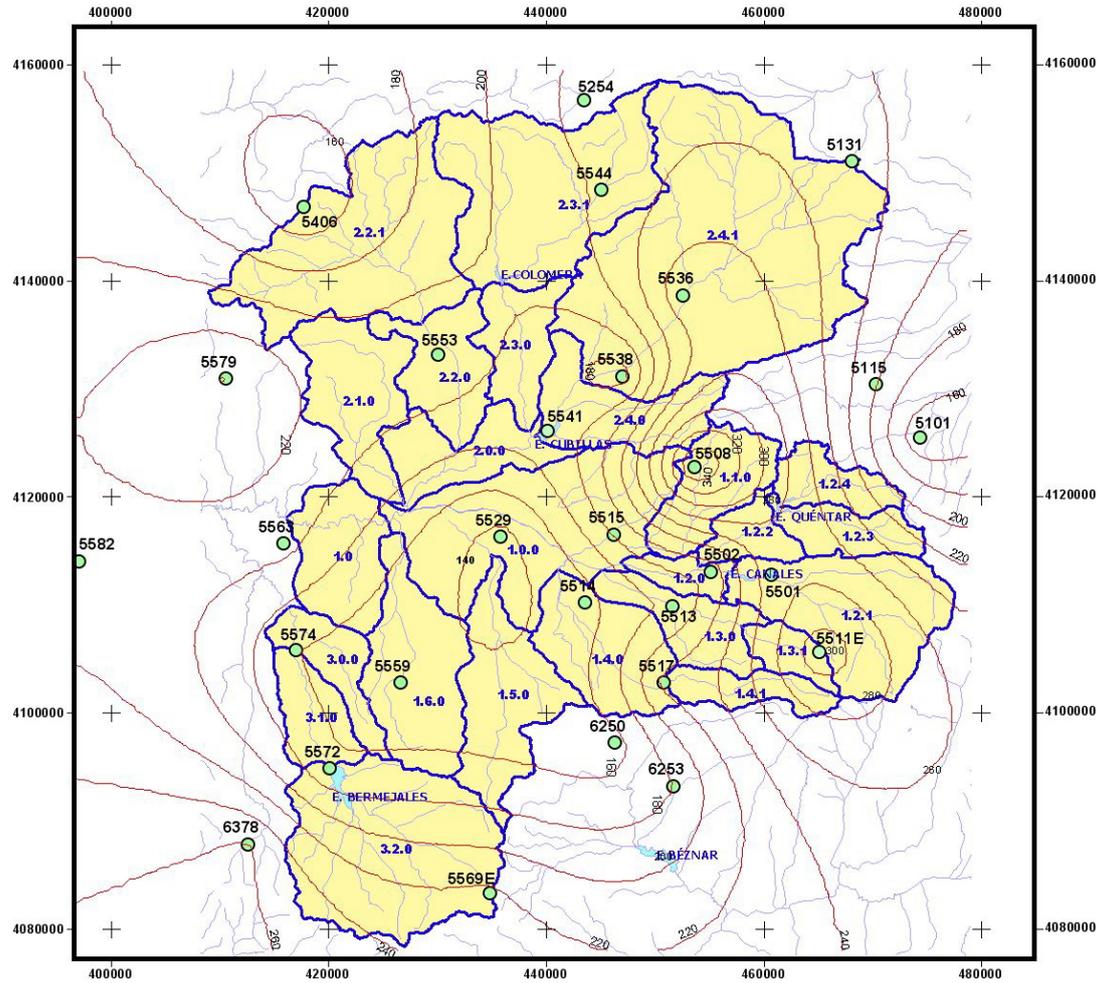


Figura 51. Isólinas Precipitación año tipo SECO más probable (en mm)

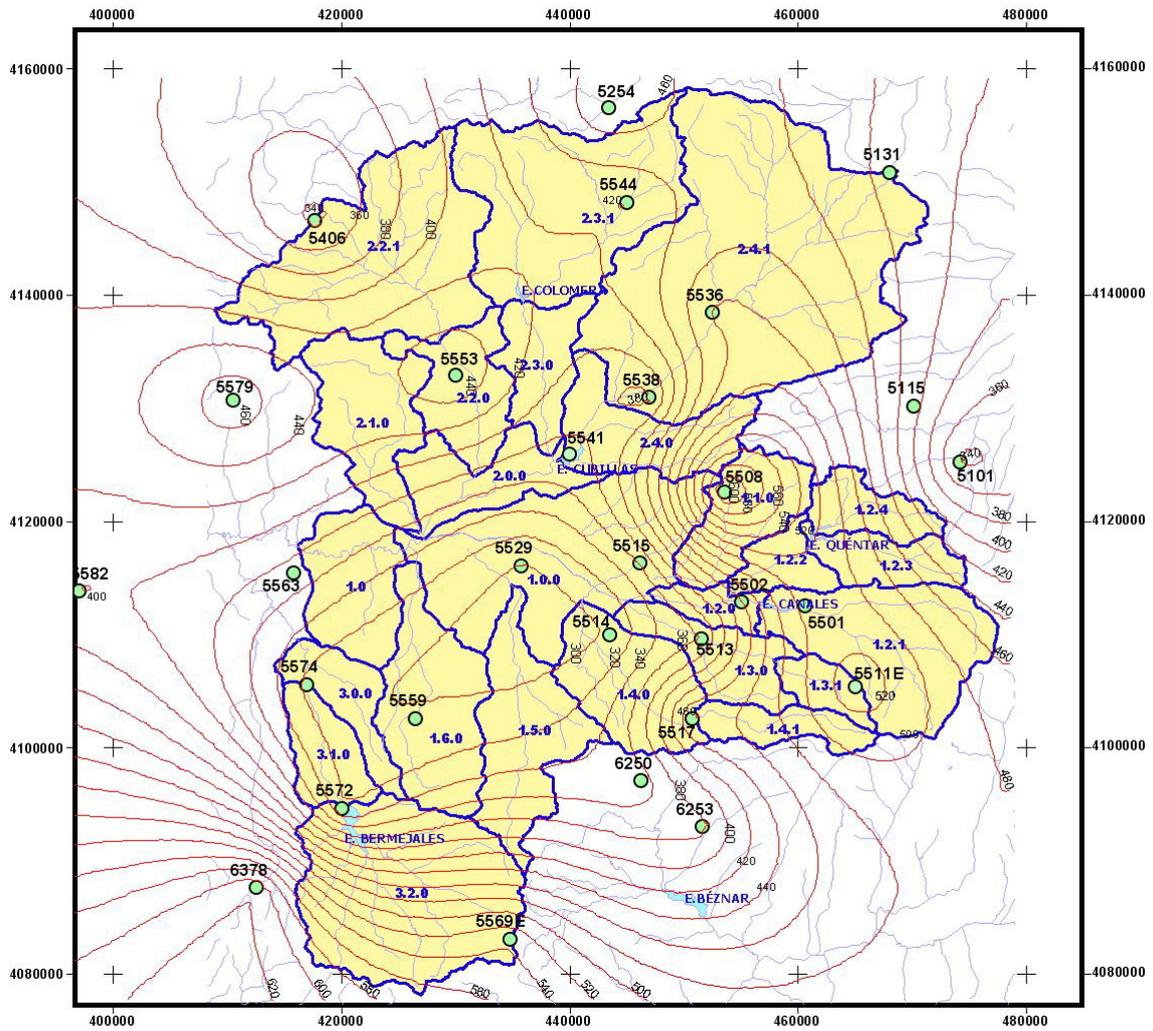


Figura 52. Isolíneas precipitación año tipo MEDIO más probable (mm)

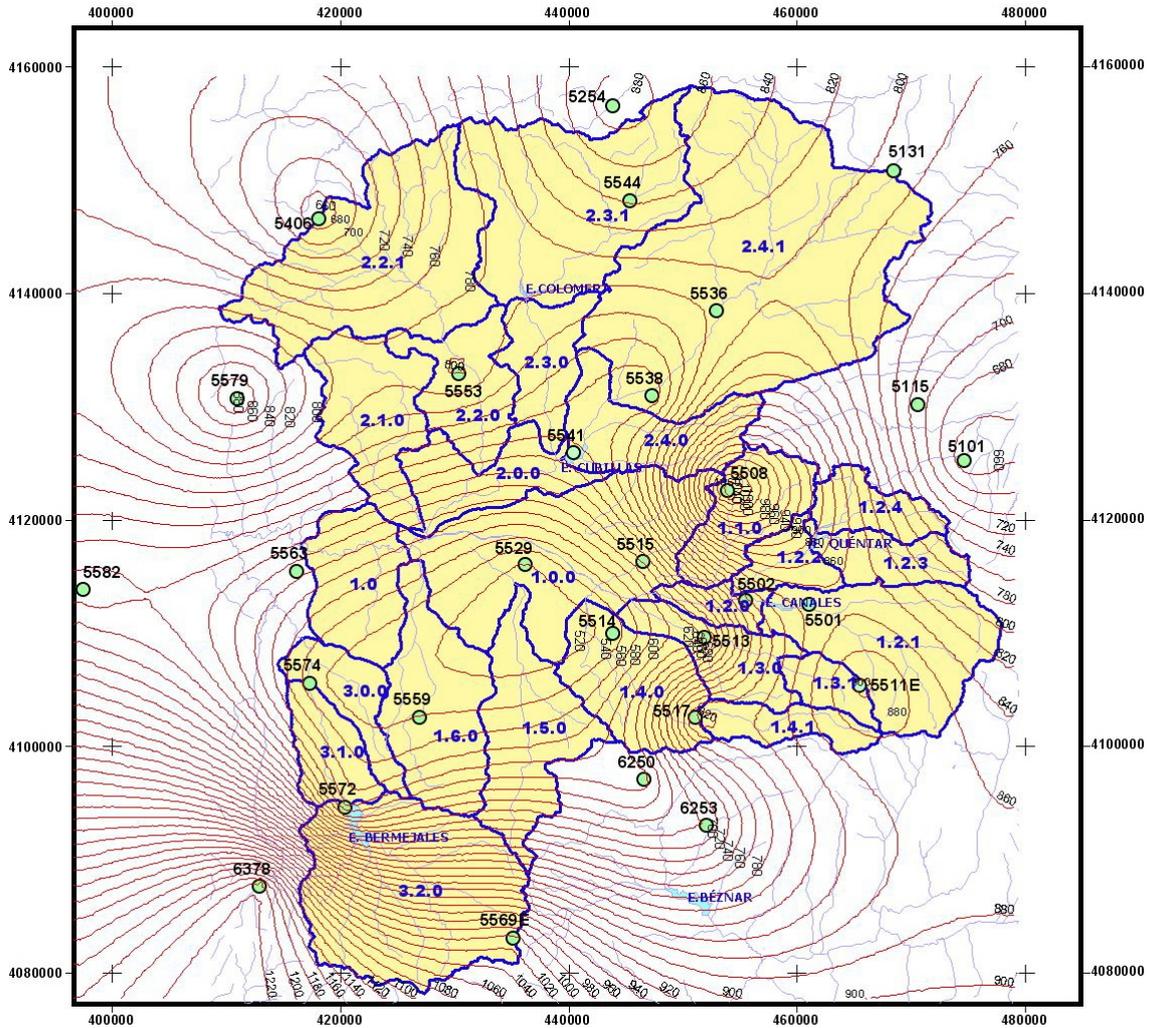


Figura 53. Iso líneas precipitación año tipo HÚMEDO más probable (en mm)

6.6.2 Temperaturas

El estudio de la temperatura ha consistido en el análisis de datos y selección de las estaciones adecuadas en la zona de estudio, contraste, corrección y completado de la información y obtención de series de temperaturas medias mensuales para cada una de las estaciones seleccionadas.

Al igual que se procedió en el apartado anterior de precipitaciones, se han correlacionado las estaciones incompletas con otras próximas a ellas, con el objeto de restituir o completar dichas series termométricas.

A partir de los valores de temperaturas mensuales medias, se han obtenido las temperaturas medias de cada año y la temperatura anual media para cada estación, para la serie de años 1951–2004, al igual que para el tratamiento de datos de precipitación.

Los datos de temperaturas medias mensuales para estas estaciones y toda la serie considerada, pueden consultarse en el Anejo 1.

Partiendo de los datos de temperaturas medias mensuales y utilizando el método de Thornthwaite se han calculado las evapotranspiraciones potenciales (ETP) mensuales para la serie 1951–2004 (tabla 22).

Estación		Temperaturas medias mensuales (°C)	ETP promedio (mm/mes)	Precipitación promedio (mm/mes)
5514	GRANADA/BASE AEREA	15,23	73,82	31,5
5403	ALMEDINILLA	16,22	60,21	^(a)
5406E	ALCALA LA REAL 'CHARILLA'	14,02	47,56	37,8
5511E	GRANADA 'SIERRA NEVADA'	4,77	99,85	56,1
5530E	GRANADA/AEROPUERTO	15,14	63,91	^(a)
5536I	IZNALLOZ 'EL FRAGE'	14,66	70,13	49,3
5541	PANTANO CUBILLAS	15,36	64,11	41,7
5545E	COLOMERA EL LEON	14,67	71,53	^(a)
5562E	ILLORA 'MOLINO REY'	15,56	70,42	^(a)
5562O	PINOS PUENTE FUENSANTA	15,81	62,18	^(a)
5572	PANTANO DE BERMEJALES	14,45	64,30	^(a)
5578U	MONTEFRIO 'HUERTA SAN FRANCIS-	14,40	75,29	^(a)
6249	PADUL	15,99	63,05	^(a)
6258	LANJARON	14,96	191,34	^(a)

^(a) Estaciones donde sólo se mide la temperatura

Tabla 22. Valores de ETP anuales (serie 1951–2004)

Se ha elaborado un mapa de curvas de igual ETP para un año tipo medio (924 mm/año), utilizando técnicas de interpolación por kriging (Figura 54).

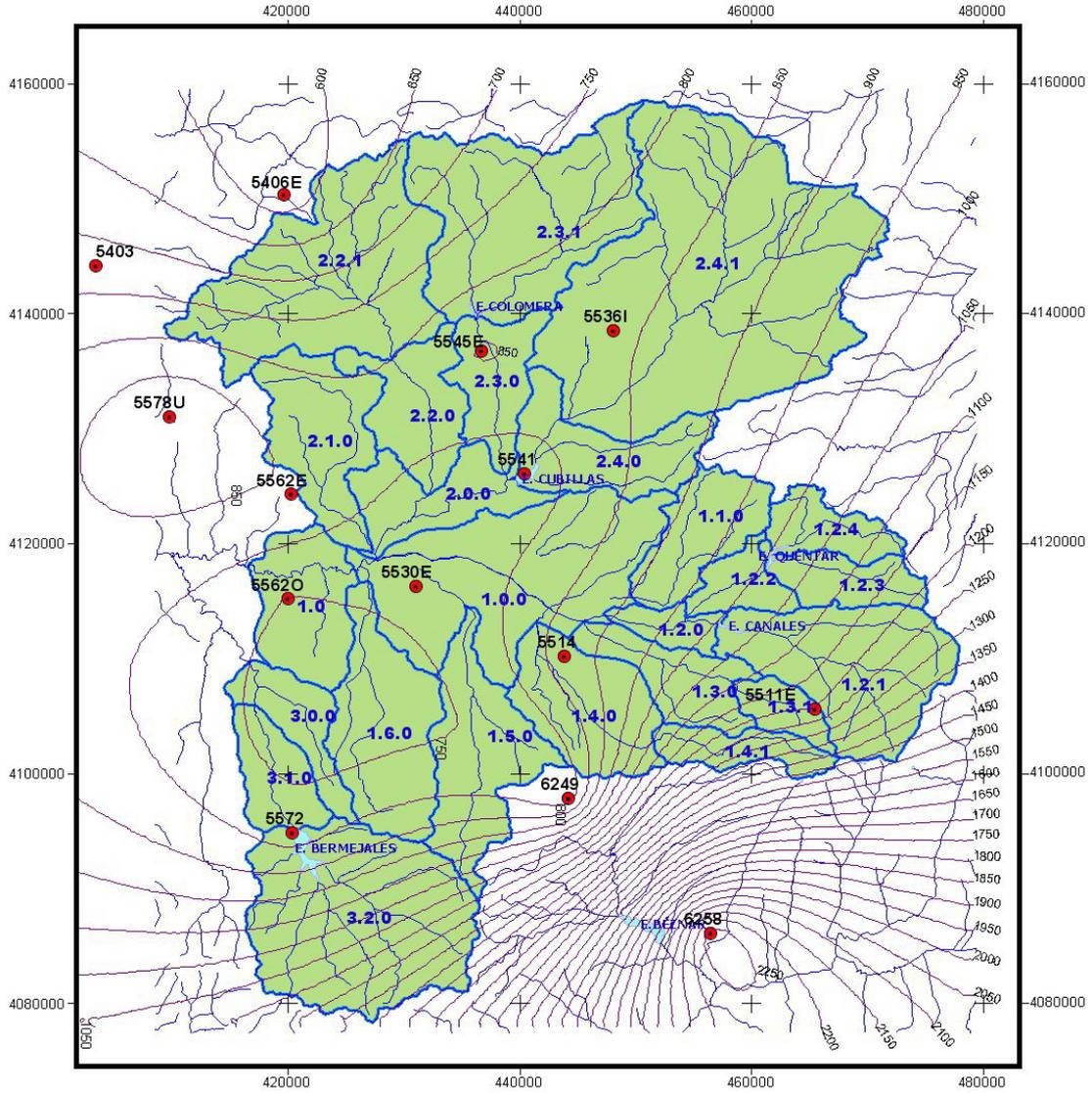


Figura 54. Mapa de isolíneas de ETP

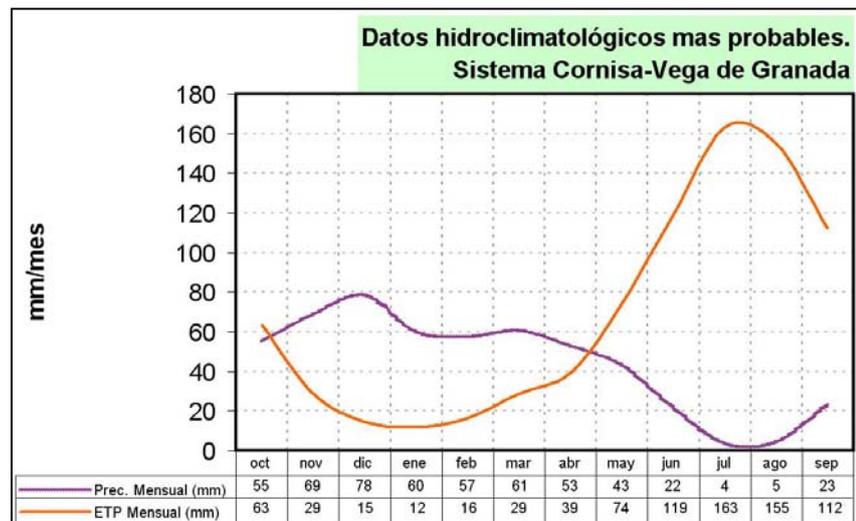


Figura 55. Comparativa de Precipitaciones y ETP en el Sistema Cornisa-Vega de Granada (valores más probables)

NOMBRE	NÚMERO	SUBCUENCA	Sup. (ha)	Centroide		Prec. anual Promedio (mm)	Aport. anual promedio (hm³)	ETP anual promedio (mm)
				X	Y			
Bajo Genil (Vega de Granada)	1.0	Genil	99,0	421426	4114381	446,00	44,14	754,80
Genil (Vega de Granada)	1.0.0	Genil	267,7	439360	4116207	436,73	116,90	803,82
Darro	1.1.0	Genil	83	455664	4120641	730,04	60,63	881,69
Genil (Sª Nevada)	1.2.0	Genil	27,4	452587	4112561	508,06	13,92	956,63
Alto Genil (Canales)	1.2.1	Genil	176,6	467250	4108076	749,84	132,34	1198,15
Bajo Aguas Blancas	1.2.2	Genil	38,1	459289	4117334	613,55	23,38	1158,98
Aguas Blancas-Los Padules	1.2.3	Genil	53	467883	4117292	573,93	30,46	1198,15
Alto Aguas Blancas (Quéntar)	1.2.4	Genil	48,3	467256	4121578	551,66	26,64	1145,73
Bajo Monachil	1.3.0	Genil	71,9	452652	4108120	502,40	36,13	1024,74
Alto Monachil	1.3.1	Genil	31,6	462942	4104940	791,69	24,99	1198,15
Bajo Dílar	1.4.0	Genil	116,7	445735	4106408	456,85	53,29	844,78
Alto Dílar	1.4.1	Genil	44,8	459492	4101963	704,53	31,55	1106,77
Arroyo del Salado	1.5.0	Genil	131,7	437889	4101729	432,74	57,00	783,05
Arroyo del Noniles	1.6.0	Genil	141,8	428338	4105331	396,29	56,20	767,18
Cubillas Bajo	2.0.0	Cubillas	82,6	434556	4123798	481,66	39,80	783,63
Arroyo del Charcón	2.1.0	Cubillas	117,6	422632	4128260	567,16	66,69	848,32
Bajo Velillos	2.2.0	Cubillas	87,9	429847	4131722	569,43	50,07	838,29
Alto Velillos	2.2.1	Cubillas	267,3	421598	4144324	498,63	133,27	682,46
Bajo Colomera	2.3.0	Cubillas	71,1	437931	4133219	536,75	38,16	837,70
Río de Las Juntas (Emb.Colomera)	2.3.1	Cubillas	256,1	440805	4148739	580,24	148,61	815,83
Bermejo-Embalse Cubillas	2.4.0	Cubillas	102,3	443662	4129498	570,86	58,39	788,75
Cubillas-Deifontes	2.4.1	Cubillas	544,7	456114	4143632	560,89	305,56	840,77
Bajo Cacín	3.0.0	Cacín	55,9	421727	4102733	402,68	22,53	757,88
Alto Cacín (emb. Bermejales)	3.1.0	Cacín	57,9	419630	4100464	413,29	23,92	770,51
Cacín (Bermejales)	3.2.0	Cacín	266,9	426433	4087354	648,77	173,18	770,29
		Suma	3.241,9		Promedio	548,99		902,28
					Suma		1.767,76	

Tabla 23. Precipitación y Evapotranspiración potencial por subcuencas.

6.7 DETERMINACIÓN DE LA ESCORRENTÍA TOTAL EN RÉGIMEN NATURAL

6.7.1 Modelo de Temez

El excedente total de la cuenca corresponde a la suma de la escorrentía superficial (E) más la infiltración (I) a través del suelo:

$$T = E + I \quad (1)$$

donde:

- T, excedente total
- E, escorrentía superficial
- I, infiltración a través del suelo

Según el modelo de Temez, la escorrentía total que recibe el río (A_T) en el intervalo de tiempo de cálculo considerando será la suma de la escorrentía superficial directa (E) más la escorrentía subterránea (A_F), la cual se calcula mediante la expresión:

$$A_F = A_{\min} + (1 - \beta)I \quad (2)$$

donde:

A_{\min} , escorrentía mínima (agotamiento de las reservas de los embalses subterráneos existente al inicio del intervalo de simulación)

$$A_{\min} = \frac{Qf_{i-1}}{\alpha}(1 - \beta^2) \quad (3)$$

Qf_{i-1} , caudal subterráneo en el intervalo de tiempo anterior

β , factor que depende del factor de agotamiento del acuífero (α) y la duración del intervalo de tiempo considerado (1 mes en este caso)

$$\beta = e^{-\alpha D/2} \quad (4)$$

α , factor de agotamiento del acuífero

D, duración del intervalo de tiempo (paso de discretización temporal)

I, infiltración (aumento de las reservas en el acuífero)

Tomando las expresiones (1) y (2) la escorrentía total (A_T) que registra una cuenca en un determinado punto de su cauce principal vendrá dada por la expresión:

$$A_T = A_{\min} + T - \beta I \quad (5)$$

La modificación introducida en el modelo de Temez reside en el cálculo de la escorrentía subterránea (A_F) como suma del drenaje o desagüe de los acuíferos (A_S) y la escorrentía hipodérmica (A_H).

Así, se ha calculado que el desagüe asociado a los acuíferos presentes en las cuencas y subcuencas objeto de simulación (A_S), que corresponden, en términos generales, a sistemas karstificados con drenaje puntual (manantiales), mediante una formulación basada en la curva de agotamiento de Maillet:

$$Qf_i = Qf_{i-1} e^{-\alpha \Delta t} \quad (6)$$

En concreto se utiliza una formulación similar a la utilizada por el paquete AQUATOOL, que ha sido utilizado para la simulación de la gestión, para el caso de un acuífero unicelular, en el que la conexión hidráulica con el sistema superficial se caracteriza mediante un coeficiente de desagüe $-\alpha$ que coincide con el factor de agotamiento de los manantiales:

$$Qf_i = Qf_{i-1} \cdot e^{-\alpha \Delta t} + K \cdot \frac{I}{\Delta t} \cdot S_{per} \cdot (1 - e^{-\alpha \Delta t}) \quad (7)$$

$$A_S = Q_f \Delta t \quad (8)$$

donde:

A_S , escorrentía que recibe el río procedente del desagüe de acuíferos

S_{per} , superficie permeable

K , factor que depende de las unidades consideradas. Para Q_f en l/s, I en mm, Δt en días (30 días) y S_{per} en km², este factor vale $3,858 \cdot 10^{-7}$

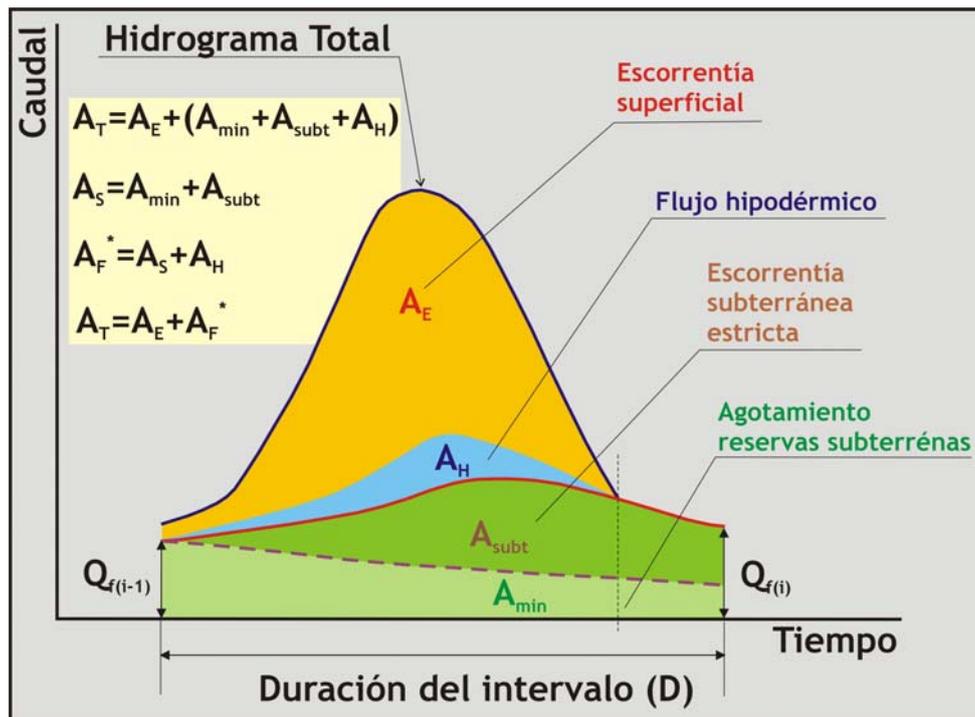


Figura 56. Componentes de la aportación en un intervalo de tiempo (modelo Temez modificado)

Se considera que la aportación subterránea se descompondría en dos componentes:

- Escorrentía subterránea (A_S)
- Escorrentía hipodérmica (A_H):

Si $A_S > A_F$, entonces $A_H = A_F - A_S$

Si $A_S = A_F$, entonces $A_H = 0$

Siendo A_F la aportación subterránea proporcionada por el método de Temez. Y por tanto, se define una escorrentía subterránea total (A_F^*):

$$A_F^* = A_S + A_H \quad (9)$$

donde:

A_S , es la aportación subterránea, cuyo cálculo se apoya en el propuesto por Temez y la fórmula de Maillet, y es la suma de la aportación subterránea mínima (A_{min}), procedente del agotamiento de las reservas, y la aportación subterránea estricta (A_{subt}), procedente del incremento de las reservas (I).

$$A_S = A_{\min} + A_{\text{subt}} \Rightarrow A_F^* = A_H + A_{\min} + A_{\text{subt}} \quad (11)$$

Para el cálculo de la escorrentía superficial estricta (A_E) se utiliza la siguiente expresión:

$$\text{Si } A_T > A_F^*, \text{ entonces } A_E = A_T - A_F^* = A_T - (A_S + A_H)$$

$$\text{Si } A_T \leq A_F^*, \text{ entonces } A_T = 0$$

Y en cualquier caso:

$$A_T = A_E + (A_S + A_H) \quad (12)$$

Estas escorrentías son específicas, por superficie de cuenca (S_T), de tal manera que para el cálculo de la aportación subterránea se utiliza sólo la superficie de materiales permeables (S_{per}), para el cálculo de la aportación hipodérmica la superficie impermeable (S_{imp}) y para la aportación superficial la totalidad de la superficie considerada ($S_T = S_{\text{per}} + S_{\text{imp}}$).

$$V_T = A_E \cdot S_T + A_S \cdot S_{\text{per}} + A_H \cdot S_{\text{imp}} \quad (13)$$

El modelo de Temez exige, para su aplicación, de una serie de datos de partida que corresponde a:

- Factor C , sirve para obtener el valor del umbral de precipitación P_0 a partir del déficit de humedad del suelo ($H_{\text{máx}} - H_{i-1}$), presenta valores próximos a 0,30.
- Coeficiente α , factor de agotamiento del acuífero a considerar en el cálculo de los caudales asociados a la escorrentía subterránea.
- Coeficiente β , está ligado al factor de agotamiento y toma valores comprendidos entre 0 y 1, si bien suele variar entre 0,60 y 0,80.

- $H_{m\acute{a}x}$ (mm), capacidad de retenci3n de humedad del suelo, aumentando de acuerdo con la coexistencia de circunstancias que facilitan la retenci3n superficial del agua.
- $I_{m\acute{a}x}$ (mm), m\acute{a}xima infiltraci3n posible, que no depende exclusivamente de las condiciones del terreno, sino de la intensidad y concentraci3n de las precipitaciones. Respecto a este par\ametro y al objeto de considerar el significativo contraste que existe en las cuencas simuladas entre los afloramientos permeables y los impermeables, y no considerando aspectos relacionados con la intensidad y concentraci3n de las precipitaciones, se procedi3 a contabilizar de forma diferenciada las superficies de las formaciones que constituyen los ac\ufeferos principales (S_{per}) de las superficies asociadas a los impermeables (S_{imp}), de forma que la $I_{m\acute{a}x}$ de una determinada cuenca o subcuenca se obtuvo como promedio ponderado de la infiltraci3n m\acute{a}xima en los ac\ufeferos (I_{aq}) y en los impermeables (I_{nq}), utilizando la siguiente expresi3n:

$$I_{m\acute{a}x} = \frac{(S_{per} I_{aq} + S_{imp} I_{nq})}{(S_{per} + S_{imp})} \quad (14)$$

6.8 CÁLCULO DE LA ESCORRENTÍA EN RÉGIMEN NATURAL

Para el cálculo de la escorrentía total en régimen natural se ha utilizado el modelo de precipitación-escorrentía de Temez, partiendo de los datos hidrometeorológicos presentados anteriormente y fijando las divisorias correspondientes a las diferentes subcuencas que componen el sistema hidrológico.

Para asignar los datos hidrometeorológicos a cada subcuenca definida se han utilizado los polígonos de Thiessen, definidos a partir de las estaciones de precipitación y temperatura que han sido consideradas en el estudio.

Utilizando los polígonos de Thiessen trazados (Figuras 57 y 58) se ha asignado a cada subcuenca definida el porcentaje de participación de cada estación hidrometeorológica considerada como el ratio entre la superficie de la intersección del polígono con la divisoria y la superficie total de la subcuenca (tabla 24).

La superficie total de la zona de estudio corresponde a 324.197 ha, de la que un 41,1% corresponden al río Genil (1.331,49 ha), un 47,2% al río Cubillas (1.529,73 ha) y el 11,7% restante al río Cacán (380,75 ha).

En la subcuenca de río Genil se han definido un total de 14 subcuencas, en el río Cubillas un total de 8 y 3 en el río Cacán. Estas subcuencas han sido definidas atendiendo a criterios hidrológicos, hidrogeológicos y en función de los datos de aforos disponibles (estaciones de aforos de la CHG y embalses).

Subcuencas		Estaciones INM																												Sup (ha)	
Código	Nombre	5101	5115	5501	5508	5511E	5517	6253	5406	5131	5254	5536	5544	5553	5579	5514	5502	5513	5515	5529	5538	5541	5559	5563	5574	5582	6250	5572	5569E		6378
1.0	Bajo Genil (Vega de Granada)																			0			660	7.558	1.678						9.896
1.0.0	Genil (Vega de Granada)				2.002											1.873		1	6.729	13.483	57	2.276	151	196						26.767	
1.1.0	Darro				6.393												1.211	2	699											8.305	
1.2.0	Genil (Sª Nevada)																1.535	862	345											2.741	
1.2.1	Alto Genil (Canales)	209		4.820		12.154											467													17.650	
1.2.2	Bajo Aguas Blancas			2.027	297												1.486													3.810	
1.2.3	Aguas Blancas-Los Padules	1.672		3.632	3																									5.307	
1.2.4	Alto Aguas Blancas (Quéntar)	2.270	691	1.283	585																									4.829	
1.3.0	Bajo Monachil			504		387	1.188									825	594	3.562	132											7.192	
1.3.1	Alto Monachil			323		2.833																								3.157	
1.4.0	Bajo Dílar						3.599									5.942		926									1.199			11.665	
1.4.1	Alto Dílar					2.243	2.234																							4.478	
1.5.0	Arroyo del Salado															2.277				1.470			4.749			3.455		1.221	13.172		
1.6.0	Arroyo del Noniles																			520			13.071	362			229		14.182		
2.0.0	Cubillas Bajo													2.218						2.412		3.632		2					8.264		
2.1.0	Arroyo del Charcón								79					7.140	2.739					253				1.548					11.759		
2.2.0	Bajo Veillios													8.409								384							8.793		
2.2.1	Alto Veillios								17.810	45		424	6.212	2.236															26.728		
2.3.0	Bajo Colomera												264	3.518							909	2.420							7.110		
2.3.1	Riód de Las Juntas (Emb.Colomera)								387	6.819		15.948	2.459																25.613		
2.4.0	Bermejo-Embalse Cubillas				2.668							57									4.259	3.244							10.228		
2.4.1	Cubillas-Deifontes		3.229							13.469	2.681	20.675	6.932								7.493								54.479		
3.0.0	Bajo Cacín																						1.506		3.425		664		5.595		
3.1.0	Alto Cacín (emb. Bermejales)																						68		2.422		3.297		5.787		
3.2.0	Cacín (Bermejales)																						199				9.897	12.250	4.347	26.693	
	Suma	4.151	3.920	12.588	11.948	17.617	7.020	0	18.276	13.469	9.545	20.732	23.568	29.956	4.975	10.917	5.293	5.352	7.904	18.139	12.717	11.955	20.403	9.667	7.524	0	4.655	14.087	13.471	4.347	324.197
	% respecto Superf. total	1,28%	1,21%	3,88%	3,69%	5,43%	2,17%	0,00%	5,64%	4,15%	2,94%	6,39%	7,27%	9,24%	1,53%	3,37%	1,63%	1,65%	2,44%	5,59%	3,92%	3,69%	6,29%	2,98%	2,32%	0,00%	1,44%	4,35%	4,16%	1,34%	

Tabla 24. Reparto superficial de los polígonos de Thiessen en las subcuencas definidas (precipitaciones)

Código	Subcuencas Nombre	Estaciones INM														Sup (ha)
		5514	5403	5406E	5511E	5530E	5536I	5541	5545E	5562E	5562O	5572	5578U	6249	6258	
1.0	Bajo Genil (Vega de Granada)					96				841	8.960					9.896
1.0.0	Genil (Vega de Granada)	8.152				10.668		7.916		4	28					26.767
1.1.0	Darro	3.493			966		1.548	2.297								8.305
1.2.0	Genil (Sª Nevada)	2.120			622											2.741
1.2.1	Alto Genil (Canales)				17.659											17.650
1.2.2	Bajo Aguas Blancas	478			3.333											3.810
1.2.3	Aguas Blancas-Los Padules				5.301											5.307
1.2.4	Alto Aguas Blancas (Quéntar)				4.118		710									4.829
1.3.0	Bajo Monachil	3.989			3.201										3	7.192
1.3.1	Alto Monachil				3.158											3.157
1.4.0	Bajo Dílar	7.960													3.705	11.665
1.4.1	Alto Dílar	10			3.549										920	4.478
1.5.0	Arroyo del Salado	2.555				1.581						102			8.934	13.172
1.6.0	Arroyo del Noniles	0				5.375					1.174	7.109			525	14.182
2.0.0	Cubillas Bajo					2.939		3.672		1.654						8.264
2.1.0	Arroyo del Charcón					239			516	10.151				853		11.759
2.2.0	Bajo Veillos					66		1.774	6.037	916						8.793
2.2.1	Alto Veillos		412	16.694					5.818	264				3.540		26.728
2.3.0	Bajo Colomera						61	1.636	5.414							7.110
2.3.1	Riú de Las Juntas (Emb.Colomera)			3.150			10.880		11.578							25.613
2.4.0	Bermejo-Embalse Cubillas						2.056	7.611	561							10.228
2.4.1	Cubillas-Deifontes						53.237	721	513							54.479
3.0.0	Bajo Cacín										3.028	2.567				5.595
3.1.0	Alto Cacín (emb. Bermejales)										259	5.528				5.787
3.2.0	Cacín (Bermejales)											24.278		2.411		26.693
	Suma	28.757	412	19.844	41.906	20.963	68.491	25.626	30.437	13.829	13.448	39.583	4.393	16.498	0	324.197
	% respecto Superf. total	8,87%	0,13%	6,12%	12,93%	6,47%	21,13%	7,90%	9,39%	4,27%	4,15%	12,21%	1,36%	5,09%	0,00%	

Tabla 25. Reparto superficial de los polígonos de Thiessen en las subcuencas definidas (temperaturas)

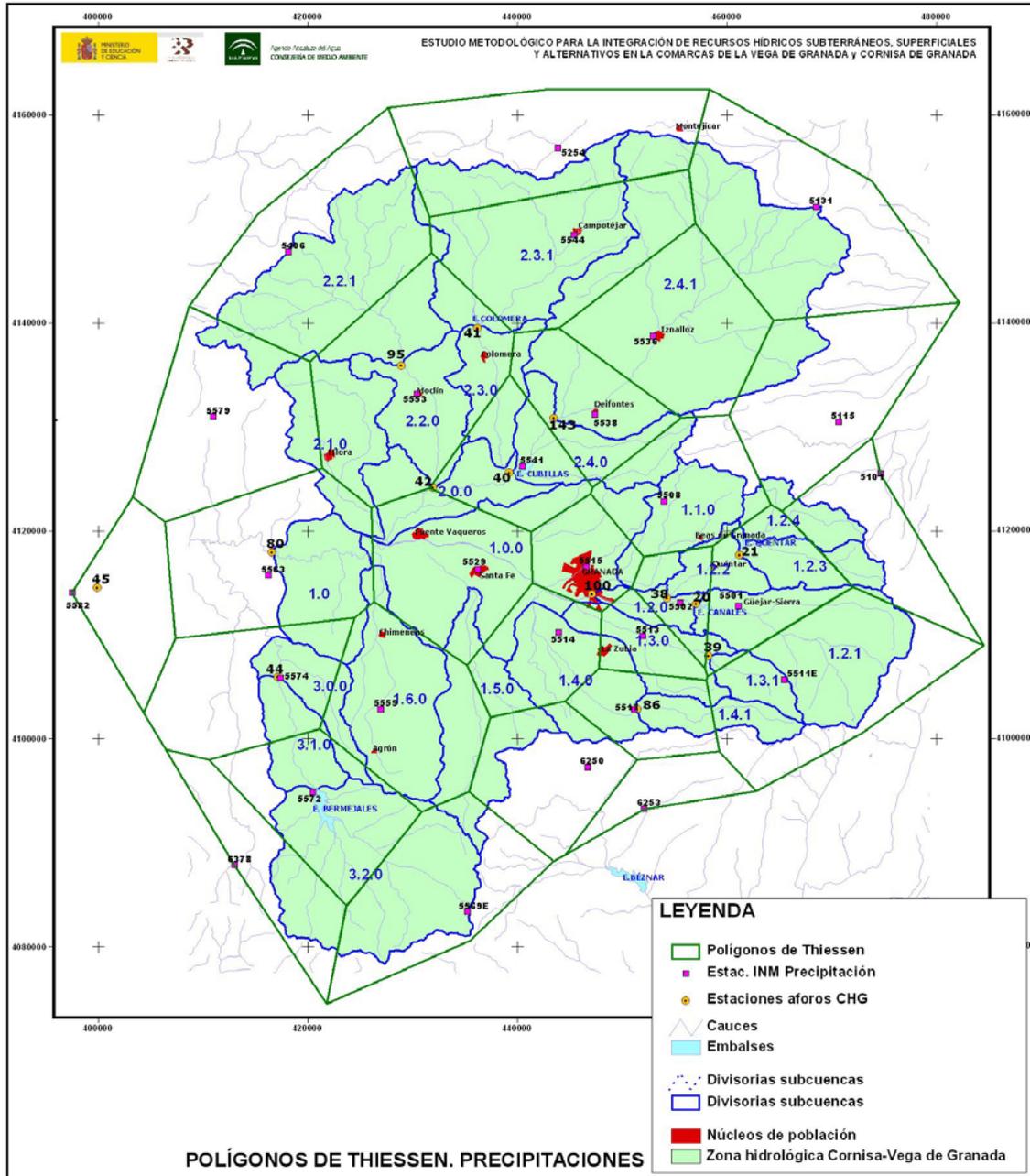


Figura 57. Polígonos de Thiessen utilizados para fijar las precipitaciones



Figura 58. Polígonos de Thiessen utilizados para fijar las temperaturas

Para el cálculo de la aportación se ha utilizado el método de Temez modificado (ver apartado 6.7.1), para el que es necesario definir la superficie de la subcuencas que corresponde a formaciones permeables (afloramientos de acuíferos) y a formaciones impermeables (tabla 26).

NOMBRE	NÚMERO	SUBCUENCA	Perímetro (m)	Área (ha)	Sup. Impermeable (ha)	Sup. permeable (ha)	Sup. (ha)
Bajo Genil (Vega de Granada)	1.0	Genil	43.200	9.896	9.237	659	9.896
Genil (Vega de Granada)	1.0.0	Genil	101.677	26.767	13.891	12.876	26.767
Darro	1.1.0	Genil	47.117	8.305	4.183	4.122	8.305
Genil (Sª Nevada)	1.2.0	Genil	29.947	2.741	2.512	229	2.741
Alto Genil (Canales)	1.2.1	Genil	63.622	17.659	15.618	2.040	17.659
Bajo Aguas Blancas	1.2.2	Genil	33.589	3.810	2.795	1.015	3.810
Aguas Blancas-Los Padules	1.2.3	Genil	40.974	5.301	2.908	2.393	5.301
Alto Aguas Blancas (Quéntar)	1.2.4	Genil	37.269	4.827	934	3.893	4.827
Bajo Monachil	1.3.0	Genil	50.515	7.192	2.261	4.931	7.192
Alto Monachil	1.3.1	Genil	27.324	3.158	2.409	749	3.158
Bajo Dílar	1.4.0	Genil	47.011	11.665	7.734	3.931	11.665
Alto Dílar	1.4.1	Genil	39.980	4.479	2.701	1.777	4.479
Arroyo del Salado	1.5.0	Genil	73.964	13.172	10.236	2.936	13.172
Arroyo del Noniles	1.6.0	Genil	61.413	14.182	11.976	2.207	14.182
Cubillas Bajo	2.0.0	Cubillas	63.790	8.264	5.158	3.106	8.264
Arroyo del Charcón	2.1.0	Cubillas	61.172	11.759	8.759	3.000	11.759
Bajo Velillos	2.2.0	Cubillas	56.843	8.793	6.443	2.349	8.793
Alto Velillos	2.2.1	Cubillas	91.878	26.728	26.728	0	26.728
Bajo Colomera	2.3.0	Cubillas	47.505	7.110	5.588	1.522	7.110
Riód de Las Juntas (Emb.Colomera)	2.3.1	Cubillas	86.763	25.607	21.424	4.184	25.607
Bermejo-Embalse Cubillas	2.4.0	Cubillas	59.134	10.228	8.879	1.350	10.228
Cubillas-Deifontes	2.4.1	Cubillas	117.761	54.471	36.851	17.620	54.471
Bajo Cacín	3.0.0	Cacín	44.630	5.595	5.595	0	5.595
Alto Cacín (emb. Bermejales)	3.1.0	Cacín	34.414	5.787	5.787	0	5.787
Cacín (Bermejales)	3.2.0	Cacín	73.301	26.689	7.717	18.972	26.689

Tabla 26. Superficie permeable en subcuencas definidas

Para definir las superficies permeables ha sido necesario trazar los afloramientos de los acuíferos del sistema Cornisa-Vega de Granada (Figura 59), utilizando para ello los mapas MAGNA 1:50.000 y la información de cartografía hidrogeológica contenida en el Atlas Hidrogeológico de Granada.

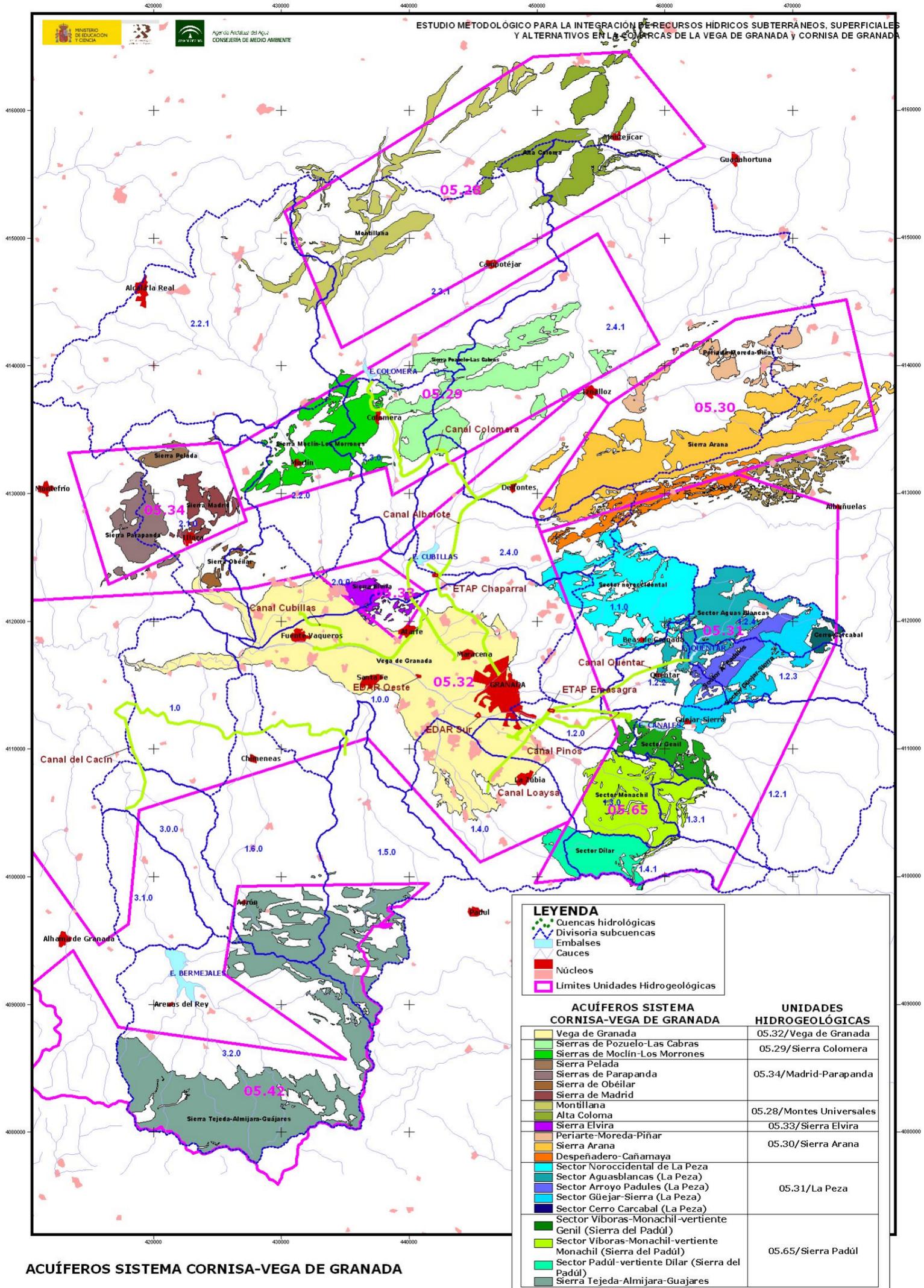


Figura 59. Acuíferos del Sistema Cornisa-Vega de Granada

Una vez determinadas las superficies permeables se ha procedido a definir los parámetros del modelo de Temez para cada subcuenca simulada (tabla 27), utilizando como elemento de calibración las series de datos foronómicos de las estaciones de la CHG y los registros de escorrentías que alcanzan los embalses (Quéntar, Canales, Colomera y Bermejales, ya que el embalse de Cubillas presenta una aportación modificada por el túnel desvío de avenidas que se construyó para limitar la aportación de finos al embalse).

SUBCUENCAS		Superficie (km ²)	Superficie permeable (km ²)	Superficie impermeable (km ²)	α (días ⁻¹)	H _{max} (mm/mes)	I _{max} (mm/mes)	C	H _o (mm)	Q _o (l/s)
1.0	Bajo Genil (Vega de Granada)	98,96	6,59	92,37	0,0045	213	412	0,35	0,00	51
1.0.0	Genil (Vega de Granada)	267,67	128,76	138,91	0,0017	239	313	0,48	0,00	1.004
1.1.0	Darro	83,05	41,22	41,83	0,0045	200	400	0,35	0,00	322
1.2.0	Genil (S ^a Nevada)	27,41	2,29	25,12	0,0035	150	500	0,30	0,00	18
1.2.1	Alto Genil (Canales)	176,59	20,40	156,18	0,0035	150	500	0,30	0,00	159
1.2.2	Bajo Aguas Blancas	38,10	10,15	27,95	0,0045	150	500	0,30	0,00	79
1.2.3	Aguas Blancas-Los Padules	53,01	23,93	29,08	0,0040	150	500	0,30	0,00	187
1.2.4	Alto Aguas Blancas (Quéntar)	48,27	38,93	9,34	0,0042	150	500	0,30	0,00	304
1.3.0	Bajo Monachil	71,92	49,31	22,61	0,0030	177	445	0,35	0,00	385
1.3.1	Alto Monachil	31,58	7,49	24,09	0,0035	150	500	0,30	0,00	58
1.4.0	Bajo Dílar	116,65	39,31	77,34	0,0018	237	326	0,47	0,00	307
1.4.1	Alto Dílar	44,79	17,77	27,01	0,0035	150	500	0,30	0,00	139
1.5.0	Arroyo del Salado	131,72	29,36	102,36	0,0015	250	300	0,50	0,00	229
1.6.0	Arroyo del Noniles	141,82	22,07	119,76	0,0015	250	300	0,50	0,00	172
2.0.0	Cubillas Bajo	82,64	31,06	51,58	0,0015	250	300	0,50	0,00	242
2.1.0	Arroyo del Charcón	117,59	30,00	87,59	0,0056	212	383	0,38	0,00	300
2.2.0	Bajo Velillos	87,93	23,49	64,43	0,0065	250	450	0,35	0,00	183
2.2.1	Alto Velillos	267,28	0,00	267,28	0,0085	200	100	0,30	0,00	0
2.3.0	Bajo Colomera	71,10	15,22	55,88	0,0065	250	450	0,35	0,00	119
2.3.1	Río de Las Juntas (Emb.Colomera)	256,07	41,84	214,24	0,0065	250	467	0,35	0,00	326
2.4.0	Bermejo-Embalse Cubillas	102,28	13,50	88,79	0,0050	148	452	0,32	0,00	105
2.4.1	Cubillas-Deifontes	544,71	176,20	368,51	0,0037	164	527	0,33	0,00	1.374
3.0.0	Bajo Cacin	55,95	0,00	55,95	0,0085	200	100	0,30	0,00	0
3.1.0	Alto Cacin (emb. Bermejales)	57,87	0,00	57,87	0,0085	200	100	0,30	0,00	0
3.2.0	Cacin (Bermejales)	266,89	189,72	77,17	0,0035	156	494	0,31	0,00	949
Sistema Cornisa-Vega de Granada		3.241,85	958,62	2.283,23	0,0043	199	396	0,36	0,00	512

Tabla 27. *Parámetros modelo de Temez sistema Cornisa-Vega de Granada*

Una vez definidos los parámetros del modelo de Temez para cada subcuenca se ha calculado la escorrentía total que registra cada subcuenca en régimen natural, segregando la componente superficial y la subterránea (tabla 28).

Así, para el conjunto del sistema se ha determinado una escorrentía total de 569,34 hm³/a como valor promedio, de la que un 68,4% (389,50 hm³/a) corresponde a escorrentía superficial estricta y el 31,6% restante a escorrentía subterránea (179,84 hm³).

SUBCUENCAS		Escorrentía subterránea (hm ³ /a)	Escorrentía superficial (hm ³ /a)	Escorrentía Total (hm ³ /a)
1.0	Bajo Genil (Vega de Granada)	0,39	5,91	6,30
1.0.0	Genil (Vega de Granada)	30,99	39,75	70,75
1.1.0	Darro	10,25	13,69	23,93
1.2.0	Genil (S ^a Nevada)	0,00	4,05	4,05
1.2.1	Alto Genil (Canales)	11,99	62,92	74,90
1.2.2	Bajo Aguas Blancas	1,25	9,16	10,41
1.2.3	Aguas Blancas-Los Padules	4,38	9,50	13,89
1.2.4	Alto Aguas Blancas (Quéntar)	5,76	3,77	9,53
1.3.0	Bajo Monachil	6,21	3,95	10,16
1.3.1	Alto Monachil	0,00	10,80	10,80
1.4.0	Bajo Dílar	5,36	3,98	9,34
1.4.1	Alto Dílar	0,00	10,01	10,01
1.5.0	Arroyo del Salado	1,00	3,23	4,24
1.6.0	Arroyo del Noniles	0,58	2,42	3,00
2.0.0	Cubillas Bajo	0,00	3,20	3,20
2.1.0	Arroyo del Charcón	2,72	12,61	15,32
2.2.0	Bajo Velillos	2,50	8,15	10,66
2.2.1	Alto Velillos	0,00	32,85	32,85
2.3.0	Bajo Colomera	1,34	5,65	7,00
2.3.1	Riód de Las Juntas (Emb.Colomera)	5,30	27,16	32,45
2.4.0	Bermejo-Embalse Cubillas	2,30	17,76	20,05
2.4.1	Cubillas-Deifontes	45,59	63,00	108,59
3.0.0	Bajo Cacín	0,00	2,79	2,79
3.1.0	Alto Cacín (emb. Bermejales)	0,00	3,08	3,08
3.2.0	Cacín (Bermejales)	41,93	30,12	72,05
SUMA		179,84	389,50	569,34

Tabla 28. *Escorrentía total, superficial y subterránea calculada mediante el modelo de Temez modificado para el Sistema Cornisa-vega de Granada*

En las tablas 29 a 31 se presenta la distribución mensual de la escorrentía total calculada mediante el modelo P-E de Temez desarrollado, así como la correspondiente distribución de las escorrentías superficial y subterránea. Estos datos se muestran gráficamente en la Figura 60.

SUBCUENCAS	ESCORRENTÍA TOTAL (hm³/mes)												ANUAL (hm³/a)
	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	
1.0 Bajo Genil (Vega de Granada)	0,14	0,18	0,75	1,01	1,32	1,30	0,80	0,65	0,06	0,03	0,03	0,03	6,30
1.0.0 Genil (Vega de Granada)	2,60	3,51	5,97	8,74	11,61	10,86	9,96	6,52	3,15	2,73	2,60	2,48	70,75
1.1.0 Darro	0,92	1,42	2,25	2,95	3,79	3,55	3,29	2,21	1,13	0,90	0,79	0,73	23,93
1.2.0 Genil (Sª Nevada)	0,18	0,27	0,53	0,63	0,75	0,77	0,56	0,32	0,02	0,00	0,00	0,01	4,05
1.2.1 Alto Genil (Canales)	3,90	7,17	8,15	6,35	7,42	9,42	10,36	10,23	6,71	2,47	1,40	1,31	74,90
1.2.2 Bajo Aguas Blancas	0,34	0,69	1,26	1,57	1,78	1,77	1,53	0,94	0,22	0,11	0,10	0,10	10,41
1.2.3 Aguas Blancas-Los Padules	0,51	0,85	1,51	1,87	2,14	2,16	1,93	1,33	0,54	0,39	0,34	0,31	13,89
1.2.4 Alto Aguas Blancas (Quéntar)	0,44	0,54	0,86	1,07	1,29	1,27	1,17	0,91	0,61	0,52	0,45	0,40	9,53
1.3.0 Bajo Monachil	0,54	0,62	0,85	1,03	1,26	1,40	1,25	1,03	0,64	0,56	0,51	0,47	10,16
1.3.1 Alto Monachil	0,59	1,17	1,22	0,73	0,88	1,28	1,52	1,67	1,20	0,34	0,10	0,10	10,80
1.4.0 Bajo Dílar	0,39	0,47	0,75	1,04	1,33	1,36	1,14	0,99	0,52	0,49	0,45	0,41	9,34
1.4.1 Alto Dílar	0,44	0,94	1,31	1,08	1,22	1,53	1,43	1,27	0,61	0,12	0,03	0,04	10,01
1.5.0 Arroyo del Salado	0,08	0,14	0,47	0,78	0,74	0,70	0,56	0,43	0,09	0,08	0,08	0,08	4,24
1.6.0 Arroyo del Noniles	0,05	0,09	0,35	0,53	0,64	0,58	0,28	0,29	0,05	0,05	0,05	0,04	3,00
2.0.0 Cubillas Bajo	0,01	0,04	0,34	0,53	0,76	0,65	0,51	0,34	0,02	0,00	0,00	0,00	3,20
2.1.0 Arroyo del Charcón	0,35	0,65	1,91	2,61	2,94	2,64	1,84	1,37	0,39	0,24	0,20	0,18	15,32
2.2.0 Bajo Velillos	0,23	0,45	1,14	1,73	1,90	1,75	1,32	1,13	0,43	0,23	0,19	0,16	10,66
2.2.1 Alto Velillos	0,77	1,57	4,85	5,48	6,83	5,76	4,43	2,87	0,28	0,00	0,00	0,01	32,85
2.3.0 Bajo Colomera	0,15	0,26	0,79	1,06	1,33	1,17	0,96	0,74	0,23	0,12	0,10	0,09	7,00
2.3.1 Río de Las Juntas (Emb.Colomera)	0,62	1,19	4,16	5,02	7,18	5,67	3,64	3,06	0,72	0,46	0,38	0,34	32,45
2.4.0 Bermejo-Embalse Cubillas	0,76	1,37	2,68	3,04	3,64	3,16	2,86	1,58	0,39	0,20	0,17	0,21	20,05
2.4.1 Cubillas-Deifontes	5,20	6,60	14,13	13,76	16,73	15,98	11,93	8,75	4,55	3,88	3,60	3,49	108,59
3.0.0 Bajo Cacin	0,08	0,13	0,43	0,54	0,58	0,43	0,37	0,23	0,01	0,00	0,00	0,01	2,79
3.1.0 Alto Cacin (emb. Bermejales)	0,11	0,18	0,44	0,65	0,57	0,50	0,41	0,21	0,01	0,00	0,00	0,00	3,08
3.2.0 Cacin (Bermejales)	3,93	5,90	9,41	9,63	8,64	8,44	7,14	5,36	3,99	3,53	3,18	2,93	72,05
Sistema Cornisa-Vega de Granada	23,32	36,40	66,52	73,43	87,26	84,11	71,19	54,42	26,59	17,45	14,74	13,91	569,34

Tabla 29. Escorrentía total simulada mediante el modelo de Temez. Sistema Cornisa-Vega de Granada

SUBCUENCAS		ESCORRENTÍA SUPERFICIAL (hm ³ /mes)											ANUAL (hm ³ /a)	
		oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago		sep
1.0	Bajo Genil (Vega de Granada)	0,11	0,16	0,73	0,98	1,28	1,26	0,76	0,61	0,02	0,00	0,00	0,00	5,91
1.0.0	Genil (Vega de Granada)	0,22	1,21	3,68	6,38	9,09	8,16	7,11	3,60	0,29	0,00	0,00	0,01	39,75
1.1.0	Darro	0,26	0,77	1,55	2,17	2,90	2,56	2,22	1,12	0,12	0,00	0,00	0,02	13,69
1.2.0	Genil (S ^a Nevada)	0,18	0,27	0,53	0,63	0,75	0,77	0,56	0,32	0,02	0,00	0,00	0,01	4,05
1.2.1	Alto Genil (Canales)	3,06	6,34	7,28	5,44	6,44	8,36	9,23	9,04	5,54	1,37	0,40	0,41	62,92
1.2.2	Bajo Aguas Blancas	0,27	0,61	1,18	1,47	1,67	1,65	1,40	0,80	0,09	0,00	0,00	0,02	9,16
1.2.3	Aguas Blancas-Los Padules	0,24	0,59	1,22	1,54	1,77	1,73	1,47	0,85	0,09	0,00	0,00	0,01	9,50
1.2.4	Alto Aguas Blancas (Quéntar)	0,08	0,19	0,48	0,65	0,80	0,71	0,55	0,28	0,03	0,00	0,00	0,00	3,77
1.3.0	Bajo Monachil	0,10	0,19	0,42	0,57	0,76	0,84	0,64	0,40	0,03	0,00	0,00	0,00	3,95
1.3.1	Alto Monachil	0,59	1,17	1,22	0,73	0,88	1,28	1,52	1,67	1,20	0,34	0,10	0,10	10,80
1.4.0	Bajo Dílar	0,01	0,09	0,35	0,63	0,89	0,90	0,64	0,46	0,00	0,00	0,00	0,00	3,98
1.4.1	Alto Dílar	0,44	0,94	1,31	1,08	1,22	1,53	1,43	1,27	0,61	0,12	0,03	0,04	10,01
1.5.0	Arroyo del Salado	0,00	0,06	0,39	0,69	0,66	0,62	0,47	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	3,23
1.6.0	Arroyo del Noniles	0,00	0,04	0,30	0,48	0,59	0,53	0,23	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	2,42
2.0.0	Cubillas Bajo	0,01	0,04	0,34	0,53	0,76	0,65	0,51	0,34	0,02	0,00	0,00	0,00	3,20
2.1.0	Arroyo del Charcón	0,19	0,50	1,75	2,41	2,69	2,35	1,53	1,06	0,12	0,00	0,00	0,01	12,61
2.2.0	Bajo Velillos	0,09	0,33	1,00	1,55	1,67	1,48	1,03	0,83	0,16	0,00	0,00	0,01	8,15
2.2.1	Alto Velillos	0,77	1,57	4,85	5,48	6,83	5,76	4,43	2,87	0,28	0,00	0,00	0,01	32,85
2.3.0	Bajo Colomera	0,08	0,20	0,71	0,97	1,21	1,03	0,80	0,58	0,08	0,00	0,00	0,00	5,65
2.3.1	Río de Las Juntas (Emb.Colomera)	0,34	0,94	3,87	4,64	6,68	5,07	3,01	2,44	0,16	0,00	0,00	0,02	27,16
2.4.0	Bermejo-Embalse Cubillas	0,62	1,23	2,53	2,86	3,44	2,93	2,61	1,32	0,16	0,00	0,00	0,06	17,76
2.4.1	Cubillas-Deifontes	1,95	3,38	10,74	10,09	12,76	11,71	7,51	4,36	0,37	0,00	0,00	0,12	63,00
3.0.0	Bajo Cacán	0,08	0,13	0,43	0,54	0,58	0,43	0,37	0,23	0,01	0,00	0,00	0,01	2,79
3.1.0	Alto Cacán (emb. Bermejales)	0,11	0,18	0,44	0,65	0,57	0,50	0,41	0,21	0,01	0,00	0,00	0,00	3,08
3.2.0	Cacán (Bermejales)	1,25	3,14	6,33	6,14	4,81	4,31	2,86	1,15	0,08	0,00	0,00	0,06	30,12
Sistema Cornisa-Vega de Granada		11,04	24,27	53,65	59,28	71,69	67,11	53,26	36,41	9,49	1,83	0,53	0,93	389,50

Tabla 30. Escorrentía superficial simulada mediante el modelo de Temez. Sistema Cornisa-Vega de Granada

SUBCUENCAS	ESCORRENTÍA SUBTERRÁNEA (hm ³ /mes)												ANNUAL (hm ³ /a)
	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	
1.0 Bajo Genil (Vega de Granada)	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,39
1.0.0 Genil (Vega de Granada)	2,38	2,30	2,29	2,37	2,52	2,70	2,85	2,93	2,87	2,73	2,60	2,47	30,99
1.1.0 Darro	0,66	0,65	0,70	0,78	0,89	1,00	1,07	1,09	1,02	0,90	0,79	0,71	10,25
1.2.0 Genil (S ^a Nevada)	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
1.2.1 Alto Genil (Canales)	0,84	0,83	0,87	0,92	0,98	1,05	1,13	1,19	1,17	1,10	1,00	0,90	11,99
1.2.2 Bajo Aguas Blancas	0,08	0,08	0,08	0,09	0,11	0,12	0,13	0,14	0,13	0,11	0,10	0,09	1,25
1.2.3 Aguas Blancas-Los Padules	0,27	0,26	0,28	0,33	0,38	0,43	0,47	0,48	0,45	0,39	0,34	0,30	4,38
1.2.4 Alto Aguas Blancas (Quéntar)	0,36	0,35	0,37	0,43	0,49	0,56	0,61	0,63	0,58	0,52	0,45	0,40	5,76
1.3.0 Bajo Monachil	0,44	0,43	0,44	0,46	0,50	0,56	0,61	0,63	0,60	0,56	0,51	0,47	6,21
1.3.1 Alto Monachil	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
1.4.0 Bajo Dílar	0,38	0,38	0,39	0,41	0,44	0,47	0,50	0,52	0,52	0,49	0,45	0,41	5,36
1.4.1 Alto Dílar	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
1.5.0 Arroyo del Salado	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	1,00
1.6.0 Arroyo del Noniles	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,58
2.0.0 Cubillas Bajo	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
2.1.0 Arroyo del Charcón	0,16	0,15	0,16	0,21	0,25	0,29	0,31	0,31	0,28	0,24	0,20	0,17	2,72
2.2.0 Bajo Velillos	0,13	0,12	0,14	0,18	0,23	0,27	0,29	0,29	0,27	0,23	0,19	0,15	2,50
2.2.1 Alto Velillos	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
2.3.0 Bajo Colomera	0,07	0,07	0,07	0,10	0,12	0,15	0,16	0,16	0,15	0,12	0,10	0,08	1,34
2.3.1 Río de Las Juntas (Emb.Colomera)	0,28	0,25	0,29	0,38	0,50	0,60	0,64	0,63	0,56	0,46	0,38	0,32	5,30
2.4.0 Bermejo-Embalse Cubillas	0,14	0,14	0,15	0,18	0,21	0,23	0,25	0,25	0,23	0,20	0,17	0,15	2,30
2.4.1 Cubillas-Deifontes	3,25	3,22	3,38	3,67	3,97	4,26	4,42	4,39	4,18	3,88	3,60	3,37	45,59
3.0.0 Bajo Cacín	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
3.1.0 Alto Cacín (emb. Bermejales)	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
3.2.0 Cacín (Bermejales)	2,67	2,76	3,09	3,49	3,83	4,12	4,29	4,21	3,91	3,53	3,18	2,87	41,93
Sistema Cornisa-Vega de Granada	12,27	12,13	12,86	14,15	15,57	17,00	17,92	18,02	17,10	15,62	14,21	12,99	179,84

Tabla 31. *Escorrentía subterránea simulada mediante el modelo de Temez. Sistema Cornisa-Vega de Granada*

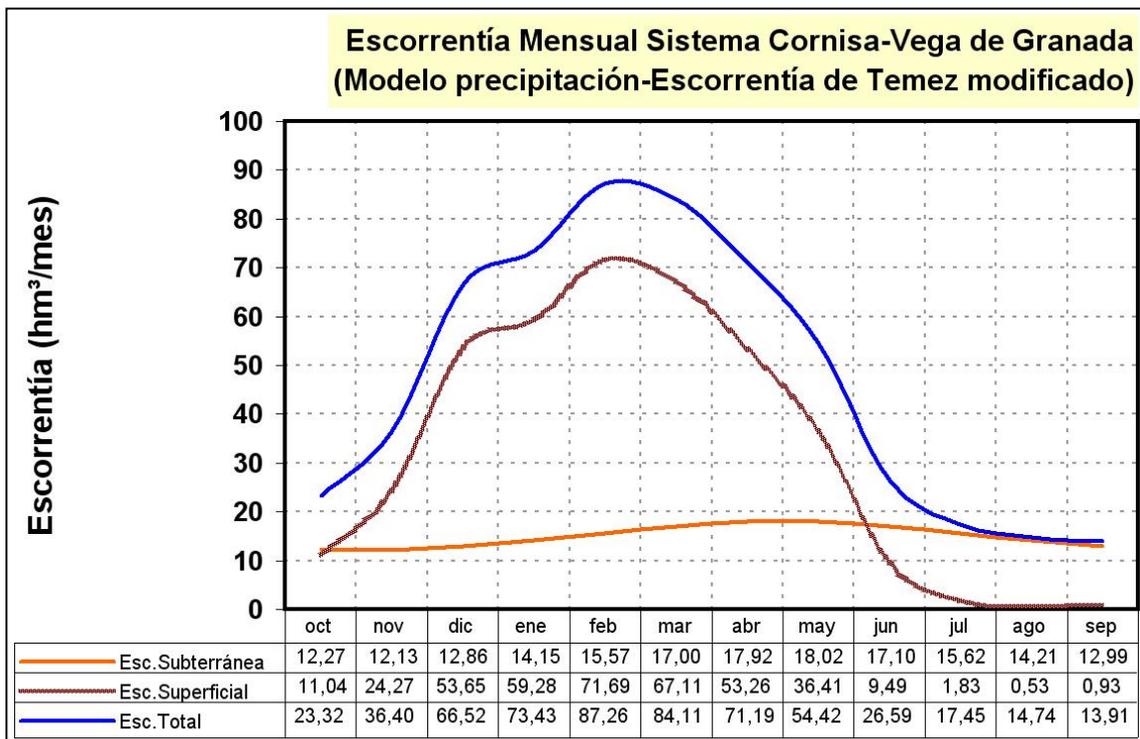


Figura 60. Escorrentía mensual promedio del Sistema Cornisa-Vega de Granada

Analizando la serie hidrológica generada mediante el modelo de Temez para el conjunto del Sistema Cornisa-Vega de Granada mediante ajuste de la función de Goodrich, se obtiene que la escorrentía para el año tipo Medio ascendería a 552,24 hm³, para el año tipo Seco a 222,57 hm³ y para el año tipo Húmedo a 1.002,35 hm³ (tabla 32).

Sistema Cornisa-Vega de Granada Escorrentía Total	SECO (hm ³ /a)	MEDIO (hm ³ /a)	HÚMEDO (hm ³ /a)
Mínimo	43,14	338,62	774,77
Cuartil 25%	151,79	421,37	902,67
Promedio	222,57	552,24	1.002,35
Mediana (más probable)	241,86	548,48	940,06
Cuartil 75%	290,54	659,65	1.107,13
Desv.Estándar	85,41	127,93	178,65
Coef. Variac.	2,61	4,32	5,61

Tabla 32. Escorrentía Total Sistema Cornisa-Vega de Granada (Años Tipo)

La demanda consuntiva total del Sistema Cornisa-Vega de Granada se ha determinado en 414,60 hm³/a, estimándose que esta aumentará a 479,73 hm³/a, como consecuencia del desarrollo urbanístico del área metropolitana de Granada. Atendiendo a las cifras correspondientes a la serie hidrológica generada correspondiente al periodo 1951–2004, en un 37% de los años, la escorrentía total es inferior a la cifra de demanda actual, porcentaje que asciende a un 42,6% si se considera la demanda futura. Estos datos justifican que haya sido necesaria la implantación de elementos de regulación en el sistema, más aún si se analizan los datos mensuales.

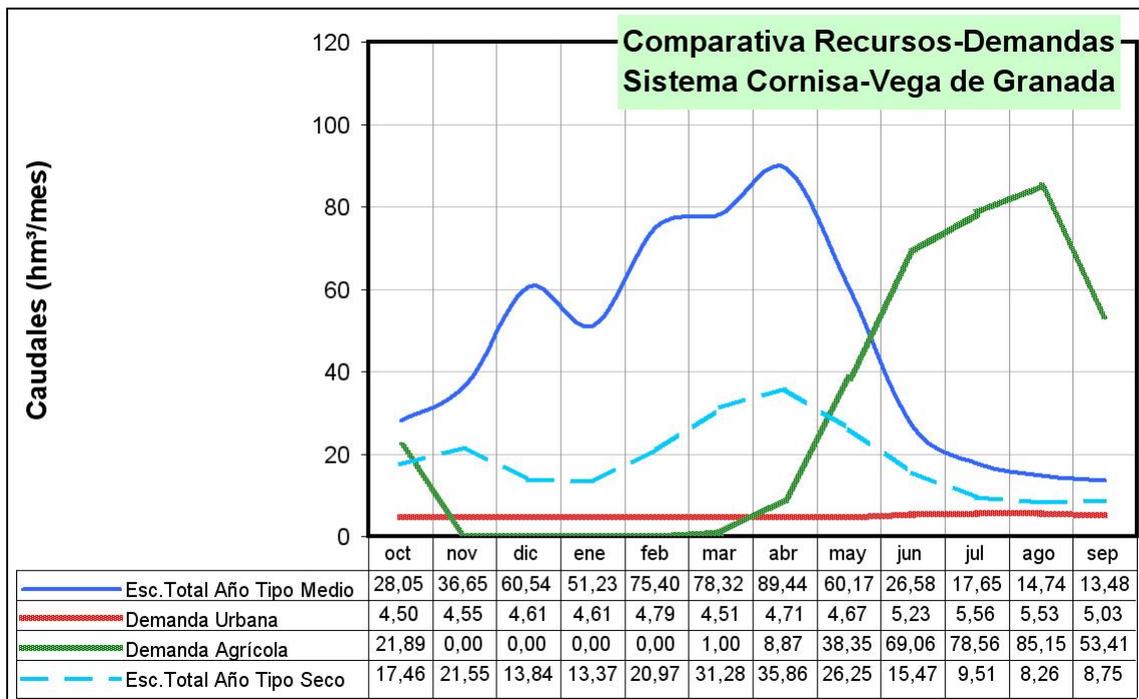


Figura 61. Comparativa escorrentía total (año tipo Seco) y demandas consuntivas. Sistema Cornisa-Vega de Granada

Analizando la componente subterránea que se obtiene por aplicación del modelo P-E de Temez, se determina que para el año tipo medio la descarga de los acuíferos asociados al sistema Cornisa-Vega de Granada asciende a 179,81 hm³, para el año Tipo Seco a 99,86 hm³ y para el año Tipo Húmedo a 267,15 hm³.

Sistema Cornisa-Vega de Granada Escorrentía Subterránea	SECO (hm ³ /a)	MEDIO (hm ³ /a)	HÚMEDO (hm ³ /a)
Minimo	36,25	137,17	223,87
Cuartil 25%	67,55	156,95	240,31
Promedio	99,86	179,81	267,15
Mediana (mas probable)	113,91	179,20	247,97
Cuartil 75%	129,82	207,39	293,58
Desv.Estándar	34,04	28,00	37,28
Coef. Variac.	2,93	6,42	7,17

Tabla 33. Escorrentía Subterránea Sistema Cornisa-Vega de Granada (Años Tipo)

En la Figura 62 se muestra la comparativa mensual de la escorrentía subterránea determinada mediante el modelo de Temez y las demandas consuntivas urbanas y agrícolas. Se observa como en años tipo seco, la escorrentía subterránea sería suficiente para dotar el sistema de abastecimiento urbano, pero muy insuficiente para dotar las demandas agrícolas, que exigen de regulación de los recursos superficiales.

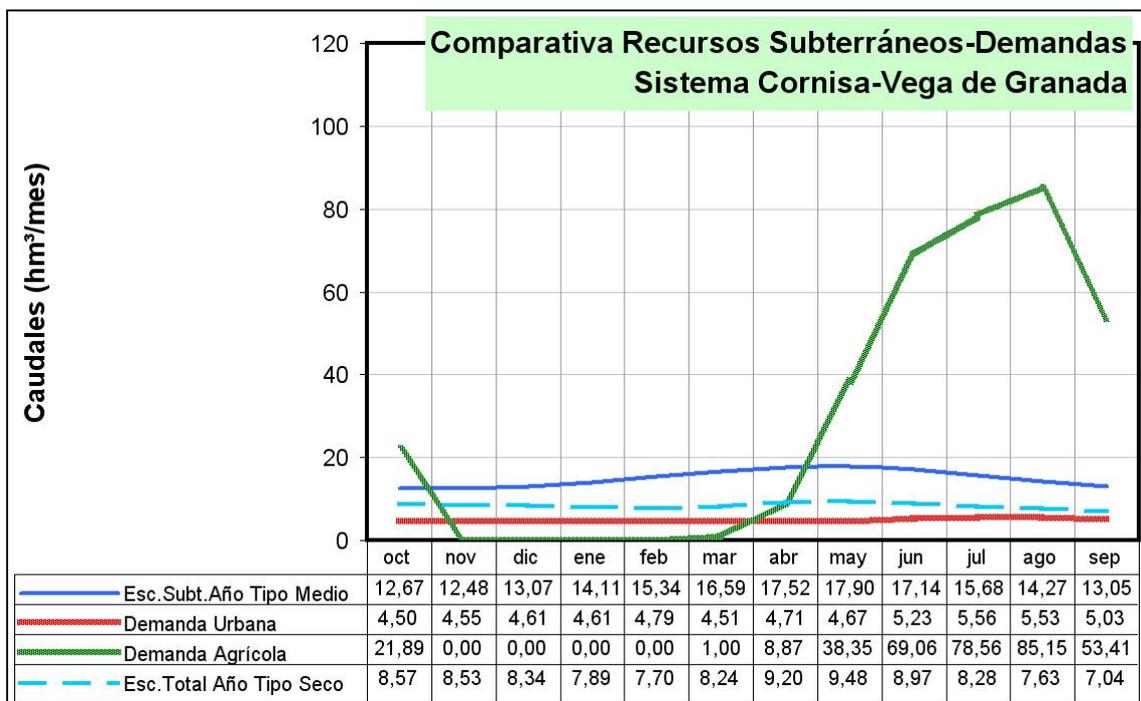


Figura 62. Comparativa escorrentía subterránea (año tipo Seco) y demandas consuntivas. Sistema Cornisa-Vega de Granada

6.9 GENERACIÓN Y CALIBRACIÓN DE LAS SERIES DE ESCORRENTÍA EN RÉGIMEN NATURAL

Para la calibración de las series de escorrentía total del sistema generadas mediante el modelo de Temez se han utilizado datos foronómicos, correspondientes a las estaciones de aforo de la CHG, y datos de embalses del sistema referentes a las aportaciones que éstos registran.

Así, para la calibración del modelo de Temez se han utilizado los siguientes puntos de control (Figura 65):

- Embalse de Quéntar (E-21).
- Embalse de Canales (E-20).
- Embalse de Los Bermejales.
- Embalse de Colomera (E-41).
- Estación aforos Bajo Velillos (E-42).
- Estación aforos E-95 Velillos.
- E-143 Manantial Deifontes.

El resto de estaciones de aforos de la CHG no han sido utilizadas bien por la deficiencia de los datos (E-39, E-86) o bien porque se trata de estaciones de aforos que registran caudales en régimen influenciado (E-40, E-38, E-44, E-100 y E-80).

La bondad del ajuste entre la serie generada y la serie hidrométrica real se ha establecido en función del coeficiente de correlación mensual y anual que presentan ambas series de datos. Así, en la correlación de las series mensuales se obtienen resultados aceptables para las estaciones E-21 (E. Quéntar), E-41 (E. Colomera), E-42 (Bajo velillos), E-44b (E. Bermejales), E-95 (Velillos) y E-143 (M. Deifontes) (Figura 63).

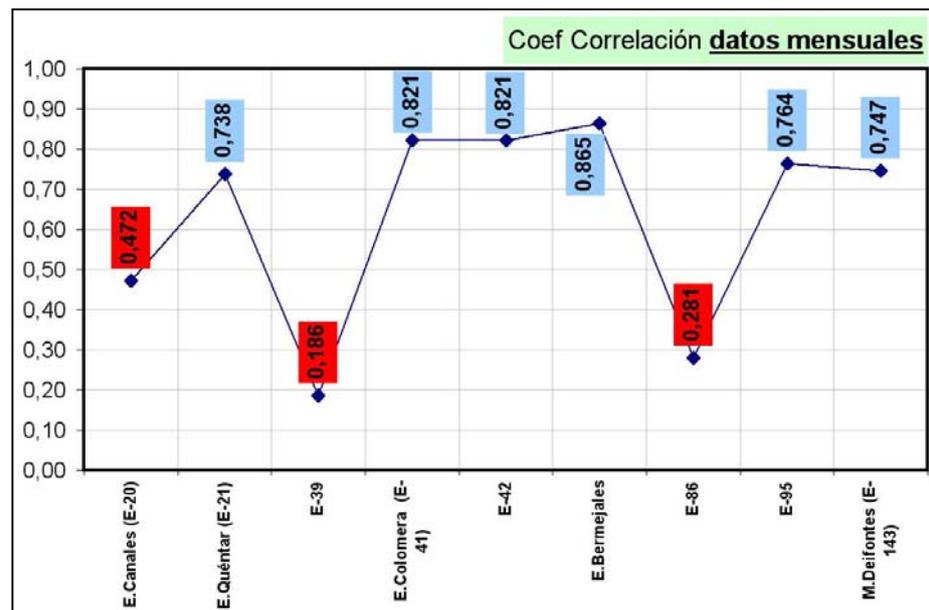
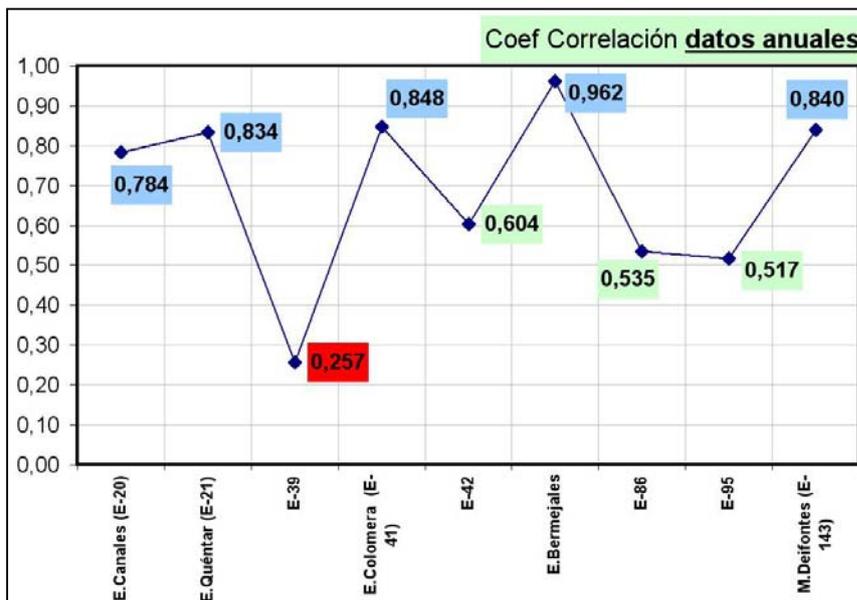


Figura 63. Comparativa series generadas modelo Temez y series reales. Coeficientes de correlación mensuales

En la correlación de las series anuales se obtienen resultados aceptables para las estaciones E-21 (E. Quéntar), E-44b (E. Bermejales) y E-143 (M. Deifontes) y mediocres en las estaciones E-41 (E. Colomera), E-42 (Bajo Velillos), E-86 (Alto Dílar) y E-95 (Velillos)



(Figura 64).

Figura 64. Comparativa series generadas modelo Temez y series reales. Coeficientes de correlación anuales

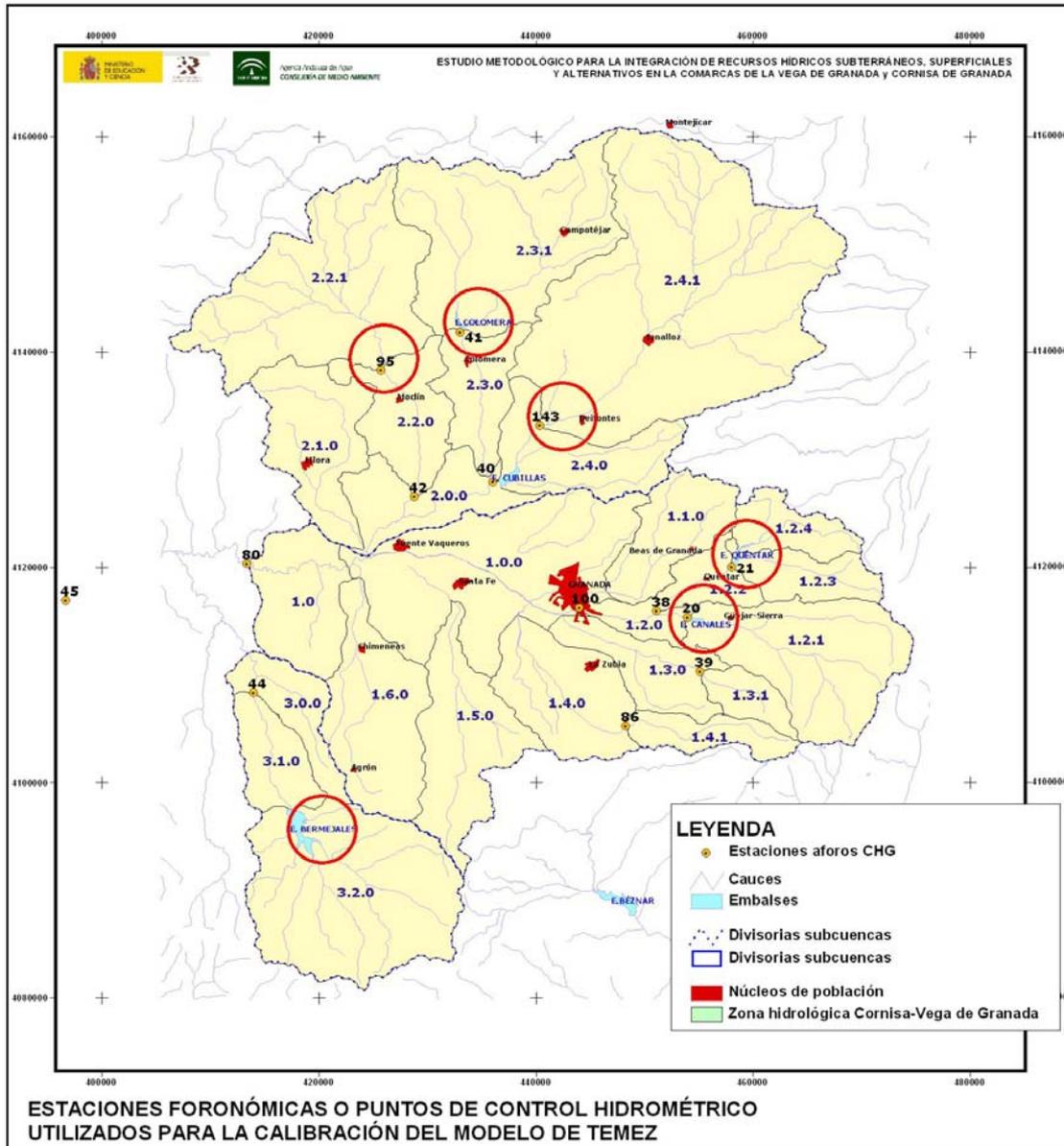


Figura 65. Estaciones foronómica de la CHG y puntos de control hidrométrico (embalses). Sistema Cornisa-Vega de Granada

En la tabla 34 se resume n los resultados de la calibración para aquellos puntos de control considerados.

Sección calibración		Cauce	Subcuencas	Cuenca recepción (km ²)	Sup. Permeable (km ²)		Sup. Impermeable (km ²)		Calibración Serie Mensual	Calibración Serie Anual	
E-21	E. Quéntar	Aguas Blancas	1.2.3	Aguas Blancas-Los Padules	53,0	23,9	45,1%	29,1	54,9%	73,8%	83,4%
			1.2.4	Alto Aguas Blancas (Quéntar)	48,3	38,9	80,7%	9,3	19,3%		
			Suma		101,3	62,9	62,1%	38,4	37,9%		
E-20	E. Canales	Genil	1.2.1	Alto Genil (Canales)	176,6	20,4	11,6%	156,2	88,4%	47,2%	78,4%
E-44b	E. Bermejales	Cacín	3.2.0	Cacín (Bermejales)	266,9	189,7	71,1%	77,2	28,9%	86,5%	96,2%
E-41	E. Colomera	Río Las Juntas	2.3.1	Río de Las Juntas (Emb.Colomera)	256,1	41,8	16,3%	214,2	83,7%	82,1%	84,8%
E-95	Velillos	Velillos	2.2.1	Alto Velillos	267,3	0,0	0,0%	267,3	100,0%	76,4%	51,7%
E-143	M. Deifontes	-	-	Descarga Acuífero Sierra Arana	108,0	108,0	100,0%	0,0	0,0%	74,7%	84,0%

Tabla 34. Coeficientes de correlación mensual y anual entre la serie generada mediante el modelo P-E de Temez y las medidas en los puntos de control

En la Figura 66 se muestran los datos de escorrentía específica para las estaciones de control consideradas, donde se observa la importancia de la subcuenca del Genil (estaciones de los embalses de Quéntar y Canales) respecto a las subcuencas del Cacín (estación del embalse de Bermejales) y del Cubillas (estaciones del embalse de Colomera, río Velillos y manantial de Deifontes -acuífero de Sierra Arana-).

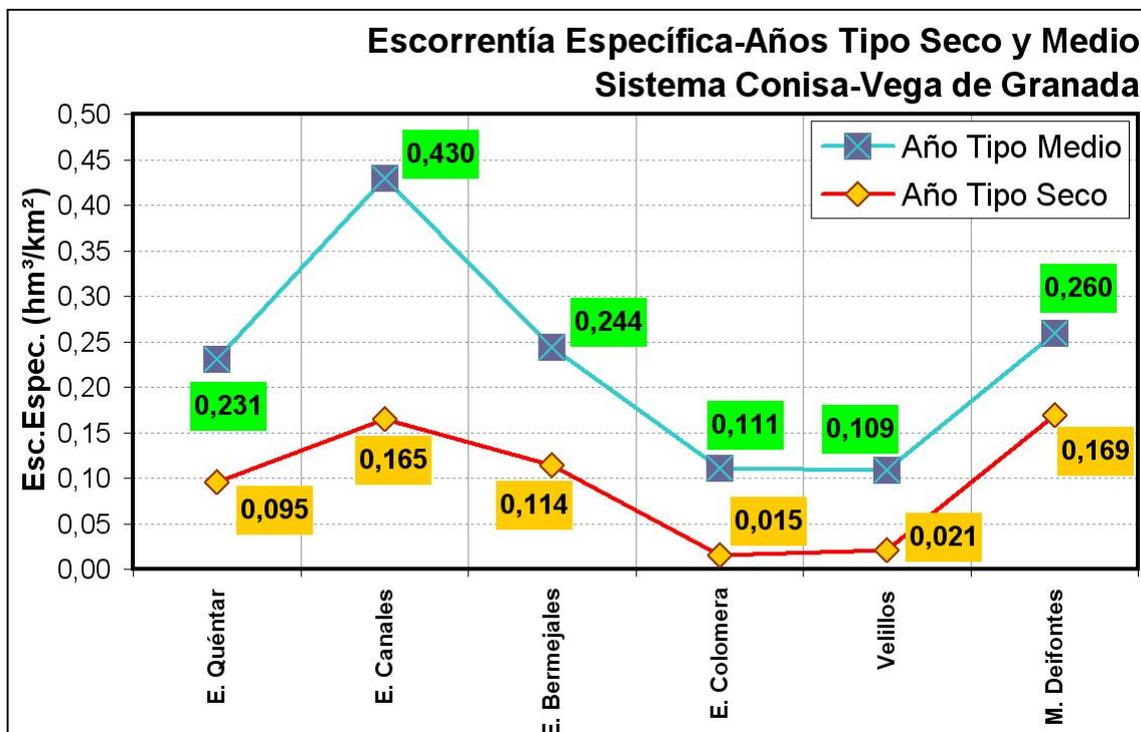


Figura 66. Escorrentía específica en las estaciones de control.
Aplicación del modelo P-E Temez

6.9.1 Embalse de Quéntar (E-21)

La cuenca de recepción del embalse de Quéntar comprende las subcuencas 1.2.3 y 1.2.4 (Figura 44), con un total de 101,30 km² de superficie, de la que un 62,9 % corresponden a afloramientos de las formaciones carbonáticas de comportamiento acuífero de la unidad hidrogeológica de La Peza (UH 05.31).

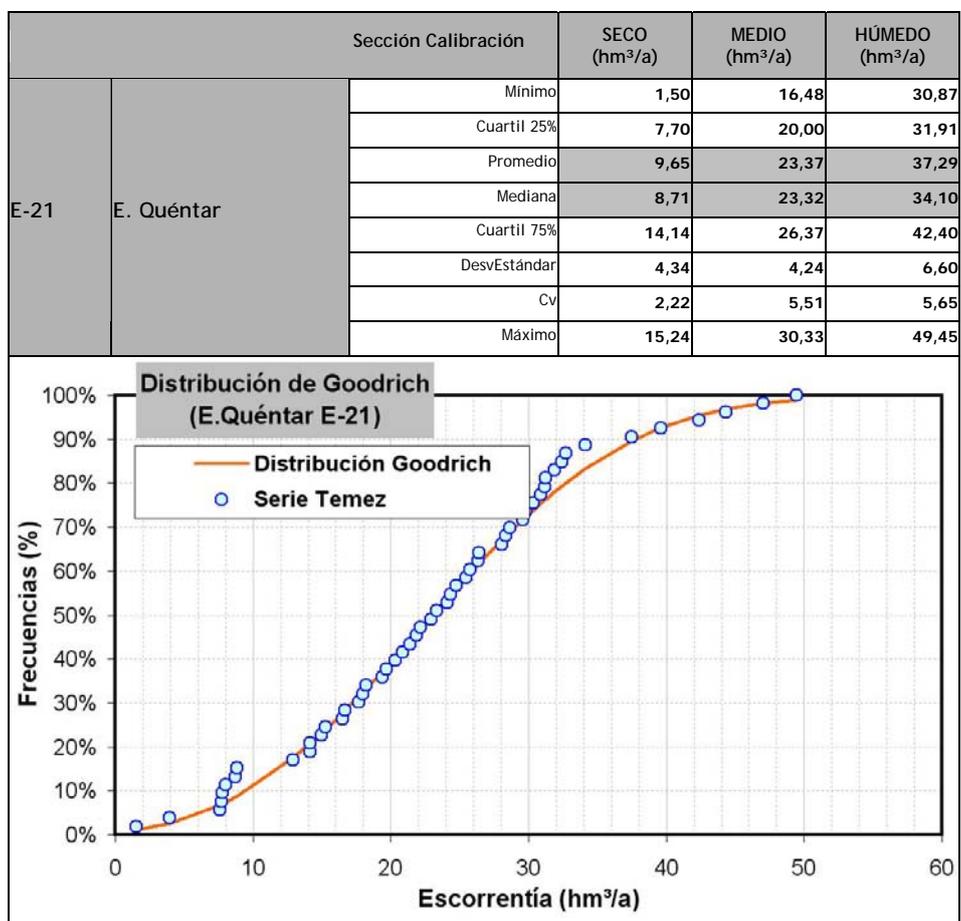


Figura 67. Escorrentía total E. Quéntar (E-21). Análisis serie 1951-2004 obtenida mediante el modelo P-E de Temez modificado

La aportación promedio para el año tipo medio se ha establecido en 23,37 hm³, siendo la aportación más probable 23,32 hm³. Para el año tipo seco la aportación

promedio es de 9,65 hm³ y para el año tipo húmedo 37,29 hm³. Según estas cifras la aportación específica de esta cuenca para el año tipo medio sería de 0,231 hm³/km².

La serie obtenida para el periodo 1951–2004 fija una variación más probable de caudales de entre 7,70 y 42,40 hm³/a y una oscilación de entre 1,50 y 49,45 hm³/a.

Para la serie de datos mensual (Figura 68) se obtiene un coeficiente de correlación de 0,738, entre la serie obtenida mediante Temez modificado y la serie de aportaciones registrada en el embalse de Quéntar por la CHG, que se cataloga como bueno. Para la serie anual (Figura 69) se obtiene un coeficiente de correlación de 0,834, que se considera como bueno.

En la Figura 70 se muestra la distribución mensual de la escorrentía para los años tipo Seco, Medio y Húmedo obtenidas para el embalse de Quéntar según el modelo P–E de Temez aplicado.

En la Figura 71 se muestra la serie sintética anual obtenida para el periodo 1951–2004, comparándola con los años tipo Seco, Medio y Húmedo fijados según el ajuste de Goodrich.

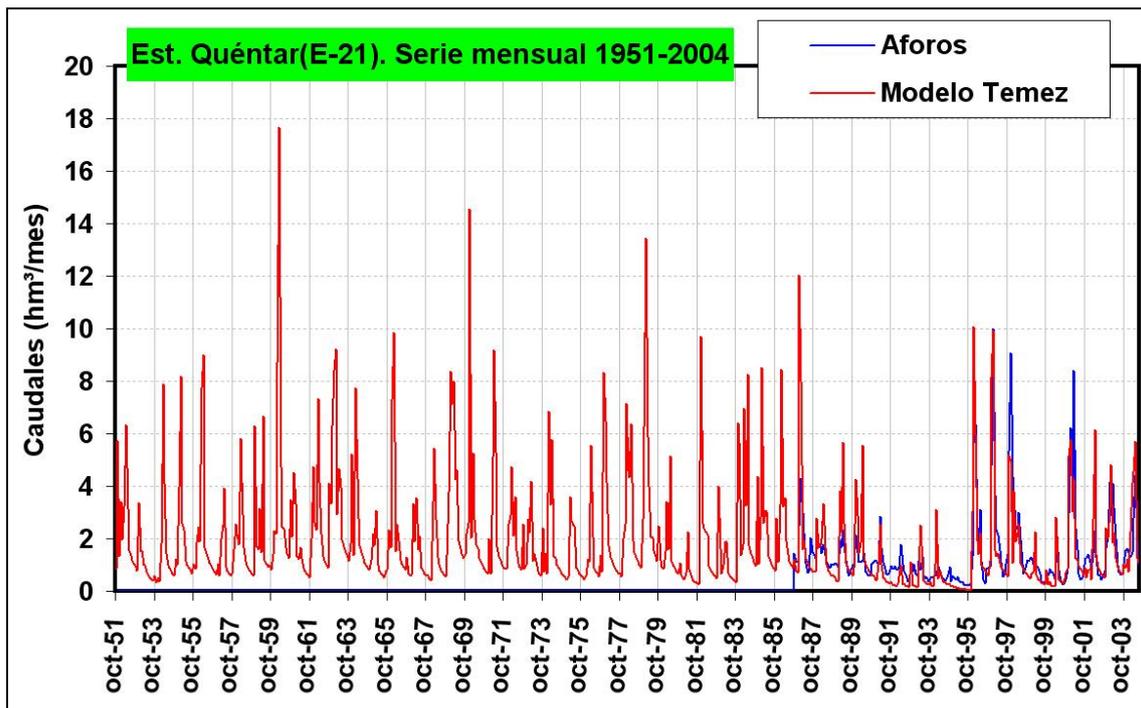


Figura 68. Calibración E-21 (E. Quéntar). Serie mensual 1951-2004

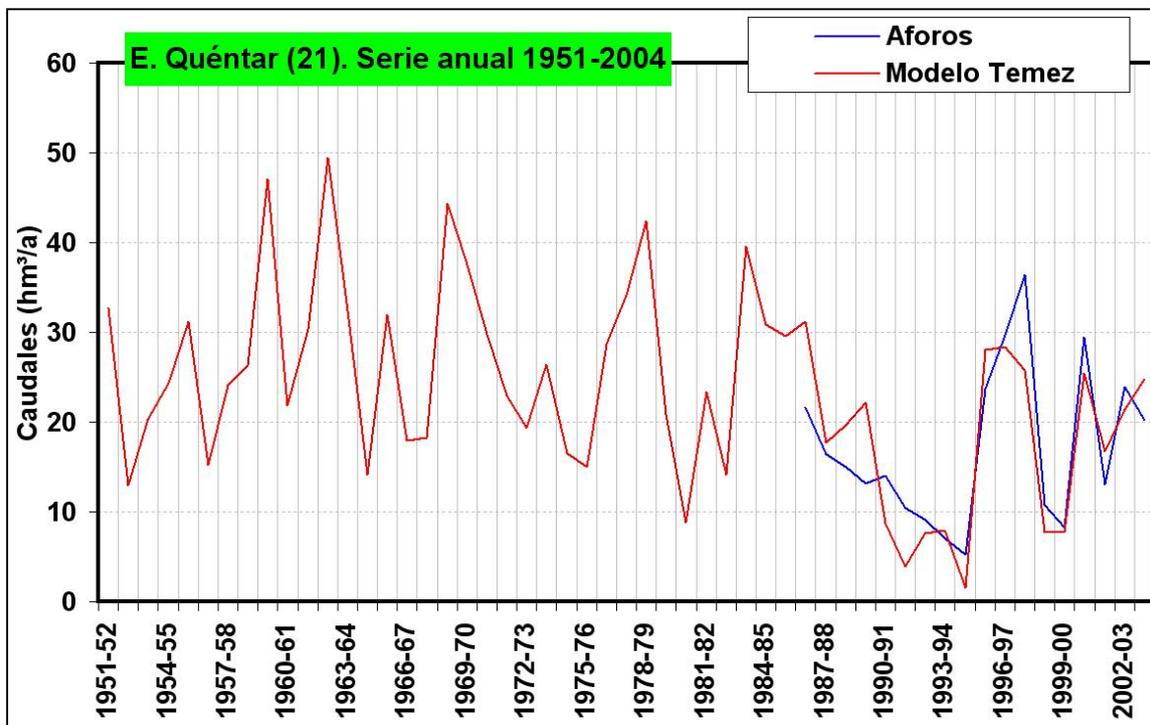


Figura 69. Calibración E-21 (E. Quéntar). Serie anual 1951-2004

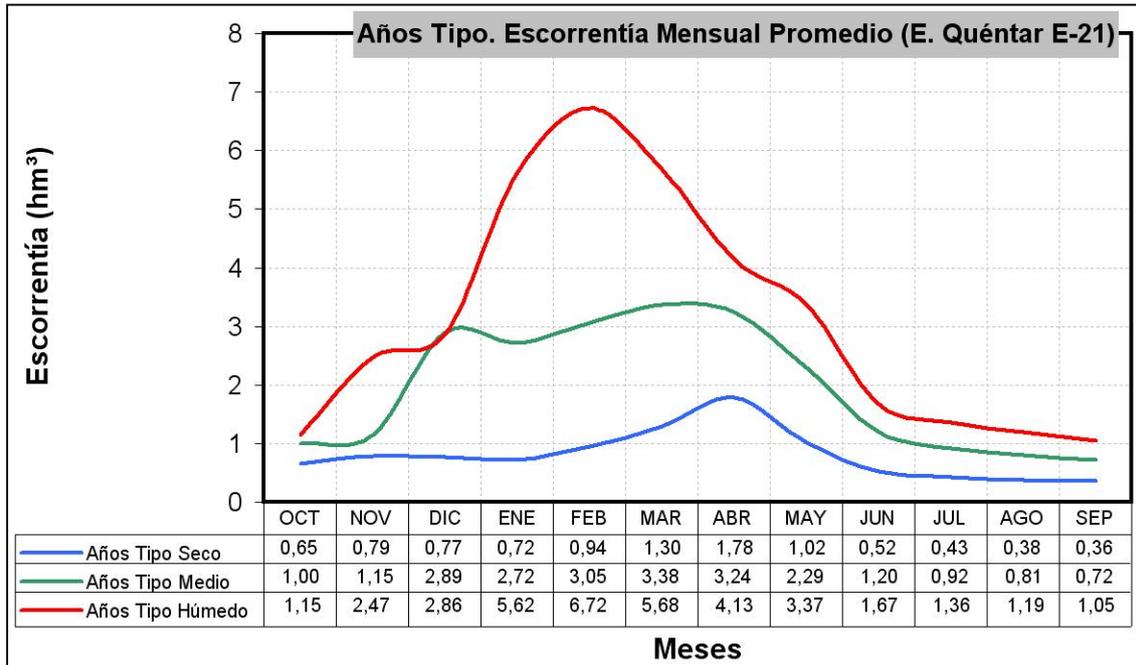


Figura 70. Escorrentía total mensual promedio E-21(E. Quéntar)

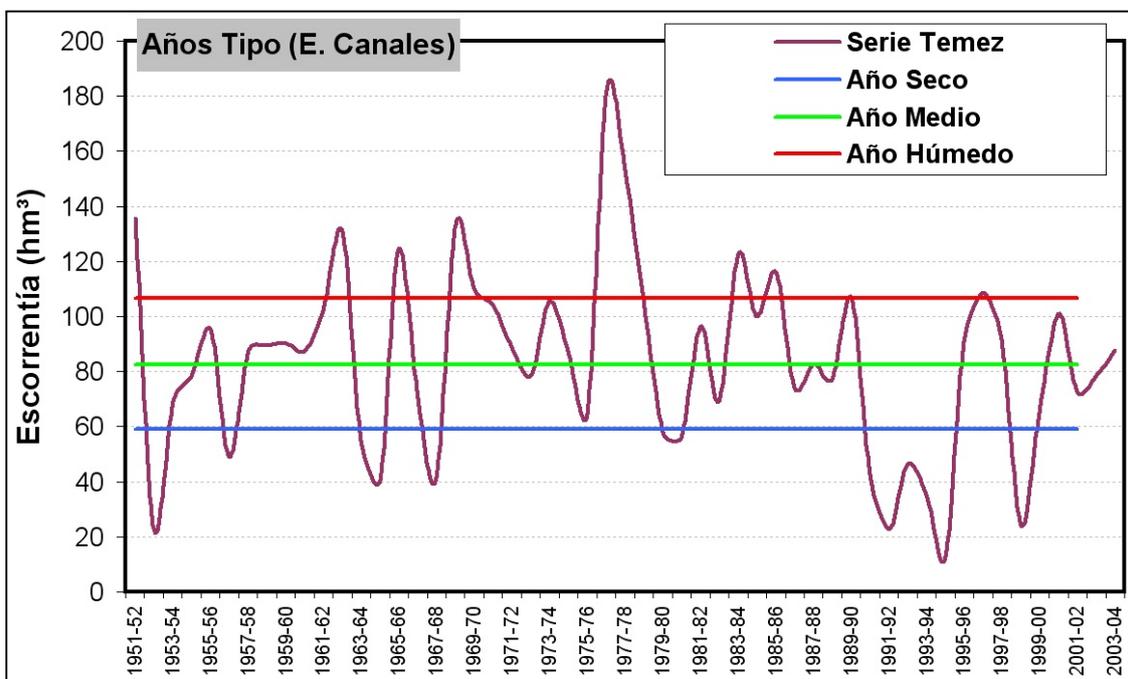


Figura 71. Años Tipo E-21 (E. Quéntar). Serie 1951-2004

6.9.2 Embalse de Canales (E-20)

La cuenca de recepción del embalse de Canales corresponde a la subcuenca 1.2.1 (Figura 44), con un total de 176,6 km² de superficie, de la que un 11,6 % corresponde a afloramientos de las formaciones carbonáticas de comportamiento acuífero de las unidades hidrogeológicas de La Peza (UH 05.31) y Padúl (UH 05.65).

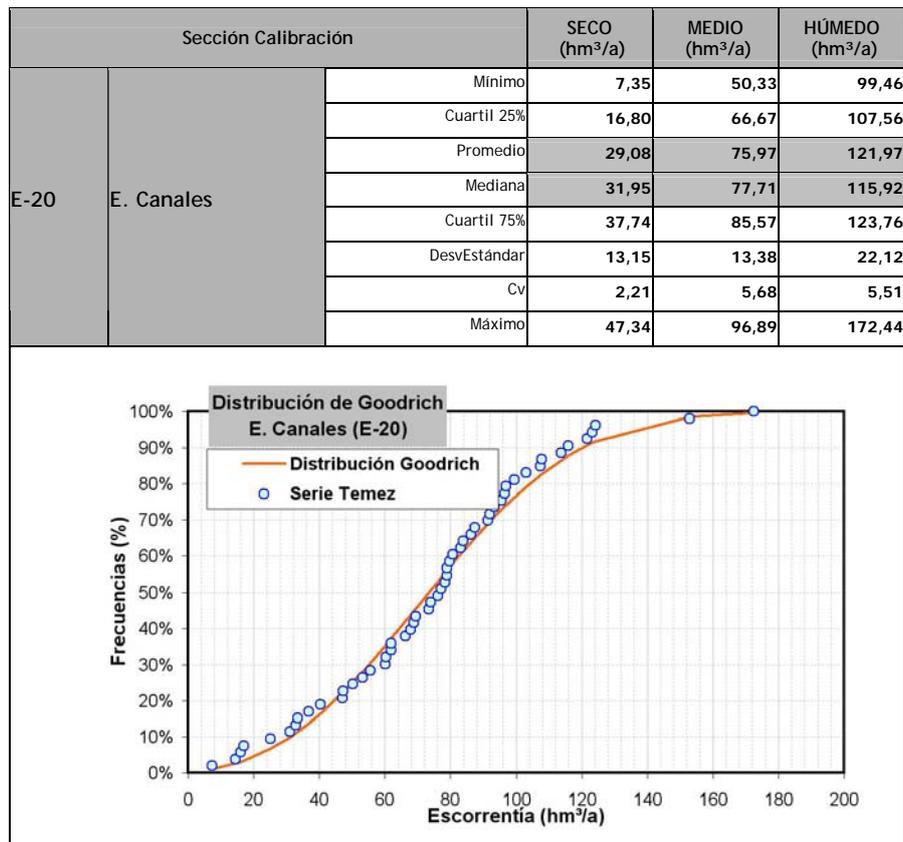


Figura 72. Escorrentía total E. Canales (E-20). Análisis serie 1951-2004 obtenida mediante el modelo P-E de Temez modificado

La aportación promedio para el año tipo medio se ha establecido en 75,97 hm³, siendo la aportación más probable 77,71 hm³. Para el año tipo seco la aportación promedio es de 29,08 hm³ y para el año tipo húmedo 121,97 hm³. Según estas cifras la aportación específica de esta cuenca sería de 0,430 hm³/km².

La serie obtenida para el periodo 1951–2004 determina una variación más probable de caudales de entre 16,80 y 123,76 hm³/a y una oscilación de entre 7,35 y 172,44 hm³/a.

La obtención de la serie de escorrentía mediante el modelo de Temez para esta subcuenca (1.2.1/Alto Genil), como para las correspondientes a las cuencas altas del Monachil y Dílar (subcuencas ligadas a Sierra Nevada), presentan la particularidad de que es necesario simular el efecto regulador del deshielo de la nieve que se acumula en Sierra Nevada.

Para desarrollar estos cálculos se ha optado por aplicar una aproximación de uno de los modelos de deshielo usualmente utilizados. Así, se parte de considerar que la cantidad de agua de deshielo que se produce a partir de una acumulación de nieve puede ser expresada mediante:

$$M_s = \frac{Q_m}{C \cdot \rho_w \cdot B}$$

donde:

M_s , deshielo (mm de agua equivalente) por unidad de tiempo (mes)

Q , calor necesario para que se produzca el deshielo (kJ/m²)

B , ratio de calor requerido para fundir una unidad de peso de nieve a 0°C)

C , calor latente de la fusión del hielo (334,9 kJ/kg)

ρ_w , densidad del agua (1.000 kg/m³)

La energía o calor que favorece el deshielo (Q_m) presenta varias componentes:

- *Calor radiante procedente del sol* (Q_n), en cuyo efecto sobre el deshielo interviene la elevada reflectividad de la nieve (albedo), de manera que el balance de energía suele ser negativo, reflejando la nieve más energía que la que absorbe, lo que depende, fundamentalmente, de la temperatura del aire.

$$Q_n = Q_s - Q_l \rightarrow \begin{cases} Q_s = (1 - A) \cdot I \\ Q_l = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_s^4 \end{cases}$$

Q_s , energía que se invierte en el deshielo procedente de la radiación del sol A, coeficiente de albedo (toma un valor de 0,40 para la nieve)

I, radiación solar incidente (52 kJ/m² al día)

Q_l , energía reflejada por la nieve (kJ/m²)

ε , constante que toma un valor de 0,99 para la nieve limpia

σ , constante de Stefan-Boltzman (5,73510-11 kJ/m²sK⁴)

T_s , temperatura de la superficie de la nieve (°K)

- *Transferencia de calor por turbulencia entre la nieve y la atmósfera* en función de procesos de convección (Q_h) y condensación (Q_e), donde intervienen de manera fundamental la temperatura y la humedad del aire.

$$Q_h = D_h \cdot u_z \cdot (T_a - T_s)$$

$$Q_e = E_e \cdot u_z \cdot (e_a - e_s)$$

Q_h , transferencia de calor por procesos de convección entre la nieve y la atmósfera (kJ/m²)

D_h , coeficiente de transferencia de calor (kJ/m³°C)

u_z , velocidad del viento en la superficie de la nieve (m/s)

T_a , temperatura del aire (°C)

T_s , temperatura de la superficie de la nieve (°C)

E_e , coeficiente de transferencia de calor por condensación (kJ/m³ Pa)

e_a , presión de vapor del aire (Pa)

e_s , presión de vapor en la superficie de la nieve (Pa)

- *Transferencia de calor procedente del suelo*, que constituye una parte despreciable.
- *Variación de la energía interna presente en la nieve* como consecuencia de las variaciones de temperatura asociadas a los ciclos día-noche (Q_i).

$$Q_i = d_s \cdot (\rho_i \cdot C_{pi} + \rho_l \cdot C_{pl}) \cdot T_m$$

d_s , espesor de la nieve (m)

ρ_i , densidad de la nieve (922 kg/m³)

ρ_l , densidad del agua de deshielo (1.000 kg/m³)

C_{pi} , calor específico de la nieve (2,1 kJ/kg°C)

C_{pl} , calor específico del agua de deshielo (4,2 kJ/kg°C)

T_m , temperatura media de la nieve (°C)

- *Transferencia de calor de la lluvia* (Q_p), en el que la transferencia de calor por convección desde la nieve acumulada por la lluvia viene determinada por la ley:

$$Q_p = C_p \cdot \rho_w \cdot P \cdot \frac{(T_r - T_s)}{1000}$$

donde:

C_p , calor específico de la lluvia (4,20 KJ/kg°C para la lluvia y 2,09 kJ/kg°C para el agua de deshielo)

ρ_w , densidad del agua (1.000 kg/m³)

P , precipitación (mm/mes)

T_r , temperatura media de la lluvia (°C, que se asume igual que la temperatura media del mes)

T_s , temperatura de la nieve (°C)

Por tanto, parece que la variable más importante es la temperatura media del aire, por lo que se ha desarrollado un método aproximado de cálculo del deshielo basado en los datos de la temperatura media mensual procedente de la estación 5511E-Granada Sierra Nevada.

Considerando que el modelo de Temez establece un paso de tiempo mensual y partiendo de los modelos de cálculo usuales para el deshielo, se ha establecido un procedimiento de cálculo aproximado de la aportación hídrica que recibe la cuenca

como suma de la lluvia en forma de agua más la fusión de la nieve, procedido de la siguiente forma:

- Variables hidrometeorológicas de partida:
 - Precipitación total (P_t en mm como suma de la precipitación en forma de nieve $-P_n-$ y en forma de agua $-P_d-$)
 - Temperatura media del aire (T_a en °C)

- Coeficientes de cálculo:
 - Coeficiente de fusión del hielo (C_m): 1,8–3,7 mm/°C.día
 - Coeficiente de nivación (C_v), indica la porción de la cuenca de recepción que queda cubierta de nieve
 - Temperatura base (T_b en °C), temperatura por encima de la que comienza el deshielo.
 - Temperatura crítica (T_c en °C), temperatura que marca la presencia de nieve (precipitación en forma de nieve).

$$Si \quad T_a < T_c \Rightarrow \left. \begin{array}{l} P_n = C_v \cdot P_t \\ P_d = P_t - P_n \end{array} \right\} \rightarrow M_s = C_m \cdot (T_a - T_b)$$

Aportación en forma de agua que registra la cuenca:

$$P = P_d + M_s = (P_t - C_v \cdot P_t) + C_m \cdot (T_a - T_b) = (1 - C_v) \cdot P_t + C_m \cdot (T_a - T_b)$$

donde:

- P, precipitación (agua de precipitación + deshielo) (mm)
- P_n , precipitación en forma de nieve (mm)
- P_d , precipitación en forma de agua (mm)
- M_s , deshielo (mm de agua equivalente) por unidad de tiempo (mes)
- P_t , precipitación total registrada (agua+ nieve) (en mm)
- C_v , coeficiente de nivación
- C_m , Coeficiente de fusión del hielo (mm/°C.mes)
- T_a , temperatura del aire (°C)
- T_c , temperatura crítica (°C)
- T_b , temperatura base (°C)

En la Figura 73 se muestran los resultados de aplicar el modelo aproximado de fusión de nieve a las subcuencas asociadas a Sierra Nevada.

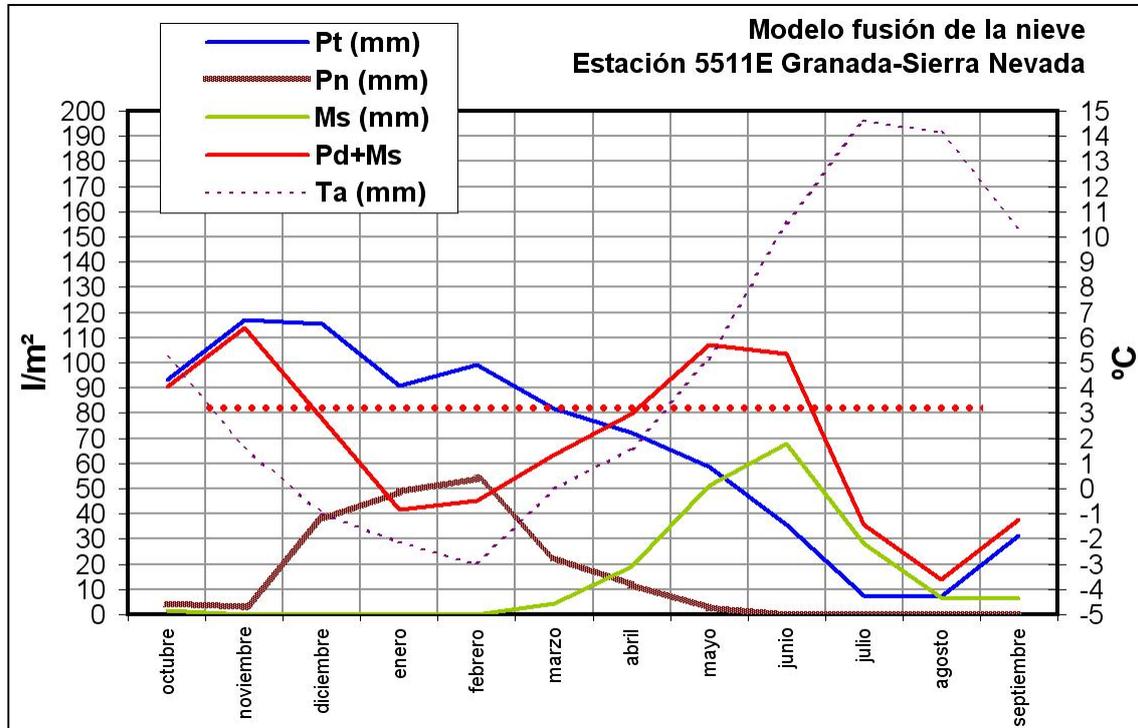


Figura 73. Modelo de fusión de la nieve empleado en Sierra Nevada (subcuenca del Alto Genil, Monachil y Dílar)

Los parámetros del modelo de fusión (C_v , C_m , T_b y T_c) han sido fijados utilizando la calibración del modelo de Temez para la serie obtenida en la subcuenca del embalse de Canales con respecto a las aportaciones registradas al embalse. Así, los parámetros han sido fijados con los siguientes valores:

- Coeficiente de fusión del hielo (C_m): 20 mm/°C.mes
- Coeficiente de nivación (C_v): 0,55.
- Temperatura base (T_b en °C): 1,50 °C.
- Temperatura crítica (T_c en °C): -0,50 °C.

Comparando los datos obtenidos mediante la aplicación del modelo P-E de Temez modificado, utilizando como datos de aportación (precipitación líquida) los obtenidos de aplicar el modelo de fusión de hielo propuesto, se obtienen unos resultados aceptables para las entradas registradas en el embalse de Canales (Figura 74), considerando la simplicidad del método de cálculo emplead. Así, el valor medio de las entradas al embalse, registradas por la CH Guadalquivir, ascienden a 63,15 hm³/a para el periodo 1986–2004, mientras que la cifra obtenida mediante la aplicación del modelo P-E de Temez es de 58,55 hm³/a.

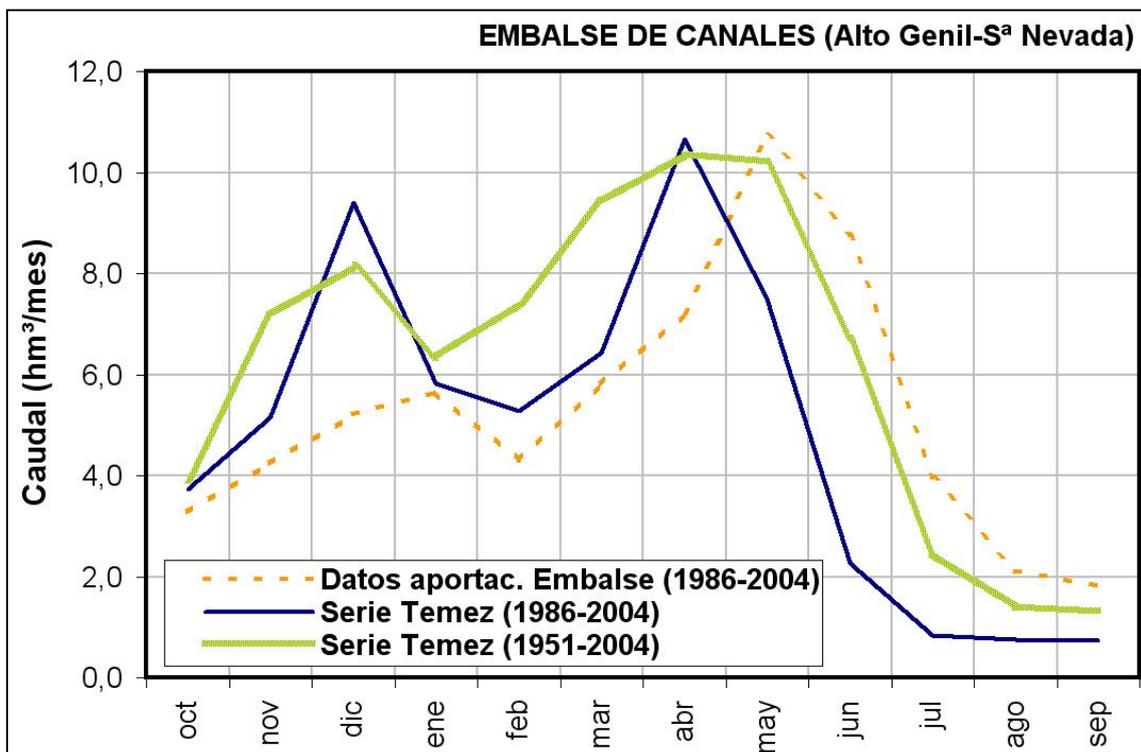


Figura 74. Comparativa de datos de escorrentía obtenidos con el modelo de Temez (considerando el deshielo) respecto a datos registrados en el embalse de Canales

Para la serie de datos mensual se obtiene un coeficiente de correlación de 0,472, entre la serie obtenida mediante Temez modificado y la serie de aportaciones registrada en el embalse de Quéntar por la CHG (Figura 75), que se cataloga como deficiente. Para la serie anual se obtiene un coeficiente de correlación de 0,784, que se

considera como bueno (Figura 76). Estas circunstancias adversas pueden explicarse por varias razones: la reducida serie de datos de aportaciones al embalse y el modelo simplificado de deshielo aplicado.

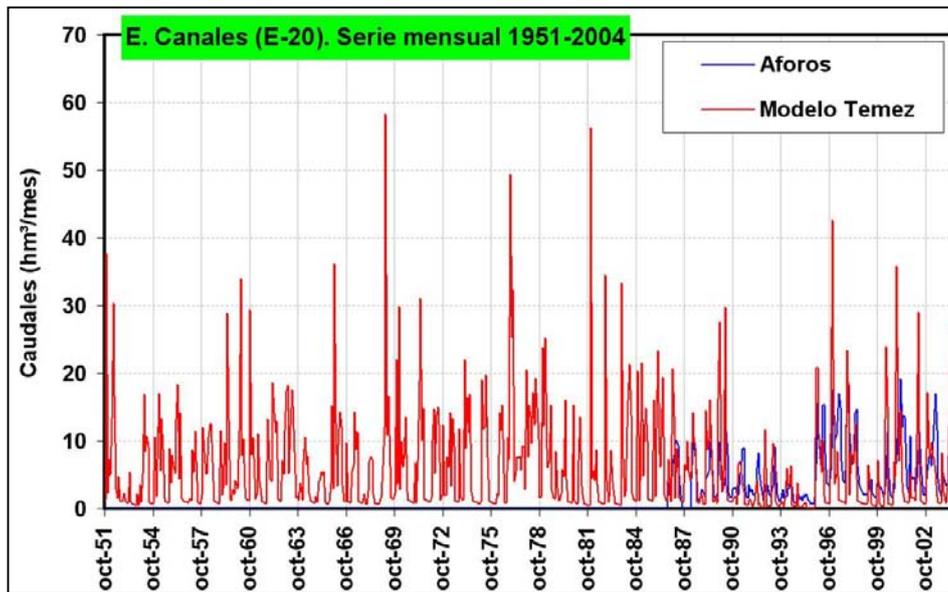


Figura 75. Calibración E-20 (E. Canales). Serie mensual 1951-2004

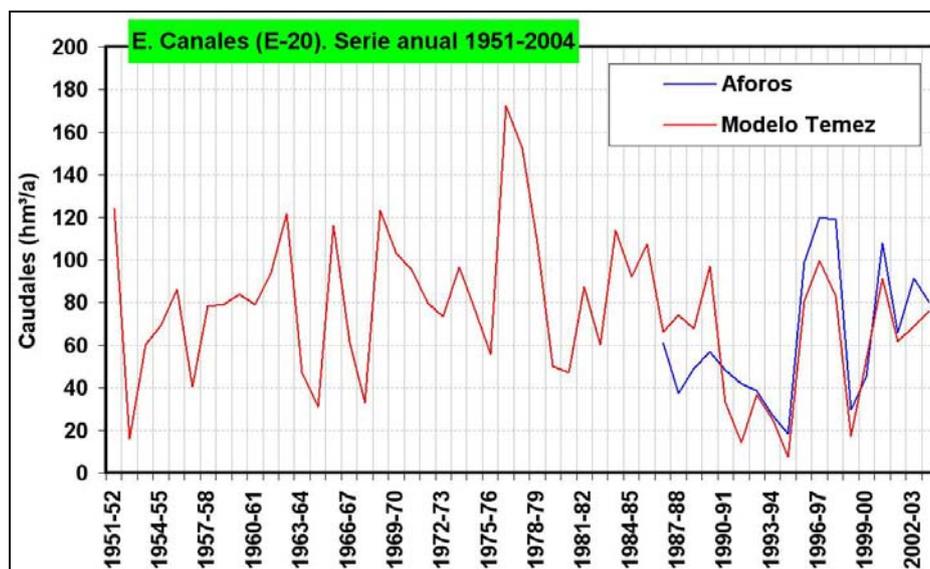


Figura 76. Calibración E-21 (E. Quéntar). Serie anual 1951-2004

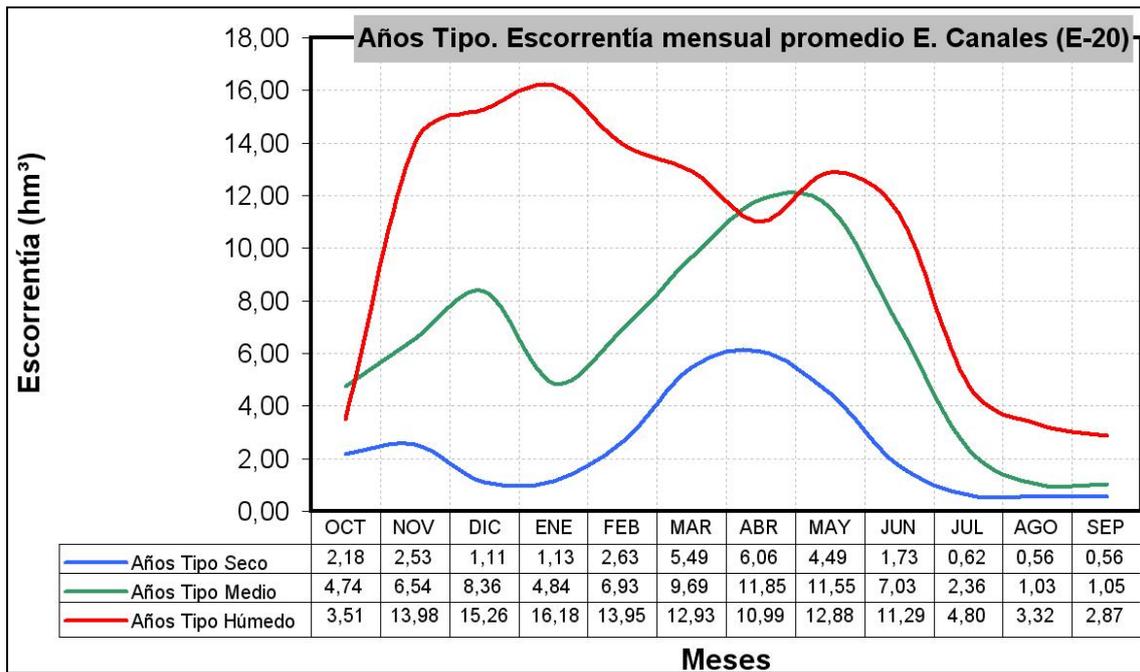


Figura 77. Escorrentía total mensual promedio E-20 (E. Canales)

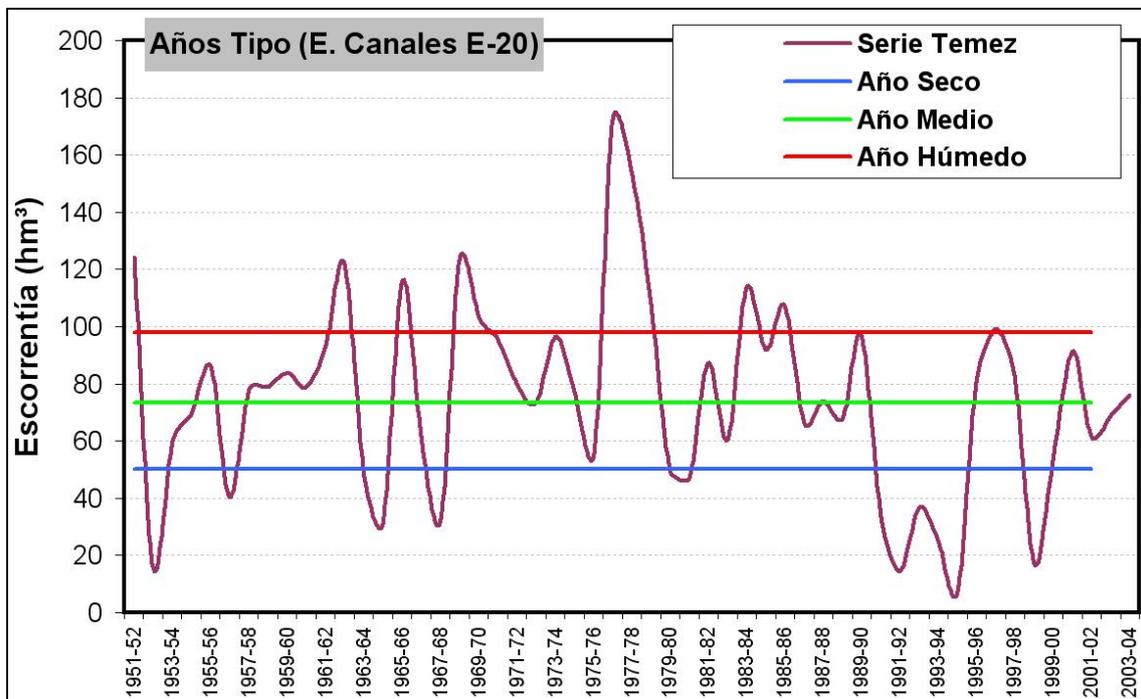


Figura 78. Años Tipo E-20 (E. Canales). Serie 1951-2004

6.9.3 Embalse de Bermejales

La cuenca de recepción del embalse de Bermejales comprende la subcuenca 3.2.0, con un total de 266,9 km² de superficie, de la que un 71,1 % está asociada a afloramientos de las formaciones carbonáticas de comportamiento acuífero de la unidad hidrogeológica Tejada–Almijara–Las Guajaras (UH 05.42).

La aportación promedio para el año tipo medio se ha fijado en 65,18 hm³, siendo la aportación más probable 64,23 hm³ (Figura 79). Para el año tipo seco la aportación promedio es de 30,44 hm³ y para el año tipo húmedo 123,45 hm³. Según estas cifras la aportación específica de esta cuenca sería de 0,244 hm³/km². La serie obtenida para el periodo 1951–2004 establece una variación más probable de caudales de entre 24,56 y 137,05 hm³/a y una oscilación anual de entre 10,34 y 170,15 hm³/a.

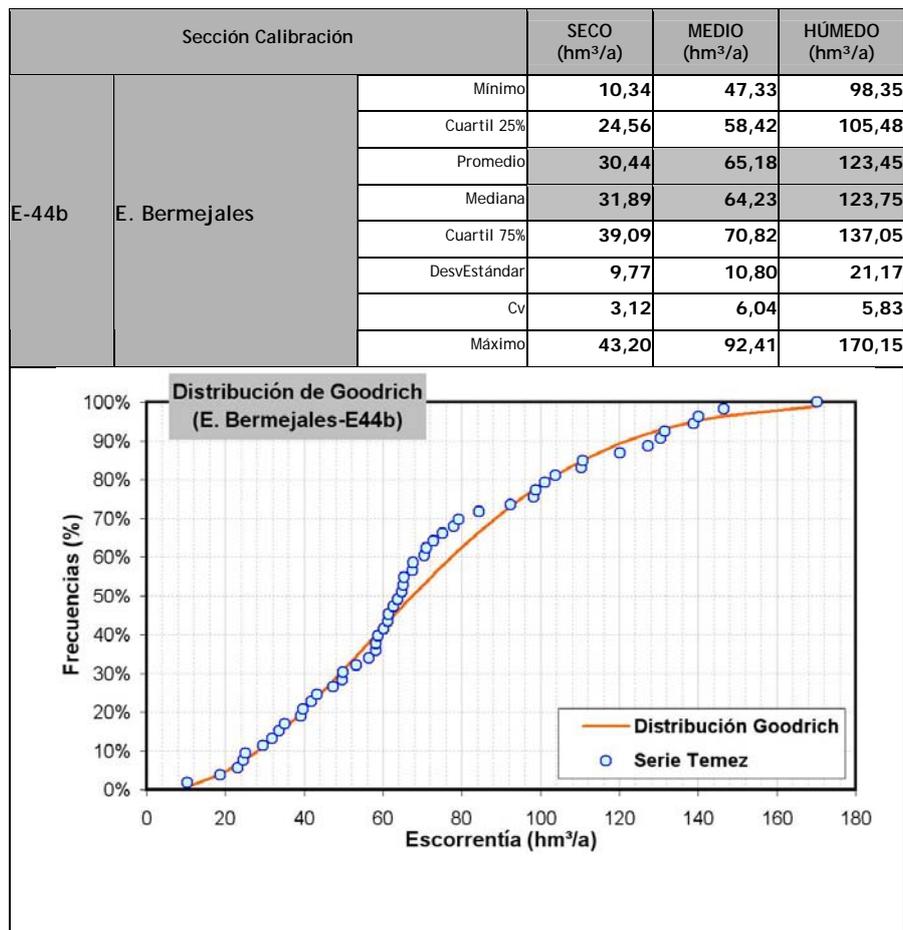


Figura 79. Escorrentía total E. Bermejales (E-44b). Análisis serie 1951–2004 obtenida mediante el modelo P–E de Temez modificado

Para la serie de datos mensual se obtiene un coeficiente de correlación de 0,865 (Figura 80), entre la serie obtenida mediante Temez modificado y la serie de aportaciones registrada en el embalse de Quéntar por la CHG, que se cataloga como buena. Para la serie anual se obtiene un coeficiente de correlación de 0,962 (Figura 81), que se considera buena.

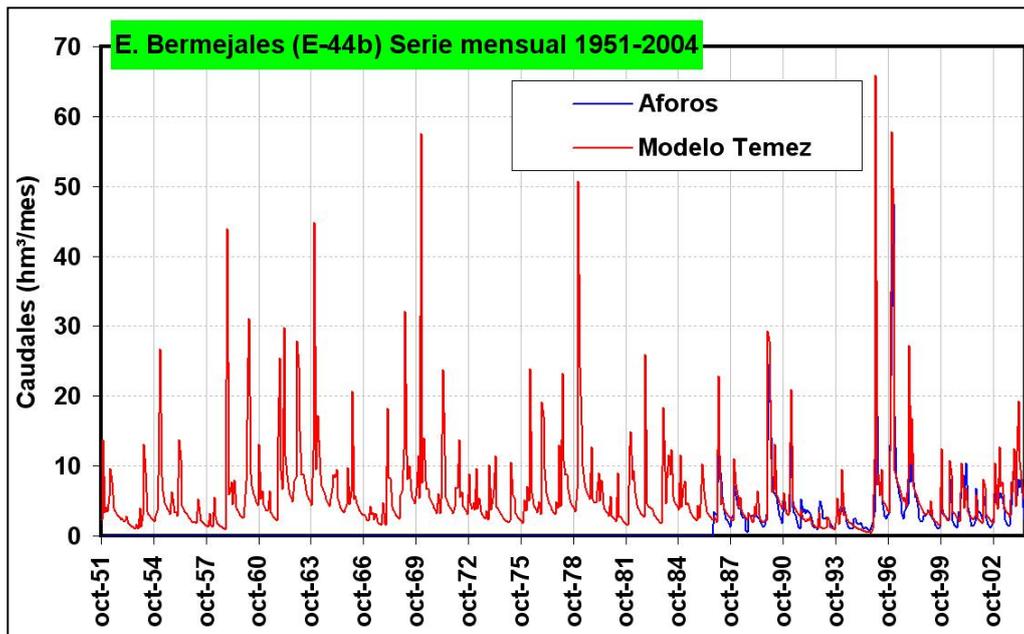


Figura 80. Calibración E-44b (E. Bermejales). Serie mensual 1951-2004

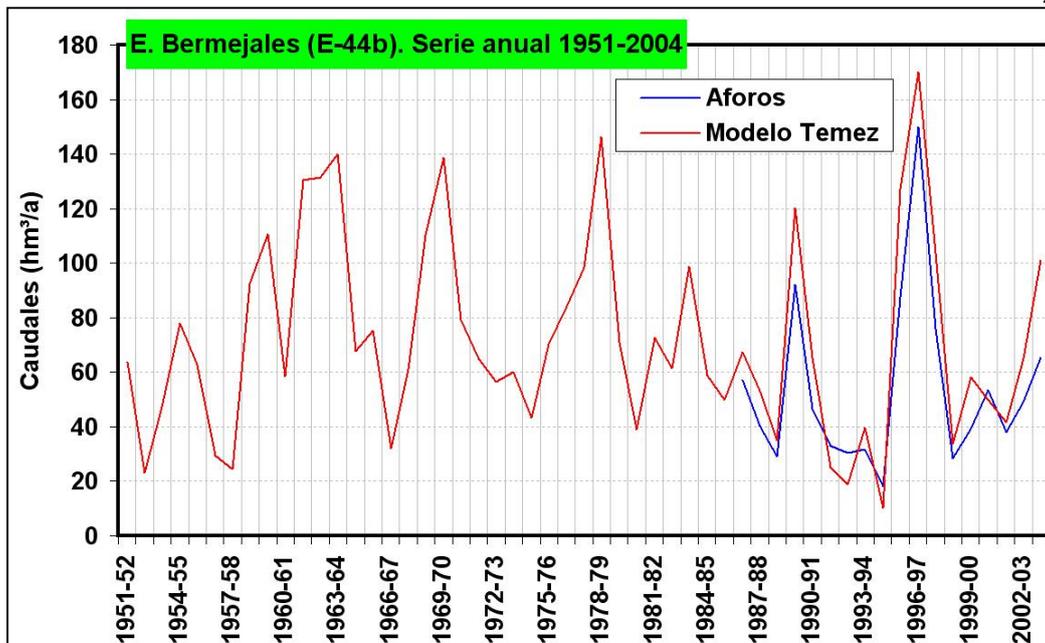


Figura 81. Calibración E-44b (E. Bermejales). Serie anual 1951-2004

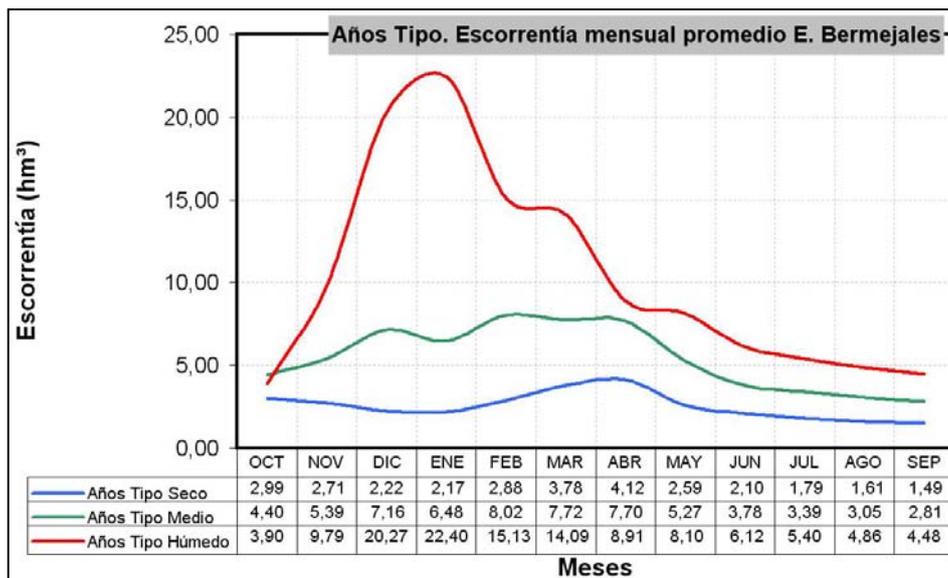


Figura 82. Escorrentía total mensual promedio E-44b (E. Bermejales)

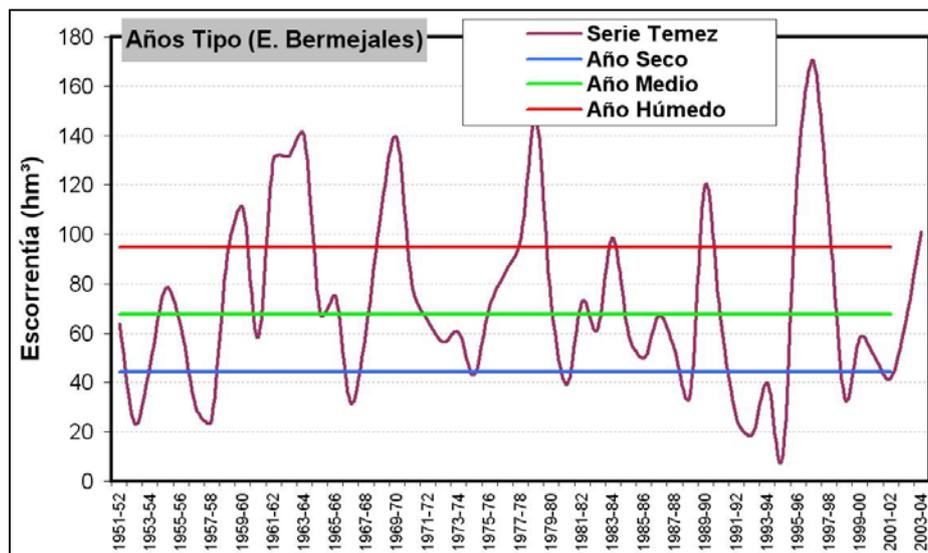


Figura 83. Años Tipo E-44b (E. Bermejales). Serie 1951-2004

6.9.4 Estación de aforos E-41 (Colomera)

La cuenca de recepción del embalse de Colomera comprende la subcuenca 2.3.1, con un total de 256,1 km² de superficie, de la que un 16,3 % está asociada a afloramientos de las formaciones carbonáticas de comportamiento acuífero de la unidad hidrogeológica Montes Orientales (UH 05.28).

La aportación promedio para el año tipo medio se ha fijado en 28,54 hm³ (Figura 84), siendo la aportación más probable 33,10 hm³. Para el año tipo seco la aportación promedio es de 3,93 hm³ y para el año tipo húmedo 74,99 hm³. Según estas cifras la aportación específica de esta cuenca sería de 0,111 hm³/km². La serie obtenida para el periodo 1951–2004 fija una variación más probable de caudales de entre 1,65 y 82,55 hm³/a y una oscilación anual de entre 0,00 y 139,78 hm³/a

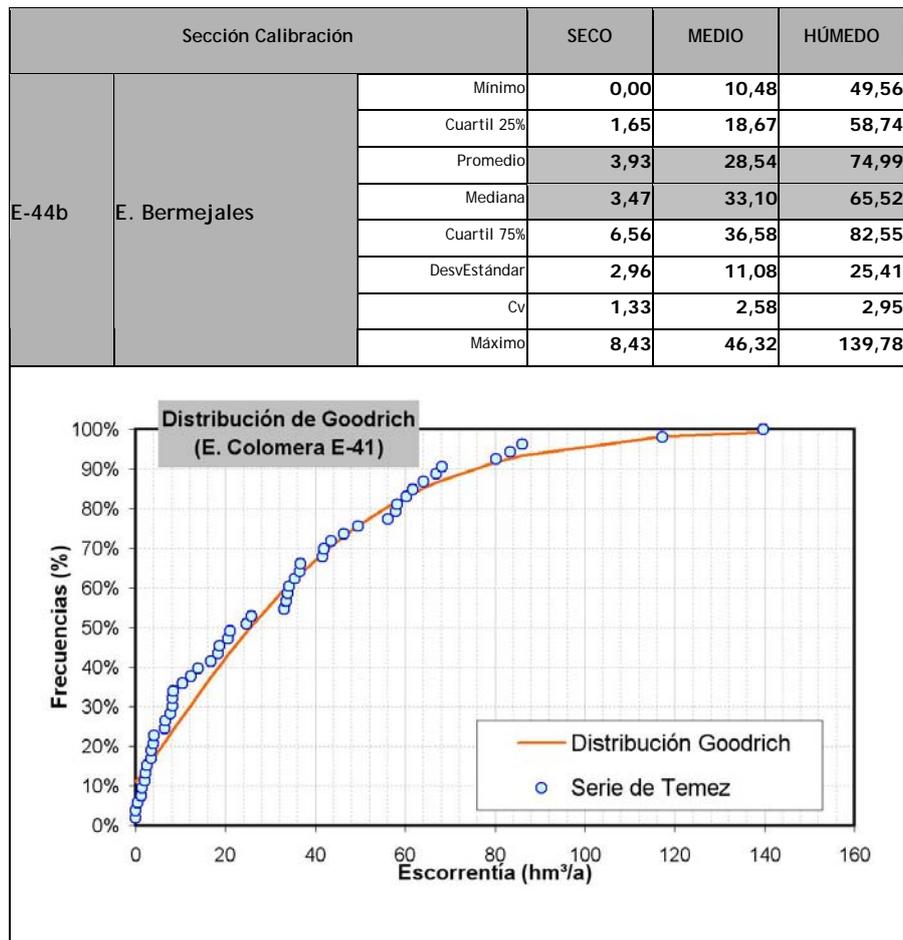


Figura 84. Escorrentía total E. Bermejales (E-44b). Análisis serie 1951–2004 obtenida mediante el modelo P–E de Temez modificado

Para la serie de datos mensual se obtiene un coeficiente de correlación de 0,821 (Figura 85), entre la serie obtenida mediante Temez modificado y la serie de aportaciones registrada en el embalse de Quéntar por la CHG, que se cataloga como buena. Para la serie anual se obtiene un coeficiente de correlación de 0,848 (Figura 86), que se considera buena.

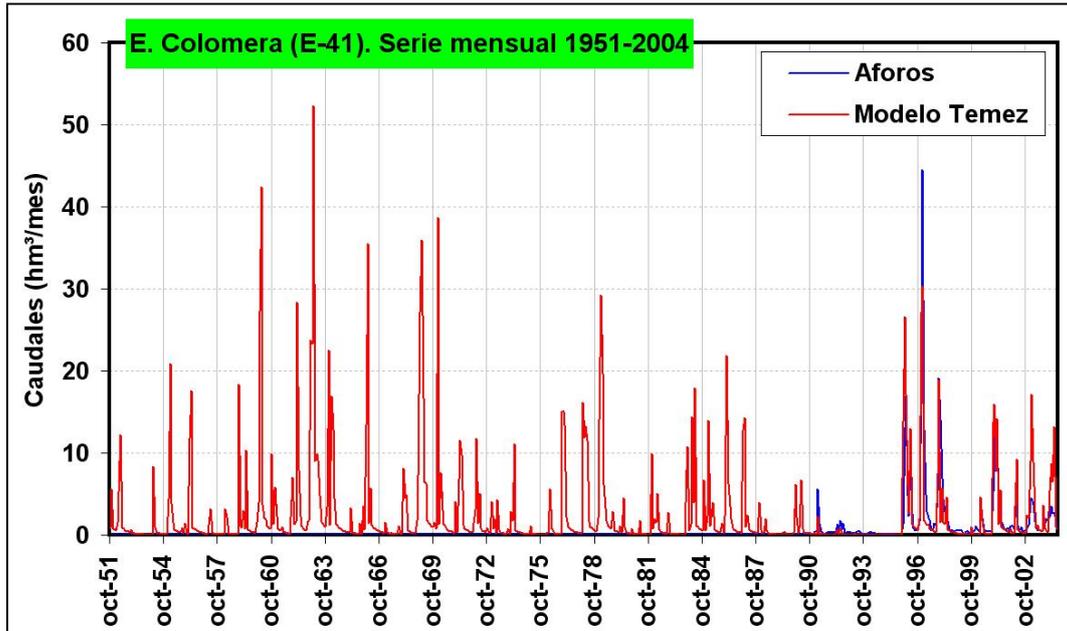


Figura 85. Calibración E-41 (E. Colomera). Serie mensual 1951-2004

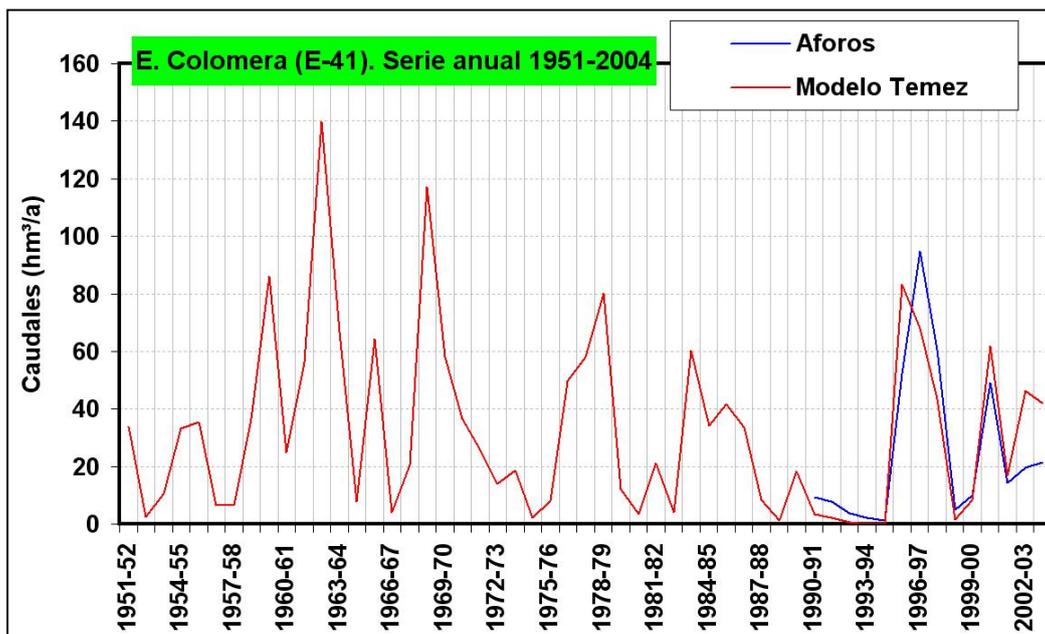


Figura 86. Calibración E-41 (E. Colomera). Serie anual 1951-2004

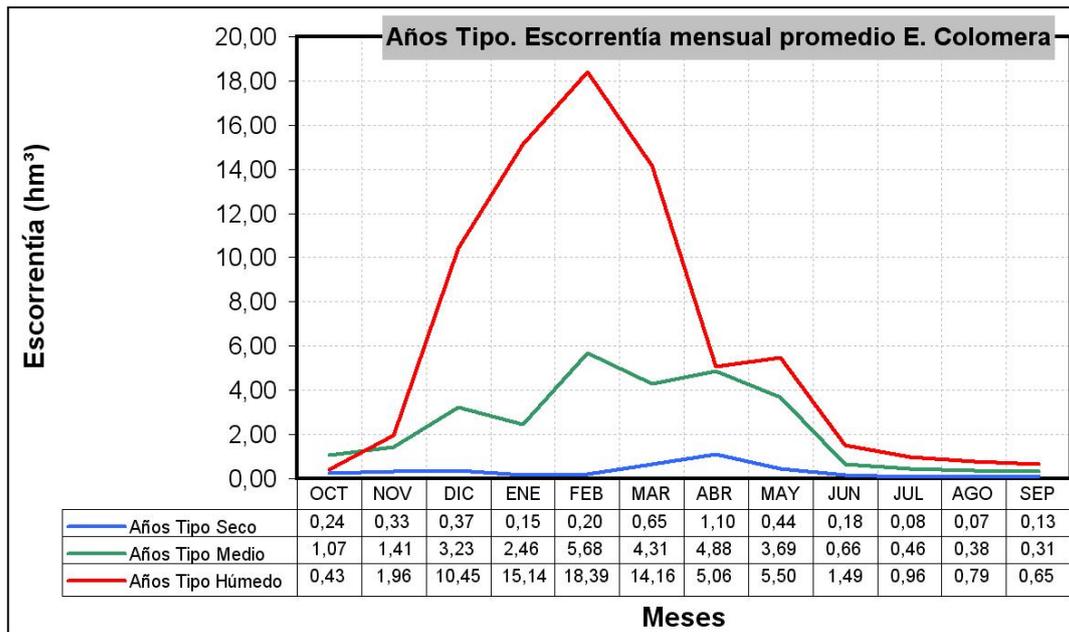


Figura 87. Escorrentía total mensual promedio E-41 (E. Colomera)

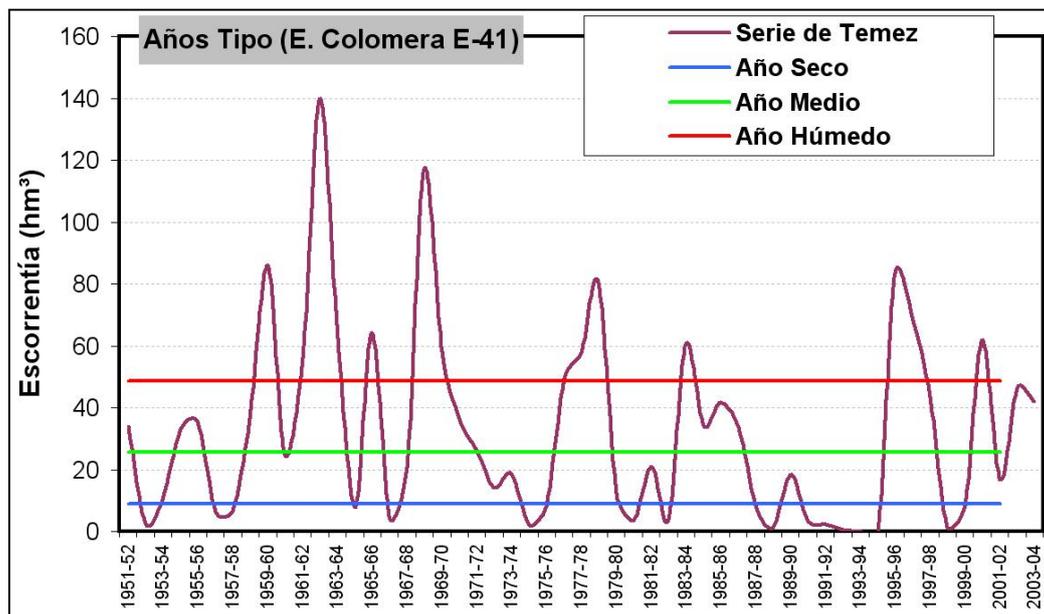


Figura 88. Años Tipo E-41 (E. Colomera). Serie 1951-2004

6.9.5 Estación de aforos E-95 (Velillos)

La cuenca de recepción de la estación de aforos nº95 de la CHG (que corresponde con la cuenca de recepción del embalse de Velillos) comprende la subcuenca 2.2.1, con un total de 267,3 km² de superficie, en la que no aparecen afloramientos acuíferos significativos.

La aportación promedio para el año tipo medio se ha fijado en 29,11 hm³, siendo la aportación más probable 30,95 hm³. Para el año tipo seco la aportación promedio es de 5,57 hm³ y para el año tipo húmedo 71,85 hm³. Según estas cifras la aportación específica de esta cuenca sería de 0,109 hm³/km². La serie obtenida para el periodo 1951-2004 fija una variación más probable de caudales de entre 3,37 y 78,56 hm³/a y una oscilación anual de entre 0,02 y 115,52 hm³/a.

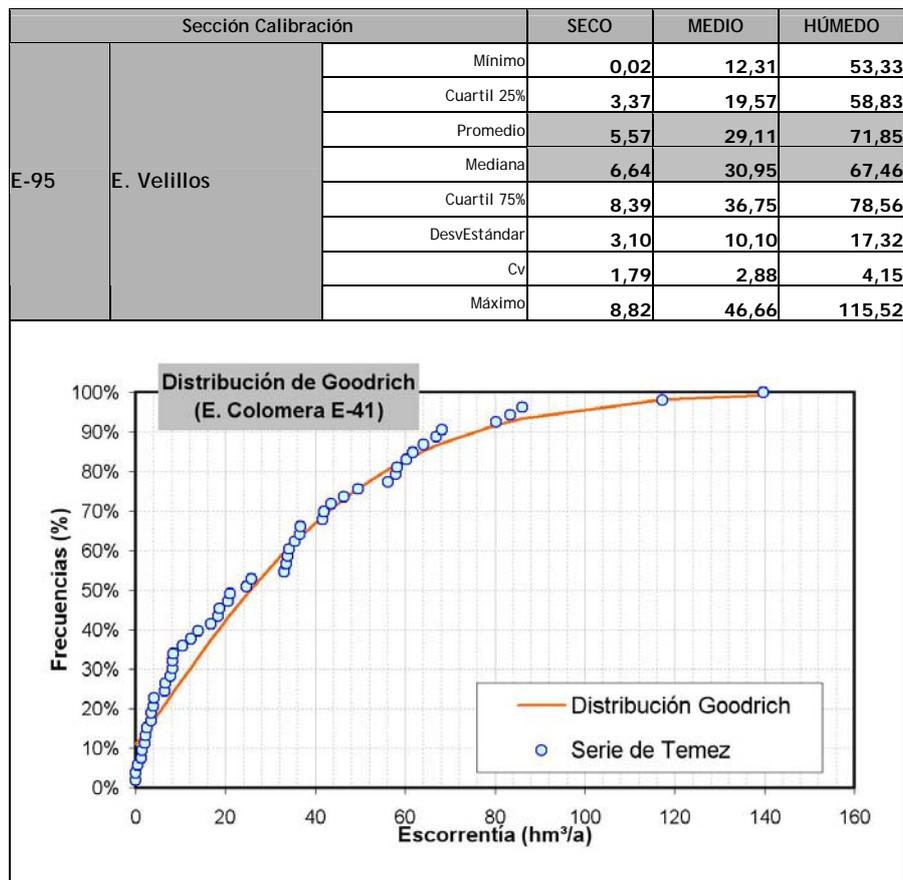


Figura 89. Escorrentía total e-95 (Velillos). Análisis serie 1951-2004 obtenida mediante el modelo P-E de Temez modificado

Para la serie de datos mensual se obtiene un coeficiente de correlación de 0,764 (Figura 90), entre la serie obtenida mediante Temez modificado y la serie de aportaciones registrada en el embalse de Quéntar por la CHG, que se cataloga como buena. Para la serie anual se obtiene un coeficiente de correlación de 0,517 (Figura 91), que se considera como aceptable.

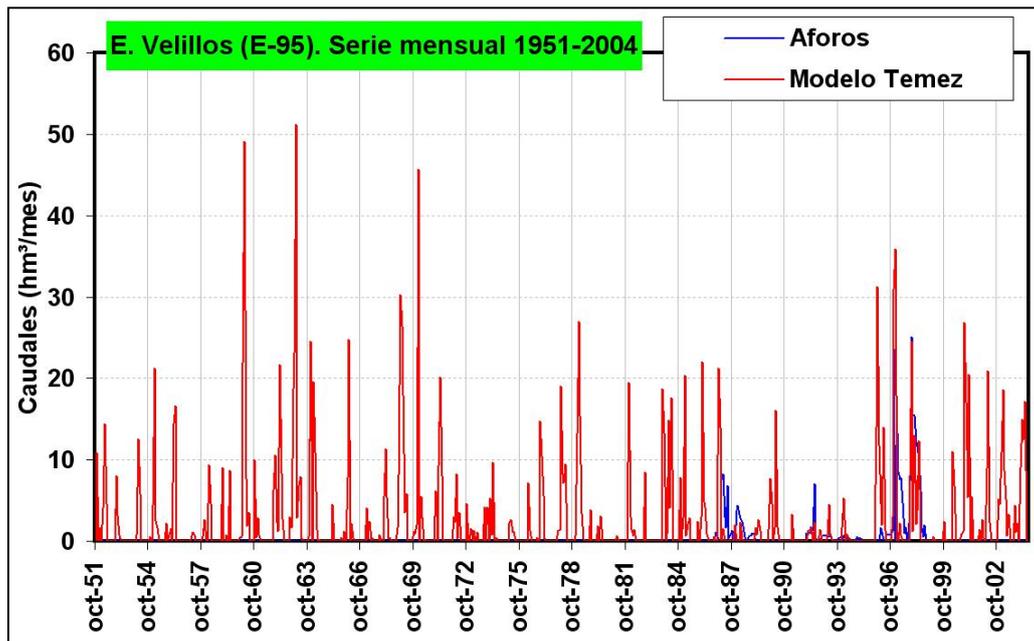


Figura 90. Calibración e-95 (Velillos). Serie mensual 1951-2004

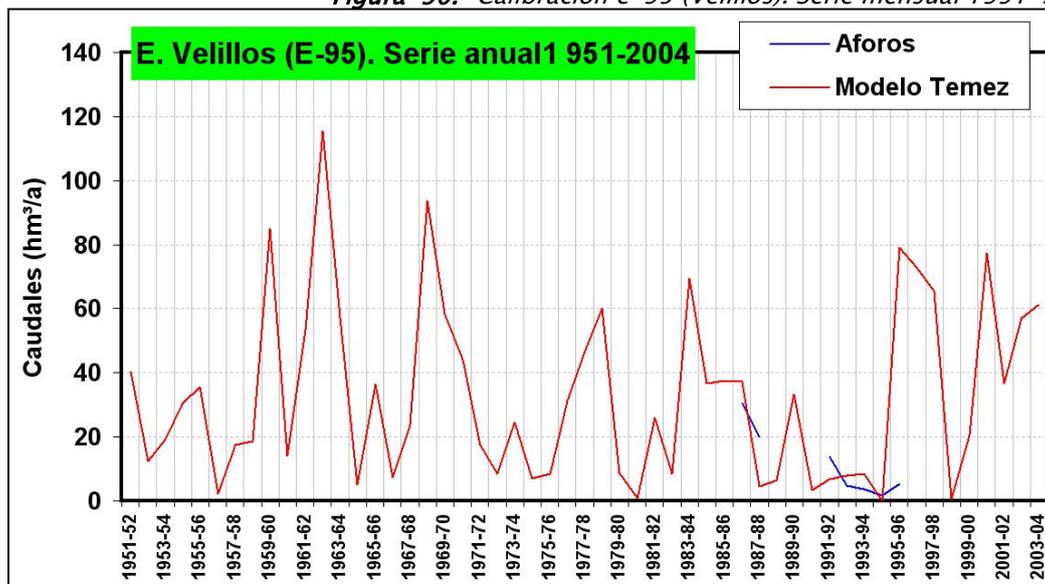


Figura 91. Calibración e-95 (Velillos). Serie anual 1951-2004

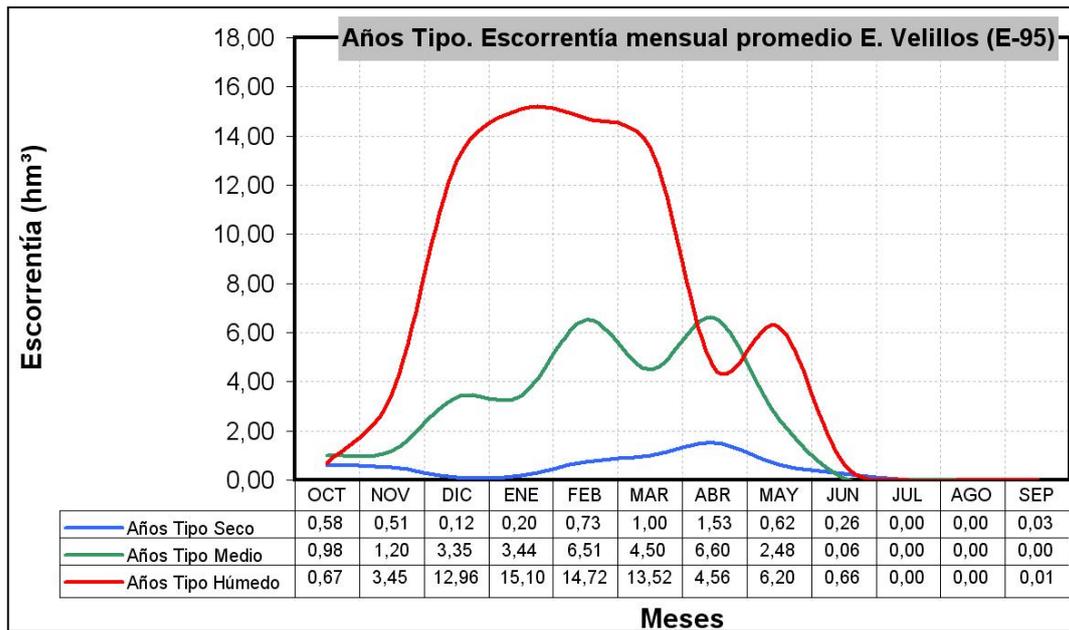


Figura 92. Escorrentía total mensual promedio e-95 (Velillos)

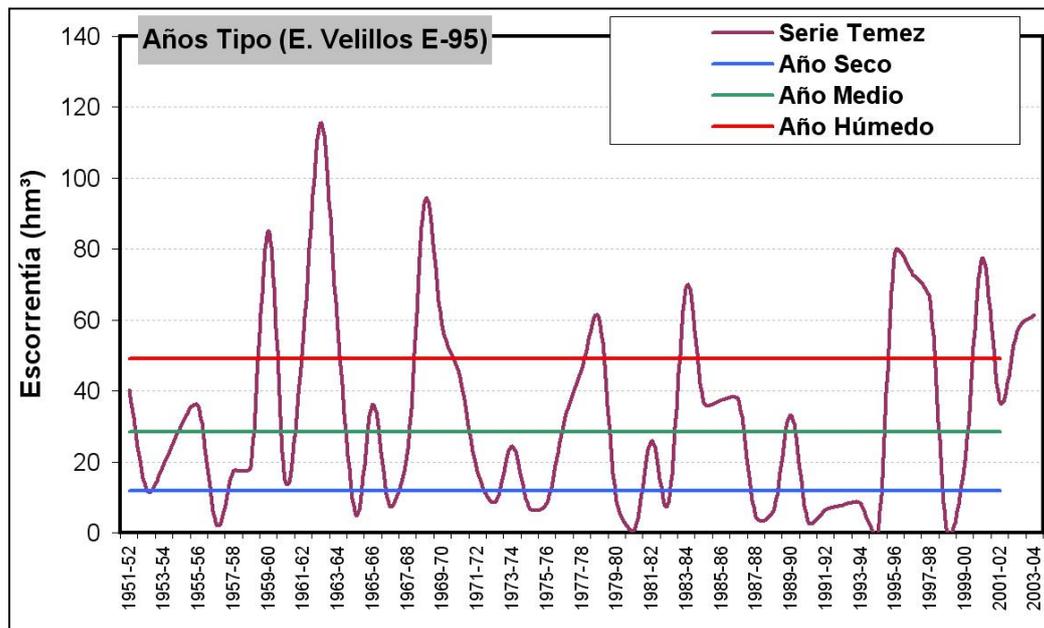


Figura 93. Años Tipo e-95 (Velillos). Serie 1951-2004

6.9.6 Estación de aforos E-143 (Deifontes)

En esta estación de aforos se controla la descarga del acuífero de Sierra Arana (manantial de Deifontes), trabajos que desarrolla la CHG. Este acuífero presenta unos afloramientos permeables de 108 km²

La aportación promedio para el año tipo medio se ha fijado en 28,07 hm³, siendo la aportación más probable 27,43 hm³ (Figura 94). Para el año tipo seco la aportación promedio es de 18,28 hm³ y para el año tipo húmedo 37,85 hm³. Según estas cifras la aportación específica de esta cuenca sería de 0,260 hm³/km². La serie obtenida para el periodo 1951-2004 fija una variación más probable de caudales de entre 15,91 y 38,80 hm³/a y una oscilación anual de entre 10,75 y 45,22 hm³.

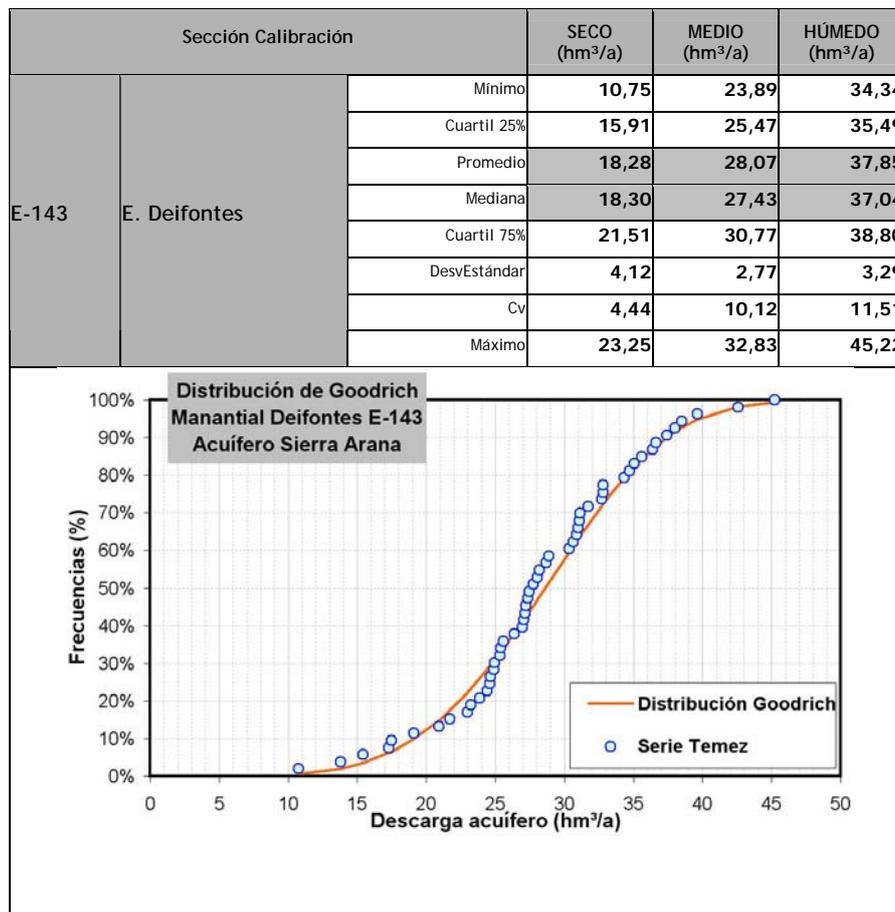


Figura 94. Escorrentía total e-143 (M. Deifontes). Análisis serie 1951-2004 obtenida mediante el modelo P-E de Temez modificado

Para la serie de datos mensual se obtiene un coeficiente de correlación de 0,747 (Figura 95), entre la serie obtenida mediante Temez modificado y la serie de aportaciones registrada en el embalse de Quéntar por la CHG, que se puede catalogar como buena. Para la serie anual se obtiene un coeficiente de correlación de 0,840 (Figura 96), que se puede considerar como buena.

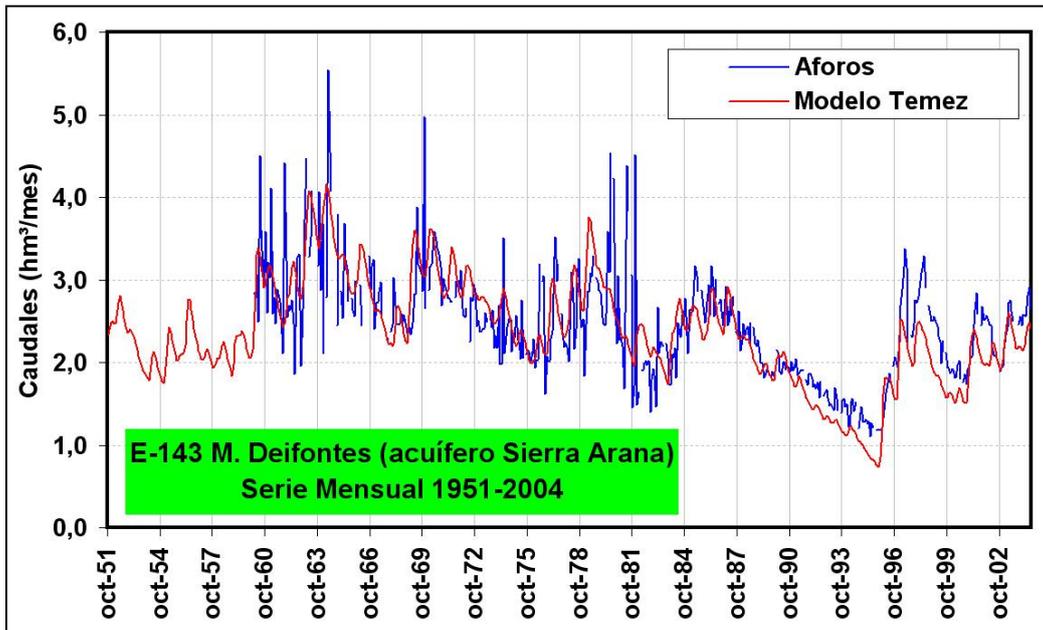


Figura 95. Calibración e-143 (M. Deifontes). Serie mensual 1951-2004

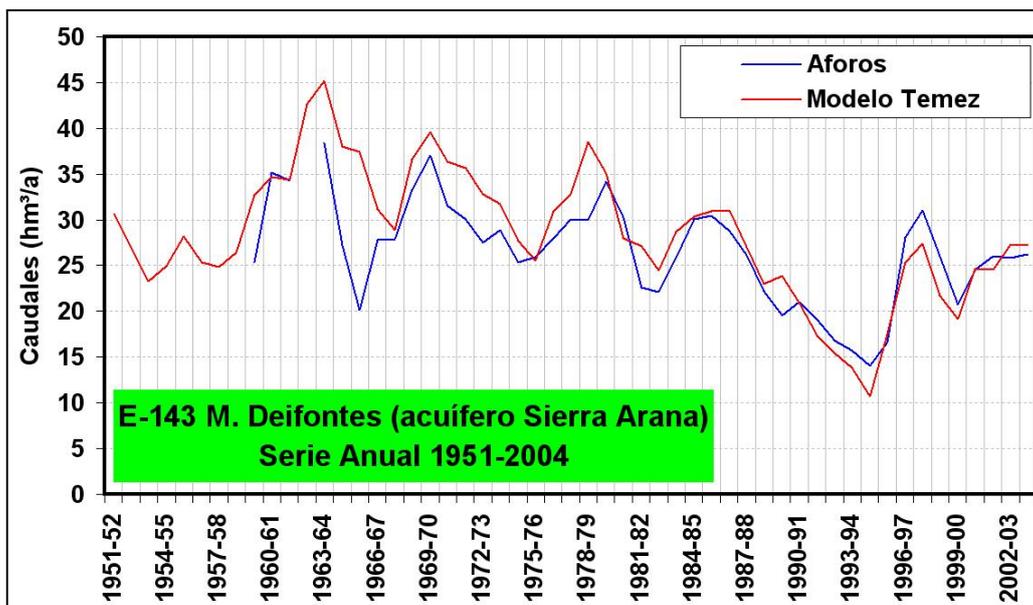


Figura 96. Calibración e-143 (M. Deifontes). Serie anual 1951-2004

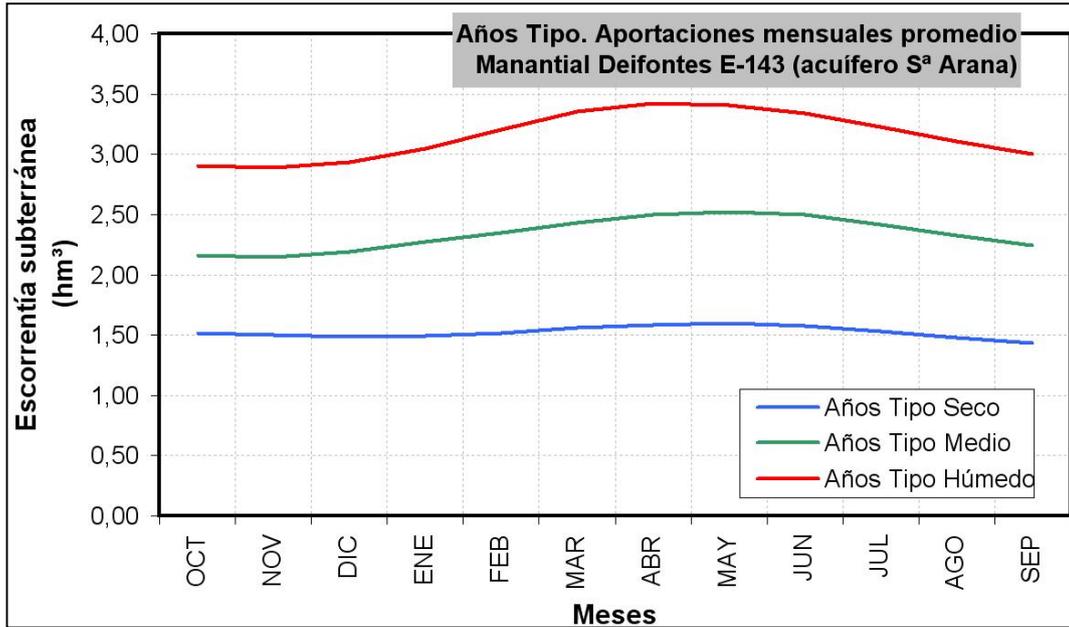


Figura 97. Escorrentía total mensual promedio e-143 (M. Deifontes)

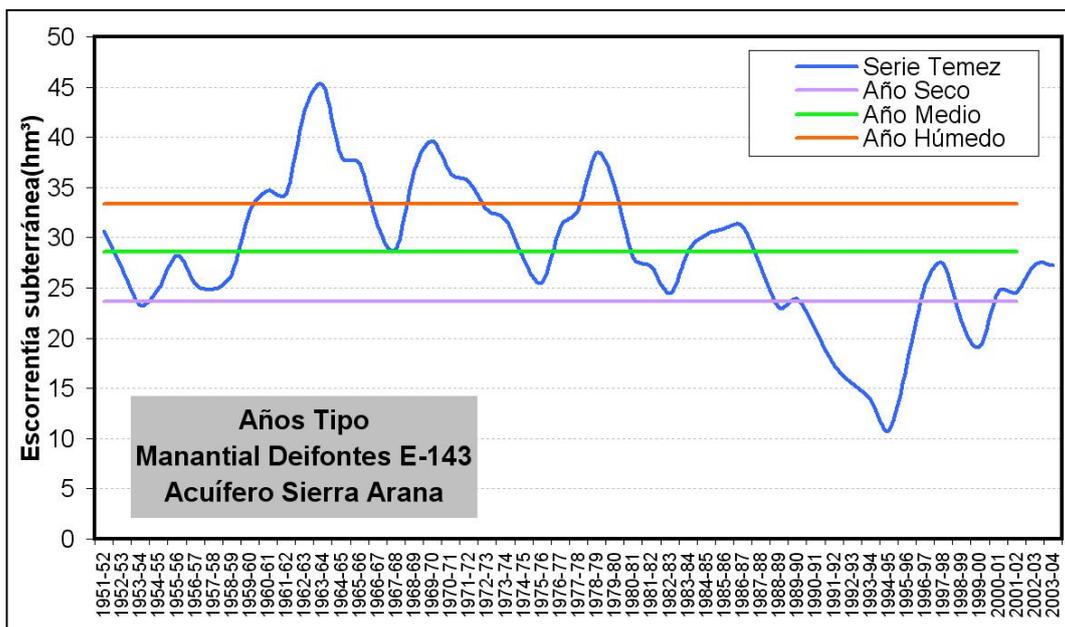


Figura 98. Años Tipo e-143 (Deifontes). Serie 1951-2004

En la calibración de la descarga del manantial de Deifontes se fijado como objetivo obtener un valor promedio mensual y anual de la descarga similar al que se ha constatado mediante medidas directas, con la limitación que imponen tanto el modelo

P-E de Temez modificado como el código SIMGES que se utiliza para la simulación de la gestión conjunta (modelos unicelulares o pluricelulares).

Si sólo se considera un valor para el parámetro de agotamiento $-\alpha-$ del embalse subterráneo, independientemente del estado piezométrico del embalse subterráneo (o estado de llenado), en embalses subterráneo de gran tamaño, como es el caso de Sierra Arana, en ocasiones no se consigue ajustar correctamente la descarga. En estos casos resulta conveniente emplear varios parámetros de agotamiento que permitan simular correctamente la respuesta del sistema hidrogeológico ante circunstancias hidrodinámicas distintas como consecuencia de un diferente estado de llenado diferente.

La opción de modelos pluricelulares no mejora esta circunstancia, ya que en estos modelos los valores del parámetro de agotamiento no responden a situaciones hidrodinámicas distintas, sino a un modelo numérico de parámetros agregados.

Ante las circunstancias hidrodinámicas que acompañan a acuíferos de funcionamiento kárstico con gran capacidad de almacenamiento, como es el caso de Sierra Arana, conviene utilizar, al menos, dos (2) valores distintos para el parámetro de agotamiento, que representen correctamente la respuesta hidrodinámica del embalse subterráneo ante diferentes estados de llenado.

Así, si se considera que existe una relación lineal entre el caudal drenado en cada instante t $-Q(t)-$ y el volumen almacenado en el acuífero por encima de la cota de rebose $-V(t)-$ que marca el manantial de Deifontes (cota topográfica 700 m snm), en función del parámetro de agotamiento, que responde a la ecuación:

$$V(t) = \frac{Q(t)}{\alpha} \quad (13)$$

Se establece un límite en el estado de llenado del embalse subterráneo o volumen de vaciado $-V_A-$, al que corresponde un determinado caudal de drenaje $-Q_A-$, por encima del cual el funcionamiento hidrodinámico se ajuste mediante un parámetro de agotamiento α_n (parámetro de agotamiento estándar) y por debajo del mismo se consigue un mejor ajuste con otro parámetro de agotamiento α_g (parámetro de agotamiento en condiciones de vaciado).

Asimismo, en los supuestos en los que el embalse subterráneo alcanza unos niveles de llenado muy bajos tras un periodo de intensa sequía o intensa explotación³, un episodio que suponga una importante recarga, lo que se traduce en un incremento importante del espesor saturado en un intervalo de tiempo relativamente corto, supone una modificación brusca en las condiciones hidrodinámicas del sistema hidrogeológico, que se traduce en una descarga rápida y cuantiosa, situación en la que pueden, incluso, mobilizarse reservas almacenadas bajo la cota de rebose (aguas “más antiguas”), lo que se traducen en un incremento de la salinidad del agua drenada (“*efecto pistón*”).

Para reproducir este efecto se introduce el concepto de volumen crítico de reserva (V_{cr}), de manera que cuando el embalse subterráneo supera bruscamente este volumen la respuesta del sistema hidrogeológico estaría condicionada por un parámetro de agotamiento específico que responda a una respuesta rápida (parámetro de agotamiento de descarga rápida $-\alpha_r-$).

De manera, que el modelo tipo unicelular (descarga manantial), para un embalse subterráneo de gran capacidad de almacenamiento, quedaría mejor definido mediante tres (3) parámetros de agotamiento y dos (2) parámetros volumétricos:

α_n , parámetro de agotamiento estándar (en condiciones hidrodinámicas normales).

α_g , parámetro de agotamiento en condiciones de vaciado.

α_r , parámetro de agotamiento de respuesta rápida (incremento brusco de la recarga a partir de un estado de mínimo llenado).

V_A , volumen de vaciado, al que corresponde un caudal de respuesta (drenaje) que marca el comienzo del vaciado $-Q_A$ (l/s)- del embalse subterráneo.

V_{cr} , volumen crítico de reserva.

Así, la formulación respondería a las siguientes ecuaciones:

$$\text{Supuesto A: Si } \begin{cases} V(t-2) > V_{cr} \\ Q(t-1) \geq Q_A \\ V(t-2) \leq V_{cr} \\ V(t-1) < V_{cr} \\ Q(t-1) \geq Q_A \end{cases} \quad (14), \text{ el embalse subterráneo, en el}$$

intervalo considerado (Δt : $t-1 \rightarrow t$), está en una situación hidrodinámica normal (no entró en un periodo de agotamiento).

$$\text{Supuesto B: Si } \begin{cases} V(t-2) > V_{cr} \\ Q(t-1) < Q_A \\ V(t-2) \leq V_{cr} \\ V(t-1) < V_{cr} \\ Q(t-1) < Q_A \end{cases} \quad (15), \text{ el embalse subterráneo, en el}$$

intervalo considerado (Δt : $t-1 \rightarrow t$), está en una situación hidrodinámica de vaciamiento de las reservas situadas por encima de la cota de rebose.

³ Es necesario indicar que estas formulaciones basadas en el parámetro de agotamiento sólo son válidas siempre que el embalse hidrogeológico mantenga su superficie piezométrica por encima de la cota de rebose (descarga)

Supuesto C: $\begin{cases} V(t-2) \leq V_{cr} \\ V(t-1) > V_{cr} \end{cases}$ (16), el embalse subterráneo, en el intervalo

considerado (Δt : $t-1 \rightarrow t$), sufre un proceso de recuperación súbita (se supera el volumen crítico de drenaje rápido) a partir de una situación de vaciado.

Almacenamiento por encima de la cota de rebose: $V(t) = \frac{Q(t)}{\alpha_n}$ (17)

Variación en el almacenamiento:

$$\begin{aligned} \text{Supuesto A} & \begin{cases} Q(t) = Q(t-1) \cdot e^{\alpha_n \cdot \Delta t} + R(\Delta t) \cdot (1 - e^{\alpha_n \cdot \Delta t}) \\ \Delta V(\Delta t) = \frac{(Q(t) - Q(t-1))}{\alpha_n} \end{cases} \\ \text{Supuesto B} & \begin{cases} Q(t) = Q(t-1) \cdot e^{\alpha_g \cdot \Delta t} + R(\Delta t) \cdot (1 - e^{\alpha_g \cdot \Delta t}) \\ \Delta V(\Delta t) = \frac{(Q(t) - Q(t-1))}{\alpha_g} \end{cases} \end{aligned} \quad (18)$$

$$\text{Supuesto C} \Rightarrow \begin{cases} Q(t) = Q(t-1) \cdot e^{\alpha_r \cdot \Delta t} + R(\Delta t) \cdot (1 - e^{\alpha_r \cdot \Delta t}) \\ \Delta V(\Delta t) = \frac{(Q(t) - Q(t-1))}{\alpha_r} \end{cases} \quad (19)$$

donde:

Δt , intervalo de tiempo: $\Delta t = t - (t-1)$

$\Delta V(\Delta t)$, variación que registra el almacenamiento en el embalse subterráneo por encima de la cota de rebose durante el intervalo de tiempo Δt .

$R(\Delta t)$, recarga neta que registra el embalse subterráneo en el intervalo de tiempo Δt

Volumen de descarga que registra el embalse subterráneo para un intervalo de tiempo Δt - $F(\Delta t)$ -:

$$F(\Delta t) = V(t-1) - V(t) + R(\Delta t) = R(\Delta t) - \Delta V(\Delta t) \quad (20)$$

$$\begin{aligned}
 \text{Supuesto A} \quad F(\Delta t) &= \frac{(Q(t-1) - Q(t))}{\alpha_n} + R(\Delta t) \\
 \text{Supuesto B} \quad F(\Delta t) &= \frac{(Q(t-1) - Q(t))}{\alpha_g} + R(\Delta t) \\
 \text{Supuesto C} \quad F(\Delta t) &= \frac{(Q(t-1) - Q(t))}{\alpha_r} + R(\Delta t)
 \end{aligned} \quad (21)$$

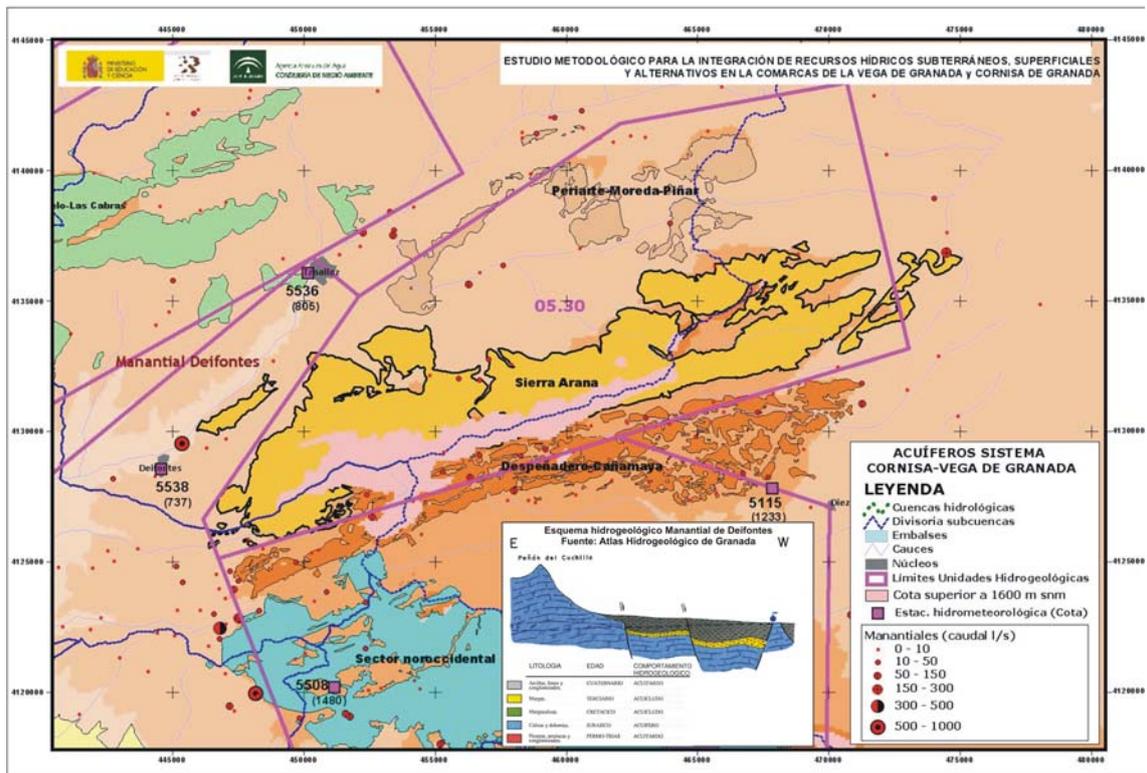


Figura 99. Embalse subterráneo Sierra Arana

Aplicando el modelo de varios parámetros a Sierra Arana se obtiene un mejor ajuste para los siguientes valores:

$Q_0 = 864 \text{ l/s}$ (caudal de descarga al inicio de la simulación)

$Q_A = 700 \text{ l/s}$

$V_{cr} = 45 \text{ hm}^3$

$\alpha_n = 0,00105 \text{ dias}^{-1}$

$\alpha_g = 0,00035 \text{ dias}^{-1}$

$\alpha_r = 0,00380 \text{ dias}^{-1}$

Con este modelo se obtiene un coeficiente de correlación de 0,752 (Figura 100), entre la serie sintética obtenida y la serie de aportaciones registrada en el embalse de Quéntar por la CHG, que se puede catalogar como buena. Para la serie anual se obtiene un coeficiente de correlación de 0,843 (Figura 101), que se puede considerar como buena. Este modelo de agotamiento permite simular con más exactitud el funcionamiento del sistema hidrogeológico, sobre todo en los periodos de vaciamiento y recuperación (comparar Figuras 100 y 95 y Figuras 101 y 96).

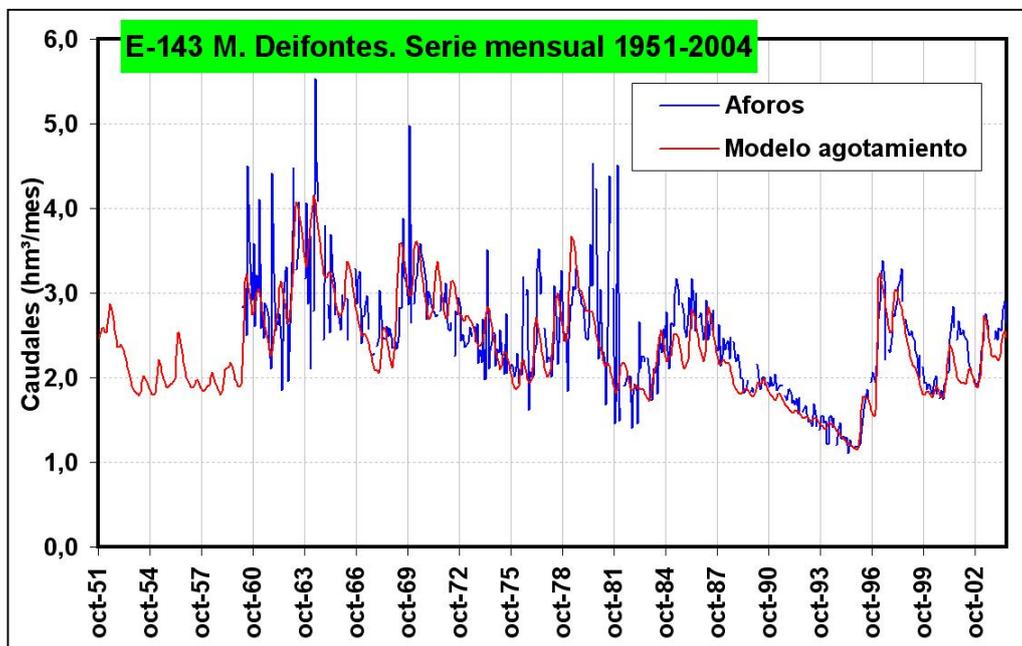


Figura 100. Calibración e-143 (M. Deifontes) modelo agotamiento. Serie mensual 1951-2004

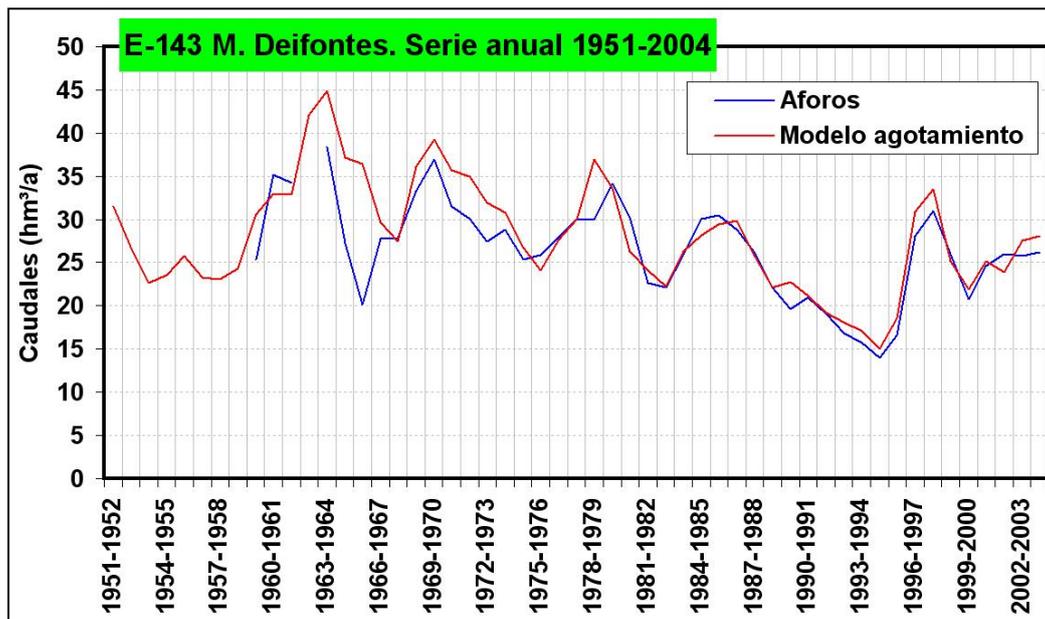


Figura 101. Calibración e-143 (M. Deifontes) modelo agotamiento. Serie anual 1951-2004

Por tanto, la utilización de un modelo para la simulación del funcionamiento del embalse subterráneo de Sierra Arana basado en un único parámetro de agotamiento, supondrá una condición más restrictiva en el vaciamiento que acompaña a periodos de intensa sequía, ya que se simulará una descarga inferior a la real, respecto a un modelo de agotamiento basado en varios parámetros.

En la Figura 102 se ha representado la evolución histórica del almacenamiento en el embalse subterráneo de Sierra Arana (periodo 1951-2004) obtenido mediante la aplicación de un modelo de agotamiento de varios parámetros. Según estos cálculos, la capacidad de almacenamiento promedio del embalse subterráneo, por encima de la cota de rebose –fijada por el manantial de Deifontes (700 m snm)–, asciende a un volumen de 82 hm³, oscilante entre 131 y 31 hm³ (volumen mínimo al final del periodo de vaciamiento que acompañó a la sequía de 1993-1995).

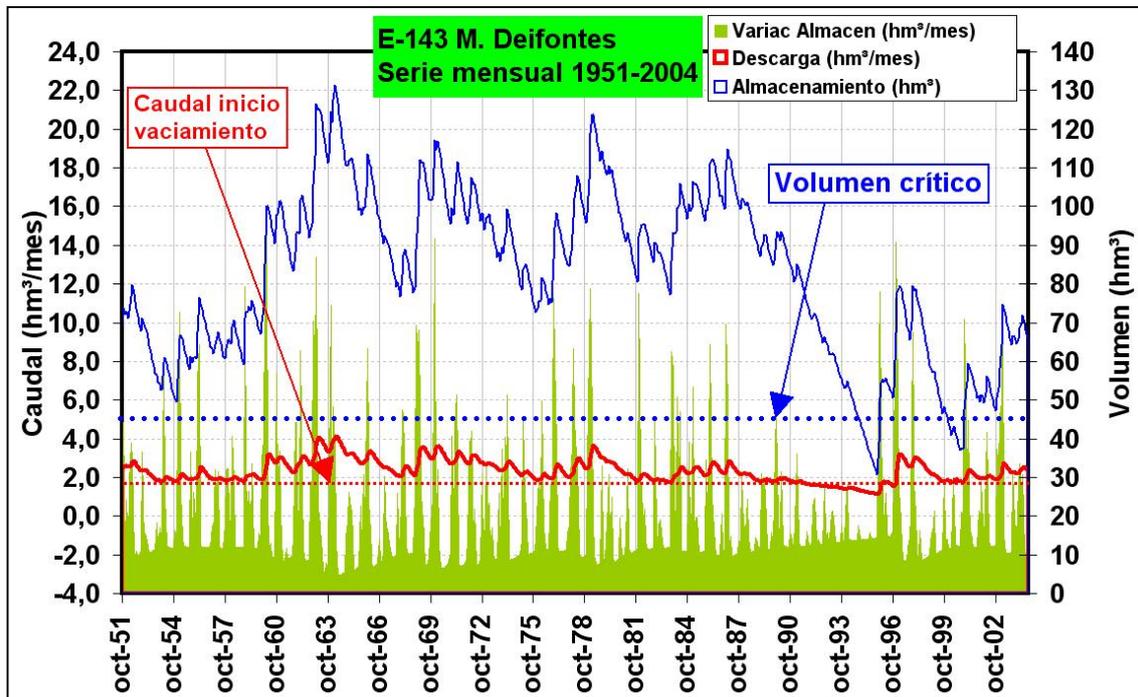


Figura 102. Variación de reservas en el embalse subterráneo de Sierra Arana

6.9.7 Series de aforos sintéticos de la Oficina de Planificación de la CHG

Al objeto de constatar la coherencia de los datos hidrológicos obtenidos mediante el modelo P-E de Temez modificado, se han comparado éstos con la serie sintética de escorrentía total que obtuvo la Oficina de Planificación Hidrológica de la CHG para toda la cuenca, mediante el desarrollo de un modelo P-E tipo Sacramento.

En la tabla adjunta se indican los coeficientes de correlación obtenidos para las series de datos mensuales y anuales en el periodo 1951-1997, ya que los datos de la OPH sólo alcanzan hasta el año 1997.

SERIES SINTÉTICAS DE ESCORRENTÍA TOTAL de la OFICINA PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA CH Guadalquivir				Escorrentía promedio anual (Serie 1951-1997)		Datos CHG en embalses		
CODIGO	NOMBRE	Correlación anual	Correlación mensual	Serie sintética CHG	Modelo Temez modificado	Serie	Aportaciones promedio anual	Modelo Temez modificado
601	GENIL EN EMBALSE DE CANALES	0,562	0,469	63,43	76,48	1986-2004	63,15	58,55
602	GENIL AGUAS ARRIBA DEL DILAR	0,731	0,676	140,07	115,59			
603	GENIL AGUAS ARRIBA DEL CUBILLAS	0,842	0,796	170,01	212,84			
604	GENIL EN E.A. Nº 80 (PUENTE CASTILLA)	0,910	0,841	315,55	499,85			
613	MONACHIL EN E.A. Nº 39	0,534	0,370	18,94	11,01			
614	AGUAS BLANCAS EN EMBALSE DE QUENTAR	0,834	0,822	31,76	24,16	1986-2004	17,09	17,02
615	DILAR EN CENTRAL DILAR	0,694	0,721	20,47	10,40			
616	DILAR COMPLETO	0,857	0,829	27,21	20,42			
617	DARRO EN EMBALSE DE JESUS DEL VALLE	0,857	0,845	15,15	24,17			
619	CUBILLAS COMPLETO	0,892	0,758	119,76	231,88			
620	COLOMERA EN EMBALSE DE COLOMERA	0,832	0,742	24,48	32,61	1990-2004	25,02	26,99
622	CACIN EN EMBALSE DE BERMEJALES	0,860	0,682	53,03	73,16	1986-2004	53,70	65,89
623	CACIN COMPLETO	0,751	0,523	119,76	96,03			

Tabla 35. *Coefficientes de correlación obtenidos para las series hidrológicas obtenidas mediante el modelo P-E Temez modificado y las series sintéticas de la OPH-CHG*

Los coeficientes de correlación obtenidos son bastante satisfactorios excepto en las secciones correspondientes al río Genil en Canales (601) y Monachil en E.A. nº39 (613). Estas diferencias se sustentan en función del tratamiento concedido en cada caso al deshielo de Sierra Nevada.

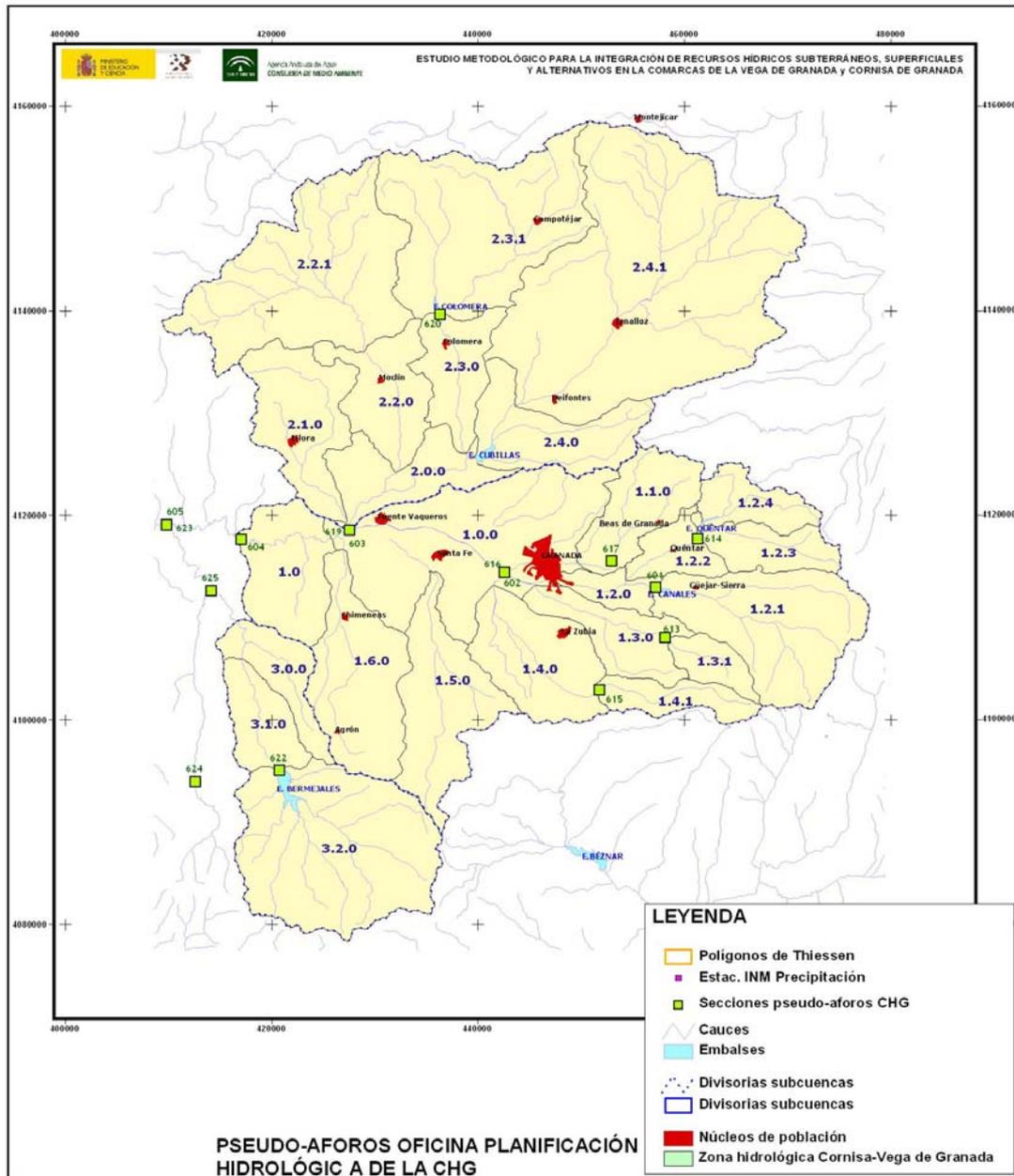


Figura 103. Ubicación de las secciones consideradas por la Oficina de Planificación Hidrológica de la CHG

En las Figuras 104 y 105 se muestran las comparativas para la sección nº 604 GENIL EN E.A. Nº 80 (PUENTE CASTILLA), tanto para las series sintéticas anuales como para los promedios mensuales. En estas Figuras se muestra que las series sintéticas obtenidas mediante el modelo de Temez son algo superiores en cuantía a las obtenidas por la OP-CHG mediante la aplicación del modelo P-E Sacramento, esto

puede achacarse al diferente tratamiento que en ambos casos se ha hecho de la descarga subterránea.

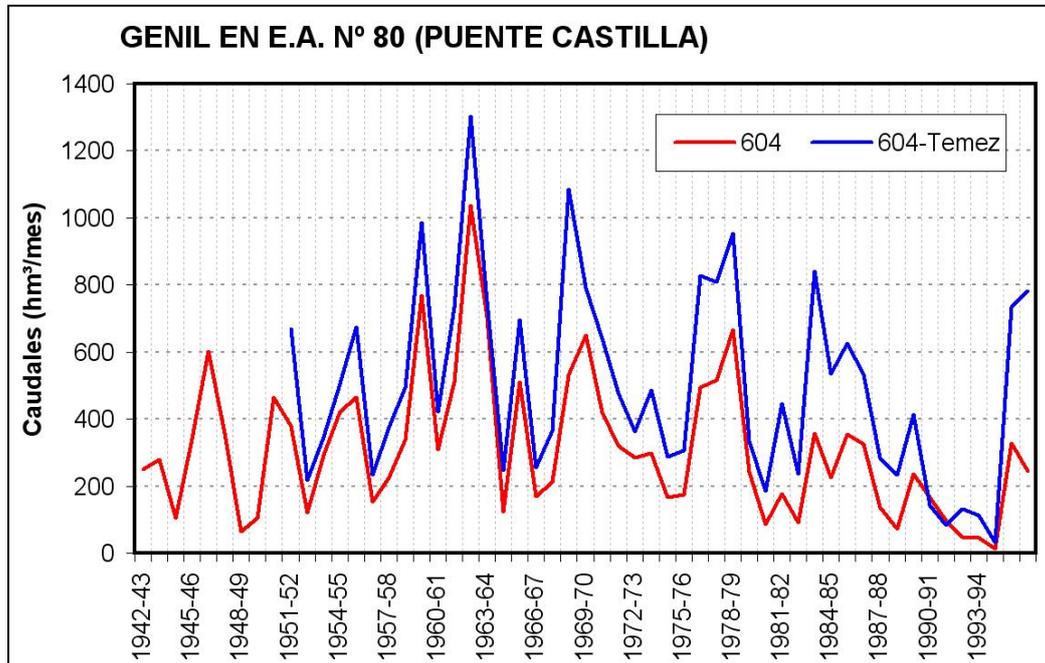


Figura 104. Comparativa series sintéticas anuales modelos P-E de Temez y P-E Sacramento (OP-CHG)

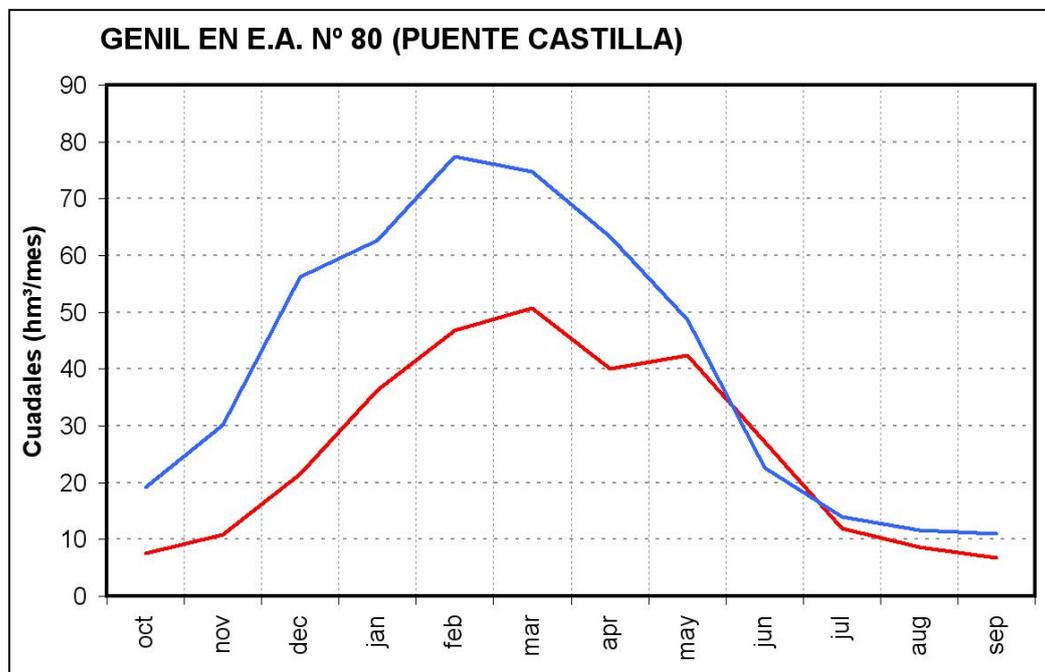


Figura 105. Comparativa series sintéticas anuales modelos P-E de Temez y P-E Sacramento (OP-CHG)

7. EMBALSES SUBTERRÁNEOS

En este apartado se tratan los embalses subterráneos del Sistema Cornisa-Vega de Granada, los cuales presentan una gran relevancia en el sistema de gestión, bien como alternativa única para solventar el suministro de las demandas consuntivas de ciertas zonas del sistema (sobre todo en los sectores septentrional y meridional de la Cornisa de Granada) o como fuente de suministro complementaria para los grandes centros de demanda del sistema, constituyendo, en situaciones de escasez, la única fuente de recursos de que dispone el sistema.

Dada la importancia estratégica que presentan los embalses subterráneos en el sistema objeto de análisis se ha considerado necesario proceder a un tratamiento específico de los mismos, tanto en el propio modelo precipitación-escorrentía utilizado para la generación de las series de escorrentía correspondientes al régimen natural (modelo de Temez modificado), como en los modelos usados para conocer la respuesta de los embalses subterráneos más importantes del sistema (Vega de Granada, Sierra Arana y Tejeda-Almijara) ante los diferentes escenarios de gestión analizados.

Asimismo, la descarga natural de los acuíferos vinculados a las zonas de especial protección ambiental (parques naturales de Sierra Huétor y Sierra Nevada) presenta una especial relevancia en el mantenimiento de los caudales ecológicos, coadyuvando con la regulación natural que ejerce el efecto de deshielo para el mantenimiento de los mismos.

En total se han incluido en el Sistema Cornisa-Vega de Granada un total de 27 embalses subterráneos, repartidos en 9 unidades hidrogeológicas (tabla 36). A su vez, estos embalses subterráneos han sido agrupados en 20 acuíferos de simulación, que han sido incluidos en el modelo de gestión conjunta desarrollado en SIMGES.

UH	Subunidad Hidrogeológica	Embalses Subterráneos	Acuíferos considerados en el modelo de simulación de SIMGES
UH 05.31/La Peza	Beas de Granada-Cogollos Vega-Alfacar	31a Noroccidental	17/La Peza-Darro 4/La Peza-Bermejo
	Aguas Blancas	31b Aguas Blancas	18/La Peza-Quéntar
		31c Aº Padules	
	Cerro Carcabal	31e CerroCarcabal	
	Güejar-Sierra	31d Güejar-Sierra	19/La Peza-Canales
UH 05.65/Sierra del Padúl	Víboras-Monachil	65a Genil	5/Padúl-Canales
		65b Víboras-Monachil	20/Padúl-Monachil
	Padúl	65c Dílar	6/Padúl-Dílar
UH 05.28/Montes Orientales	Frailes-Montillana	28a Montillana	11/Alta Coloma-Montillana
	Alta Coloma	28b Manzanillo	
			28c Montejícar
UH 05.29/Sierra Colomera	Sierra Moclin-Los Morrones	29a Los Morrones	14/Los Morrones
		29b Colomera	2/Colomera
	Sierra del Pozuelo-Campanario-El Rayo-Las Cabras	29c Pozuelo-Las Cabras	13/Pozuelo-Las Cabras
UH 05.30/Sierra Arana	Moreda-Periarte-Piñar	30a Periarte-Moreda-Piñar	10/Periarte-Moreda-Piñar
	Sierra Arana	30b Sierra Arana	3/Sierra Arana
	Despeñadero-Cañamaya	30c Despeñadero-Cañamaya	16/Despeñadero-Cañamaya
UH 05.34/Madrid-Parapanda	Sierra de la Ermita-Sierra Pelada-Montefrío	34a Sierra Pelada	1/Madrid-Pelada-Obéilar
	Sierra de Madrid	34b Sierra Madrid	
	Sierra de Obéilar	34c Sierra Obéilar	
	Sierra de Parapanda	34d Sierra Parapanda	15/Parapanda
UH 05.42/Sierra Tejeda-Almijara	Sierra Tejeda	42a Sierra Tejeda	8/Tejeda-Almijara
	Sierra de Almijara	42b Almijara	
	Sierra de las Albuñuelas	42c Agrón	7/Albuñuelas
UH 05.32/Vega de Granada	Vega de Granada	32 Vega de Granada	9/Vega de Granada
UH 05.33/Sierra Elvira	Sierra Elvira	33 Sierra Elvira	

Tabla 36. *Embalses subterráneos definidos en el Sistema Cornisa-Vega de Granada*

Los datos de balances hidrogeológicos que se recogen en las Normas de Explotación de Unidades Hidrogeológicas elaboradas en el desarrollo del Convenio suscrito entre la CH Guadalquivir y el IGME se resumen en la tabla 37.

Unidad Hidrogeológica	Lluvia útil (mm)	Subunidad Hidrogeológica	Sup. Aflojam. (km ²)	Infiltrac. Lluvia (hm ³ /a)	Aliment. Lateral Subterránea (hm ³ /a)	Retornos riegos (hm ³ /a)	ENTRADAS (hm ³ /a)	Tasa Infiltración (mm)	Coef. Infiltrac. (%)	Salidas a cauces (hm ³ /a)	Transf. Lateral Subterránea (hm ³ /a)	Bombeos (hm ³ /a)	SALIDAS (hm ³ /a)
05.28 Montes Orientales	330,5	Frailes-Montillana	35,0	5,5	0,3 (a)	0,0	5,8	157	47,5%	5,1	0,0	0,7	5,8
		Alta Coloma	35,0	8,0	8,0 (a)	0,0	16,0	229	69,2%	15,7 (p)	0,0	0,3	16,0
05.29 Sierra de Colomera	241,3	Sierra de Moclín-Los Morrones	39,0	10,0	0,0	0,0	10,0	256	106,3%	7,0	13,5 (f)	4,5	25,0
		Sierra del Pozuelo-Campanario-El Rayo-Las Cabras	59,0	15,0	0,0	0,0	15,0	254	105,4%				
05.30 Sierra Arana	337,0	Sierra Arana	89,0	30,0	2,0 (b)	0,0	32,0	337	100,0%	31,5		0,5	32,0
		Despeñadero-Cañamaya	247,0	30,0	7,5	0,0	7,5	250	101,2%	5,5	2,0 (g)	0,0	7,5
		Moreda-Periarte-Piñar	301,0	41,0	12,5	0,0	12,5	305	101,3%	3,0	8,0 (h)	1,5	12,5
05.33 Sierra Elvira	205,0	Los Morrones	8,0	1,5	4,5 (c)	0,0	6,0	150	73,2%	0,0	4,0 (i)	2,0	6,0
		Ermita Los Tres Juanes-Atalaya	2,0										
05.31 La Peza	448,0	Cerro Carcabal	181,5	1,0	0,0	0,0	1,0	275	61,5%	25,0	22,0 (j)	3,0	50,0
		Güejar-Sierra		14,0	0,0	0,0	14,0						
		Aguas Blancas		13,0	0,0	0,0	13,0						
		Beas de Granada-Cogollos Vega-Alfacar		22,0	0,0	0,0	22,0						
05.32 Depresión de Granada	379,5	Vega de Granada	200,0	30,0 (n)	47,0 (d)	155,0 (ñ)	232,0	150	39,5%	188,0	4,0 (k)	40,0	232,0
		Mio-Plioceno	800,0	50,0	2,0 (e)	0,0	50,0	63	16,5%	47,0	0,0	5,0	52,0
05.34 Madrid-Parapanda	301,0	Sierra de Parapanda	16,0	4,50	0,0	0,0	4,50	281	93,4%	2,7 (o)	0,0		
		Sierra de Madrid	8,0	2,00	0,0	0,0	2,00	250	83,1%	1,0	0,0		
		Sierra de Obéilar	3,0	0,50	0,0	0,0	0,50	167	55,4%	0,2	0,0		
		Sierra de la Ermita-Sierra Pelada-Montefrío	5,5	3,00	0,0	0,0	3,00	545	181,2%	2,6	0,0		
		Areniscas de Montefrío	4,5	1,00	0,0	0,0	1,00	222	73,8%	0,8	0,0		
05.42 Tejada-Almijara-Las Guájaras	223,0	Sierra Tejada	33,0	12,50	0,0	0,0	12,50	379	169,9%	12,5	0,0	0,0	12,5
		Sierra de Almijara	118,0	35,00	0,0	0,0	35,00	297	133,0%	35,0	0,0	0,0	35,0
		Sierra de las Albuñuelas	43,0	9,50	0,0	0,0	9,50	221	99,1%	0,0	2,0 (l)	7,5	9,5
05.65 Sierra de Padúl	360,0	Víboras-Monachil	51,0	19,00	0,0	0,0	19,00	373	103,5%	17,5	0,0	1,5	19,0
		Padúl	84,0	27,50	0,0	0,0	27,50	327	90,9%	17,5	7,5 (m)	2,5	27,5
SISTEMA CORNISA-VEGA DE GRANADA	306,7		1.885,5	334,5	63,8	155,0	553,3	177	57,9%	417,6	62,9	72,8	553,3

(a) Infiltración diferida desde materiales semipermeables adyacentes y otras entradas desconocidas

(b) Alimentación lateral procedente de la subunidad Despeñadero-Cañamaya

(c) Aportes subterráneos profundos

(d) Alimentación lateral procedente de las UHH de borde (05.29/Sierra Colomera y 05.31/La Peza a través de la Fm.Cuaternaria Alhambra, 05.65/Sierra de Padúl a través de la Fm. Cuaternaria La Zubia y 05.33/Sierra Elvira)

(e) Alimentación lateral procedente de la subunidad Albuñuelas (05.42)

(f) Transferencia Lateral subterránea a la Depresión de Granada (05.32)

(g) Transferencia Lateral subterránea a la subunidad de Sierra Arana

(h) Transferencia Lateral subterránea a la Depresión de Guadix (externa al Sistema Cornisa-Vega de Granada)

(i) Transferencia Lateral subterránea a la Depresión de Granada (05.32)

(j) Transferencia Lateral subterránea a la Depresión de Granada (05.32)

(k) Transferencia Lateral subterránea a materiales cuaternarios de la Vega Baja (externas al Sistema Cornisa-Vega de Granada)

(l) Transferencia Lateral subterránea a la Depresión de Granada –Mioplioceno- (05.32)

(m) Transferencia Lateral subterránea a la Depresión de Granada (05.32)

(n) Incluye la recarga en cauces (Genil, Monachil y Dílar)

(o) Incluye las pérdidas en la red de acequias de riego

(p) Descarga a través del manantial de Alomartes (descarga externa al Sistema Cornisa-Vega de Granada)

(q) Una significativa porción de esta descarga corresponde a los manantiales de Arbuñiel (12,5 hm³/a) (descarga externa al Sistema Cornisa-Vega de Granada)

Tabla 37.

Balances hidrogeológicos Unidades Hidrogeológicas del Sistema Cornisa-Vega de Granada (Fuente: Normas de Explotación CHG-IGME)

Según estos datos, los recursos renovables de las 9 unidades hidrogeológicas pertenecientes al Sistema Cornisa–Vega de Granada supone un volumen medio anual de 553,3 hm³, de los que 155 hm³ corresponden a retornos de riegos en la Vega de Granada y los 298,3 hm³/a restantes a recarga por infiltración de agua de lluvia (334,5 hm³/a) y transferencias laterales subterráneas (63,8 hm³/a).

Asimismo, entre las UUHH del Sistema Cornisa–Vega de Granada se establecen unas transferencias laterales fijadas en 51 hm³/a. Las transferencias laterales a unidades hidrogeológicas externas al Sistemas Cornisa–Vega de Grabada se evalúan en 8 hm³/a.

Por tanto, los recursos renovables en régimen natural de las 9 unidades hidrogeológicas consideradas corresponderían a 502,3 hm³/a, mientras que los recursos renovables asignables al Sistema Cornisa–Vega de Granda ascenderían a 479,3 hm³/a. De este volumen total de recursos subterráneos, sólo 72,7 hm³/a están regulados mediante extracciones. Otra porción importante, sin determinar en los documentos consultados, corresponde a captación directa en manantiales y/o regulación mediante embalses de superficie.

Los resultados del modelo P–E de Temez aplicado concluyen que la recarga natural que, por infiltración del agua de lluvia, reciben los embalses subterráneos del Sistema Cornisa–Vega de Granada se cifra en un promedio anual de 168,46 hm³, según los resultados del modelo precipitación–escorrentía desarrollado (modelo de Temez modificado), con una oscilación para el periodo analizado (1951–2004) de entre 3,97 y 384,36 hm³/a. Estas cifras suponen que, por término medio, la recarga de los acuíferos constituye el 29,4% de la lluvia útil que registra el sistema (tabla 38).

	LLUVIA ÚTIL (hm ³ /a)	RECARGA por INFILTRACIÓN de AGUA de LLUVIA a los EMBALSES SUBTERRÁNEOS (hm ³ /a)	ESCORRENTÍA SUPERFICIAL DIRECTA (hm ³ /a)
Mínimo	20,84	3,97	16,87
Q25%	297,43	96,65	200,79
Mediana	555,18	169,17	381,97
Promedio	573,91	168,46	405,45
Q75%	784,42	226,30	559,74
Máximo	1.537,88	384,36	1.153,51
Desv. Estándar	355,22	90,25	265,93
Coef Variación	1,616	1,867	1,525

Tabla 38. Resultados modelo de Temez. Escorrentía superficial directa y recarga de embalses subterráneos

Si se analizan los resultados del modelo de Temez comparando los datos de escorrentía total y subterránea (Figuras 106 a 109) se percibe con más nitidez la importancia que presentan los embalses subterráneos en la gestión del sistema, puesto que el 44,87 % de los recursos del sistema en los años tipo Seco procede de la descarga de acuíferos (escorrentía subterránea), porcentaje que desciende al 32,56% para los años tipo Medio y al 26,65% para los años tipo Húmedo (tabla 39).

ESCORRENTÍA TOTAL (hm ³ /a) SISTEMA CORNISA-VEGA DE GRANADA				ESCORRENTÍA SUBTERRÁNEA (hm ³ /a) SISTEMA CORNISA-VEGA DE GRANADA			
AÑOS TIPO	SECO	MEDIO	HÚMEDO	AÑOS TIPO	SECO	MEDIO	HÚMEDO
Mínimo	43,14	338,62	774,77	Mínimo	36,25	137,17	223,87
Cuartil 25%	151,79	421,37	902,67	Cuartil 25%	67,55	156,95	240,31
Promedio	222,57	552,24	1002,35	Promedio	99,86	179,81	267,15
Mediana	241,86	548,48	940,06	Mediana	113,91	179,20	247,97
Cuartil 75%	290,54	659,65	1107,13	Cuartil 75%	129,82	207,39	293,58
Máximo	332,63	744,69	1452,96	Máximo	133,99	220,34	338,65
Desv. Estándar	85,41	127,93	178,65	Desv. Estándar	34,04	28,00	37,28
C _v	2,61	4,32	5,61	C _v	2,93	6,42	7,17

Tabla 39. Resultados modelo de Temez. Escorrentía total y escorrentía subterránea del Sistema Cornisa-Vega de Granada

Aún más, para el año más seco de la serie 1951–2004 analizada (año hidrológico 1994–95), el 84,03 % de la escorrentía del sistema procedió de la descarga de los acuíferos.

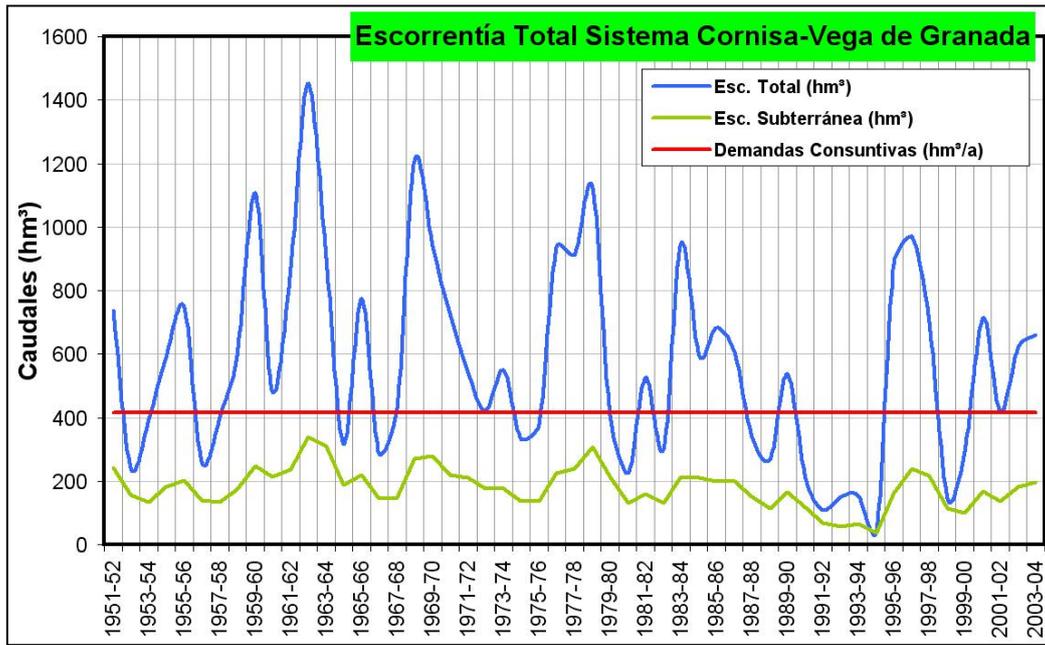


Figura 106. Distribución Anual de la Escorrentía Total y Subterránea del Sistema Cornisa-Vega de Granada. Periodo 1951-2004

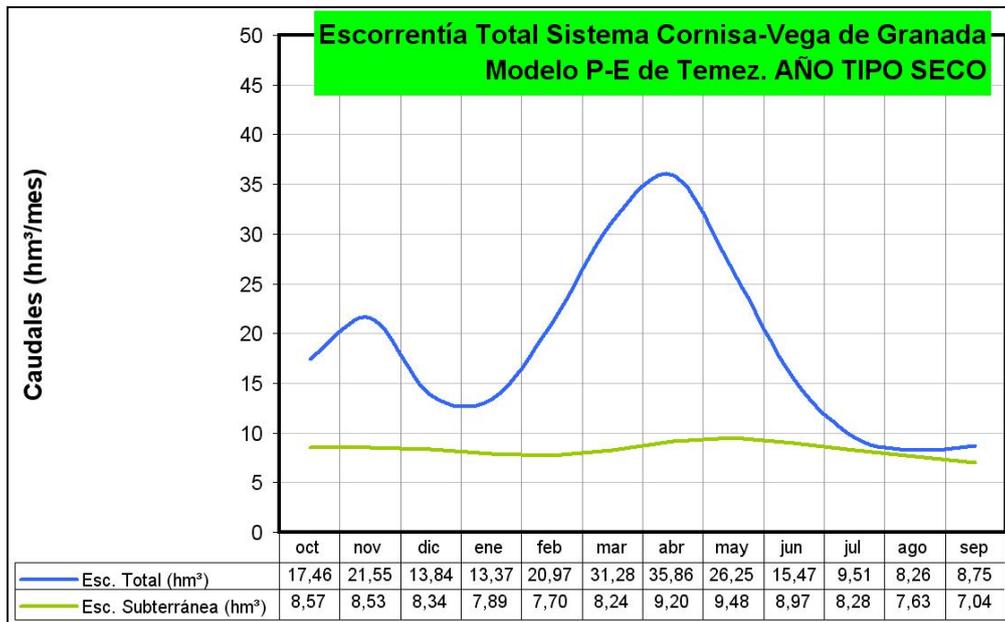


Figura 107. Distribución mensual de la Escorrentía Total y Subterránea (año Tipo Seco) del Sistema Cornisa-Vega de Granada

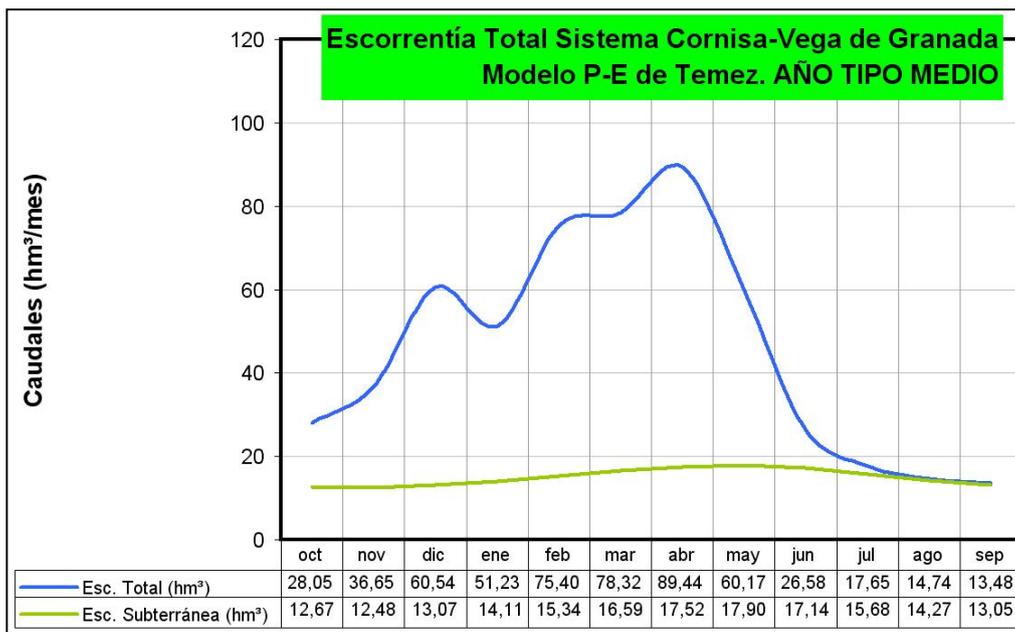


Figura 108. Distribución mensual de la Escorrentía Total y Subterránea (año Tipo Medio) del Sistema Cornisa-Vega de Granada

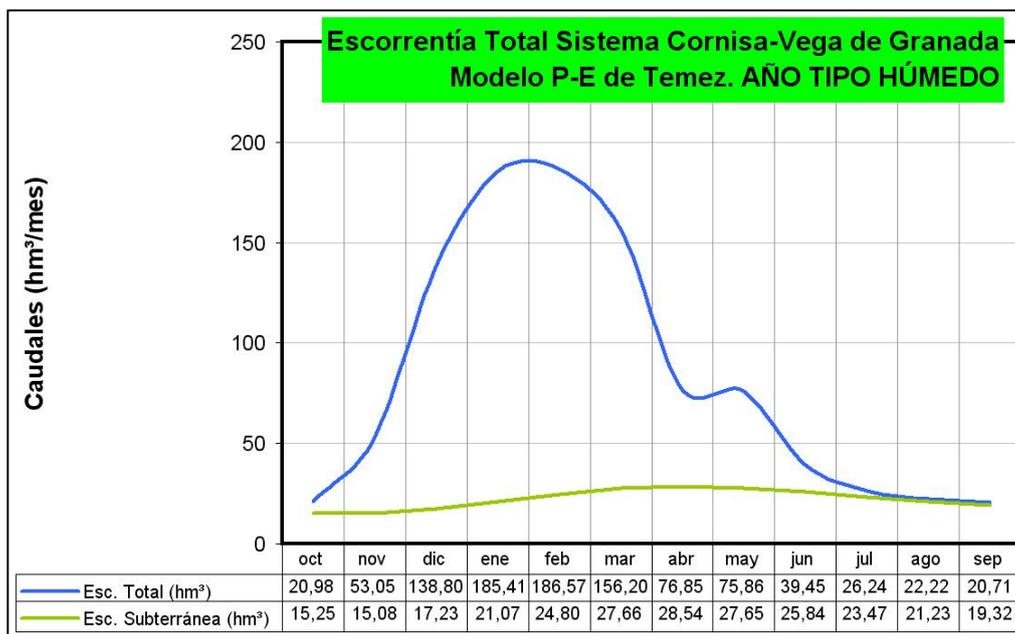


Figura 109. Distribución mensual de la Escorrentía Total y Subterránea (año Tipo Húmedo) del Sistema Cornisa-Vega de Granada

Las cifras obtenidas mediante el modelo P-E de Temez son sensiblemente inferiores a las estimaciones que aparecen en las Normas de Explotación CHG-IGME (334,5 hm³/a), las razones se exponen a continuación (tabla 40 y Figura 110):

- En la UH 05.28/Montes Orientales sólo se ha considerado en el modelo P-E Temez la superficie de los afloramientos que pertenecen al Sistema Cornisa-Vega de Granada, de aquí la diferencia entre las cifras de las Normas de explotación para esta UH (13,5 hm³/a) y el modelo P-E Temez (8,0 hm³/a).
- En la UH 05.29/Sierra Colomera los datos de infiltración de agua de lluvia (25,0 hm³/a) que aparecen en las Normas Explotación CHG-IGME implican un coeficiente de infiltración del 105% de la lluvia útil, lo cual es excesivo. Esta cifra sólo se justificaría con aportación adicional procedente de infiltración de materiales semipermeables. La cifra que se ha obtenido mediante el modelo P-E de Temez (12,2 hm³/a) parece más razonable.
- Las cifras correspondientes a la UH 05.30/Sierra Arana son muy similares, así de las Normas de Explotación CHG-IGME se desprende una cifra de 41,0 hm³/a para la descarga en régimen natural a cauces, mientras que el modelo de Temez implica 33,3 hm³/a. Esta diferencia se justificaría por la mayor amplitud de la serie de datos considerada para el modelo P-E Temez (1951-2004).
- En la UH 05.31 las cifras de descarga a cauces que se fijan en las Normas de Explotación CHG-IGME (27,5 hm³/a) es similar a la obtenida mediante el modelo P-E de Temez (31,4 hm³/a)
- Las diferencias para la UH 05.34/Madrid-Parapanda entre las cifras del modelo P-E de Temez (2,7 hm³/a) y las que se citan en las Normas de Explotación CHG-IGME (11,0 hm³/a) son muy notables y radican en que las cifras de las Normas de Explotación para la recarga por infiltración de agua de lluvia suponen un coeficiente de infiltración del 99% de la lluvia útil, lo cual es excesivo, siendo más razonables las cifras que ofrece el modelo P-E de Temez, al menos que no exista una recarga adicional a favor de la infiltración de

materiales semipermeables. Además, las descargas principales de estos embalses subterráneos se asocian al sector oeste (manantiales de Alomartes y El Bañuelo), los cuales drenan fuera del Sistema Cornisa-Vega de Granada (recursos externos), situándose gran parte de los afloramientos permeables fuera de los límites del Sistema, por lo que las cifras del modelo P-E de Temez serán consecuentemente inferiores.

- Para la UH 05.42/Tejeda-Almijara-Las Guajaras las diferencias entre las cifras de las Normas de Explotación CHG-IGME (55,0 hm³/a) y el modelo P-E Temez (43,3 hm³/a) para la descarga en régimen natural a cauces puede deberse a la mayor amplitud de la serie temporal considerada en el modelo P-E Temez (1951-2004).
- Las diferencias que se aprecian para la UH 06.65/Sierra del Padúl entre las cifras de las Normas de Explotación CHG-IGME (38,5 hm³/a) y el modelo P-E Temez (17,5 hm³/a) para la descarga en régimen natural a cauces se debe a que la descarga de la porción meridional de esta UH se ubica fuera de los límites del Sistema Cornisa-Vega de Granada (descargas al río Dúrcal cifradas en 8,5 hm³/a) y a que en las Normas de Explotación CHG-IGME se ha considerado una recarga por infiltración de agua de lluvia que supone un 96% de la lluvia útil.
- La cifra de descarga en régimen natural correspondiente a la UH 5.32/Depresión de Granada que aparece en las Normas de Explotación CHG-IGME (125,0 hm³/a) parte de considerar dos subunidades hidrogeológicas: la Depresión de Granada y el Mio-Plioceno. En los cálculos realizados mediante el modelo P-E Temez no se ha considerado la subunidad Mio-Plioceno, ya que a efectos prácticos esta se simula como una transferencia lateral hacia la Depresión de Granada. Para esta subunidad hidrogeológica en las Normas de Explotación CHG-IGME se fijan unas transferencias laterales procedentes de UUHH colindantes (05.29/Sierra Colomera, 05.31/La Peza, 05.65/Sierra de Padúl y 05.33/Sierra Elvira) de 47 hm³/a y una recarga por infiltración de agua

de lluvia 30 hm³/a, cifra que se aproxima a lo simulado mediante el modelo P-E Temez (28,1 hm³/a). Las transferencias laterales se simulan mediante el modelo de autovalores que se ha desarrollado para la Depresión de Granada.

Unidades Hidrogeológicas		RECARGA INF. AGUA LLUVIA (hm ³ /a)	TRANSFERENCIA LATERAL (hm ³ /a)	RECARGA REG. NATURAL (hm ³ /a)	DRENAJE CAUCES REG. NATURAL (hm ³ /a)	TRANSFERENCIA LATERAL REG. NATURAL (hm ³ /a)	Esc. Subt. Modelo P-E Temez (hm ³ /a)
05.28	Montes Orientales	13,5	8,3	21,8	21,8	0,0	8,0
05.29	Sierra de Colomera	25,0	0,0	25,0	11,5	13,5	12,2
05.30	Sierra Arana	50,0	0,0	50,0	41,0	9,0	33,3
05.31	La Peza	50,0	0,0	50,0	27,5	22,5	31,4
05.34	Madrid-Parapanda	11,0	0,00	11,0	11,0	0,0	2,7
05.42	Tejeda-Almijara-Las Guájaras	57,0	0,00	57,0	55,0	2,0	43,4
05.65	Sierra de Padúl	46,5	0,00	46,5	38,5	8,0	17,5
05.33	Sierra Elvira	1,5	4,5	6,0	0,0	6,0	3,2
05.32	Depresión de Granada	80,0	47,0	129,0	125,0	4,0	28,1
Sistema Cornisa-Vega de Granada		334,5	59,8	396,3	331,3	65,0	179,8

Tabla 40. Datos de balance hidrogeológico en las UHH del Sistema Cornisa-Vega de Granada

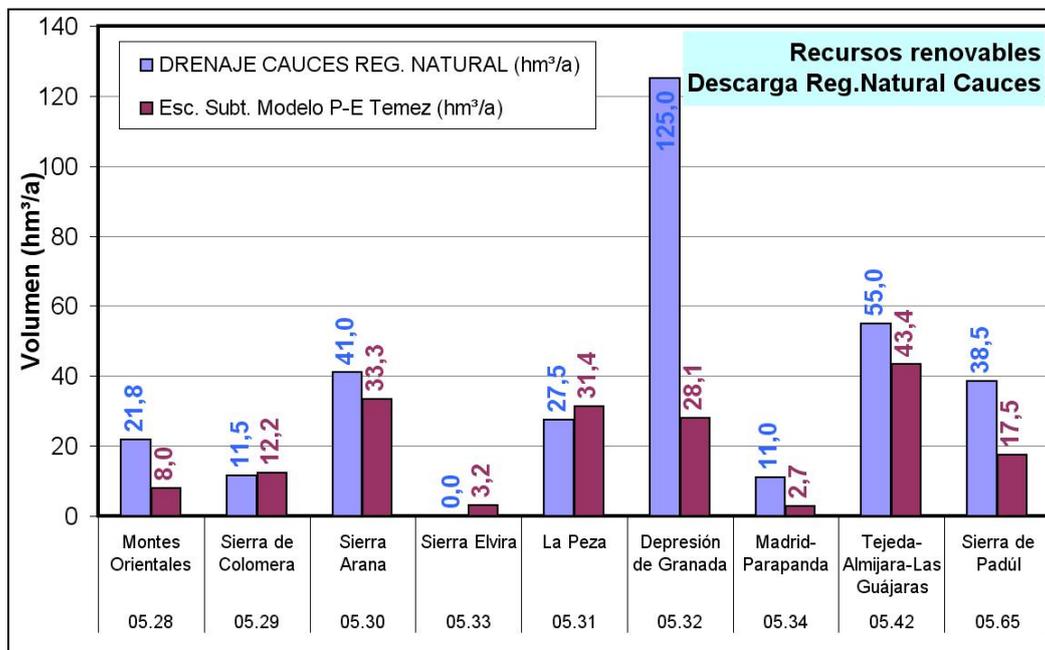


Figura 110. Comparativa descarga a cauces en régimen natural entre las cifras del modelo P-E de Temez y las cifras consideradas en las Normas de explotación CHG-IGME

En total se han incluido en el Sistema Cornisa-Vega de Granada un total de 27 embalses subterráneos, con un global de recursos renovables promedio anuales de 179,84 hm³, oscilando entre 36,25 y 338,65 hm³/a para el periodo considerado (1951-2004) (Figura 111) . Según años tipo, se obtiene un volumen de recursos anual de 99,86 hm³ para el año Tipo Seco, 179,81 hm³ para el año Tipo Medio y 267,15 hm³ para el año Tipo Húmedo (ver Figura 111). La distribución mensual de recursos subterráneos según años tipos se muestra en la Figura 112.

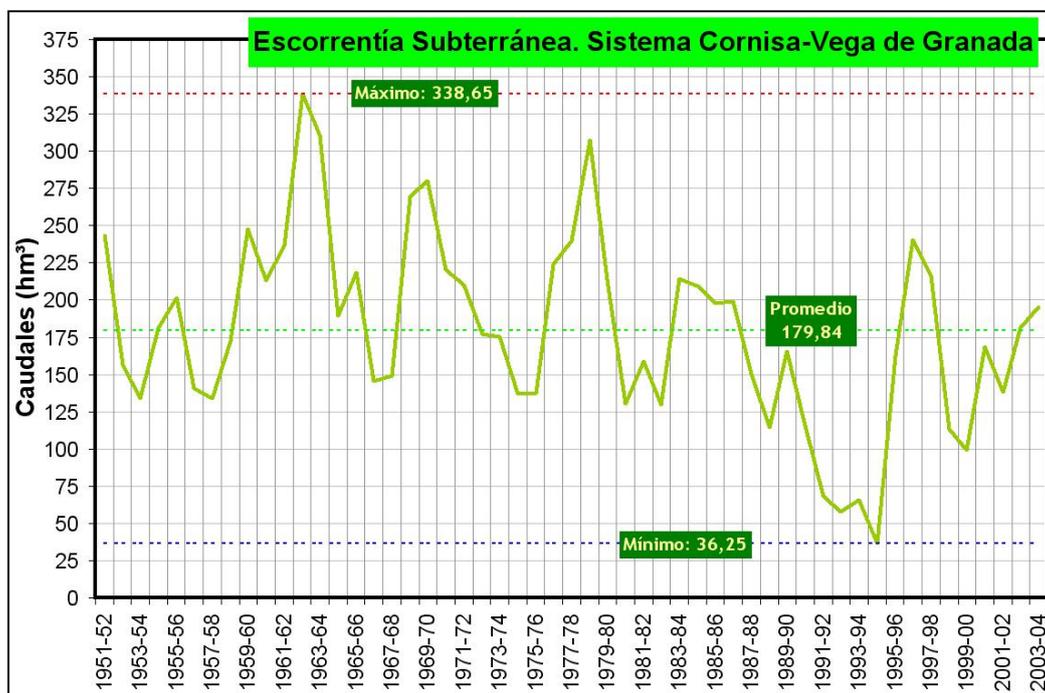
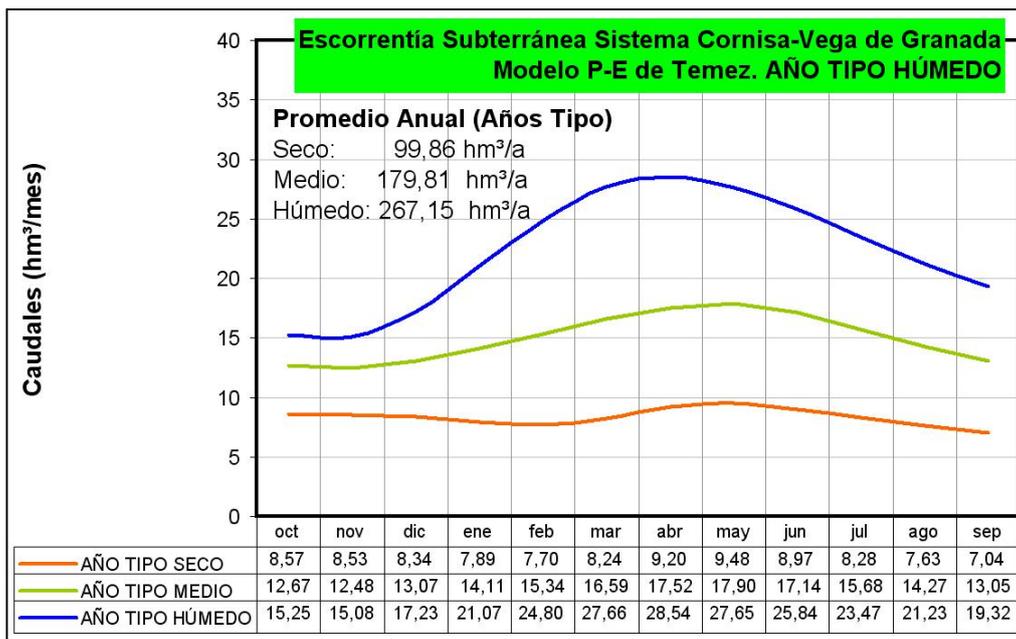


Figura 111. Escorrentía subterránea Sistema Cornisa-Vega de Granada
Distribución Anual en Régimen Natural (modelo P-E Temez
modificado)



*Figura 112. Escorrentía subterránea Sistema Cornisa-Vega de Granada
Distribución Mensual Años Tipo en Régimen Natural (modelo P-E
Temez modificado)*

Según el modelo de Temez modificado aplicado, el volumen promedio almacenado en los embalses subterráneos por encima de la cota de rebose o **reservas de agotamiento**⁴, para las condiciones del régimen natural (serie 1951–2004), se cifraría en 222,25 hm³ (tablas 41 y 42), que es una cifra algo inferior a la capacidad de almacenamiento superficial en embalses de que dispone el Sistema Cornisa-Vega de Granada, cifrado en 248,05 hm³.

⁴ Volumen de aguas subterráneas almacenadas en el embalse subterráneo por encima de la cota rebose, correspondería al volumen de agua que se drenaría por el rebose hidrogeológico, a lo largo del tiempo, si la recarga se anulase.

Unidad hidrogeológica	Embalse Subterráneo	Superf. Afloram. (km ²)	Reservas agotamiento ^(a) (hm ³)	Escorrentía Subterránea (hm ³ /a)
UH 05.31/La Peza	31a Noroccidental	52,88	14,44	12,28
	31b Aguas Blancas	32,04	4,54	7,33
	31c A ^o Padules	13,72	2,06	3,32
	31d Güejar-Sierra	30,17	6,19	7,77
	31e Cerro Carcabal	3,26	0,57	0,71
UH 05.65/Sierra del Padúl	65a Genil	16,52	4,00	5,03
	65b Víboras-Monachil	43,34	5,70	7,16
	65c Dílar	22,83	4,26	5,35
UH 05.28/Montes Orientales	28a Montillana	27,64	1,27	2,96
	28b Manzanillo ⁽¹⁾	14,20	0,99	2,31
	28c Montejicar ⁽¹⁾	12,89	1,19	2,77
UH 05.29/Sierra Colomera	29a Los Morrones	23,49	1,07	2,50
	29b Colomera	15,22	0,57	1,34
	29c Pozuelo-Las Cabras	59,23	3,59	8,38
UH 05.30/Sierra Arana	30a Periarde-Moreda-Piñar	17,68	1,90	3,76
	30b Sierra Arana	86,40	76,30	28,34
	30c Despeñadero-Cañamaya	6,96	1,18	1,20
UH 05.34/Madrid-Parapanda	34a Sierra Pelada	4,58	0,23	0,53
	34b Sierra Madrid	10,21	0,52	1,22
	34c Sierra Obéilar	2,80	0,11	0,32
	34d Sierra Parapanda	7,10	1,20	0,63
UH 05.42/Sierra Tejada-Almijara	42a Sierra Tejada ⁽²⁾	94,29	16,55	20,77
	42b Almijara ⁽²⁾	73,17	12,84	16,12
	42c Agrón	73,69	6,82	6,48
UH 05.32/Depresión de Granada		206,07	51,64	28,07
UH 05.33/Sierra Elvira		8,24	2,56	3,21
SUMA		958,62	222,25	179,84

(a) Volumen promedio anual (serie 1951-2004) de reservas almacenadas en el embalse subterráneo por encima de la cota de rebose

(1) En el modelo para la simulación del uso conjunto estos dos embalses subterráneos se han considerado como uno único (28bc Alta Coloma)

(2) En el modelo para la simulación del uso conjunto estos dos embalses subterráneos se han considerado como uno único (42abTejada-Almijara)

Tabla 41.

Recursos hídricos subterráneos del Sistema Cornisa-Vega de Granada

Según los datos que se presentan en las tablas 41 y 42, los embalses subterráneos del Sistema Cornisa-Vega de Granada disponen de una capacidad de almacenamiento por encima de la cota de rebose de 0,23 hm³ por cada km² de afloramientos permeables, por termino medio, oscilando entre 0,04 y 0,88 hm³/km²

Unidad hidrogeológica	Superf. Afloram. (km ²)	Reservas agotamiento (hm ³)	Escorrentía Subterránea (hm ³ /a)
UH 05.31/La Peza	132,07	27,79	31,41
UH 05.65/Sierra del Padúl	82,69	13,96	17,53
UH 05.28/Montes Orientales	54,73	3,45	8,05
UH 05.29/Sierra Colomera	97,94	5,23	12,21
UH 05.30/Sierra Arana	111,05	79,38	33,29
UH 05.34/Madrid-Parapanda	24,69	2,05	2,71
UH 05.42/Sierra Tejeda-Almijara	241,15	36,20	43,37
UH 05.32/Vega de Granada	206,07	51,64	28,07
UH 05.33/Sierra Elvira	8,24	2,56	3,21
SUMA	958,62	222,25	179,84

Tabla 42. *Recursos hídricos subterráneos del Sistema Cornisa-Vega de Granada según Unidades Hidrogeológicas*

Las reservas de agotamiento de un embalse subterráneo dependen del estado piezométrico, de la geometría (volumen de roca acuífera) y de los parámetros hidrodinámicos, por lo que se trata de un concepto dinámico, es decir, para cada instante de tiempo se definen una reserva de agotamiento.

Considerando las reservas de agotamiento promedio calculadas para el periodo 1951–2004 de los diferentes embalses subterráneos asociados al Sistema Cornisa-Vega de Granada, éstos se pueden agrupar en las siguientes categorías (Figura 113):

- Embalses subterráneos de elevado volumen de reservas de agotamiento, puesto que presentan una capacidad de regulación anual promedio superior

a los 10 hm³, categoría en la que se incluyen: 31a–Sector Noroccidental (UH 05.31/La Peza); 30b–Sierra Arana (UH 05.30/Sierra Arana); 42a/Tejeda y 42b/Almijara (UH 05.42/Tejeda–Almijara) y 32–Vega de Granada (UH 05.32/Vega de Granada).

- Embalses subterráneos de capacidad de regulación moderada, ya que presentan una capacidad de regulación anual promedio inferior a los 10 hm³ pero superior a 5 hm³, categoría en la que se incluyen: 31d–Güejar–Sierra (UH 05.31/La Peza); 65b–Víboras–Monachil (UH 05.65/Padúl) y 42c/Agrón (UH 05.42/Tejeda–Almijara).
- Embalses subterráneos de capacidad de regulación baja, ya que presentan una capacidad de regulación anual promedio inferior a los 5 hm³ pero superior a 2 hm³, categoría en la que se incluyen: 31b–Aguas Blancas y 31c–Aº Padules (UH 05.31/La Peza); 65a Genil y 65c Dílar (UH 05.65/Padúl) 29c Pozuelo–Las Cabras (UH 05.29/Sierra Colomera) y 33–Sierra Elvira (UH 05.33/Sierra Elvira).
- Embalses subterráneos de capacidad de regulación muy baja, ya que presentan una capacidad de regulación anual promedio inferior a 2 hm³, categoría en la que se incluyen: 31e–Cerro Carcabal (UH 05.31/La Peza); 28a–Montillana y 28bc–Alta Coloma (UH 05.28/Montes Orientales); 29a–Los Morrones y 29b–Colomera (UH 05.29/Sierra Colomera); 30a–Moreda–Piñar y 30c–Despeñadero–Cañamaya (UH 05.30/Sierra Arana); 34a–Sierra Pelada, 34b–Sierra Madrid, 34c–Sierra Obéilar y 34d–Sierra Parapanda (UH 05.34/Madrid–Parapanda).

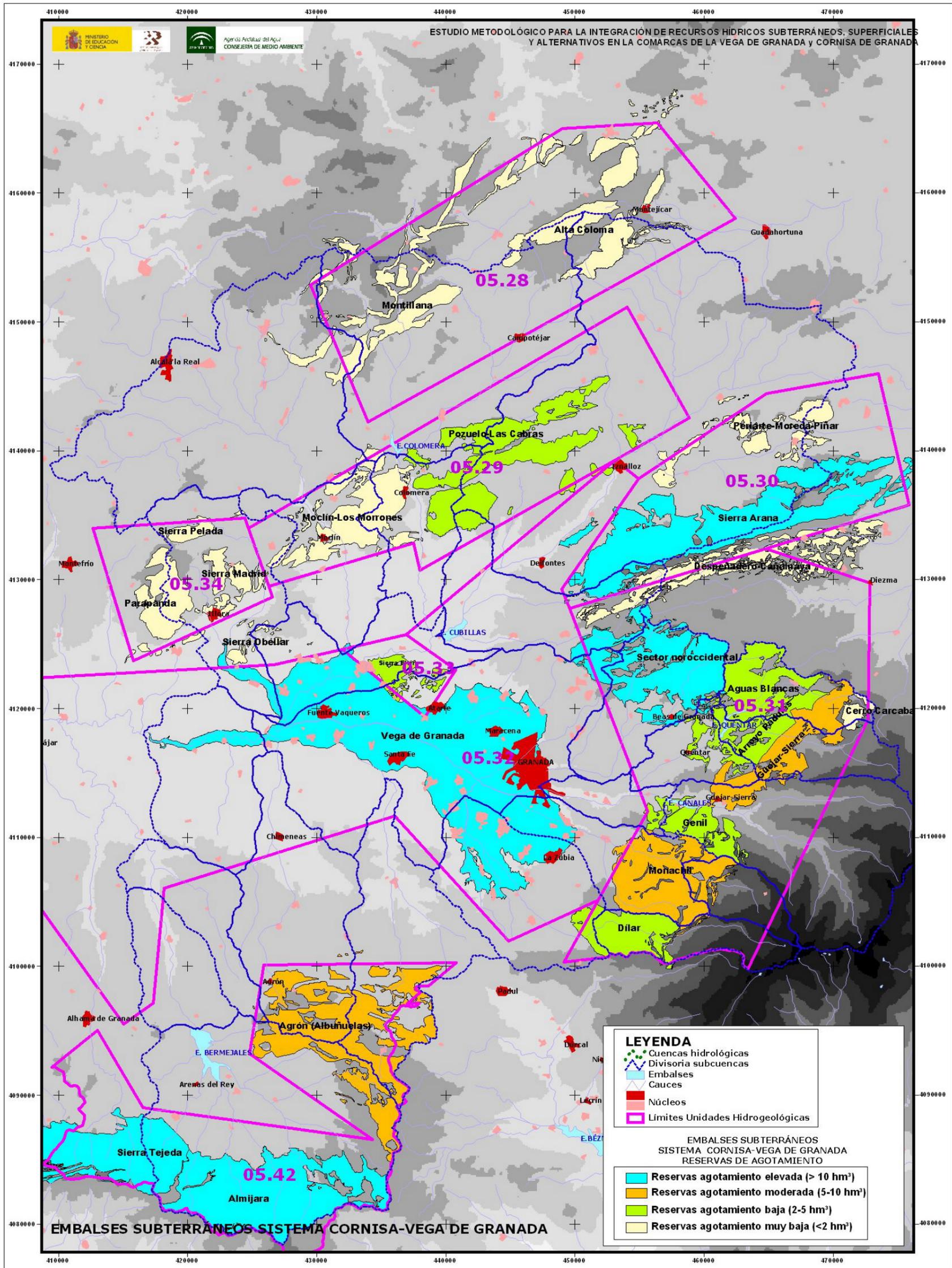


Figura 113. Reservas de agotamiento de los embalses subterráneos del Sistema Cornisa-Vega de Granada

8. ANÁLISIS de la INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA SUPERFICIAL y de las FUENTES NO CONVENCIONALES DE AGUA

A continuación se describen las infraestructuras hidráulicas que conforman el entramado hidráulico superficial del Sistema Cornisa–Vega de Granada (en adelante SCVG). Asimismo, se desglosan las posibilidades de utilización de recursos no convencionales (aguas residuales depuradas) y de implantar infraestructuras para la recarga artificial de acuíferos.

8.1 CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO CORNISA–VEGA DE GRANADA

El sistema hidráulico superficial Cornisa–Vega de Granada (SCVG) se componen de una serie de elementos de regulación superficial (embalses) y grandes conducciones que tienen por objeto dotar los riegos de la Vega de Granada (Figuras 114 y 115) y satisfacer las demandas urbanas de la zona metropolitana de Granada. Además de estas grandes infraestructuras hidráulicas superficiales, el sistema dispone de infraestructuras de captación de aguas subterráneas para dotar riegos de la Cornisa de Granada, apoyar los riegos de la Vega de Granada y dotar abastecimientos urbanos tanto de la Cornisa como de la Vega de Granada, e incluso una instalación de bombeos para solventar situaciones de emergencia en el abastecimiento a Granada (campo de pozos de la Ronda Sur).

Atendiendo a criterios de gestión hidráulica, el SCVG puede subdividirse en los siguientes subsistemas:

- Subsistema Canales–Quéntar
- Subsistema Cubillas–Colomera
- Subsistema Bermejales

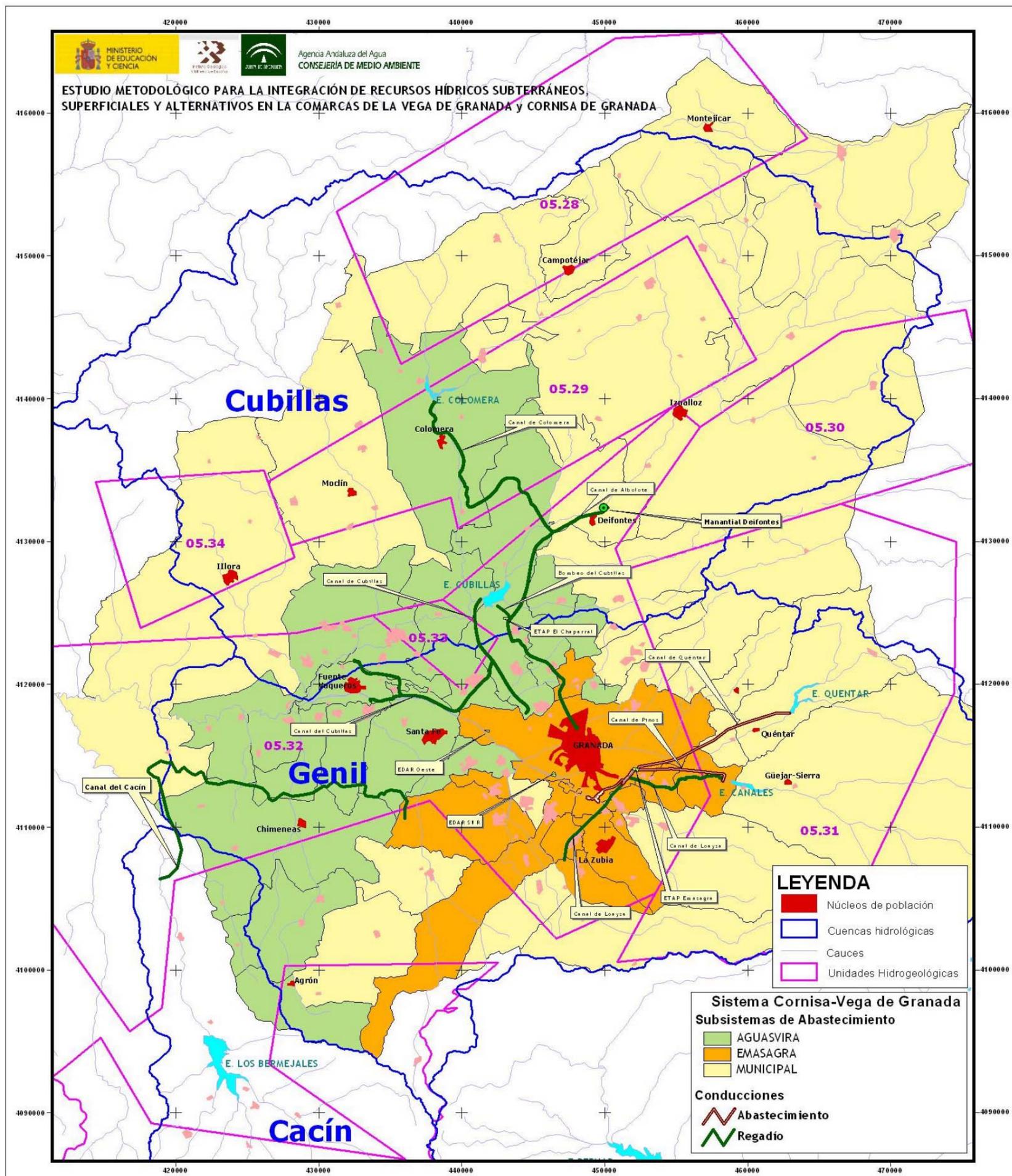


Figura 114. Infraestructuras hidráulicas Sistema Cornisa-Vega de Granada. Abastecimientos urbanos

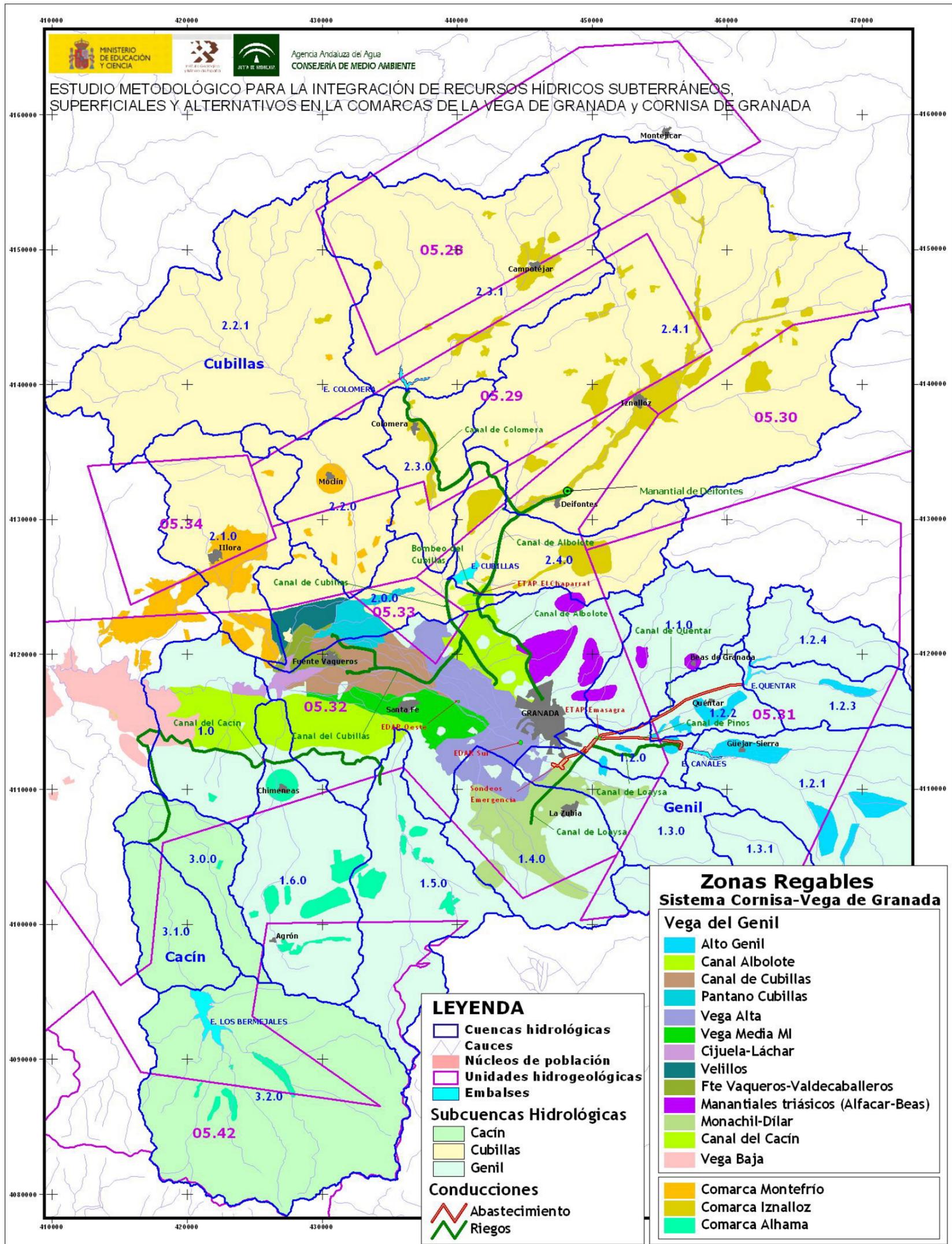


Figura 115. Infraestructuras hidráulicas Sistema Cornisa-Vega de Granada. Regadíos

8.1.1 Subsistema Canales–Quéntar

El subsistema Canales–Quéntar se sustenta en la capacidad de regulación que aportan los embalses de Canales (río Genil) y de Quéntar (río Aguas Blancas); en las captaciones directas en cauces de los ríos Genil, Aguas Blancas, Monachil y Dílar; en las captaciones de la descarga de los acuíferos La Peza, Padul y Vega de Granada; y en captaciones de aguas subterráneas existentes en el acuífero de la Vega de Granada.

Desde los citados embalses parten grandes conducciones para transportar el agua que se utiliza en el abastecimiento a Granada (canal de Quéntar y Canal de Pinos), alcanzando la ETAP de Lancha de Genil, que gestiona Emasagra.

Estos embalses permiten la regulación de los recursos que son utilizados en la Vega de Granada (zonas regables de la Vega Alta y Vega Media MI) a través de una complicada red de acequias.

La captación de recursos circulantes por los ríos Monachil y Dílar (escorrentía superficial estricta y descarga del acuífero del Padúl) se utiliza para dotar riegos de la zona regable Monachil–Dílar de la Vega de Granada y en el abastecimiento a núcleos del Consorcio Sierra Nevada–Vega Sur (Alhendín, Cajar, Las Gabias, Huétor–Vega, Puliana, Las Gabias, Dílar, Monachil y Otura).

La captación de recursos circulantes por los ríos Aguas Blancas y Genil (escorrentía superficial estricta y descarga del acuífero de La Peza) se emplean para dotar riegos de la zona regable Alto Genil y en el abastecimiento a núcleos del Consorcio Sierra Nevada–Vega Sur (Pulianas, Quéntar y Güejar–Sierra).

La captación de los drenajes del acuífero de La Peza que alcanzan el río Darro y afluentes son utilizados para dotar riegos en la Vega de Granada (zona regable de los

Manantiales Triásico –Alfacar–Beas–) y en el abastecimiento a núcleos del Consorcio La Vega–Sierra Elvira (Güevejar, Nívar, Peligros, Alfacar, Beas de Granada, Cogollos–Vega, Huétor–Santillán y Víznar).

8.1.2 Subsistema Cubillas–Colomera

El subsistema Cubillas–Colomera comprende la subcuenca del río Cubillas y sus afluentes Colomera, Velillos y Escóznar. En este subsistema existen dos embalses de regulación (Colomera y Cubillas) y la descarga del manantial de Deifontes.

El manantial de Deifontes corresponde a la descarga natural del acuífero de Sierra Arana, con un caudal promedio mensual de 2,37 hm³ (serie 1951–2004). Este manantial es captado mediante el Canal de Albolote para riego en la Vega de Granada. En la Figura 116 se muestra el hidrograma correspondiente a la descarga, controlado por la CHG en la estación de aforos n° 143.

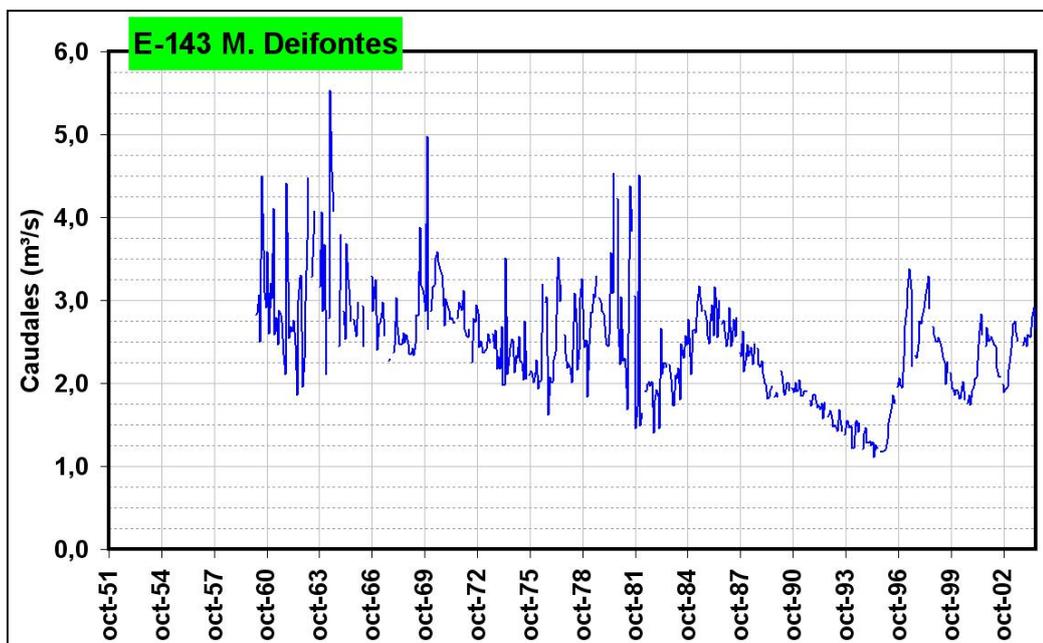


Figura 116. Hidrograma descarga manantial Deifontes (estac. aforos n°143 CHG)

Además, el canal de Albolote recibe la esorrentía regulada en el embalse de Colomera mediante el Canal de Colomera, de manera que los riegos de la Vega de Granada dependientes del Canal de Albolote reciben recursos del manantial de Deifontes y del embalse de Colomera (Figura 119).

La esorrentía que recibe el embalse de Cubillas está laminada por el denominado túnel de desvío del Cubillas, mediante el cual se transportan los caudales de avenida desde el río Cubillas, antes del embalse del Cubillas, hacia el río Colomera. Esta obra tiene como objetivo disminuir las aportaciones de finos al embalse de Cubillas, el cual estaba registrando una significativa disminución de capacidad de almacenamiento como consecuencia de la alta erosividad de los materiales geológicos aflorantes en su cuenca de recepción.

Desde el embalse de Cubillas parte el Canal de Cubillas, que dota el riego a determinadas áreas de la Vega de Granada. Asimismo, en este embalse existe una estación de bombeo que permite transportar agua embalsada hacia el Canal de Albolote.

Uno de los objetivos contemplados en el “*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* (Junta de Andalucía-2003)” es la ejecución de una obra que permita captar recursos en el manantial de Deifontes y conducirlos hasta una nueva ETAP (ETAP El Chaparral) para abastecimiento a la zona metropolitana de Granada. Esta obra está en fase de ejecución y ha sido considerada en una de las hipótesis de simulación ejecutadas en el presente trabajo.

Por otra parte, en los diversos acuíferos del subsistema Cubillas-Colomera: unidades hidrogeológicas 28-Montes Orientales, 29-Sierra Colomera, 30-Sierra Arana y 34-Madrid-Parapanda , existen captaciones directas en manantiales y mediante

sondeos de las aguas subterráneas para dotar riegos de las Comarcas de Montefrío e Iznalloz y para sustentar los abastecimiento urbano a los municipios de la zona (Moraleda de Zafayona, Íllora, Iznalloz, Moclín, Deifontes, Benalúa de las Villas, Campotéjar, Montillana, Guadahortuna, Montejícar, Torre-Cardela y Piñar)

8.1.3 Subsistema Bermejales

Este subsistema se vincula con la regulación que ejerce el embalse de Bermejales de los recursos del alto Cacín, recogiendo la descarga subterránea del acuífero Sierra Tejeda-Almijara.

El embalse de Los Bermejales dispone de una capacidad de regulación hiperanual dada su elevada capacidad de almacenamiento (102,6 hm³) frente a la escorrentía que recibe (64,7 hm³ de promedio anual para el año tipo medio).

Este embalse recibe una aportación adicional desde el río Alhama (evaluada en 10 hm³/a de promedio).

Aguas abajo del embalse de Los Bermejales parte el Canal del Cacín, infraestructura que permite el riego de unas 4.475 has en la Vega de Granada y aporta recursos para el abastecimiento a municipios de la Vega de Granada adscritos a la Mancomunidad La Vega-Sierra Elvira (Cijuela-Láchar) y de la Vega de Granada (Moraleda de Zafayona), además de otros fuera del Sistema Cornisa-Vega de Granada (SCVG), pertenecientes al valle del Cacín (Cacín, Arenas del Rey, Villanueva de Mesía y Huétor-Tajar).

8.1.4 Infraestructuras de regulación superficial (embalses)

En el sistema se han considerado cinco embalses: Canales, Quéntar, Cubillas, Colomera y Bermejales. Además de estos embalses, en algunas de las hipótesis o escenarios de simulación se ha considerado el proyectado embalse de Velillos.

Según el Plan Hidrológico de la Cuenca del Guadalquivir (PHCG) el Sistema Cornisa–Vega de Granada dispone de una capacidad de embalse de 249 hm³ y una capacidad de regulación de 125 hm³/a (tabla 43).

Sistema de Explotación de recursos	Infraestructura de regulación	Capacidad (hm ³)	Volumen regulado anual (hm ³)
3. Alto Genil	Canales	71	49
	Quéntar	14	15
	Cubillas	19	21
	Bermejales	103	40
	Colomera ^(a)	–	–
	Suma	249	125

^(a) Este embalse no se incluyó en el PCG

Tabla 43. Volúmenes regulados en los embalses de la Cuenca del Guadalquivir. Sistema de Explotación de Recursos Alto Genil. Datos del PHCG–Cuadro III.15

8.1.4.1 Embalse de Quéntar

Este embalse recibe una aportación media anual de 28,51 hm³, de la que el 65% (18,57 hm³) corresponde a la escorrentía superficial y el 35% restante (9,94 hm³) a la escorrentía subterránea, que procede de los embalses subterráneos de la unidad hidrogeológica 05.31/La Peza.

Si bien, dada la variabilidad que presentan las aportaciones en la zona objeto de estudio no resulta conveniente calcular la media de las aportaciones, sino más bien

conviene realizar cálculos en referencia al año tipo más probable (mediana de las aportaciones).

E. Quéntar		APORTACIÓN MEDIA ANUAL DE LA CUENCA (hm³/a)	
Dato CH Guadalquivir (explotac. Embalses)		16,42	hm ³ /a
Modelo Temez modificado		23,42	hm ³ /a
Aportación Subterránea		10,14	hm ³ /a
Aportación Superficial		13,28	hm ³ /a
ESCORRENTÍA TOTAL MODELO TEMEZ MODIFICADO (hm³/a)			
	SECO (hm³/a)	MEDIO (hm³/a)	HÚMEDO (hm³/a)
Mínimo	1,50	16,48	30,87
Cuartil 25%	7,70	20,00	31,91
Promedio	9,65	23,37	37,29
Mediana	8,71	23,32	34,10
Cuartil 75%	14,14	26,37	42,40
Desv. Estándar	4,34	4,24	6,60
C _v	2,22	5,51	5,65
Máximo	15,24	30,33	49,45

Tabla 44. *Datos estadísticos de aportaciones al embalse de Quéntar*

Así, la aportación más probable que recibe este embalse es de 23,32 hm³/año, con un 42,5% de procedencia subterránea y el 57,5% restante de escorrentía superficial. Más aún, para las situaciones de años secos, con una aportación más probable anual de 8,71 hm³/año, el 51,5% de la aportación que recibe el embalse es de origen subterráneo.

Asimismo, el rango de aportaciones más probable oscila entre 20,00 y 26,37 hm³/a para la serie analizada (1951–2004), con la distribución mensual que se muestra en la Figura 117. Los datos de aportaciones registrados por la CHG para el periodo 1986–2006, indican un rango más probable de entre 10,47 y 23,18 hm³, con un mínimo registrado de 5,24 hm³ para el año 1993–1994 (tabla 44).

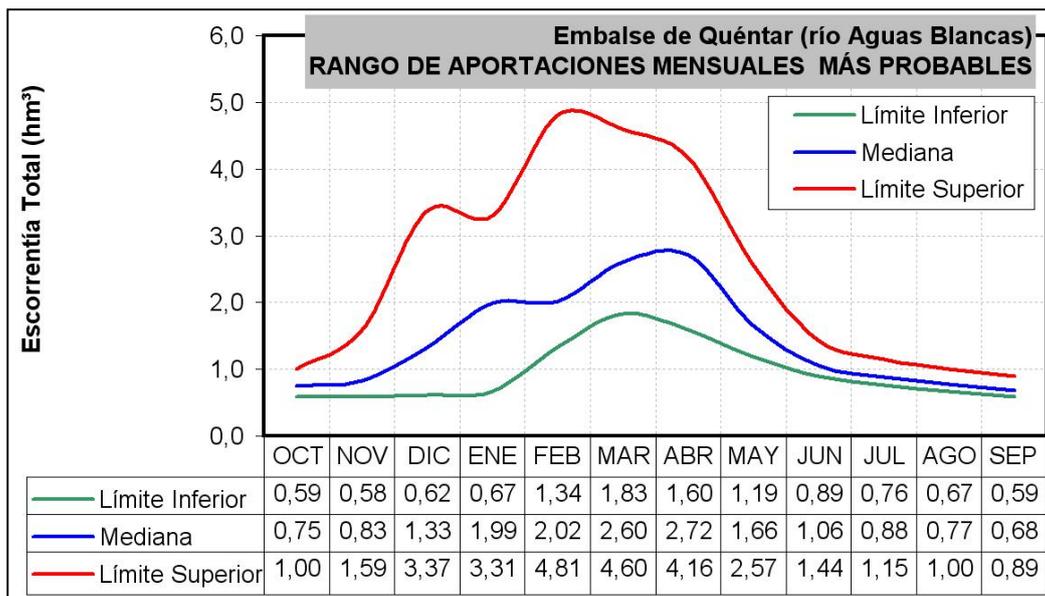


Figura 117. Rango de aportaciones más probables al embalse de Quéntar

La capacidad máxima del embalse es de 13,6 hm³, para una cota de nivel máximo de llenado de 1.040 m snm (tabla 45). Dispone de una capacidad del aliviadero de 700 m³/s y la cota de desagüe se sitúa a 942,6 m snm.

COTA (m)	SUPERFICIE (ha)	VOLUMEN (hm ³)
980	6,38	0,88
985	8,51	1,53
990	10,52	2,17
995	12,43	2,82
1.000	14,31	3,52
1.005	16,22	4,28
1.010	18,24	5,13
1.015	20,50	6,09
1.020	23,13	7,20
1.025	26,26	8,46
1.030	30,08	9,92
1.035	34,77	11,59
1.041	41,84	13,90
Curva de Embalse (ajuste polinomial)		
	V=f(z)	S=f(z)
Coef.	hm ³	ha
Dx ³	0,0000E+00	1,3053381E-06
Cx ²	3,2728E-05	-5,1129485E-03
Bx	-9,6881E-02	7,5074014E+00
A	9,5723E+01	-4,8969343E+03

Tabla 45. Datos del embalse de Quéntar. Superficie de lámina de agua y capacidad de almacenamiento

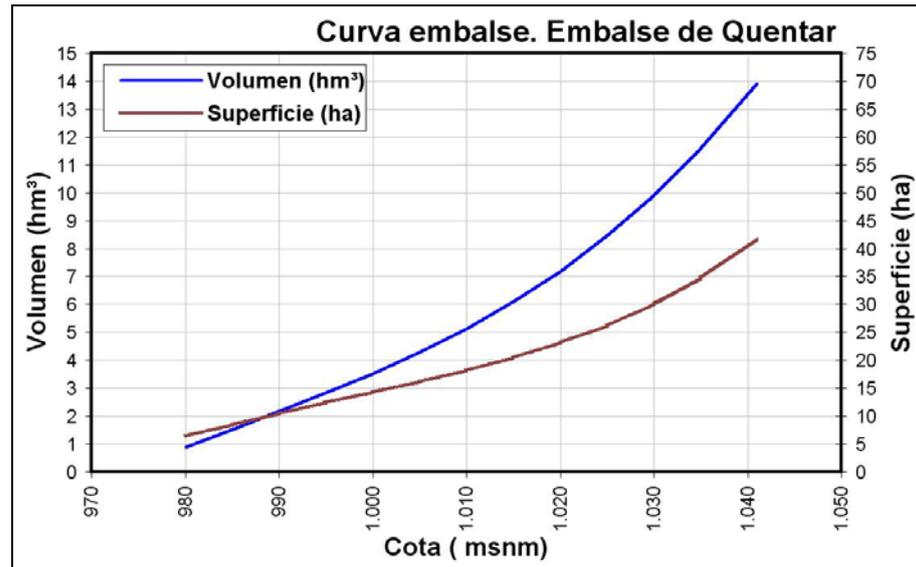


Figura 118. Curvas características del embalse de Quéntar

En las reglas de operación del embalse se fija como volumen máximo 12 hm³, quedando un volumen de resguardo ante avenidas de 1,6 hm³, Asimismo, el volumen de embalse muerto se fija en 0,88 hm³ (cota de desagüe de fondo 942,6 m snm).

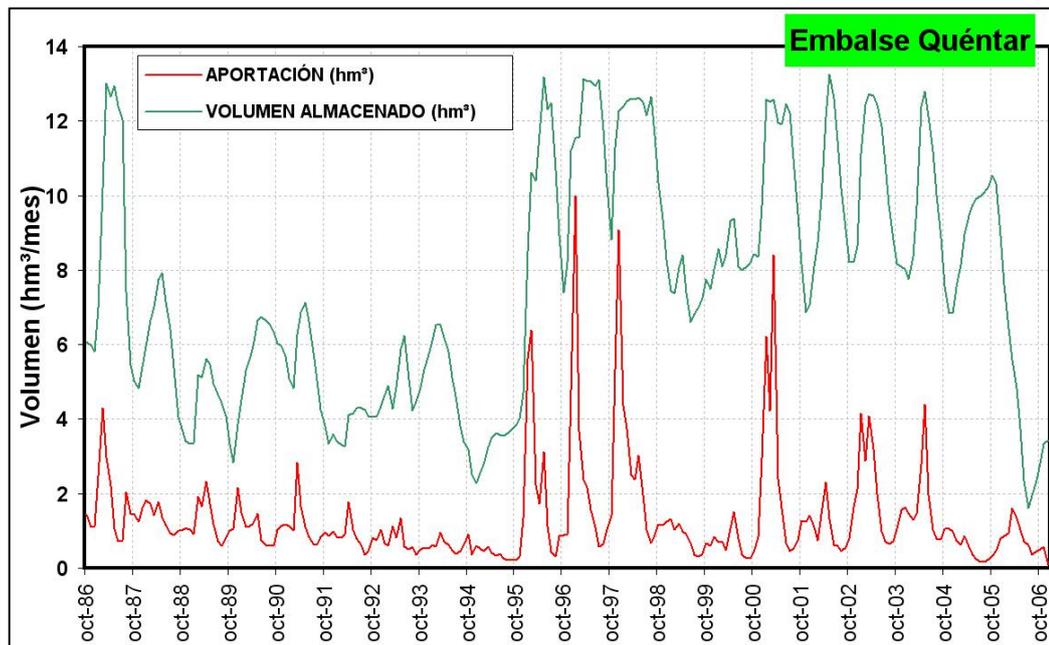


Figura 119. Evolución del embalse de Quéntar (periodo 1986–2006)

La evaporación media anual en el embalse se cifra en 1.098 mm (tabla 46), lo que supone unas pérdidas anuales a la atmósfera de 0,24 hm³, para un llenado medio en el embalse (cota 1.018 m snm: 22,13 ha).

Meses	Evaporación Embalse (datos CHG) (mm/mes)	COTA (m)	SUPERFICIE (ha)	Evaporación anual según cotas (hm ³ /año)
OCT	68	975	4,88	0,05
NOV	51	980	6,15	0,07
DEC	44	985	8,42	0,09
JAN	45	990	11,56	0,13
FEB	51	1.000	14,44	0,16
MAR	72	1.005	17,26	0,19
APR	71	1.015	20,64	0,23
MAY	89	1.025	24,72	0,27
JUN	126	1.030	32,49	0,36
JUL	179	1.040	40,54	0,45
AUG	183			
SEP	118			
Anual	1.098			

Tabla 46. Evaporación en lámina libre para el embalse de Quéntar

Los datos de explotación del embalse del Quéntar para el periodo 1986–2006 indican una evaporación media anual de 0,26 hm³ (tabla 47) y una aportación directa media anual de 16,42 hm³. Considerando estos datos, la aportación directa neta es de 16,16 hm³.

Meses	Aportación Directa (m ³ /mes)	Evaporación (m ³ /mes)	% Evap./Aport
OCT	922.865	14.979	1,6%
NOV	1.162.549	10.165	0,9%
DIC	1.871.078	8.594	0,5%
ENE	2.351.580	9.420	0,4%
FEB	1.937.882	11.384	0,6%
MAR	2.014.120	17.606	0,9%
ABR	1.688.595	18.750	1,1%
MAY	1.543.550	23.913	1,5%
JUN	886.504	35.189	4,0%
JUL	590.486	45.575	7,7%
AGO	576.569	42.702	7,4%
SEP	664.871	25.849	3,9%
ANUAL	16.210.649	264.127	1,6%

Tabla 47. Datos de evaporación en el embalse de Quéntar

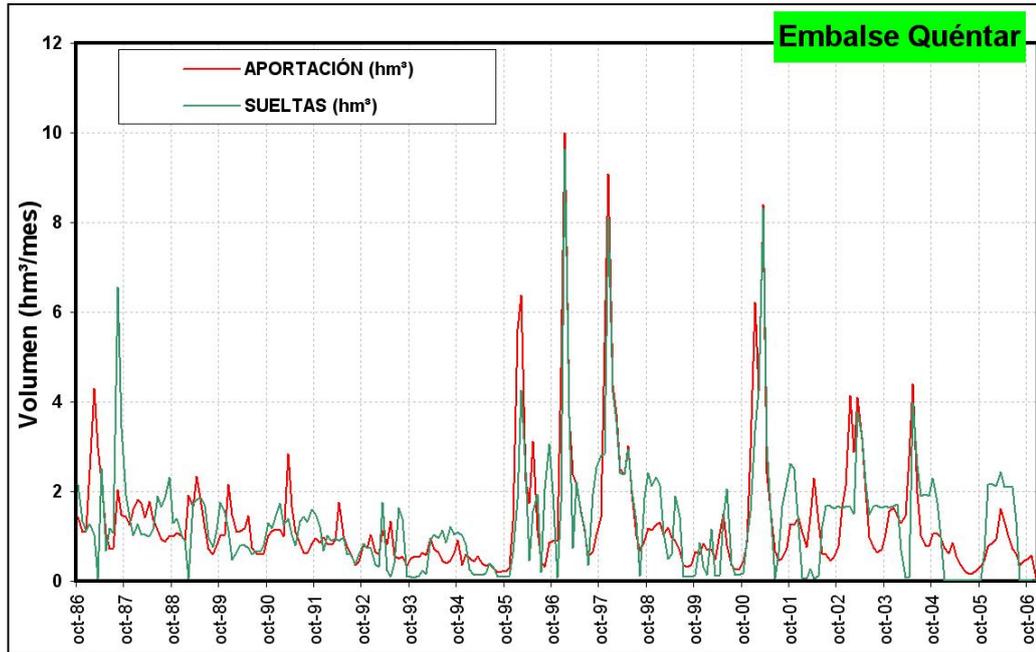


Figura 120. Datos de explotación del embalse de Quéntar. Fuente: CHG

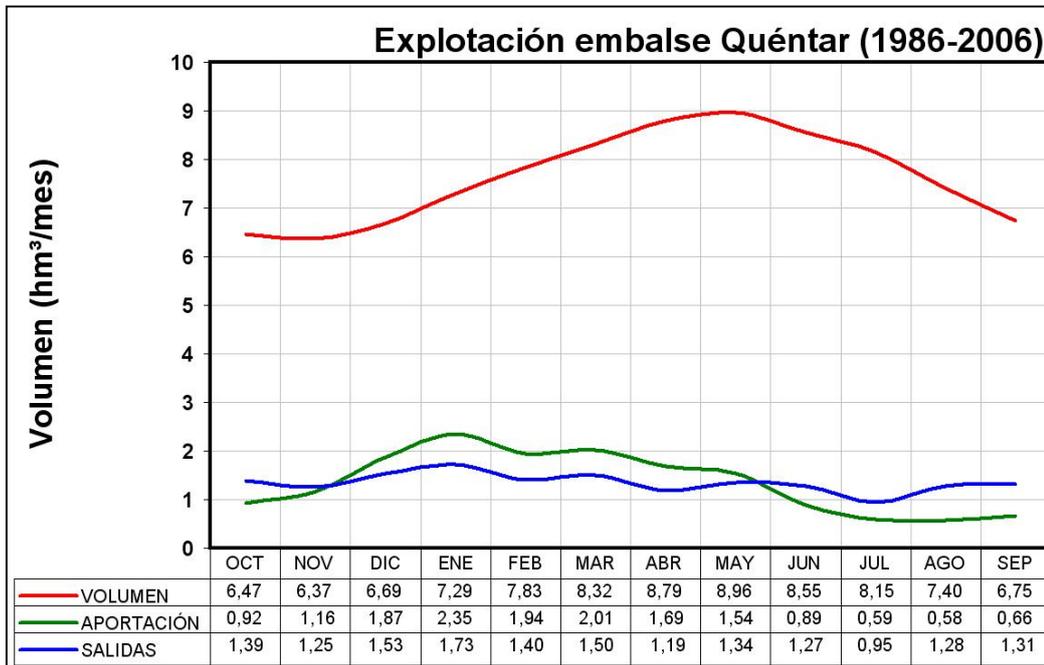


Figura 121. Explotación del embalse de Quéntar periodo 1986-2006. Comparativa entregas-aportación-almacenamiento

8.1.4.2 Embalse de Canales

Este embalse recibe una aportación media anual de 74,90 hm³, de la que el 84,0% (62,92 hm³) corresponde a la escorrentía superficial y el 16,0% restante (11,99 hm³) a la escorrentía subterránea (tabla 48), procedente de los embalses subterráneos de La Peza meridional y Padúl septentrional.

Si bien, dada la variabilidad que presentan las aportaciones en la zona objeto de estudio no resulta conveniente calcular la media de las aportaciones, sino más bien conviene realizar cálculos en referencia al año tipo más probable (mediana de las aportaciones).

E. Canales		APORTACIÓN MEDIA ANUAL DE LA CUENCA (hm³/a)	
	Dato CHG	59,35hm ³	
	Modelo Temez modificado	74,90hm ³ /a	
	Aportación Subterránea	11,99hm ³ /a	
	Aportación Superficial	62,92hm ³ /a	
ESCORRENTÍA TOTAL MODELO TEMEZ MODIFICADO (hm³/a)			
	SECO (hm³/a)	MEDIO (hm³/a)	HÚMEDO (hm³/a)
Minimo	7,35	50,33	99,46
Cuartil 25%	16,80	66,67	107,56
Promedio	29,08	75,97	121,97
Mediana	31,95	77,71	115,92
Cuartil 75%	37,74	85,57	123,76
Desv.Estándar	13,15	13,38	22,12
C _v	2,21	5,68	5,51
Máximo	47,34	96,89	172,44

Tabla 48. Datos estadísticos de aportaciones al embalse de Canales

Así, la aportación más probable que recibe este embalse es de 75,97 hm³/año, con un 23,4% de procedencia subterránea y el 76,6% restante de escorrentía superficial. Más aún, para las situaciones de años secos, con una aportación más

probable anual de 31,95 hm³/año, el 24,1% de la aportación que recibe el embalse es de origen subterráneo (7,69hm³).

Asimismo, el rango de aportaciones más probable oscila entre 66,67 y 85,57 hm³/a para la serie analizada (1951–2004), con la distribución mensual que se muestra en la Figura 122. Los datos de aportaciones registrados por la CHG para el periodo 1986–2006, indican un rango más probable de entre 39,39 y 88,64 hm³/a, con un mínimo registrado de 29,76 hm³ para el año 1993–1994.

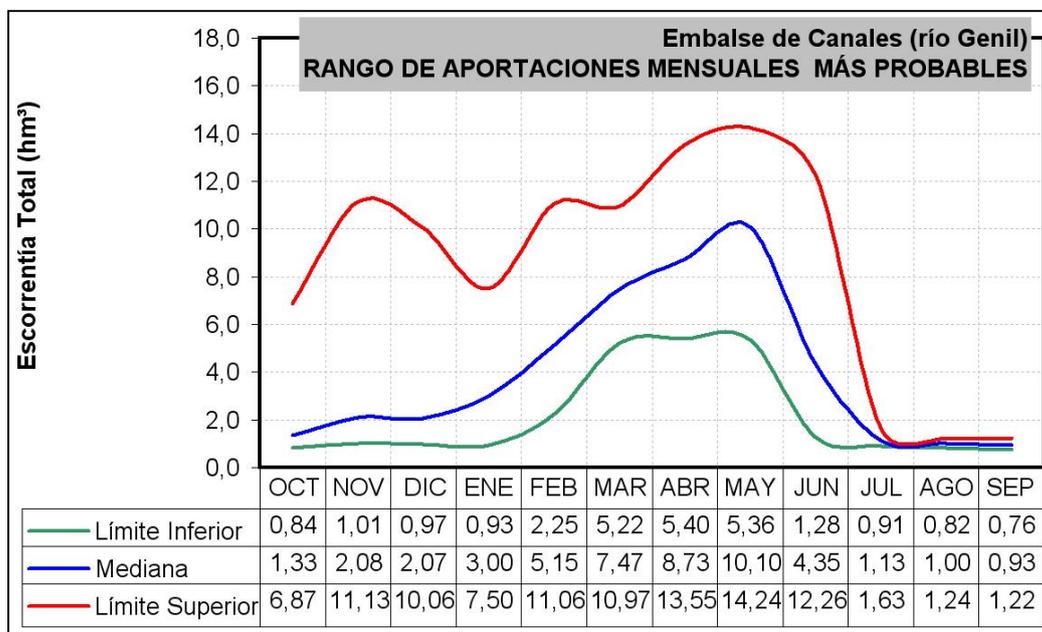


Figura 122. Rango de aportaciones más probables al embalse de Canales

La capacidad máxima del embalse es de 70,7 hm³, para una cota de nivel máximo de llenado de 958 m snm. Dispone de una capacidad del aliviadero de 502 m³/s y la cota de desagüe en fondo se sitúa a 851,5 m snm. En la Figura 123 se muestran las curvas características del embalse y en la tabla 64 los datos relativos a la superficie de lámina de agua y capacidad de almacenamiento según cotas, así como los coeficientes de las curvas de embalse.

COTA (m)	SUPERFICIE (ha)	VOLUMEN (hm ³)
880	7,95	4,57
900	37,22	12,23
910	53,87	17,97
915	62,04	21,40
920	70,10	25,23
925	78,18	29,48
930	86,47	34,19
935	95,29	39,38
940	105,01	45,06
945	116,13	51,26
950	129,23	58,01
955	144,97	65,32
958	156,00	70,00
960	164,13	73,23
Curva de Embalse (ajuste polinomial)		
	V=f(z)	S=f(z)
Coef.	hm ³	ha
Dx ³	0,0000E+00	6,1945295E-06
Cx ²	3,1356E-05	-2,2581250E-02
Bx	-7,7997E-02	3,0866000E+01
A	6,4702E+01	-1,8747945E+04

Tabla 49. Datos del embalse de Canales. Superficie de lámina de agua y capacidad de almacenamiento

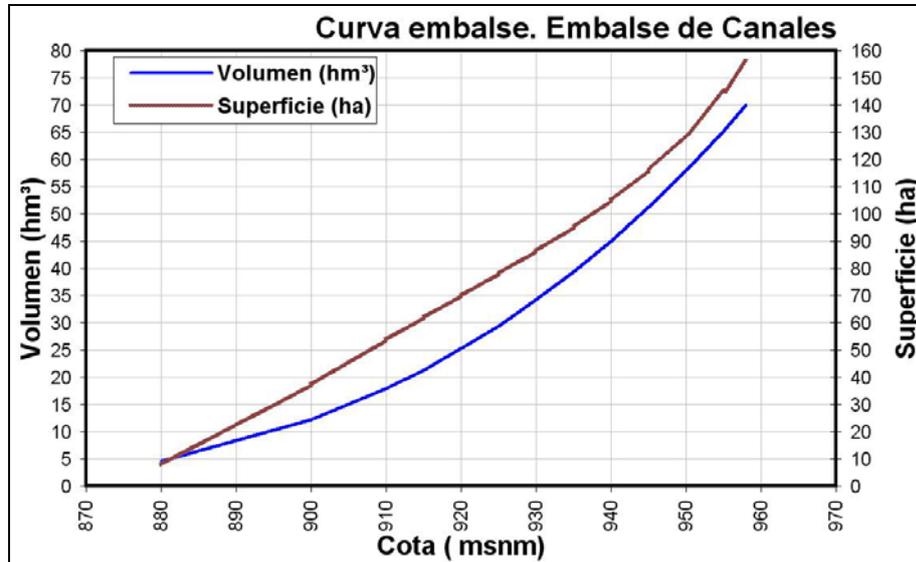


Figura 123. Curvas características del embalse de Canales

En las reglas de operación del embalse se establece como volumen máximo 68,1 hm³, quedando un volumen de resguardo ante avenidas de 2,6 hm³. Asimismo, el

volumen de embalse muerto se fija en 5,29 hm³, ya que de las 2 tomas de que dispone la inferior se sitúa a cota 882,50 m snm (882,50 y 910 m snm).

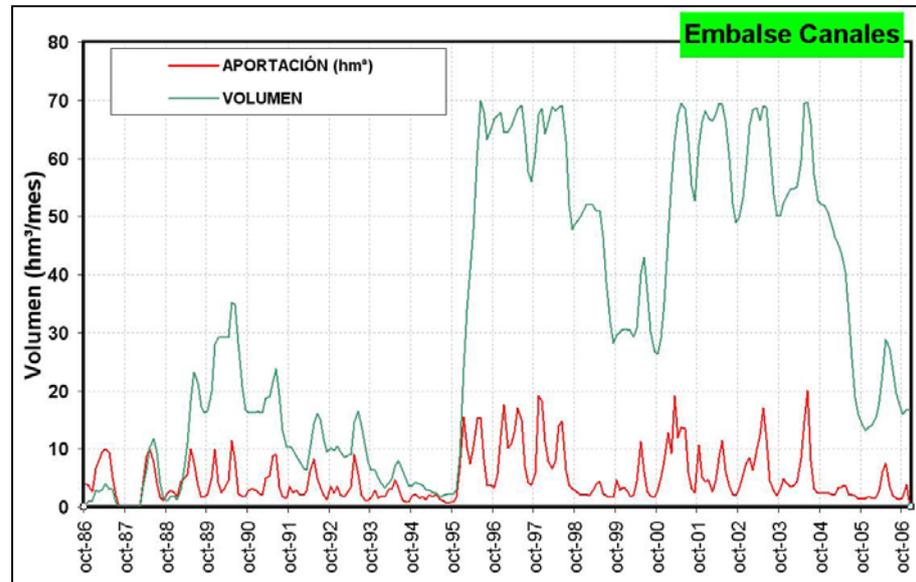


Figura 124. Evolución del embalse de Canales (periodo 1986–2006)

La evaporación media anual en el embalse se cifra en 1.276 mm, lo que supone unas pérdidas anuales a la atmósfera de 0,45 hm³, para un llenado medio en el embalse (cota 931 m snm: 35,55 ha). En la tabla 50 se muestra la distribución mensual de la evaporación y la evaporación anual según cotas.

Meses	Evaporación Embalse (datos CHG) (mm/mes)	COTA (m)	SUPERFICIE (ha)	Evaporación anual según cotas (hm ³ /año)
OCT	58	870	1,67	0,02
NOV	53	880	7,95	0,10
DEC	52	890	21,10	0,27
JAN	59	900	37,22	0,48
FEB	83	905	45,57	0,58
MAR	85	915	62,04	0,79
APR	106	930	86,47	1,10
MAY	148	940	105,01	1,34
JUN	209	950	129,23	1,65
JUL	211	960	164,13	2,10
AUG	133			
SEP	80			
Anual	1.276			

Tabla 50. Evaporación en lámina libre para el embalse de Canales

Los datos de explotación del embalse del Canales para el periodo 1986–2006 (Figuras 124 a 126) indican una evaporación media anual de 0,90 hm³ y una aportación directa media anual de 59,35 hm³. Considerando estos datos, la aportación directa neta es de 58,45 hm³.

Meses	Aportación Directa (m ³ /mes)	Evaporación (m ³ /mes)	% Evap./Aport
OCT	3.316.282	52.823	1,6%
NOV	4.234.356	36.292	0,9%
DIC	5.168.513	33.006	0,6%
ENE	5.556.254	37.784	0,7%
FEB	4.289.365	42.014	1,0%
MAR	5.553.576	58.657	1,1%
ABR	6.959.826	58.975	0,8%
MAY	10.214.957	78.848	0,8%
JUN	8.184.237	126.047	1,5%
JUL	3.757.757	160.912	4,3%
AGO	2.182.868	148.900	6,8%
SEP	1.866.971	84.429	4,5%
ANUAL	61.284.961	918.686	1,5%

Tabla 51. Datos de evaporación en el embalse de Canales

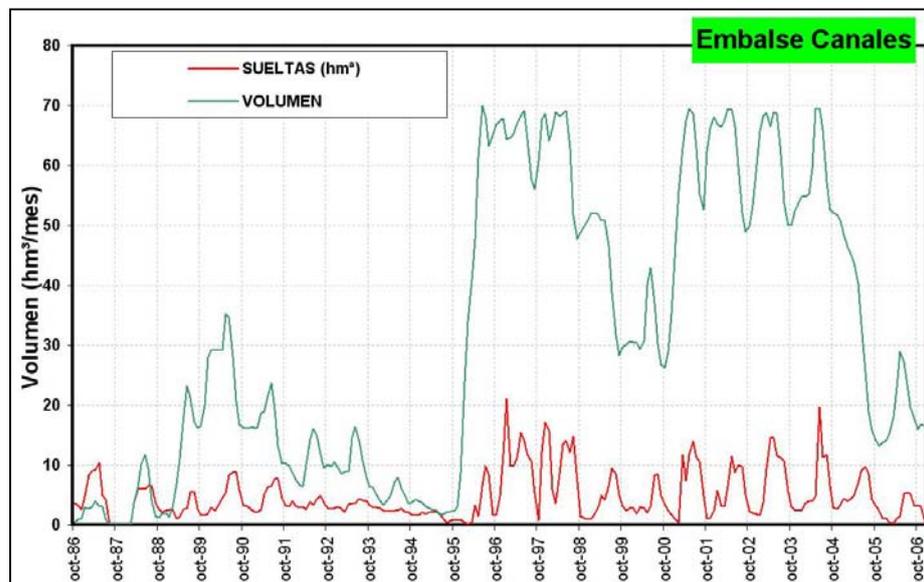


Figura 125. Datos de explotación del embalse de Canales. Fuente: CHG

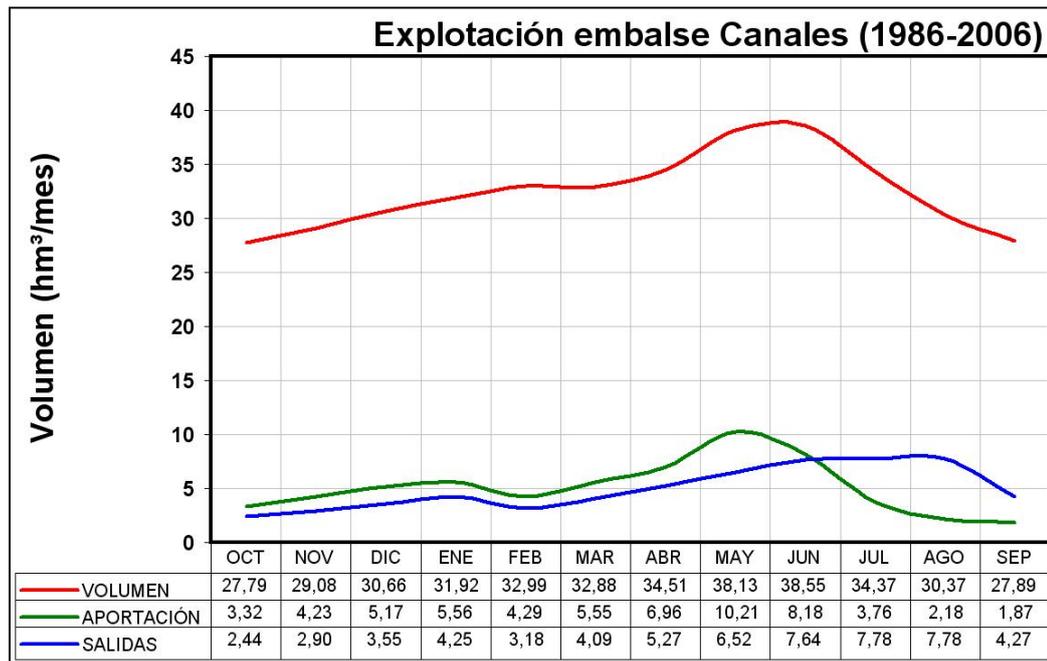


Figura 126. Explotación del embalse de Canales periodo 1986-2006. Comparativa entregas-aportación-almacenamiento

8.1.4.3 Embalse de Cubillas

Este embalse recibe una aportación media anual de 128,65 hm³, de la que el 62,8% (80,76 hm³) corresponde a la escorrentía superficial y el 37,2% restante (47,88 hm³) a la escorrentía subterránea.

Dada variabilidad que presentan las aportaciones en la zona objeto de estudio no resulta conveniente calcular la media de las aportaciones, sino más bien conviene realizar cálculos en referencia al año tipo más probable (mediana de las aportaciones).

E. Cubillas		APORTACIÓN MEDIA ANUAL DE LA CUENCA (hm³/a)	
	Dato CHG	68,00	hm ³ /a
	Modelo Temez modificado	128,65	hm ³ /a
	Aportación Subterránea	47,88	hm ³ /a
	Aportación Superficial	80,76	hm ³ /a
ESCORRENTÍA TOTAL MODELO TEMEZ MODIFICADO			
	SECO (hm³/a)	MEDIO (hm³/a)	HÚMEDO (hm³/a)
Mínimo	12,51	90,38	174,66
Cuartil 25%	34,40	101,16	193,34
Promedio	49,26	128,02	227,51
Mediana	53,49	128,73	208,09
Cuartil 75%	61,71	142,80	252,72
Desv. Estándar	17,45	25,59	50,16
C _v	2,82	5,00	4,54
Máximo	73,64	171,35	340,26

Tabla 52. Datos estadísticos de aportaciones al embalse de Canales

Así, la aportación más probable que recibe este embalse es de 128,73 hm³/año, con un 37,8% de procedencia subterránea (48,62 hm³/a) y el 62,2% restante de escorrentía superficial.

Más aún, para las situaciones de años secos, con una aportación más probable anual de 53,49 hm³/año, el 51,1% de la aportación que recibe el embalse es de origen subterráneo (27,35 hm³).

Asimismo, el rango de aportaciones más probable oscila entre 101,16 y 142,80 hm³/a para la serie analizada (1951–2004) (Figura 127).

Los datos de aportaciones registrados por la CHG para el periodo 1986–2006, indican un rango más probable de entre 15,82 y 48,76 hm³, con un mínimo registrado de 8,05 hm³ para el año 1994–1995.

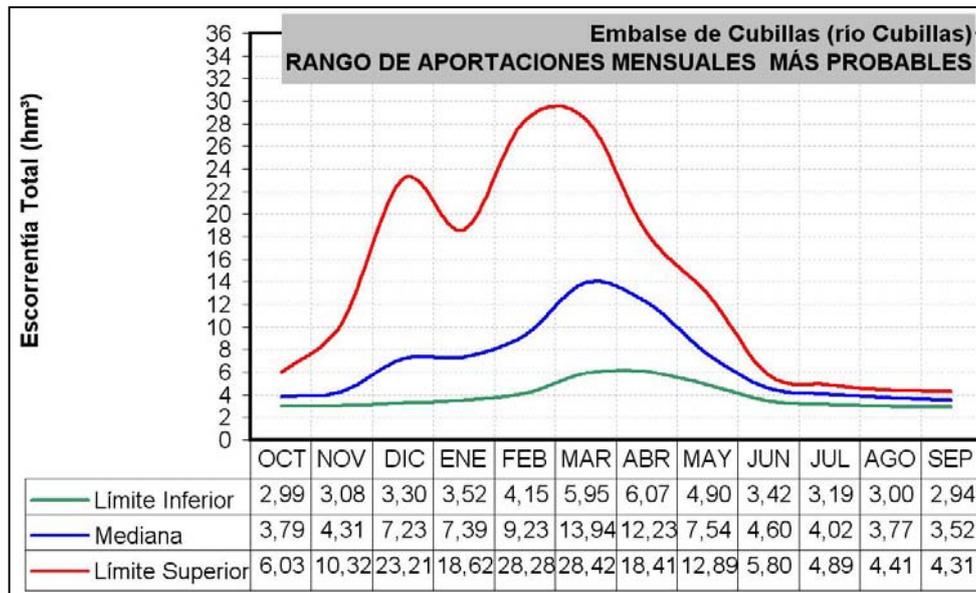


Figura 127. Rango de aportaciones más probables al embalse de Cubillas

La capacidad máxima del embalse es de 18,7 hm³, para una cota de nivel máximo de llenado de 641,5 m snm. Dispone de una capacidad del aliviadero de 1.200 m³/s y la cota de desagüe se sitúa a 613,2 m snm.

COTA (m)	SUPERFICIE (ha)	VOLUMEN (hm ³)
625,0	52,85	1,34
627,0	72,38	1,94
630,0	96,41	3,78
632,0	113,26	5,56
634,0	132,37	7,74
635,0	142,74	8,97
636,0	153,46	10,28
637,0	164,27	11,67
638,0	174,82	13,14
639,0	184,67	14,68
640,0	193,30	16,28
641,5	202,55	18,79
642,5	205,19	20,53
643,5	204,03	22,32
Curva de Embalse (ajuste polinomial)		
	V=f(z)	S=f(z)
Coef.	hm ³	ha
Dx ³	0,0000E+00	-3,7626424E-03
Cx ²	-8,5108E-04	9,5214282E+00
Bx	1,6637E+00	-9,0349932E+03
A	-1,0821E+03	3,8102846E+06

Tabla 53. Datos del embalse de Cubillas. Superficie de lámina de agua y capacidad de almacenamiento

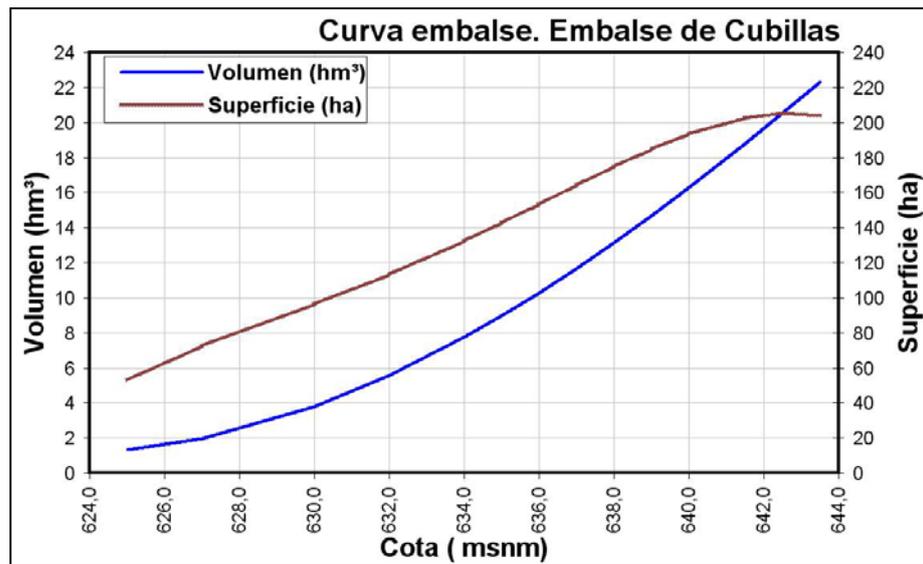


Figura 128. Curvas características del embalse de Cubillas

En las reglas de operación del embalse se fija como volumen máximo 17,2 hm³, quedando un volumen de resguardo ante avenidas de 1,5 hm³, Asimismo, el volumen de embalse muerto se fija en 1,34 hm³, ya que de las 2 tomas de que dispone la inferior se sitúa a cota 625 m snm (capacidad de las tomas 6 m³/s).

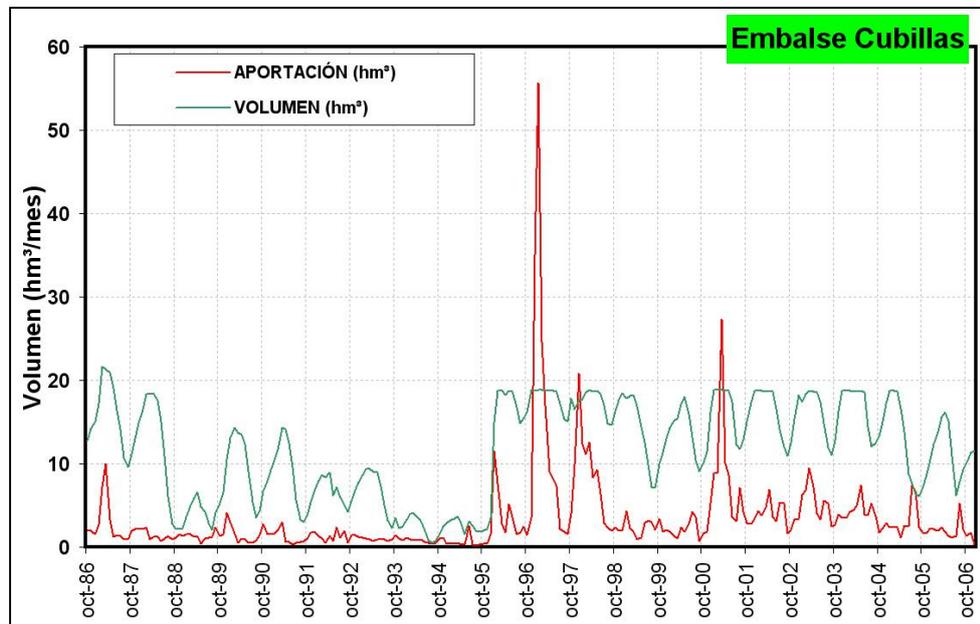


Figura 129. Evolución del embalse de Cubillas (periodo 1986–2006)

La evaporación media anual en el embalse se cifra en 874 mm, lo que supone unas pérdidas anuales a la atmósfera de 1,29 hm³, para un llenado medio en el embalse (cota 635,5 m snm: 147,96 ha) (tabla 54).

Meses	Evaporación Embalse (datos CHG) (mm/mes)	COTA (m)	SUPERFICIE (ha)	Evaporación anual según cotas (hm ³ /año)
OCT	59	625	52,85	0,46
NOV	39	630	96,41	0,84
DEC	33	632	113,26	0,99
JAN	28	634	132,37	1,16
FEB	36	636	153,46	1,34
MAR	54	637	164,27	1,44
APR	59	638	174,82	1,53
MAY	76	639	184,67	1,61
JUN	105	640	193,30	1,69
JUL	134	642	202,55	1,77
AUG	150			
SEP	103			
Anual	874			

Tabla 54. *Evaporación en lámina libre para el embalse de Cubillas*

Los datos de explotación del embalse del Cubillas para el periodo 1986–2006 (Figuras 129 a 131) indican una evaporación media anual de 1,39 hm³ y una aportación directa media anual de 41,21 hm³. Considerando estos datos, la aportación directa neta es de 39,82 hm³. Esta cifra es muy inferior a la aportación más probable calculada mediante el modelo P-E de Temez modificado (128,65 hm³/a), ya que el embalse de Cubillas dispone en cabecera de una infraestructura de desvío de caudales punta hacia el río Colomera (túnel de desvío del Cubillas), que lamina los caudales de entrada al embalse del Cubillas, con el objetivo de minimizar los riegos de aterramiento del embalse por aporte de finos.

Meses	Aportación Directa (m³/mes)	Evaporación (m³/mes)	% Evap./Aport
OCT	2.625.108	28.704	1,1%
NOV	3.182.142	22.124	0,7%
DIC	4.623.523	18.505	0,4%
ENE	5.615.546	21.605	0,4%
FEB	4.427.046	27.059	0,6%
MAR	5.055.397	36.622	0,7%
ABR	6.535.826	39.435	0,6%
MAY	9.652.852	55.557	0,6%
JUN	7.551.686	80.962	1,1%
JUL	3.511.294	113.349	3,2%
AGO	1.951.451	110.230	5,6%
SEP	1.769.864	58.360	3,3%
ANUAL	56.501.734	612.512	1,1%

Tabla 55. Datos de evaporación en el embalse de Cubillas

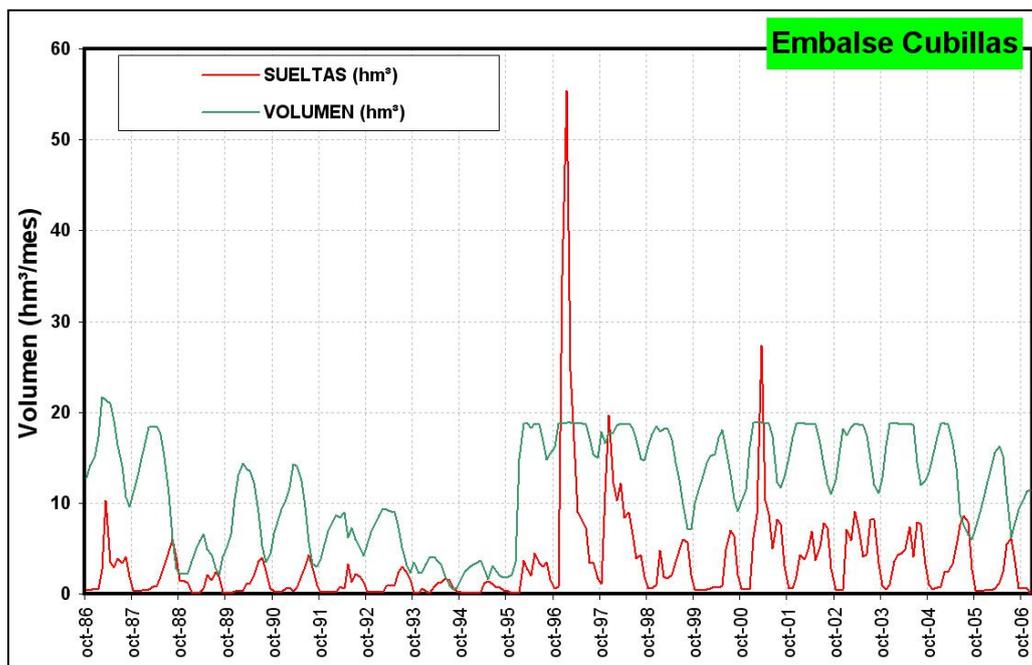


Figura 130. Datos de explotación del embalse de Cubillas. Fuente: CHG

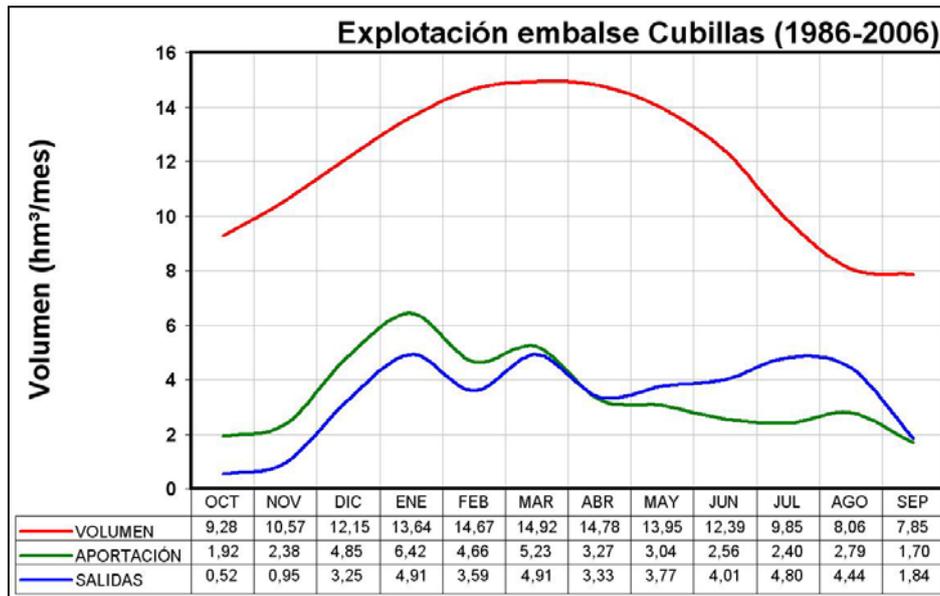


Figura 131. Explotación del embalse de Cubillas periodo 1986–2006. Comparativa entregas–aportación–almacenamiento

8.1.4.4 Embalse de Colomera

Este embalse recibe una aportación media anual de 32,45 hm³, de la que el 83,7% (27,16 hm³) corresponde a la escorrentía superficial y el 16,3% restante (5,30 hm³) a la escorrentía subterránea.

Dada la variabilidad que presentan las aportaciones en la zona objeto de estudio no resulta conveniente calcular la media de las aportaciones, sino más bien conviene realizar cálculos en referencia al año tipo más probable (mediana de las aportaciones).

E. Colomera		APORTACIÓN MEDIA ANUAL DE LA CUENCA (hm³/a)	
	Dato CHG	26,06	hm ³ /a
	Modelo Temez modificado	32,45	hm ³ /a
	Aportación Subterránea	5,30	hm ³ /a
	Aportación Superficial	27,16	hm ³ /a
ESCORRENTÍA TOTAL MODELO TEMEZ MODIFICADO			
	SECO (hm³/a)	MEDIO (hm³/a)	HÚMEDO (hm³/a)
Mínimo	0,00	10,48	49,56
Cuartil 25%	1,65	18,67	58,74
Promedio	3,93	28,54	74,99
Mediana	3,47	33,10	65,52
Cuartil 75%	6,56	36,58	82,55
Desv. Estándar	2,96	11,08	25,41
C _v	1,33	2,58	2,95
Máximo	8,43	46,32	139,78

Tabla 56. Datos estadísticos de aportaciones al embalse de Colomera

Así, la aportación más probable que recibe este embalse es de 33,10 hm³/año, con un 15,2% de procedencia subterránea (5,03 hm³/a) y el 84,8% restante de escorrentía superficial. Más aún, para las situaciones de años secos, con una aportación más probable anual de 3,47 hm³/año, el 33,0% de la aportación que recibe el embalse es de origen subterráneo (1,15 hm³).

Asimismo, el rango de aportaciones más probable oscila entre 18,67 y 36,58 hm³/a para la serie analizada (1951–2004). Los datos de aportaciones registrados por la CHG para el periodo 1991–2006, indican un rango más probable de entre 7,14 y 42,14 hm³, con un mínimo registrado de 1,29hm³ para el año 1994–1995.

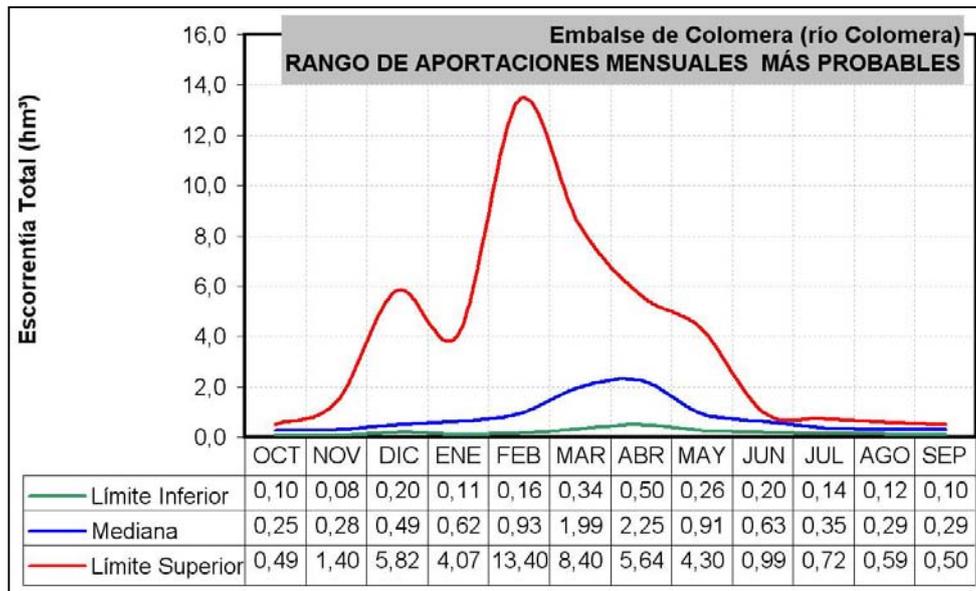


Figura 132. Rango de aportaciones más probables al embalse de Colomera

La capacidad máxima del embalse es de 42,45 hm³, para una cota de nivel máximo de llenado de 812 m snm. Dispone de una capacidad del aliviadero de 550 m³/s y la cota de desagüe se sitúa a 762 m snm.

COTA (m)	SUPERFICIE (ha)	VOLUMEN (hm ³)
765,0	0,212	0,78
770,0	12,56	1,03
775,0	26,15	1,61
780,0	40,35	2,79
785,0	55,92	4,84
790,0	74,18	8,03
795,0	97,01	12,63
800,0	126,82	18,91
802,5	145,26	22,76
805,0	166,60	27,14
807,5	191,31	32,07
810,0	219,88	37,59
812,0	245,87	42,45
814,4	280,64	48,74
Curva de Embalse (ajuste polinomial)		
	V=f(z)	S=f(z)
Coef.	hm ³	ha
Dx ³	0,0000E+00	3,68508976E-05
Cx ²	3,6058E-04	-1,13583516E-01
Bx	-8,2637E-01	1,31291410E+02
A	6,3133E+02	-6,74496939E+04

Tabla 57. Datos del embalse de Colomera. Superficie de lámina de agua y capacidad de almacenamiento

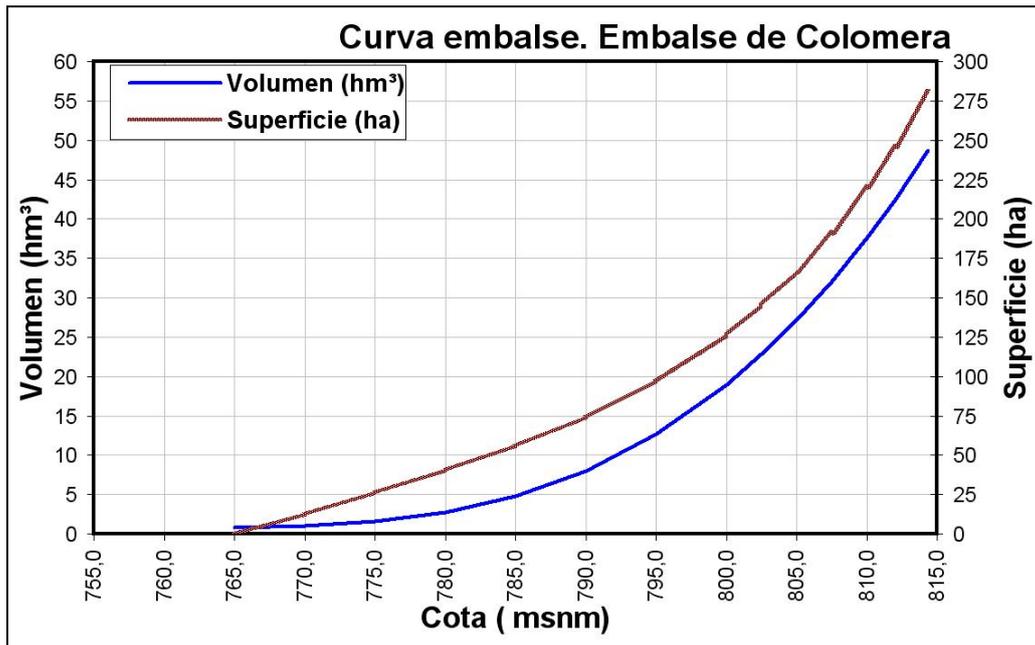


Figura 133. Curvas características del embalse de Cubillas

En las reglas de operación del embalse se fija como volumen máximo 40 hm³, quedando un volumen de resguardo ante avenidas de 2,5 hm³, Asimismo, el volumen de embalse muerto se fija en 1,03 hm³, ya que de las 2 tomas de que dispone la inferior se sitúa a cota 770 m snm (capacidad de las tomas 30 m³/s).

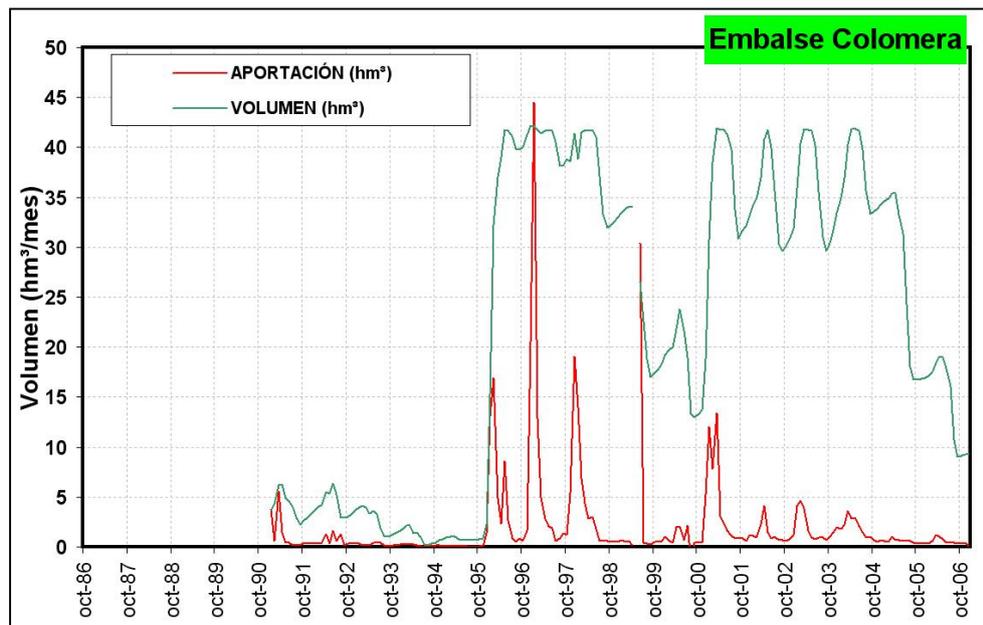


Figura 134. Evolución del embalse de Colomera (periodo 1992-2006)

La evaporación media anual en el embalse de Colomera se cifra en 906 mm, lo que supone unas pérdidas anuales a la atmósfera de 1,41 hm³, para un llenado medio en el embalse (cota 804 m snm: 156,03 ha).

Meses	Evaporación Embalse (datos CHG) (mm/mes)	COTA (m)	SUPERFICIE (ha)	Evaporación anual según cotas (hm ³ /año)
OCT	50	765	0,21	0,00
NOV	32	766	1,95	0,02
DEC	25	770	12,56	0,11
JAN	30	775	26,15	0,24
FEB	39	785	55,92	0,51
MAR	60	790	74,18	0,67
APR	64	800	126,82	1,15
MAY	82	805	166,60	1,51
JUN	118	810	219,88	1,99
JUL	159	814	280,64	2,54
AUG	155			
SEP	93			
Anual	906			

Tabla 58. Evaporación en lámina libre para el embalse de Colomera

Los datos de explotación del embalse del Colomera para el periodo 1992–2006 indican una evaporación media anual de 1,34 hm³ y una aportación directa media anual de 26,06 hm³. Considerando estos datos, la aportación directa neta es de 24,72 hm³.

Meses	Aportación Directa (m ³ /mes)	Evaporación (m ³ /mes)	% Evap./Aport
OCT	2.034.585	93.078	2.034.585
NOV	2.060.853	89.727	2.060.853
DIC	2.339.207	88.909	2.339.207
ENE	2.631.637	89.434	2.631.637
FEB	2.369.600	91.069	2.369.600
MAR	2.330.944	94.146	2.330.944
ABR	2.173.297	94.463	2.173.297
MAY	2.182.337	96.912	2.182.337
JUN	2.093.945	105.318	2.093.945
JUL	2.040.469	111.213	2.040.469
AGO	2.024.354	109.388	2.024.354
SEP	2.012.423	101.305	2.012.423
ANUAL	26.293.650	1.164.963	26.293.650

Tabla 59. Datos de evaporación en el embalse de Colomera

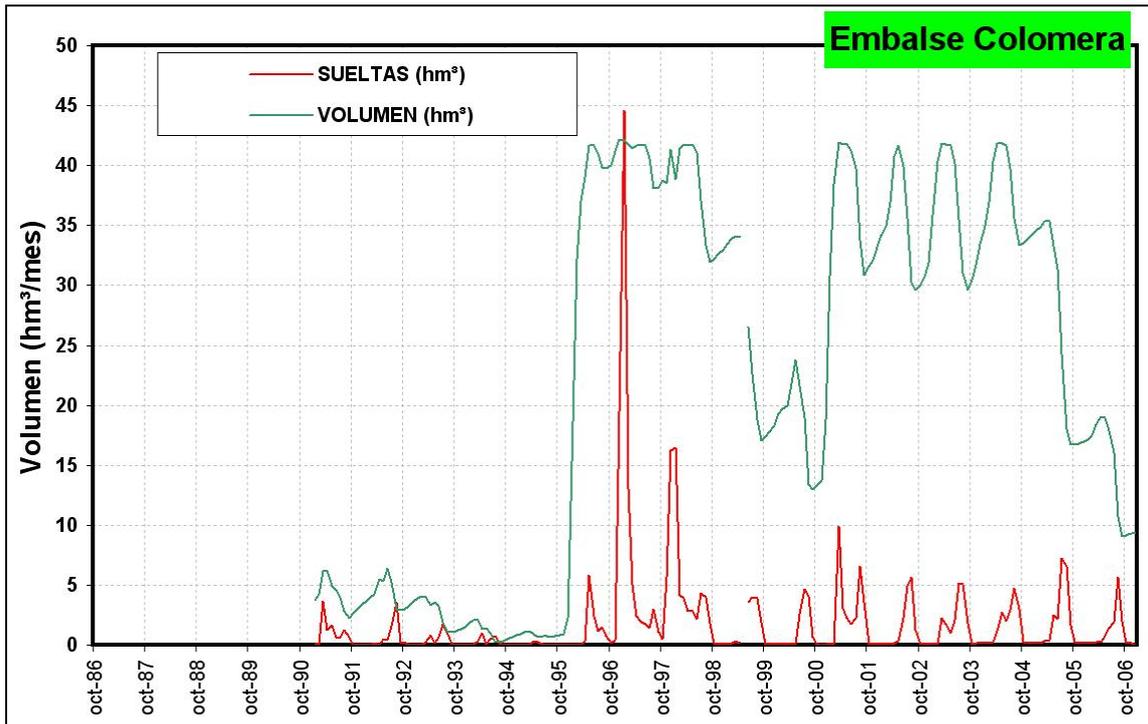


Figura 135. Datos de explotación del embalse de Colomera. Fuente: CHG

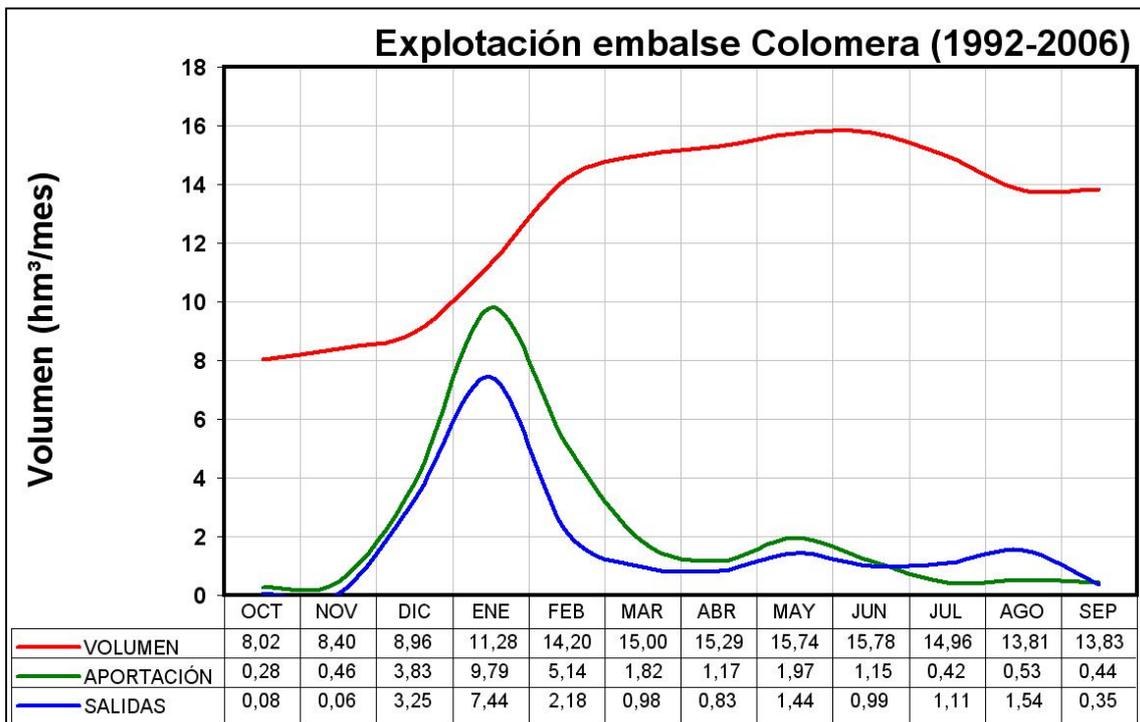


Figura 136. Explotación del embalse de Colomera periodo 1992-2006. Comparativa entregas-aporación-almacenamiento

8.1.4.5 Embalse de Bermejales

Este embalse recibe una aportación media anual de 72,05 hm³, de la que el 58,2% (41,93 hm³) corresponde a la escorrentía subterránea y el 41,8% restante (30,12 hm³) a la escorrentía superficial (tabla 60). Si bien, dada la variabilidad que presentan las aportaciones en la zona objeto de estudio no resulta conveniente calcular la media de las aportaciones, sino más bien conviene realizar cálculos en referencia al año tipo más probable (mediana de las aportaciones).

E. Bermejales		APORTACIÓN MEDIA ANUAL DE LA CUENCA (hm³/a)	
	Dato CHG	50,84	hm ³ /a
	Modelo Temez modificado	72,05	hm ³ /a
	Aportación Subterránea	41,93	hm ³ /a
	Aportación Superficial	30,12	hm ³ /a
ESCORRENTÍA TOTAL MODELO TEMEZ MODIFICADO			
		SECO (hm³/a)	MEDIO (hm³/a)
		HÚMEDO (hm³/a)	
	Mínimo	10,34	47,33
	Cuartil 25%	24,56	58,42
	Promedio	30,44	65,18
	Mediana	31,89	64,23
	Cuartil 75%	39,09	70,82
	Desv. Estándar	9,77	10,80
	C _v	3,12	6,04
	Máximo	43,20	92,41

Tabla 60. Datos estadísticos de aportaciones al embalse de Los Bermejales

Así, la aportación más probable que recibe este embalse es de 64,23 hm³/año, con un 62,5% de procedencia subterránea y el 37,5% restante de escorrentía superficial. Más aún, para las situaciones de años secos, con una aportación más probable anual de 31,89 hm³/año, el 76,5% de la aportación que recibe el embalse es de origen subterráneo (24,39 hm³). Asimismo, el rango de aportaciones más probable oscila entre 58,42 y 70,82 hm³/a para la serie analizada (1951–2004) (Figura 137). Los datos de aportaciones registrados por la CHG para el periodo 1986–2006, indican un rango más probable de entre 30,06 y 59,32 hm³, con un mínimo registrado de 18,32 hm³ para el año 1994–1995.

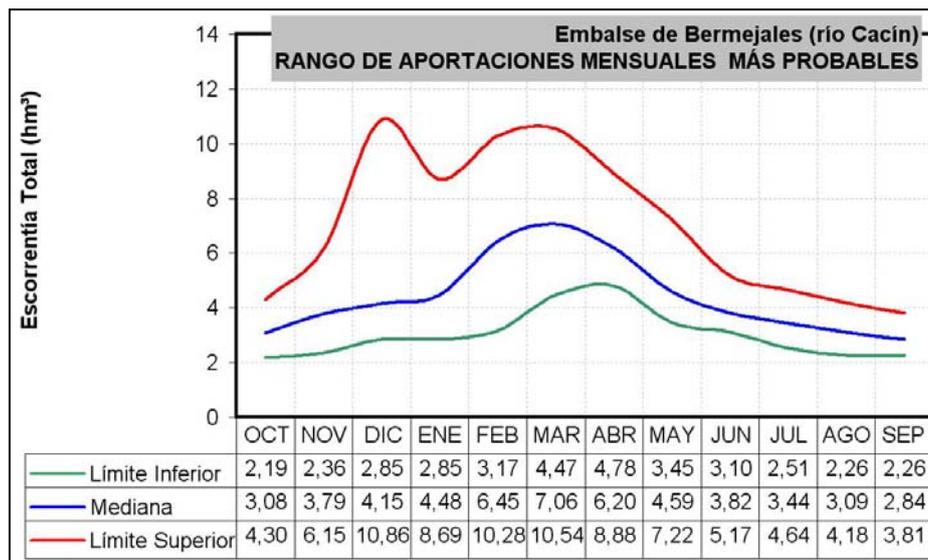


Figura 137. Rango de aportaciones más probables al embalse de Los Bermejales

La capacidad máxima del embalse es de 102,60 hm³, para una cota de nivel máximo de llenado de 829 m snm (tabla 61). Dispone de una capacidad del aliviadero de 530 m³/s y la cota de desagüe se sitúa a 777,47 m snm.

COTA (m)	SUPERFICIE (ha)	VOLUMEN (hm ³)
785,0	20,85	0,07
790,0	50,19	1,58
795,0	84,35	4,62
800,0	127,04	9,65
805,0	180,46	17,16
810,0	245,27	27,62
812,5	281,74	34,10
815,0	320,63	41,50
817,5	361,58	49,87
820,0	404,17	59,28
822,5	447,85	69,78
825,0	492,00	81,43
829,0	561,77	102,62
831,0	595,34	114,46
Curva de Embalse (ajuste polinomial)		
	V=f(z)	S=f(z)
Coef.	hm ³	ha
Dx ³	0,0000E+00	-1,0126566E-04
Cx ²	6,3303E-04	3,2595728E-01
Bx	-1,4698E+00	-3,9322035E+02
A	1,1375E+03	2,1071621E+05

Tabla 61. Datos del embalse de Los Bermejales. Superficie de lámina de agua y capacidad de almacenamiento

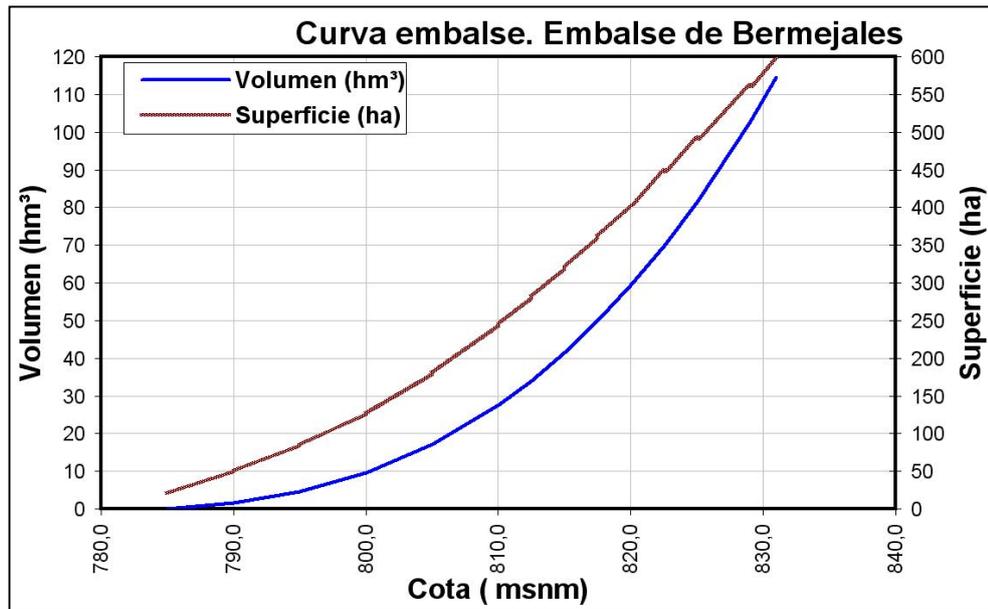


Figura 138. Curvas características del embalse de Los Bermejales

En las reglas de operación del embalse se fija como volumen máximo 100,60 hm³, quedando un volumen de resguardo ante avenidas de 2 hm³, Asimismo, el volumen de embalse muerto se fija en 2 hm³, ya que de las 2 tomas de que dispone la inferior se sitúa a cota 778 m snm (capacidad de las tomas 8 m³/s).

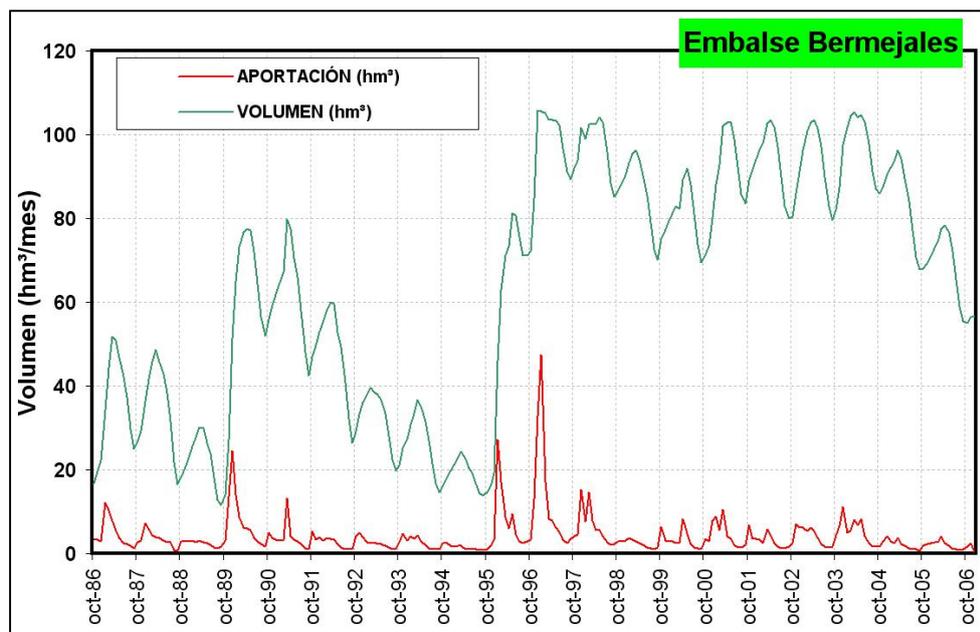


Figura 139. Evolución del embalse de Los Bermejales (periodo 1986-2006)

La evaporación media anual en el embalse de Los Bermejales se cifra en 763 mm, lo que supone unas pérdidas anuales a la atmósfera de 2,93hm³, para un llenado medio en el embalse (cota 819 m snm: 383,97 ha).

Meses	Evaporación Embalse (datos CHG) (mm/mes)	COTA (m)	SUPERFICIE (ha)	Evaporación anual según cotas (hm ³ /año)
OCT	35	785	20,85	0,16
NOV	31	790	50,19	0,38
DEC	31	795	84,35	0,64
JAN	35	800	127,04	0,97
FEB	49	805	180,46	1,38
MAR	51	810	245,27	1,87
APR	63	815	320,63	2,45
MAY	88	820	404,17	3,08
JUN	125	825	492,00	3,75
JUL	126	829	561,77	4,29
AUG	80			
SEP	48			
Anual	763			

Tabla 62. Evaporación en lámina libre para el embalse de Los Bermejales

Los datos de explotación del embalse de Los Bermejales para el periodo 1986–2006 (Figuras 130 a 132) indican una evaporación media anual de 3,15 hm³ y una aportación directa media anual de 50,84 hm³. Considerando estos datos, la aportación directa neta es de 47,69 hm³.

Meses	Aportación Directa (m ³ /mes)	Evaporación (m ³ /mes)	% Evap./Aport
OCT	3.486.471	227.957	6,5%
NOV	4.642.209	150.005	3,2%
DIC	7.294.207	95.888	1,3%
ENE	8.370.608	62.153	0,7%
FEB	5.978.890	89.804	1,5%
MAR	5.740.224	180.400	3,1%
ABR	4.368.719	255.565	5,8%
MAY	3.787.304	357.070	9,4%
JUN	2.466.911	430.892	17,5%
JUL	1.816.582	492.035	27,1%
AGO	1.418.984	471.437	33,2%
SEP	1.468.428	336.763	22,9%
ANUAL	50.839.537	3.149.969	6,2%

Tabla 63. Datos de evaporación en el embalse de Los Bermejales

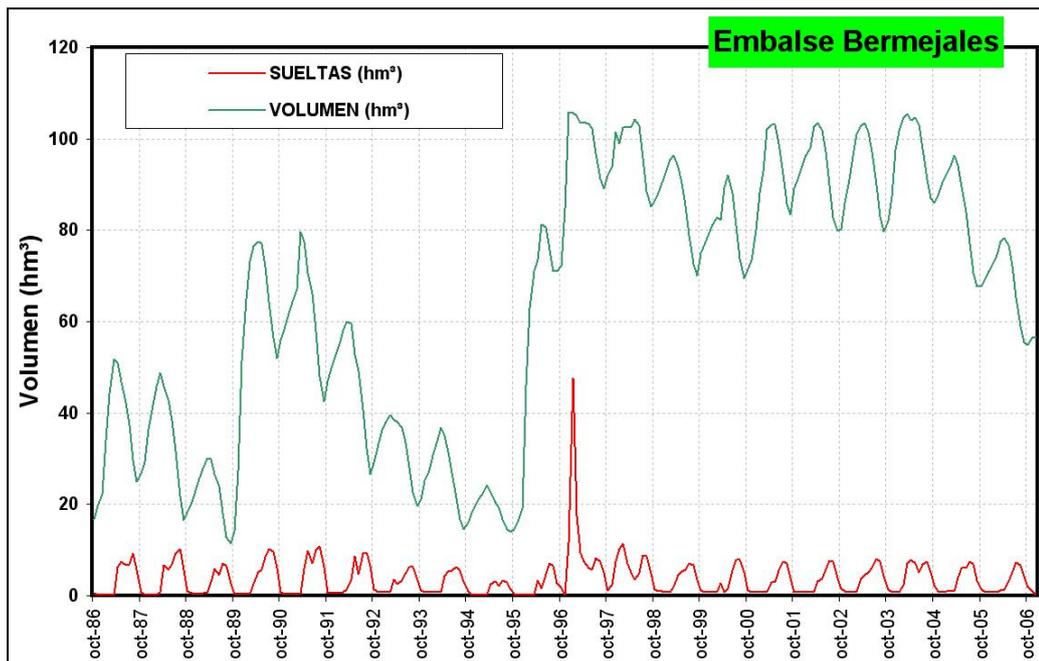


Figura 140. Datos de explotación del embalse de Los Bermejales. Fuente: CHG

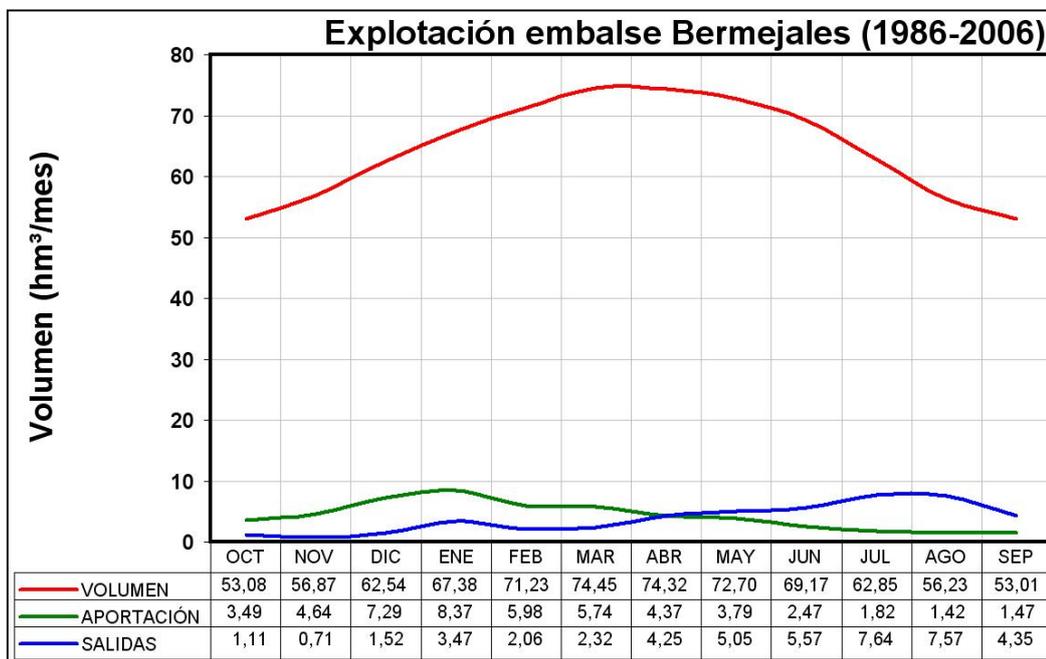


Figura 141. Explotación del embalse de Los Bermejales periodo 1986-2006. Comparativa entregas-aportación-almacenamiento

8.1.4.6 Datos resumen de embalses

En la tabla 64 y en la Figura 142 se resume los datos obtenidos mediante la simulación del modelo P-E Temez para los embalses del sistema Cornisa-Vega de Granada. En la Figura 142 se muestran los porcentajes que representa la escorrentía subterránea en la aportación de los embalses según años tipo.

EMBALSES		QUÉNTAR	CANALES	CUBILLAS	COLOMERA	BERMEJALES
AÑO TIPO HÚMEDO	Esc.Total (hm³/a)	37,29	121,97	227,51	74,99	123,45
	Esc.Subt. (hm³/a)	15,02	16,94	69,33	11,02	65,08
	%Esc.Subt.	40,3%	13,9%	30,5%	14,7%	52,7%
	Esc.Sup. (hm³/a)	22,26	105,03	158,18	63,97	58,37
	%Esc.Sup.	59,7%	86,1%	69,5%	85,3%	47,3%
AÑO TIPO MEDIO	Esc.Total (hm³/a)	23,37	75,97	128,02	28,54	65,18
	Esc.Subt. (hm³/a)	10,13	12,24	46,85	4,90	41,38
	%Esc.Subt.	43,3%	16,1%	36,6%	17,2%	63,5%
	Esc.Sup. (hm³/a)	13,24	63,73	81,17	23,64	23,80
	%Esc.Sup.	56,7%	83,9%	63,4%	82,8%	36,5%
AÑO TIPO SECO	Esc.Total (hm³/a)	9,65	29,08	49,26	3,93	30,44
	Esc.Subt. (hm³/a)	4,82	6,81	25,37	0,99	23,14
	%Esc.Subt.	50,0%	23,4%	51,5%	25,1%	76,0%
	Esc.Sup. (hm³/a)	4,83	22,27	23,89	2,95	7,30
	%Esc.Sup.	50,0%	76,6%	48,5%	74,9%	24,0%

Tabla 64. Resultados del modelo P-E Temez en los embalses del Sistema Cornisa-Vega de Granada (datos promedio según años tipo)

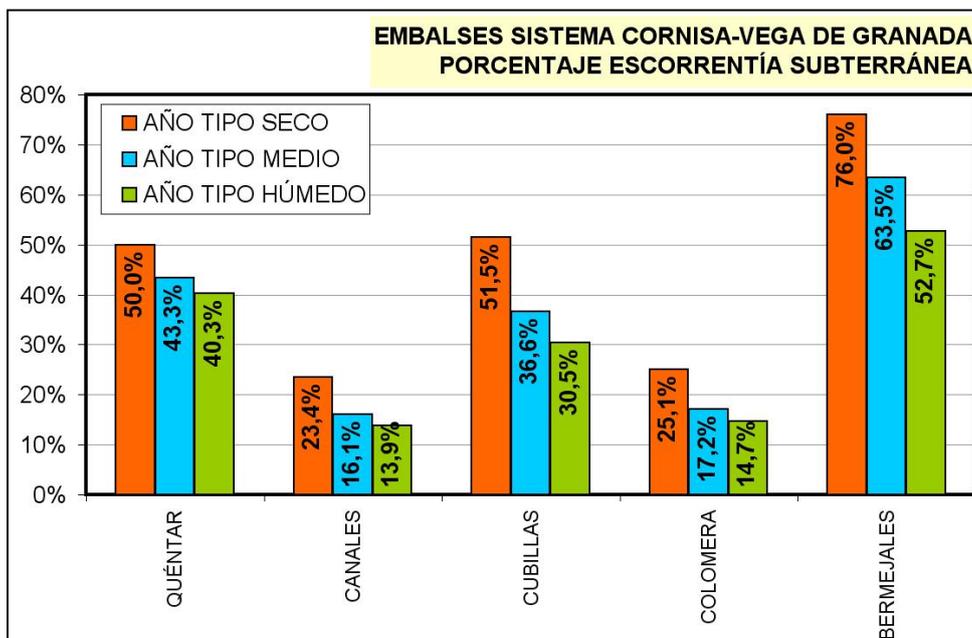


Figura 142. Porcentaje que representa la escorrentía subterránea en la aportación a los embalses del Sistema Cornisa-Vega de Granada según Años Tipo

8.2 FUENTES NO CONVENCIONALES DE RECURSOS HÍDRICOS

En el documento “Propuestas para la Gestión Integral del Agua en la Vega de Granada”, realizado por la Fundación empresa–Universidad de Granada para la empresa Emasagra *Fundación Empresa–Universidad de Granada –2004–*), se presenta un exhaustivo análisis sobre la utilización de recursos hídricos no convencionales en la Vega de Granada (reutilización de aguas residuales tratadas) para dotar el regadío.

En dicho documento se hace hincapié en que el agua residual, desde un punto de vista sanitario y ambiental, se ha de depurar hasta que reúna las características de calidad apropiadas para su uso agrícola. Para las distintas hipótesis de gestión que se realizan en este estudio para estos recursos no convencionales, se supone que se verifica el supuesto de depuración necesaria para la utilización agrícola de dicha aguas residuales tratadas.

No obstante, existen otras alternativa para la reutilización de las aguas tratadas, que pueden tener cierta aplicabilidad en el Sistema Cornisa–Vega de Granada, como la recarga artificial de acuíferos, el uso recreativo–medioambiental (generación de hábitat húmedos) o la reutilización para usos urbanos (riegos y limpiezas de zonas urbana, usos comerciales u ornamentales y contra–incendios).

8.2.1 Infraestructuras de Tratamientos de Aguas Residuales Urbanas

En el Sistema Cornisa–Vega de Granada existen una serie de estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas (EDAR) mediante las que se dispone de una capacidad total de tratamiento de 73.412 m³/d.

Las EDAR están vinculadas al sistema de abastecimiento que gestiona Emasagra, por tanto, se enmarcan en el subsistema de abastecimiento Sierra Nevada–Vega Sur. Corresponden a las siguientes instalaciones (Figura 143):

- **EDAR Sur** (EDAR Churriana), que permite la depuración de un caudal medio de 51.000 m³/d, sirviendo a un total de 185.000 habitantes.
- **EDAR Oeste** (EDAR LOS Vados), que depura un caudal de aguas residuales urbanas de 22.412 m³/d, sirviendo a un total de 90.000 habitantes.

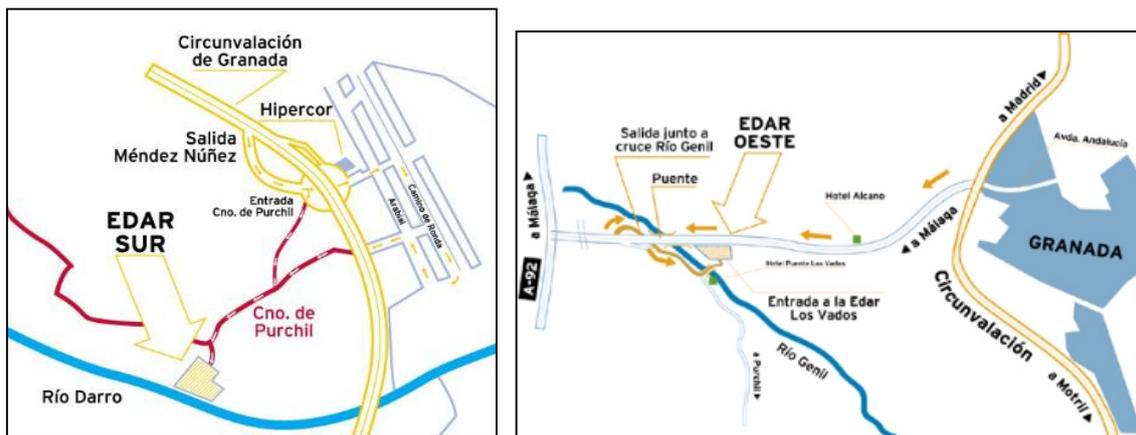


Figura 143. Ubicación de las EDARs del Sistema Cornisa–Vega de Granada

El subsistema La Vega–Sierra Elvira carece de infraestructuras de potabilización y depuración supramunicipales, por lo que la potabilización y la depuración, cuando existe, se desarrolla a escala municipal.

Por tanto, las EDAR existentes en el Sistema Cornisa–Vega de Granada están vinculadas al área metropolitana de Granada, mientras que en el resto de municipios no existe depuración o esta es gestionada por los propios ayuntamientos de forma precaria.

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	Ogíjares 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	
							73.412	EDAR Los Vados II	47.500
			EDAR SUR	51.000				EDAR SUR	58.000
								EDAR Churriana 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

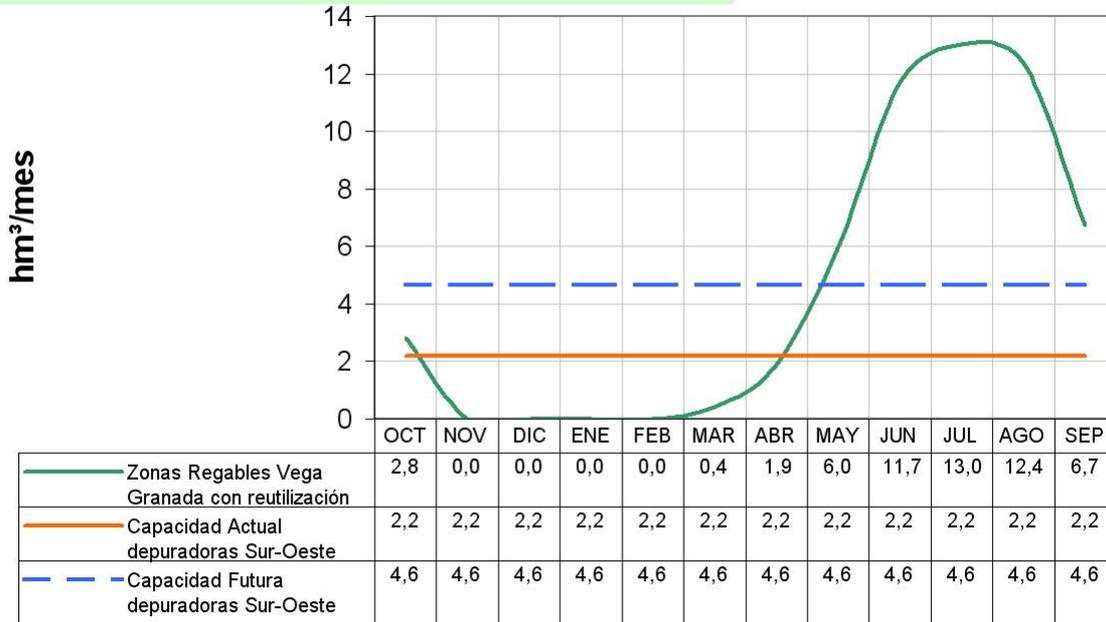
No obstante, los planes futuros de depuración y saneamiento para la zona metropolitana de Granada (subsistema de abastecimiento Sierra Nevada–Vega Sur) aseguran que podrán depurarse la totalidad de las aguas residuales urbanas que se generen en este subsistema (149.752 m³/d), lo que constituye un recurso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

Zonas Regables Vega Granada donde es factible la reutilización de aguas residuales urbanas tratadas



Zonas Regables Vega Granada donde es factible la reutilización de aguas residuales urbanas tratadas

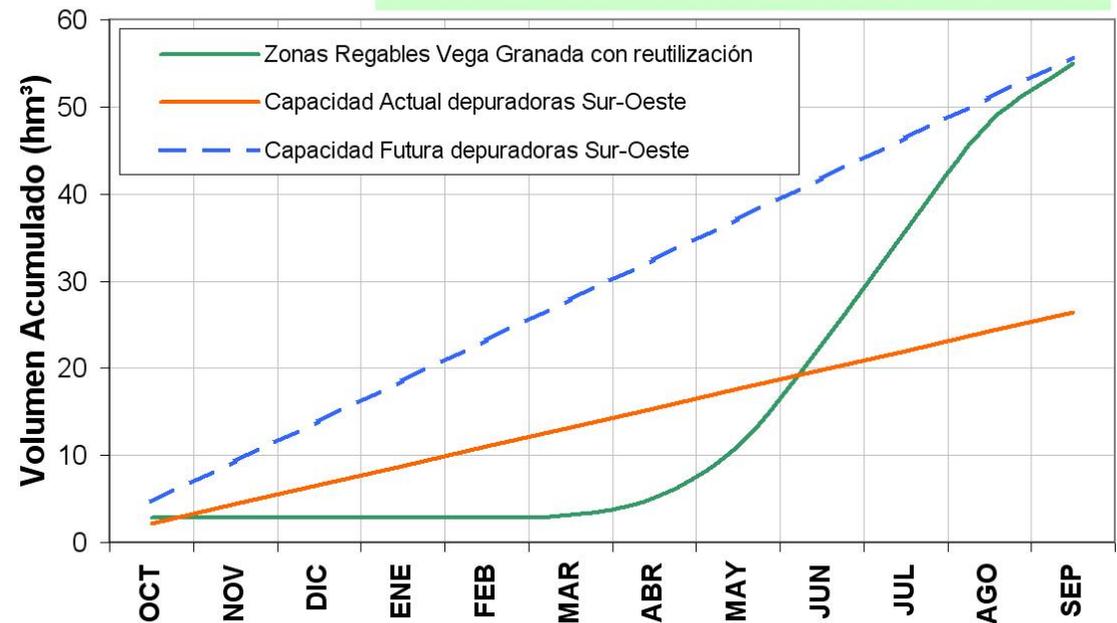


Figura 144. Comparativa de la capacidad de depuración y las necesidades de riego

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

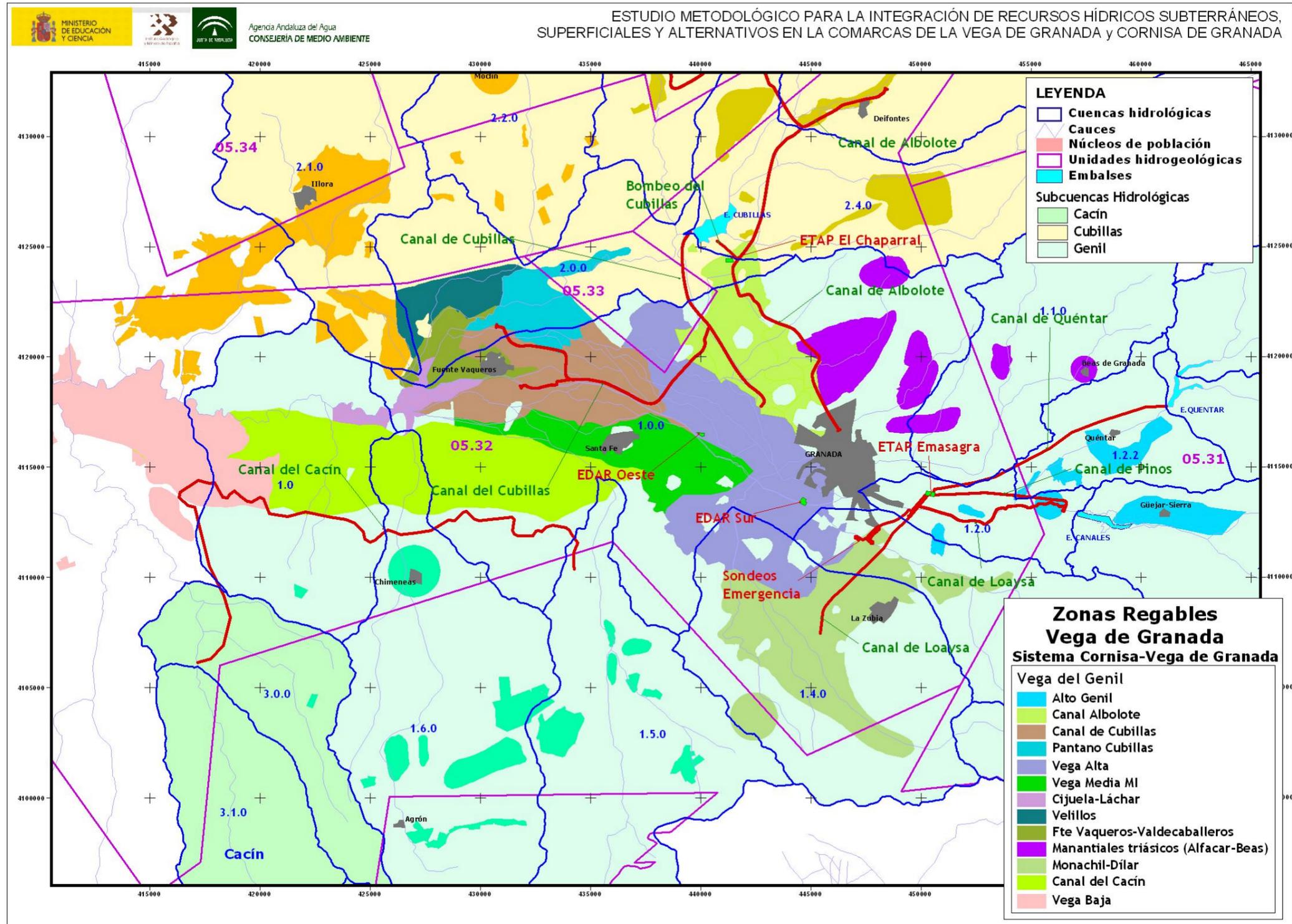


Figura 146. Zonas regables de la Vega de Granada e infraestructuras de depuración de aguas residuales urbanas

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 ⁽²⁾ : <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 ⁽²⁾ : <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 ⁽²⁾ : <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	
⁽²⁾ 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
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: <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	Consorcio La Vega-Sierra Elvira	Bombes emb. subterráneo Vega de Granada	Descarga ⁵ emb. subterráneo La Peza	Descarga emb. subterráneo S ^a Arana (Deifontes)	Descarga y bombes emb. subterráneo Colomera	Descarga y bombes Emb. subterráneo Periarde-Moreda-Piñar	Canal del Cacín	
	Consorcio Sierra Nevada-Vega Sur	Sistema Canales-Quéntar	Bombes emb. subterráneo Vega de Granada	Descarga y bombes emb. subterráneo Padúl	Descarga y bombes emb. subterráneo La Peza			
	Municipios de la zona septentrional	Descarga y bombes emb. subterráneos de la zona Septentrional (UHs 28, 29, 30 y 34)						
	Mancomunidad del Temple	Descarga y bombes emb. subterráneo Albuñuelas	Canal del Cacín					
RIEGOS	Comarcas de la Cornisa de Granada	Comarca de Alhama	Descarga y bombes emb. subterráneo Albuñuelas	Escorrentías río Agrón				
		Comarca de Montefrío	Descarga y bombes emb. subterráneos de la zona Septentrional (UHs 29 y 34)					
		Comarca de Iznalloz	Descarga y bombes emb. subterráneos de la zona Septentrional (UHs 28, 29 y 30)					
	Regadíos de la Vega de Granada	Vega de Granada-Alto Genil (Genil-Aguas Blancas)	Descarga emb. subterráneos La Peza y Padúl					
		Vega de Granada-Monachil-Dílar	Tomas directas en cauces (Monachil-Dílar) (descargas emb. subterráneo Padúl)	Bombes Vega de Granada				
		Vega de Granada-Vega Alta	Sistema Canales-Quéntar	Bombes 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	Bombes emb. subterráneo Vega de Granada			
		Vega de Granada-Pantano de Cubillas	Embalse del Cubillas	Bombeo embalse del Cubillas				
		Vega de Granada-Velillos	Tomas en río Velillos	Bombes emb. subterráneo Vega de Granada				
		Vega de Granada-Fte. Vaqueros-Valdecaballeros	Sobrantes río Genil	Bombes 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	Zona regable del Canal del Cacin
		Mancomunidad del Temple	
	Canal del Cubillas (embalse del Cubillas)		Vega de Granada-Canal Cubillas
	Bombeo embalse del Cubillas		Vega Granada-Canal Albolote
			Vega de Granada-Pantano de Cubillas
	Tomas en río Velillos		Vega de Granada-Velillos
	Escorrentías río Agrón		Comarca de Alhama
	Tomas directas en cauces (Monachil-Dílar) (descargas emb. subterráneo Padúl)		Vega de Granada-Monachil-Dílar
Sobrantes río Genil		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	Bombeos emb. subterráneo Vega de Granada	Consorcio La Vega-Sierra Elvira	Vega de Granada-Monachil-Dílar
			Vega de Granada-Vega Alta
		Consorcio Sierra Nevada-Vega Sur	Vega de Granada-Canal Cubillas
			Vega de Granada-Velillos
	Drenajes emb. subterráneo Vega de Granada		Vega de Granada-Fte Vaqueros-Valdecaballeros
			Vega de Granada-Vega Media MI
	Emb. subterráneo La Peza	Consorcio La Vega-Sierra Elvira	Vega de Granada-Canal Cubillas
		Consorcio Sierra Nevada-Vega Sur	Vega de Granada-Alto Genil (Genil-Aguas Blancas)
	Emb. subterráneo Padúl	Consorcio Sierra Nevada-Vega Sur	Vega de Granada-Alfacar-Beas de Granada
			Vega de Granada-Alto Genil (Genil-Aguas Blancas)
Descarga emb. subterráneo S ^a Arana (manantial Deifontes)	Consorcio La Vega-Sierra Elvira	Vega de Granada-Monachil-Dílar	
	Municipios de la zona septentrional		
Emb. subterráneo Albuñuelas	Mancomunidad del Temple	Comarca de Alhama	
Emb. subterráneos de la zona Septentrional (UHS 28, 29, 30 y 34)	Municipios de la zona septentrional	Comarca de Montefrío	
		Comarca de Iznalloz	
AGUAS RESIDUALES DEPURADAS	EDARs Oeste y Sur		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 cumplimentar 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				
			Moclin	10	1				
			Deifontes	11	1				
			Montillana-Campotéjar	12	2				
			Iznalloz	13	1				
			Illora	14	1				
			Benalúa de las Villas	32	1				
		Guadahortuna-Montejaicar	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	
			Lachar-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 pérdidas.
- 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 Cacín(3.2.0)	30,12	15,44	42,90
13	Bajo Cacín(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 Sª Arana	25,92	15,11	34,89
24	Inf Sª Colomera	1,32	0,22	2,12
25	Inf Madrid-Parapanda	2,06	0,67	3,30
26	Inf SªTejeda-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 Montejicar	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-Sª 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).

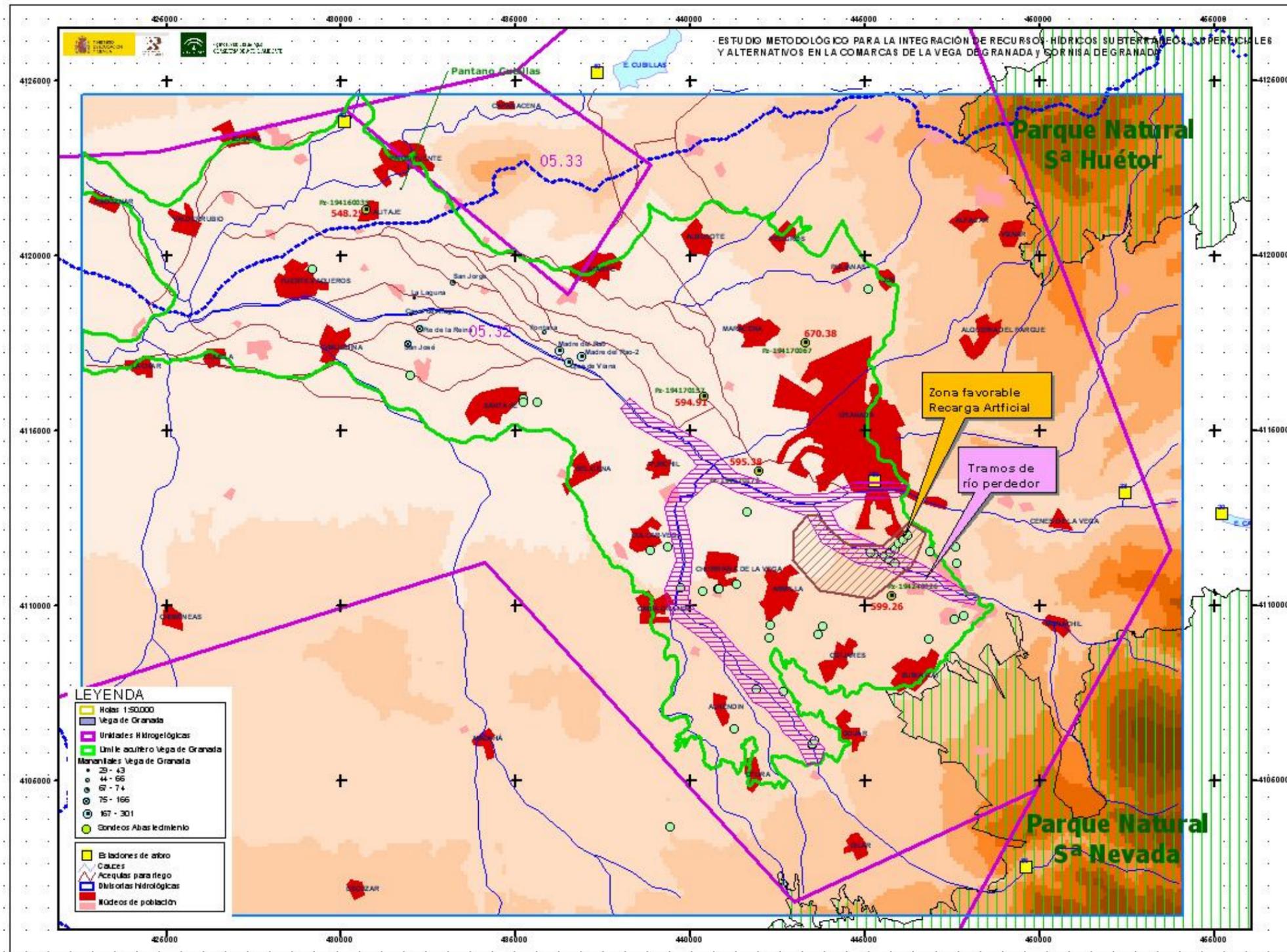


Figura 147. Acuífero Vega de Granada. Tramos de ríos que recargan al acuífero.

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 Montejícar	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*

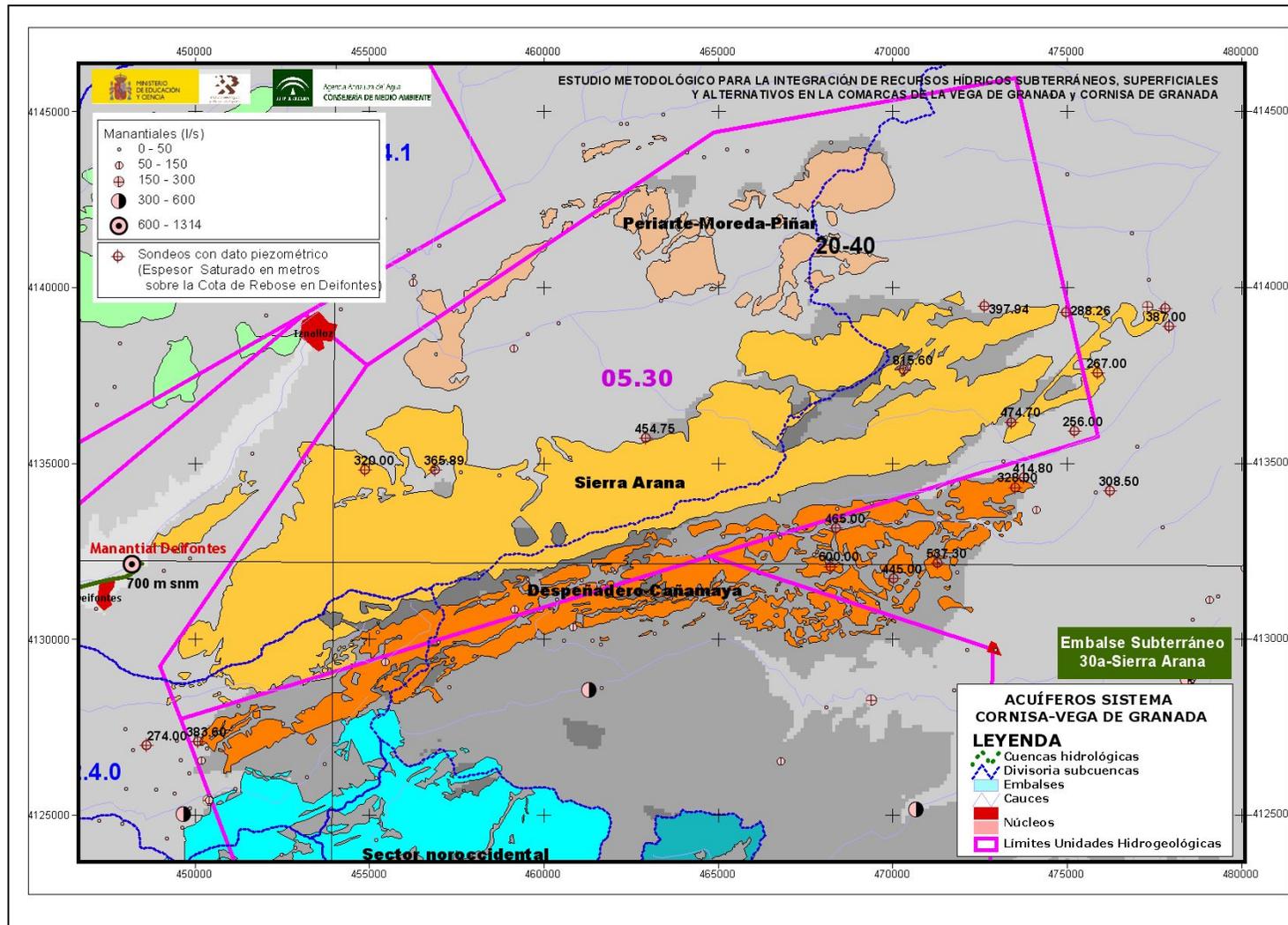


Figura 148. Embalse subterráneo de Sierra Arana. Datos piezométricos (espesor saturado sobre la cota de rebose)

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).

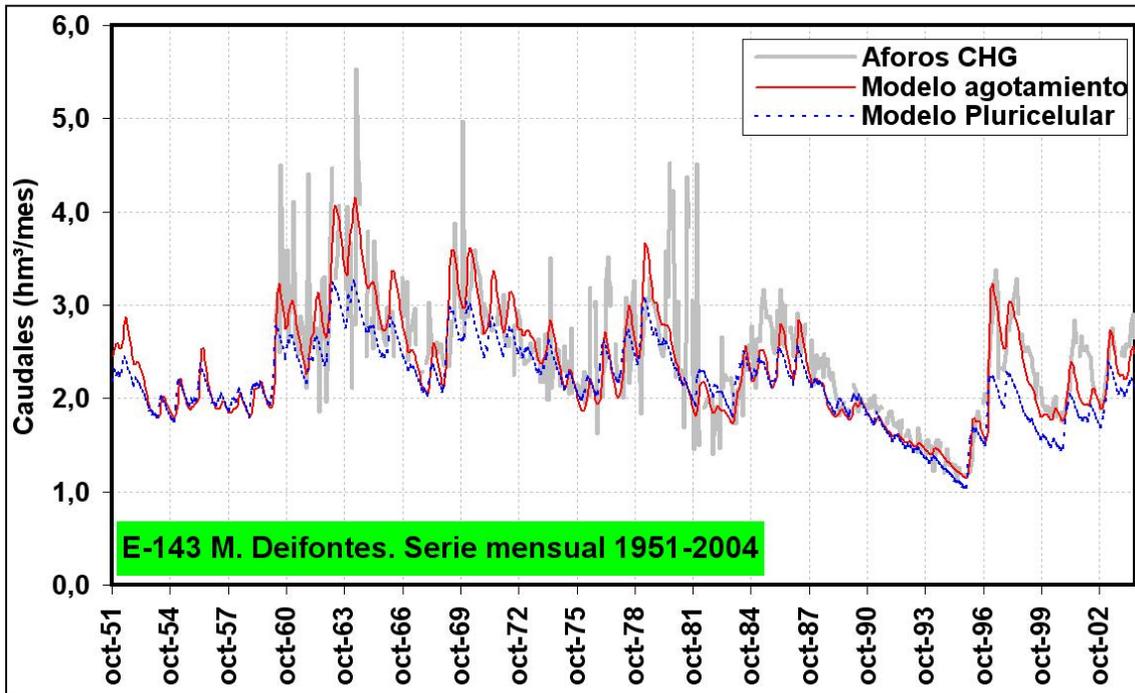


Figura 149. Simulación de la descarga del manantial Deifontes (30a-Sierra Arana). Compartiva Modelo Pluricelular con Modelo Agotamiento Serie Mensual

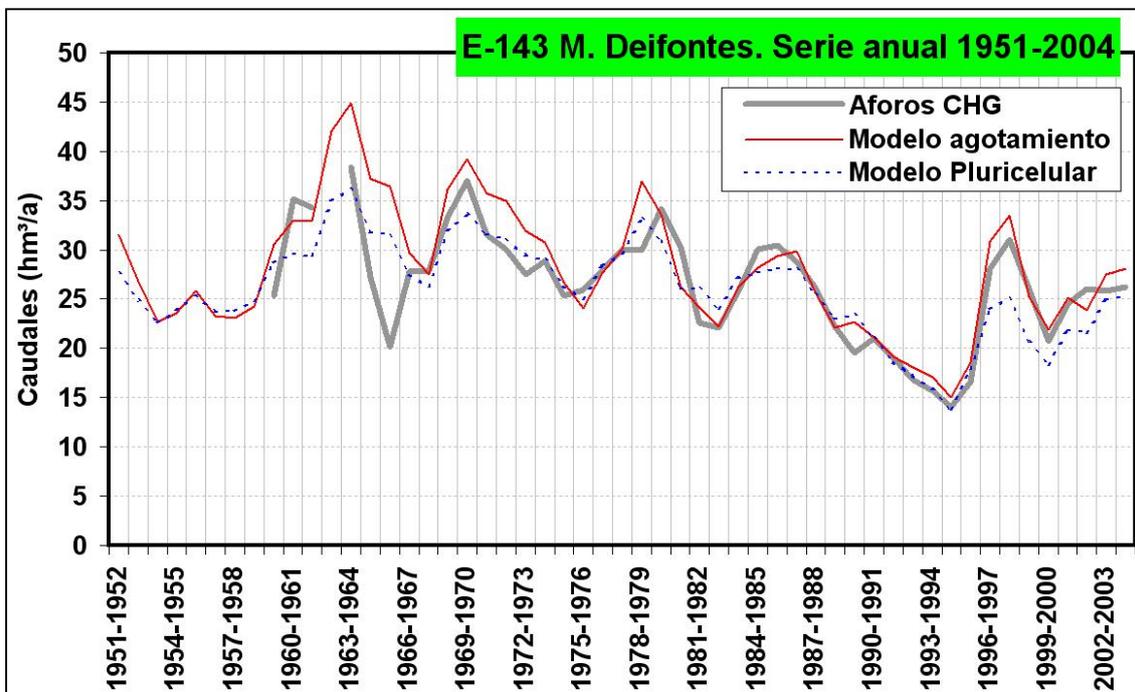


Figura 150. Simulación de la descarga del manantial Deifontes (30a-Sierra Arana). Compartiva Modelo Pluricelular con Modelo Agotamiento Serie Anual

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 <i>Series mensuales</i>	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 <i>Series anuales</i>	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 Aº Padules	13,72	0,0045	150,00	500,00	0,30	0,00	0,08	2,05	2,06	3,32
	31d Güejar-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	19	La Peza-Canales	5,81	0,105
31d-Güejar-Sierra					
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.

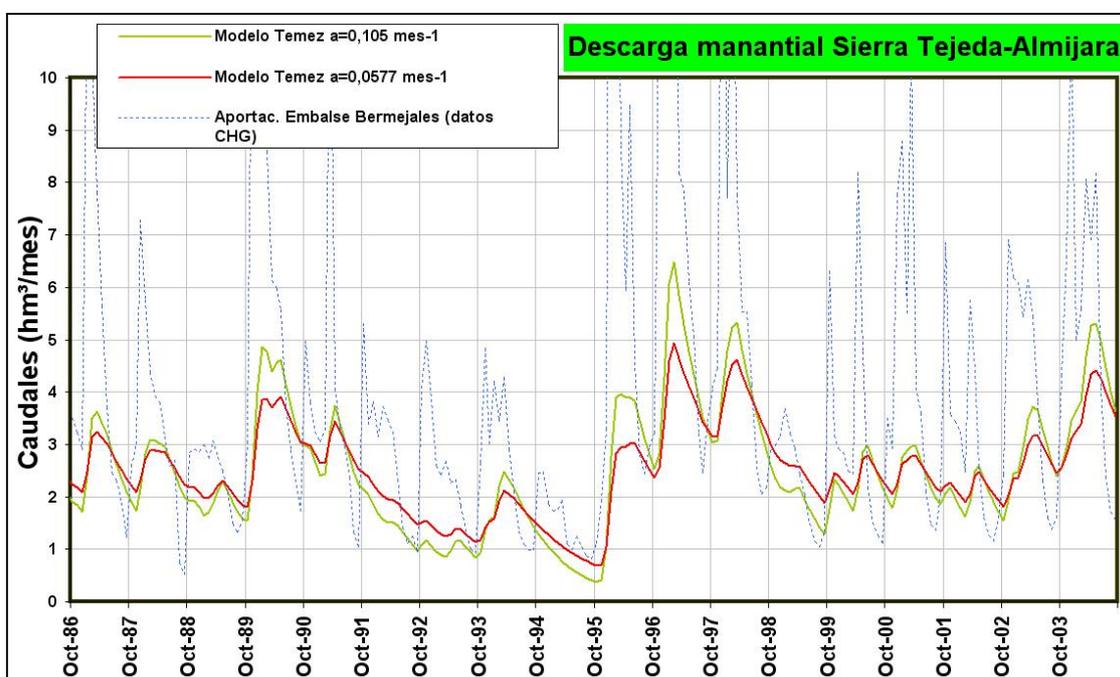


Figura 151. Comparativa de la simulación de la descarga de los manantiales de Játar (Sª Tejada) según el coeficiente de agotamiento

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 ₀ (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*

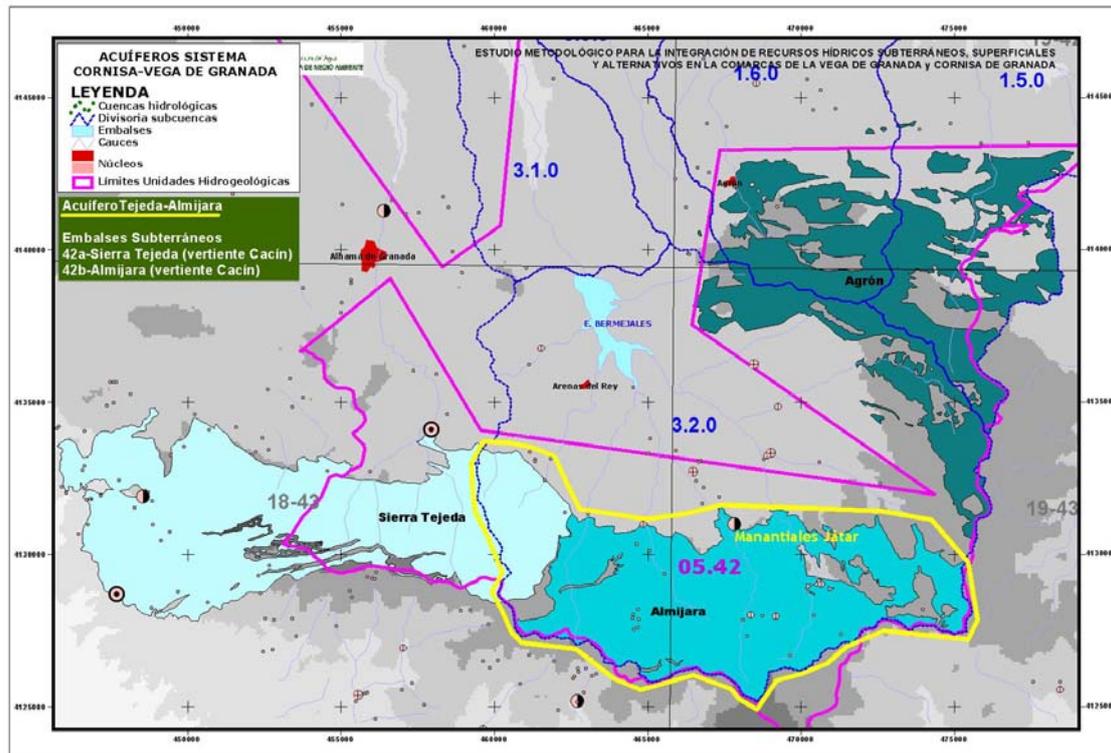


Figura 152. *Embalses subterráneos S^a Tejada y Almijara. Acuífero Tejada-Almijara*

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.

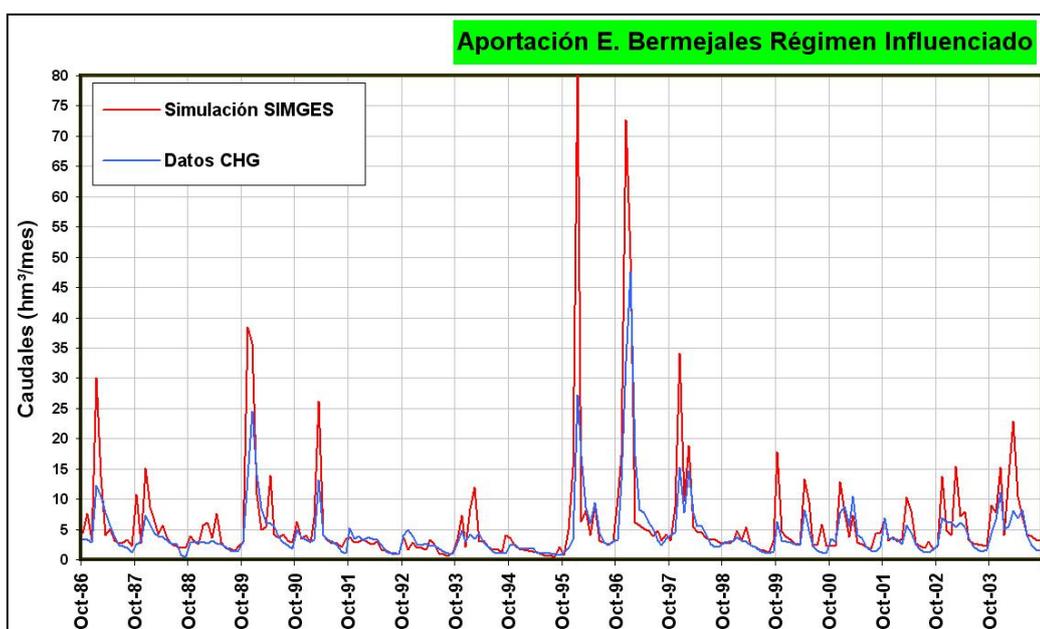


Figura 153. Comparativa de la aportación al embalse de Bermejales. Serie obtenida mediante SIMGES y la registrada por la CHG

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.

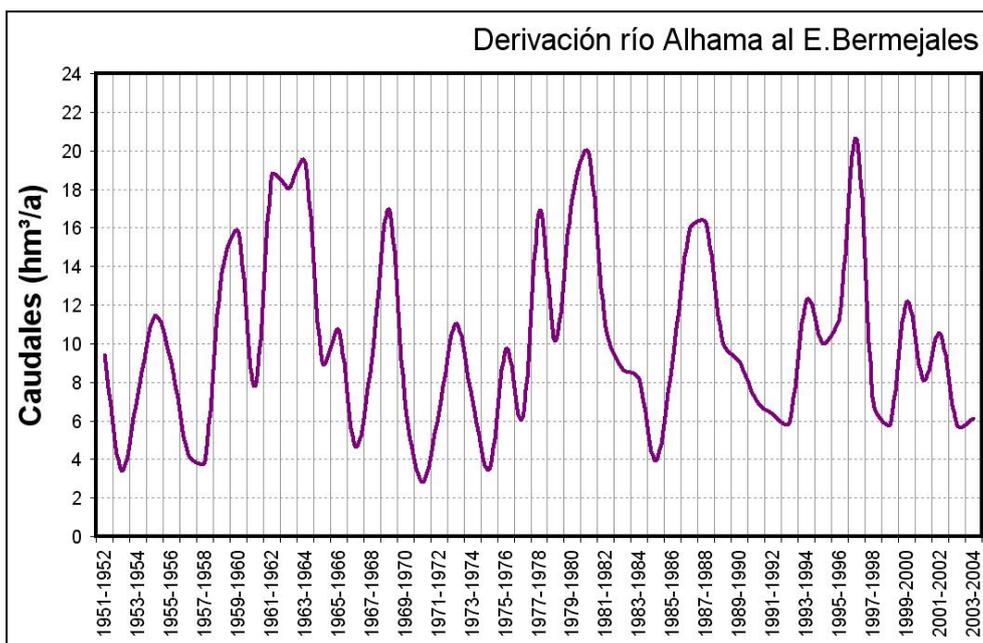


Figura 154. Serie de caudales utilizada en SIMGES para simular el trasvase desde el río Alhama al embalse de Bermejales

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.

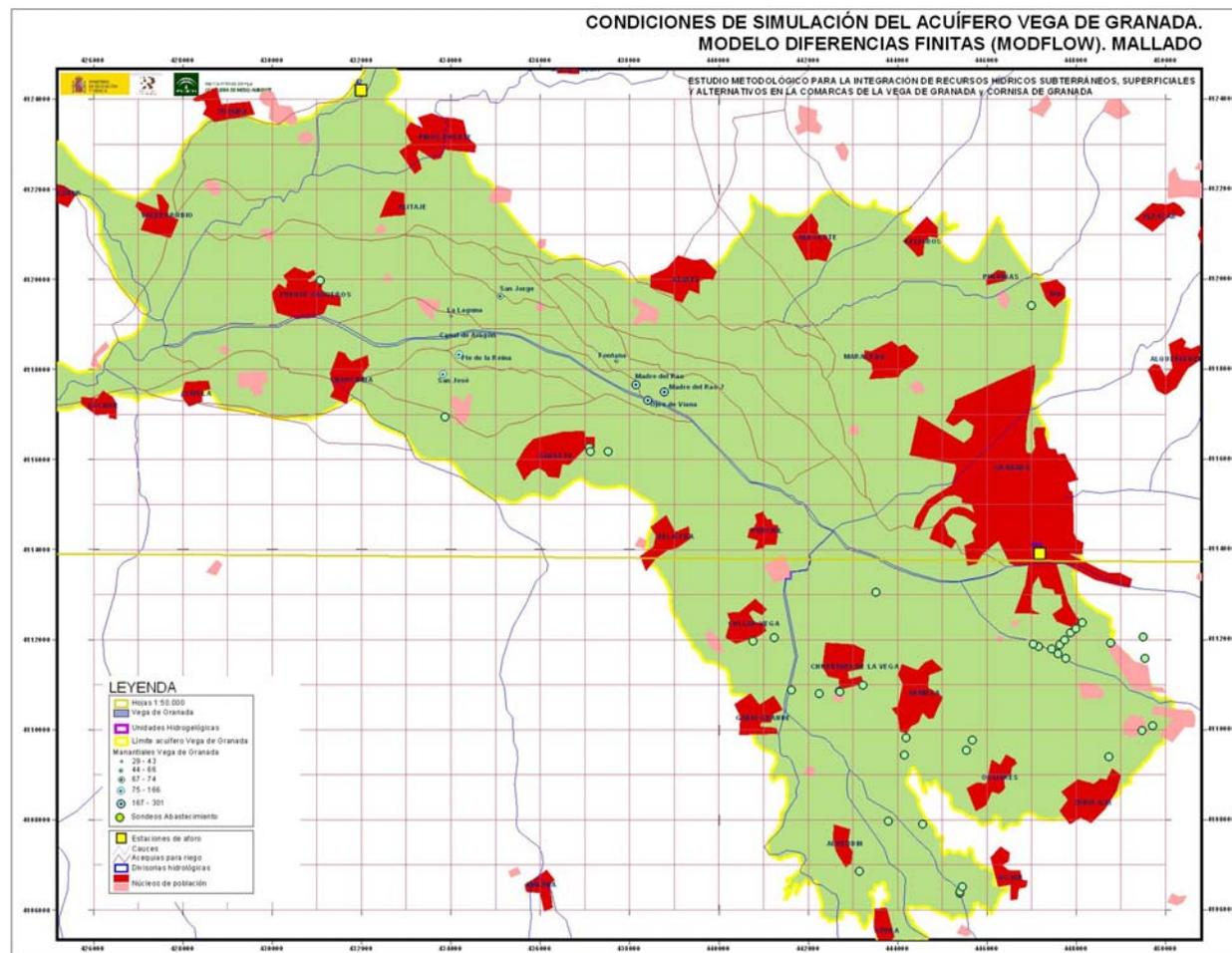


Figura 155. Mallado en diferencias finitas considerado para la simulación del embalse subterráneo Vega de Granada

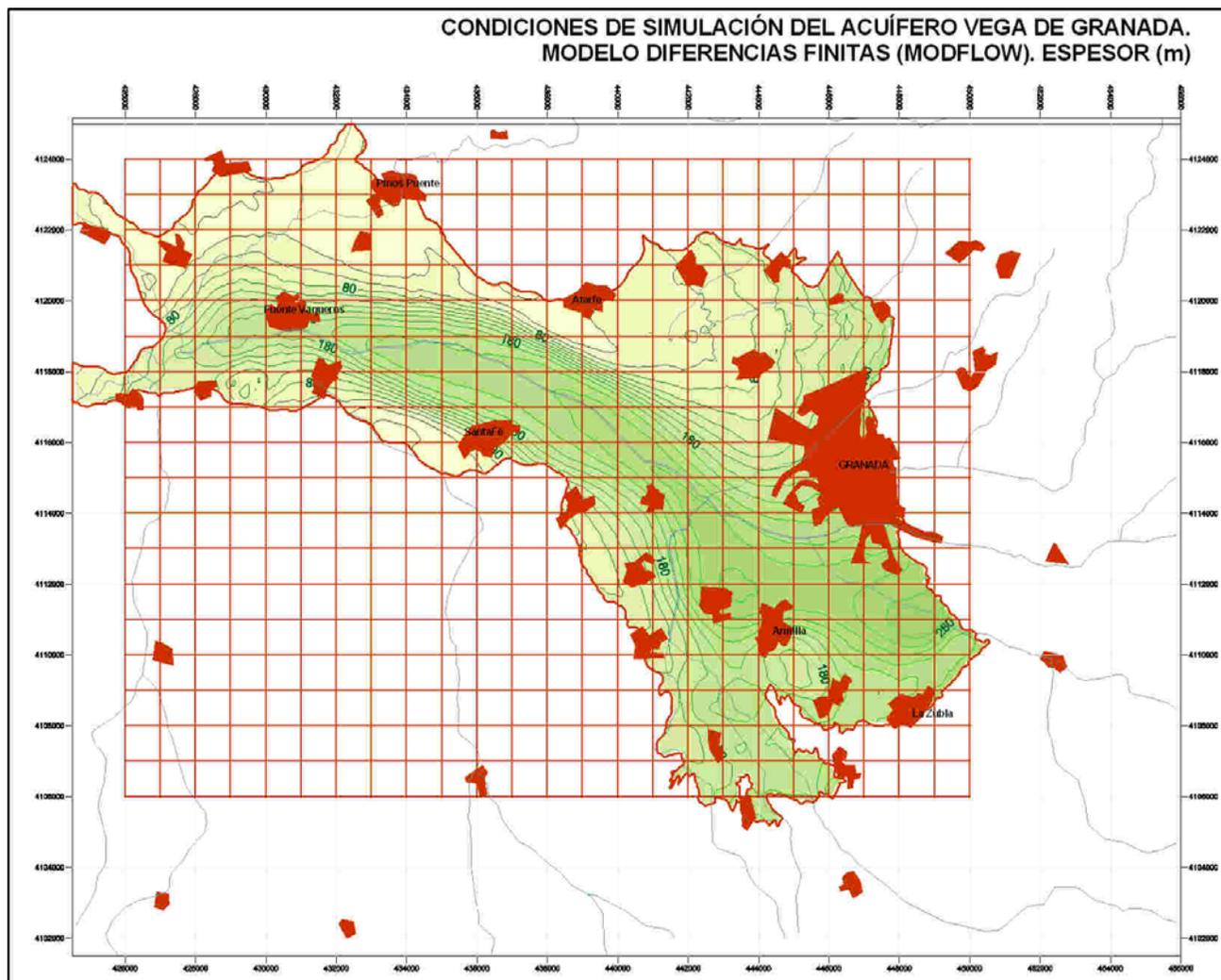


Figura 156. Mapa de isopacas del acuífero que define el embalse subterráneo Vega de Granada

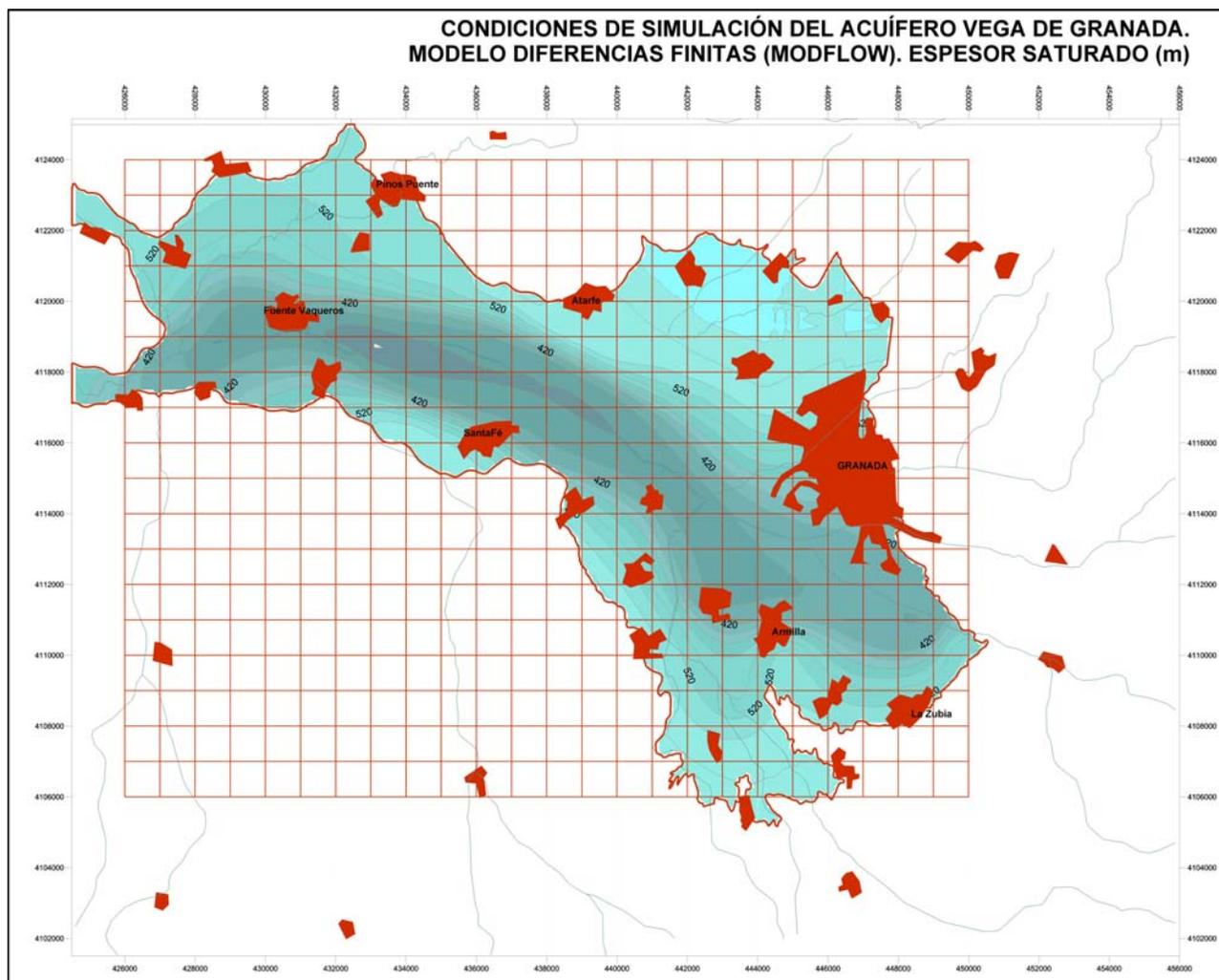


Figura 157. Mapa de isobatas del muro del embalse subterráneo Vega de Granada

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).

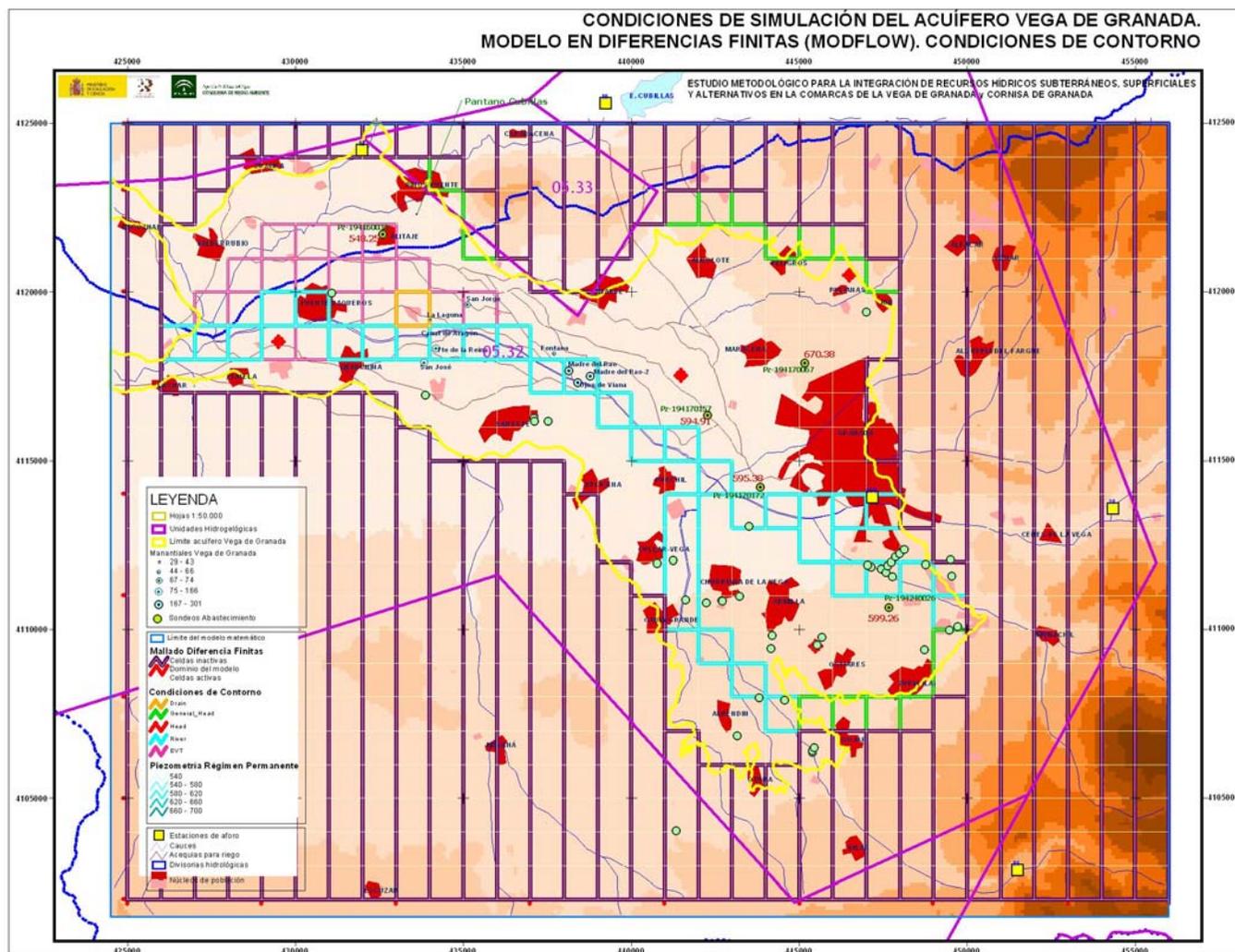


Figura 159. Condiciones de contorno consideradas en el modelo diferencias finitas (MODLFLOW) del embalse subterráneo Vega de Granada

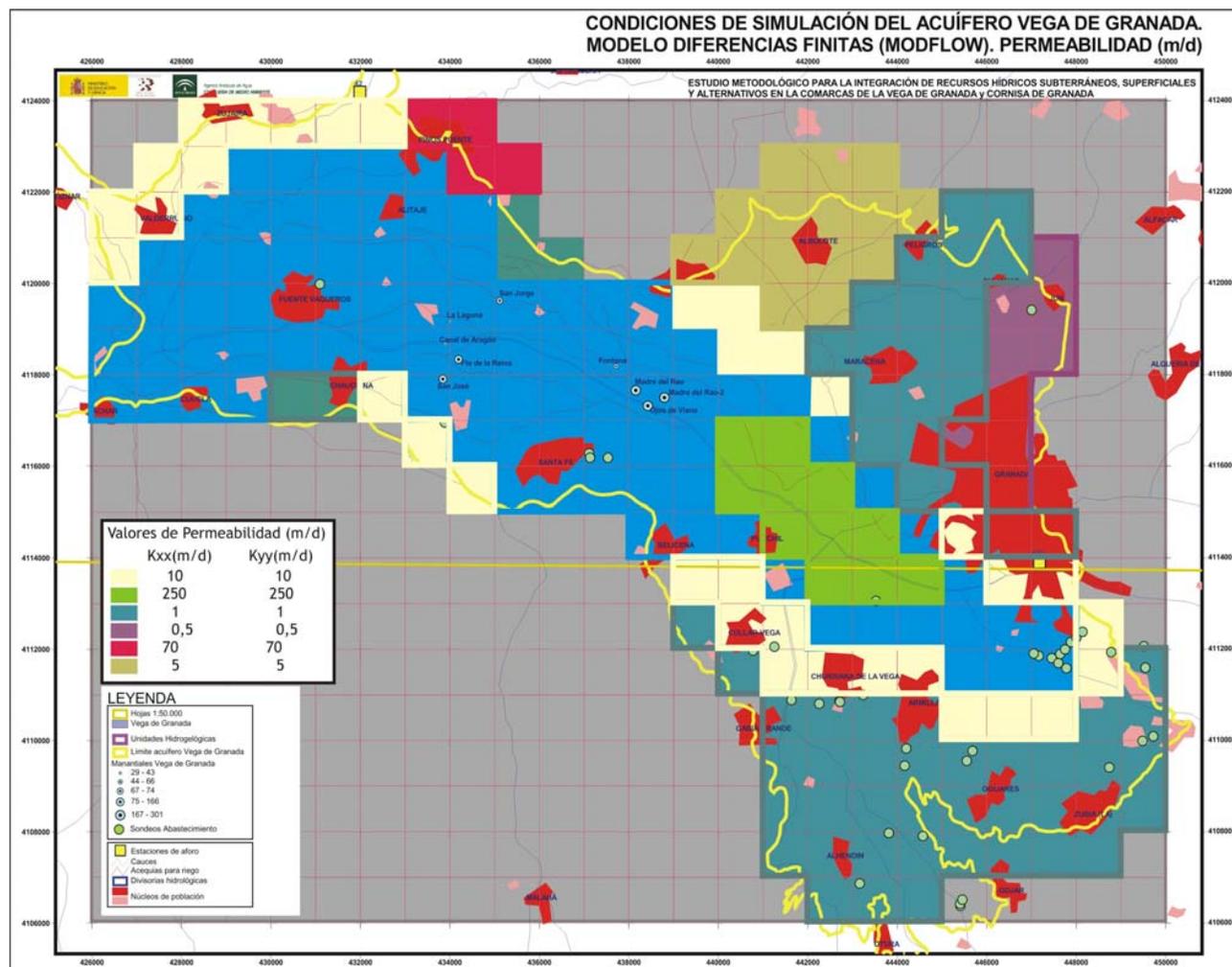


Figura 160. Modelo diferencias finitas (MODFLOW). Distribución de permeabilidades

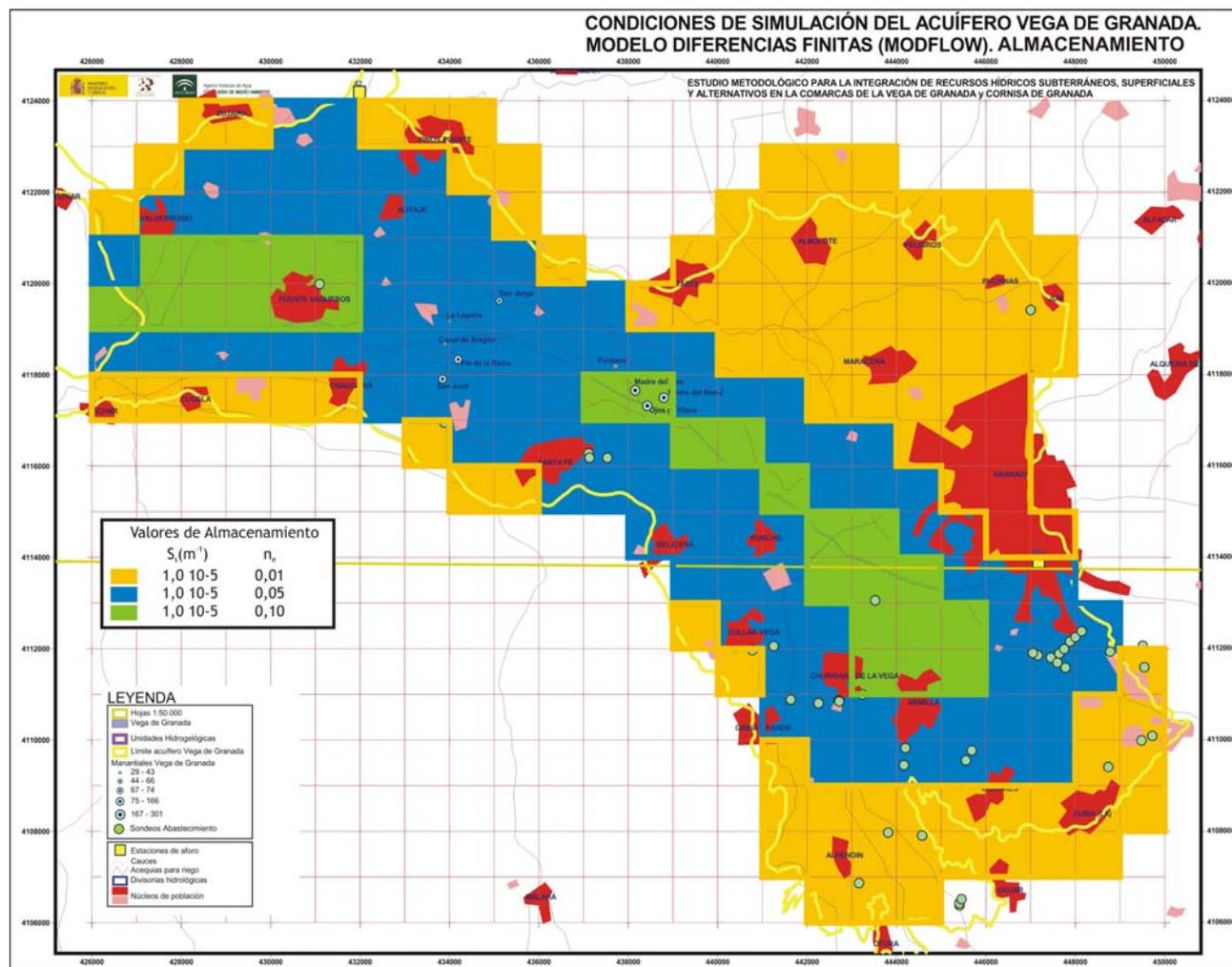


Figura 161. Modelo diferencias finitas (MODFLOW). Distribución de porosidad eficaz

- **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 _{río} (m ³ /d)	Q _{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 los 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 ^a 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

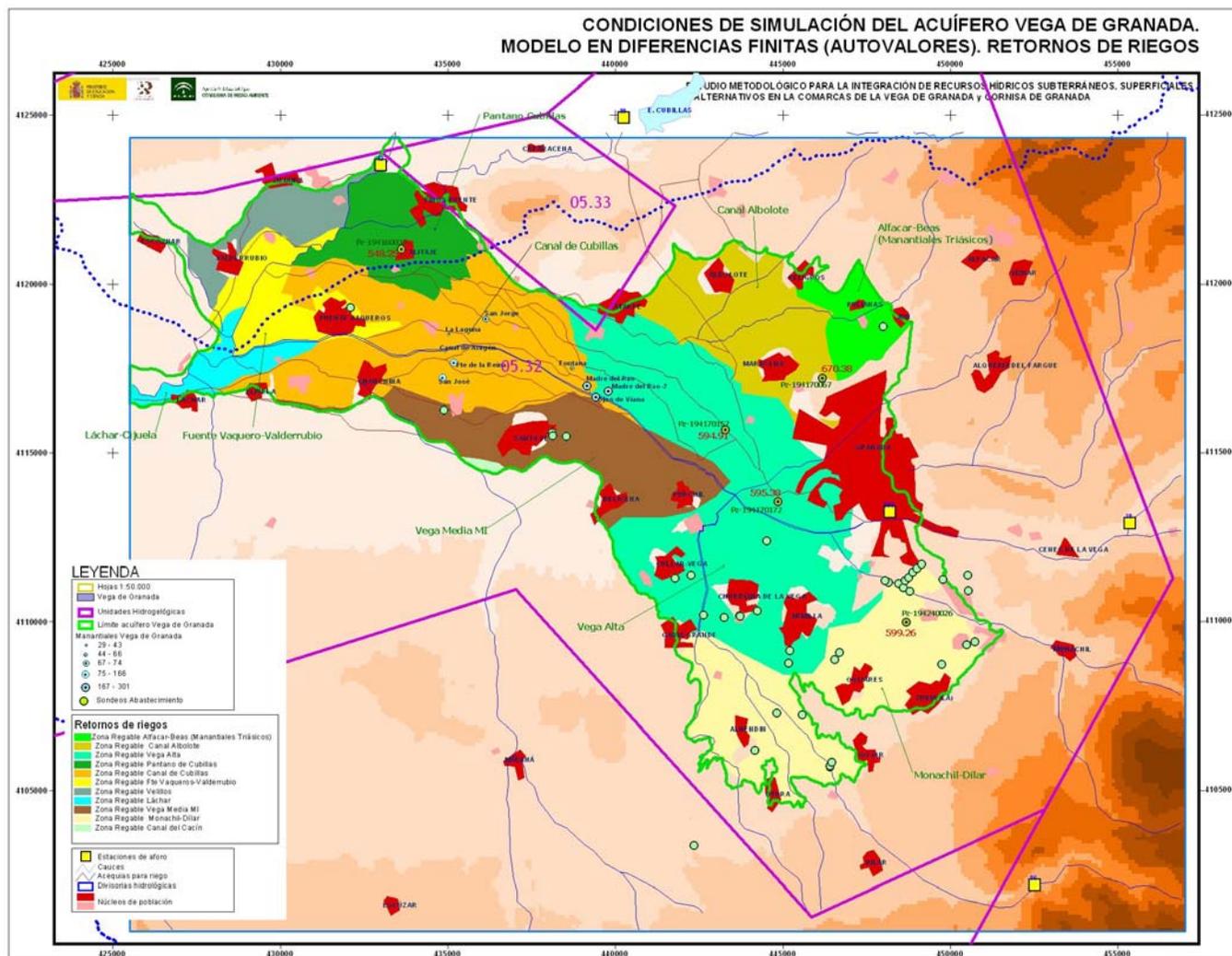


Figura 162. Distribución de zonas regables Vega de Granada. Retornos de riegos.

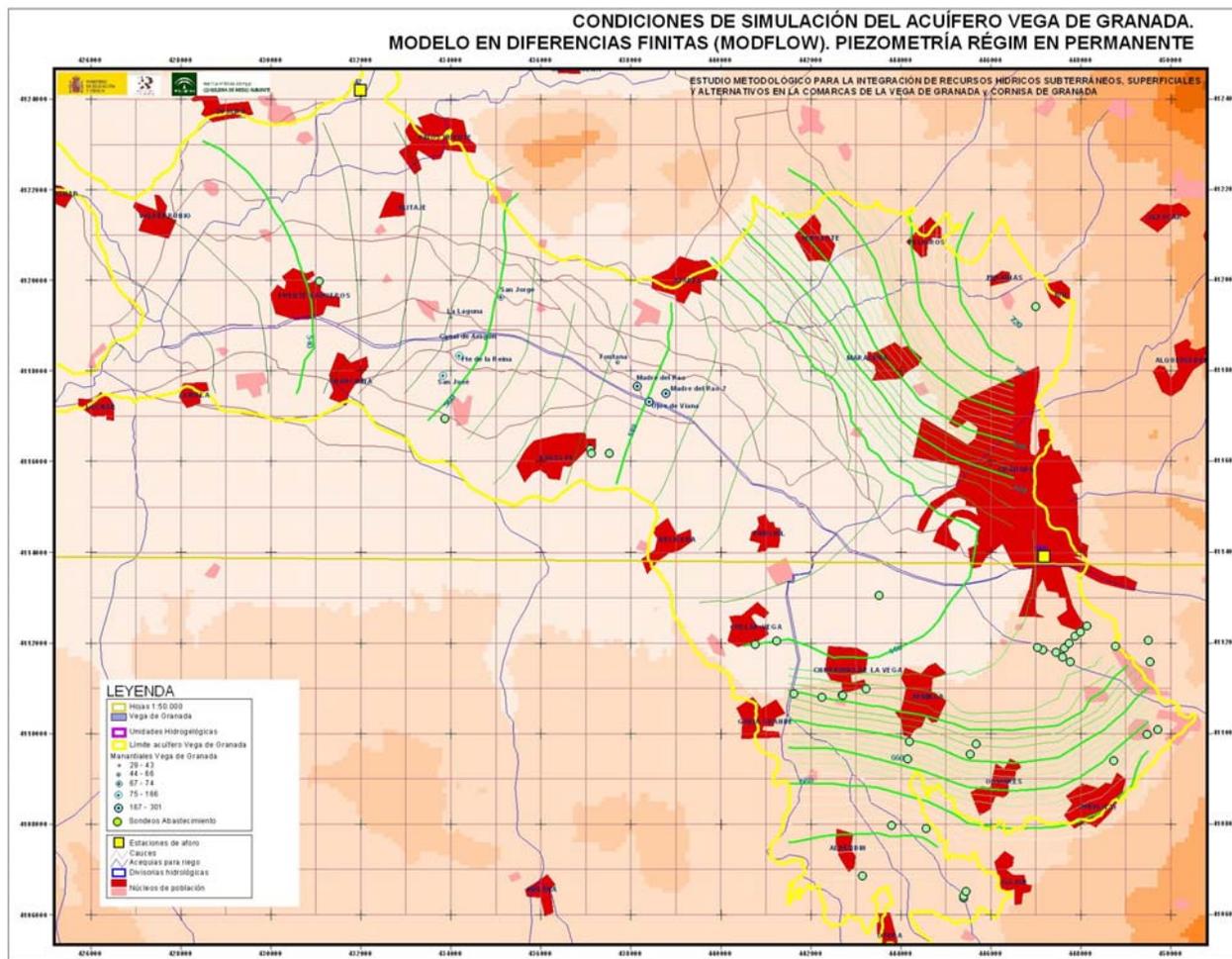


Figura 163. Piezometría obtenida mediante el modelo en diferencias finitas (MODFLOW) para el embalse subterráneo vega de Granada en régimen permanente

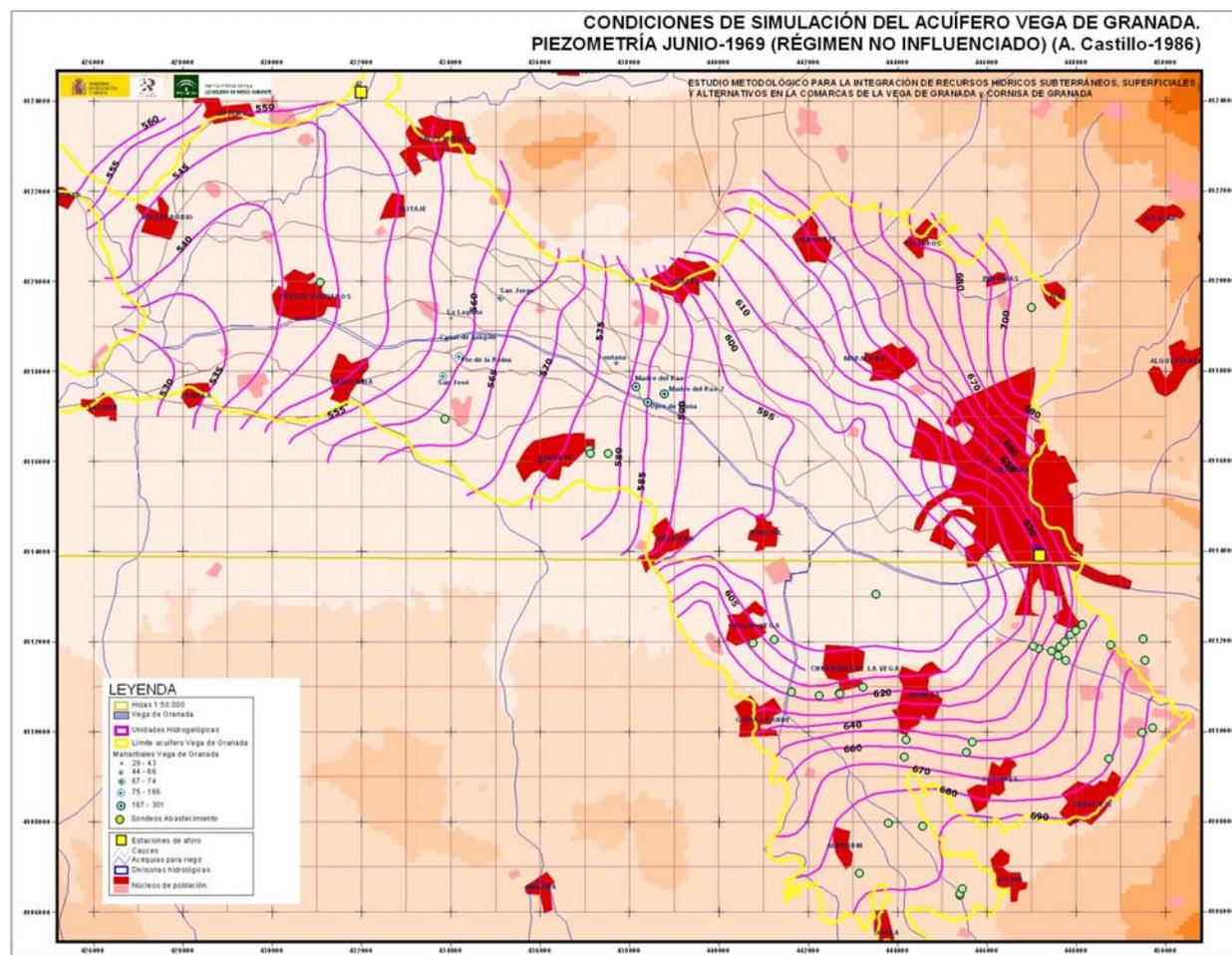


Figura 164. Piezometría Junio-1969 acuífero Vega de Granada (A. Castillo-1986)

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	110	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	0	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	0	110	1.210	1.760	11.550	13.090	12.210	11.660	11.440	11.220	2.200	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	0
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	0
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	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	110	220	220	0	0	0	0	0	0

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

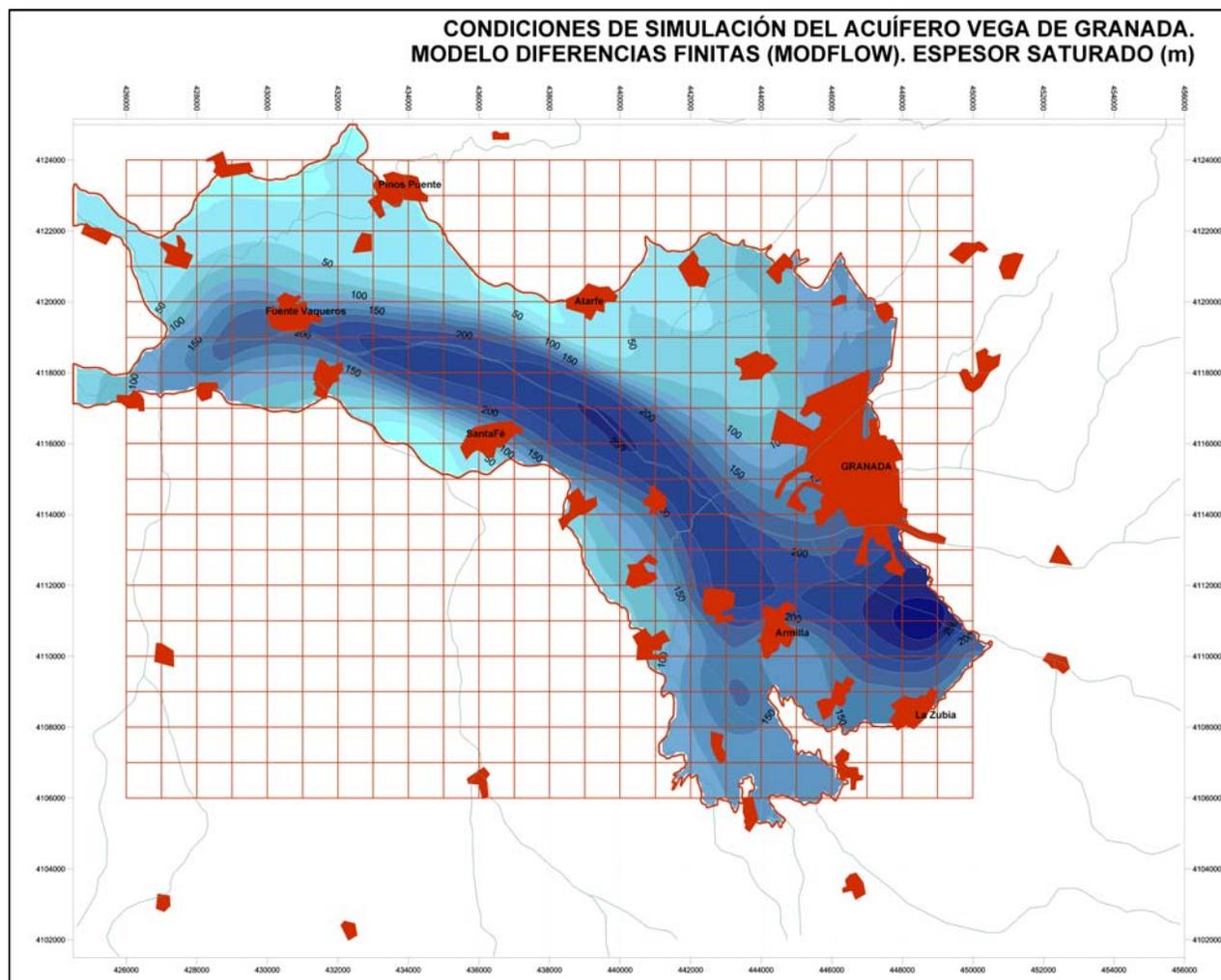


Figura 166. Mapa de isoespesor saturado del embalse subterráneo Vega de Granada

	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	0.01	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	0.01	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	0.01	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	0.01	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	0.01	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	0.01	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	0.01	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	0.00	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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
15	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	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
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

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

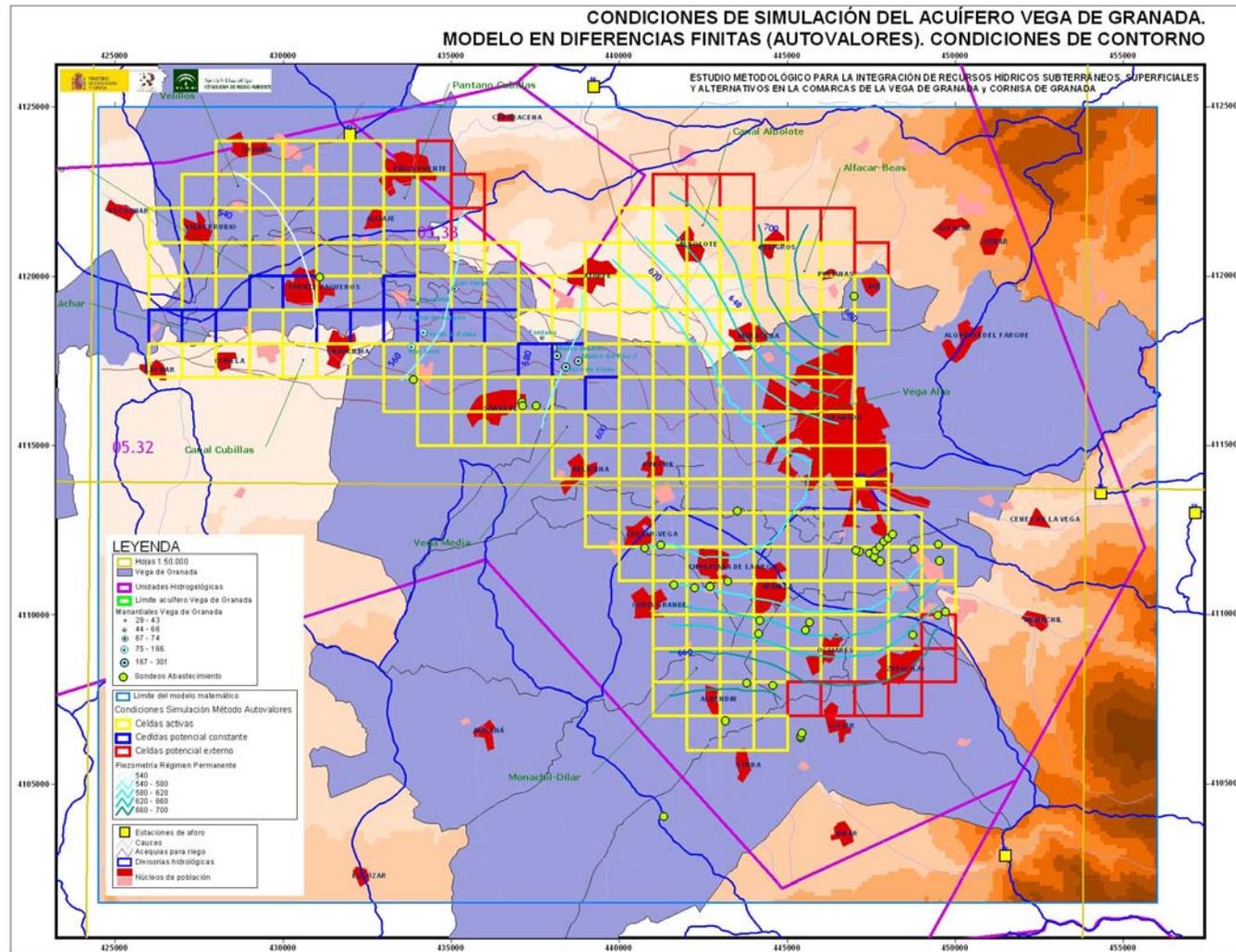


Figura 169. Condiciones de contorno consideradas en el modelo de autovalores (AQUIVAL)

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.

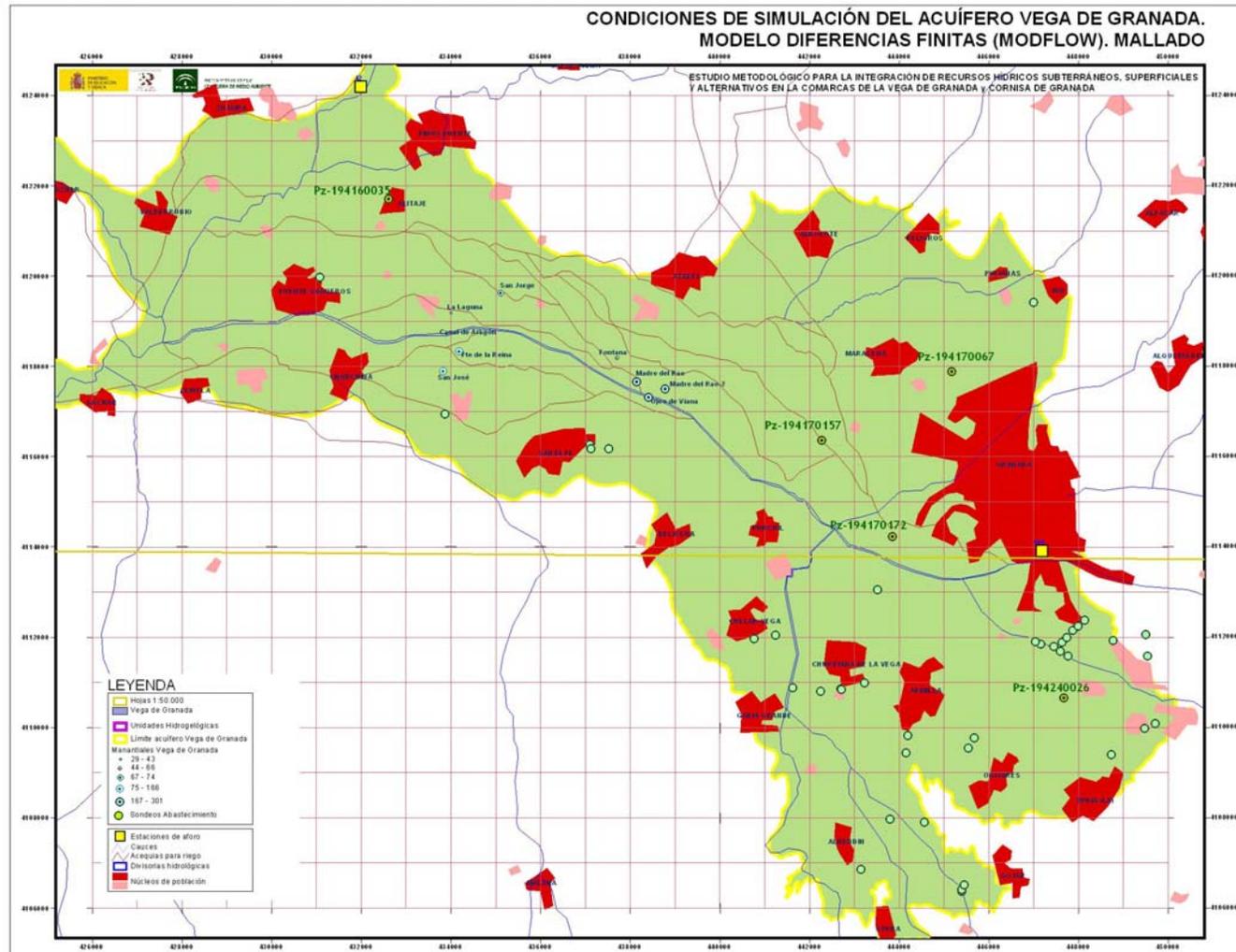


Figura 170. Situación de los piezómetros considerados como parámetros de control

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)

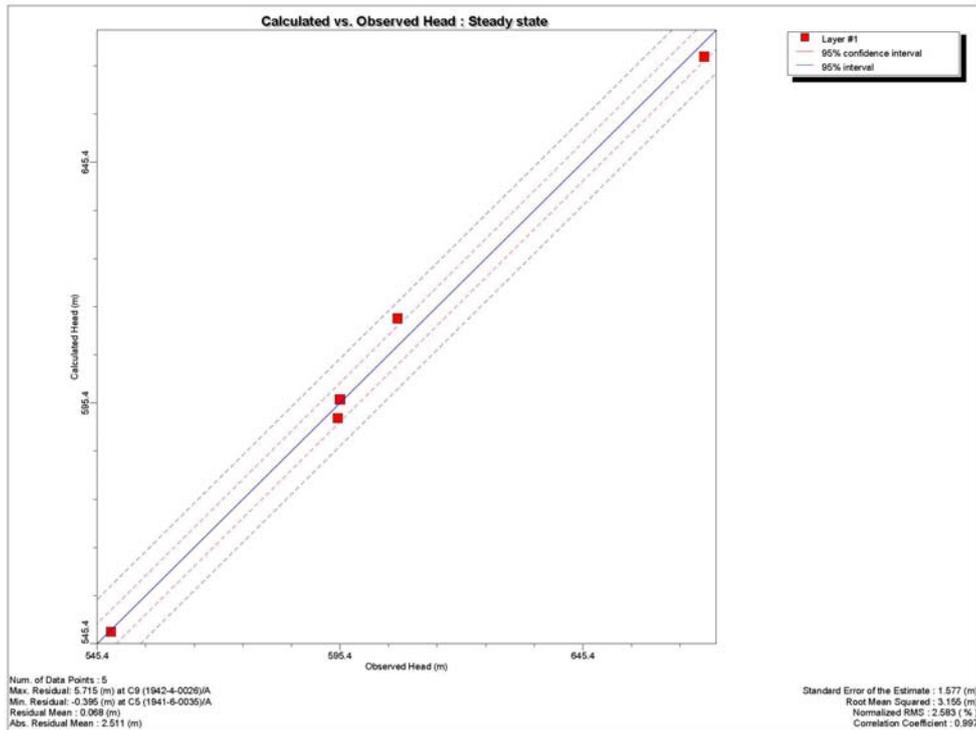


Figura 171. *Correlación entre los datos piezométricos obtenidos mediante el modelo de autovalores y el modelo MODFLOW (régimen permanente)*

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, entendiendo 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 _{C_{PH}}			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 ^o Elvira	Consortio S ^o 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

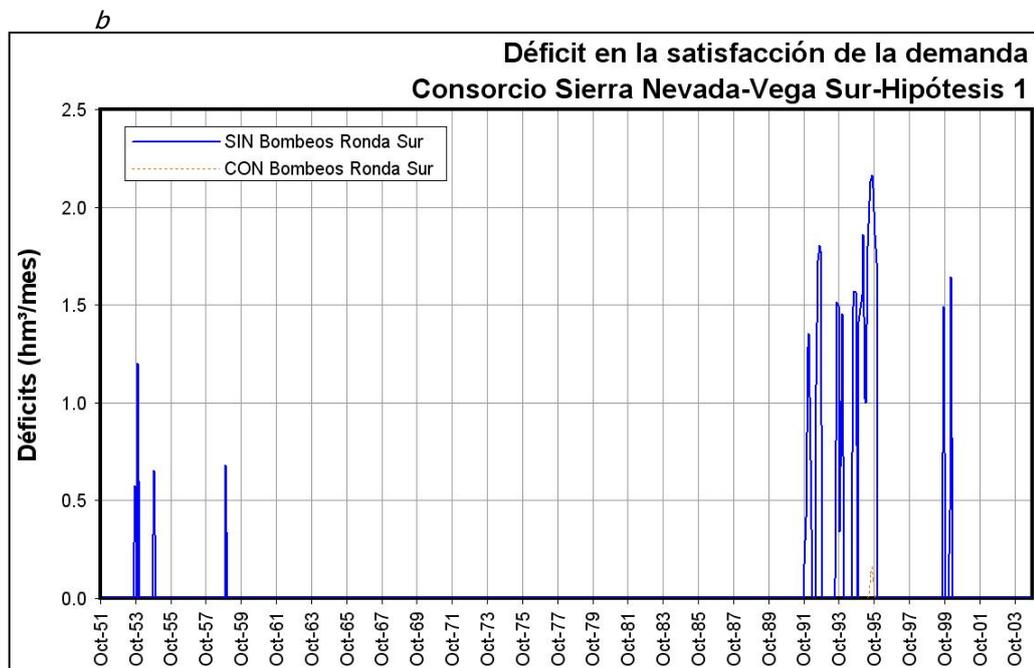


Figura 172. Déficit en la Demanda Urbana Sierra Nevada-Vega Sur Hipótesis 1-sin bombeos de la Ronda Sur

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.

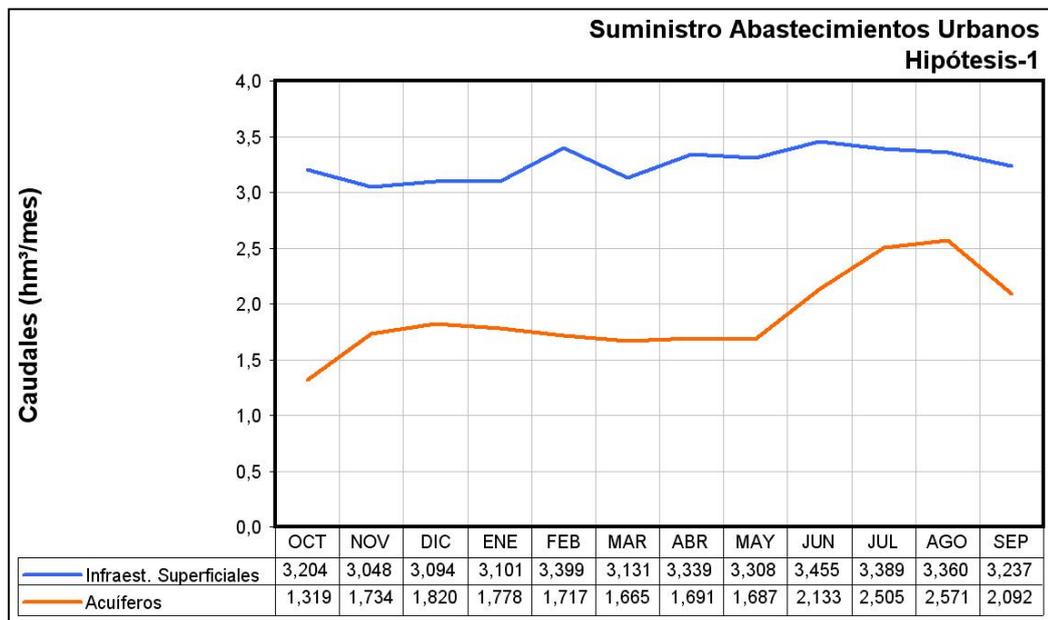


Figura 173. Suministro de agua para abastecimiento urbano Hipótesis-1

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.

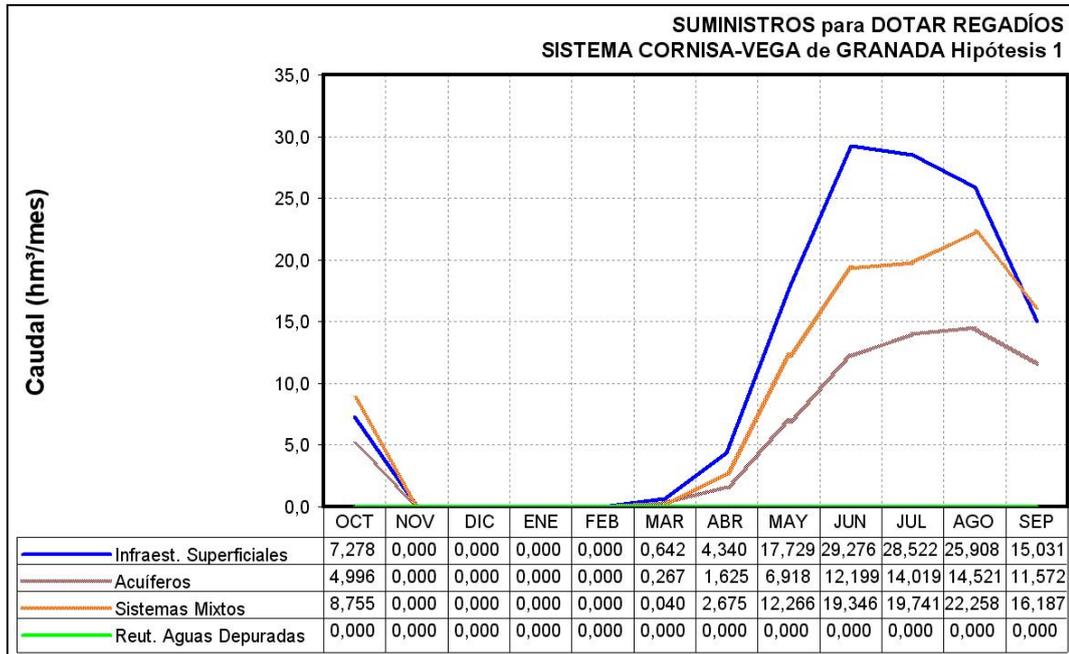
Para la zona regable de Alfacar-Beas (o de los Manantiales Triásicos), los datos de superficie regada del IRJA implican 2.164 ha con una dotación de 8.047 m³/ha/a; aunque considerando datos de otros informes (*Fundación Empresa-Universidad de Granada, 2004*), las Comunidades de Regantes adscritas a esta 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 Cacín	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).

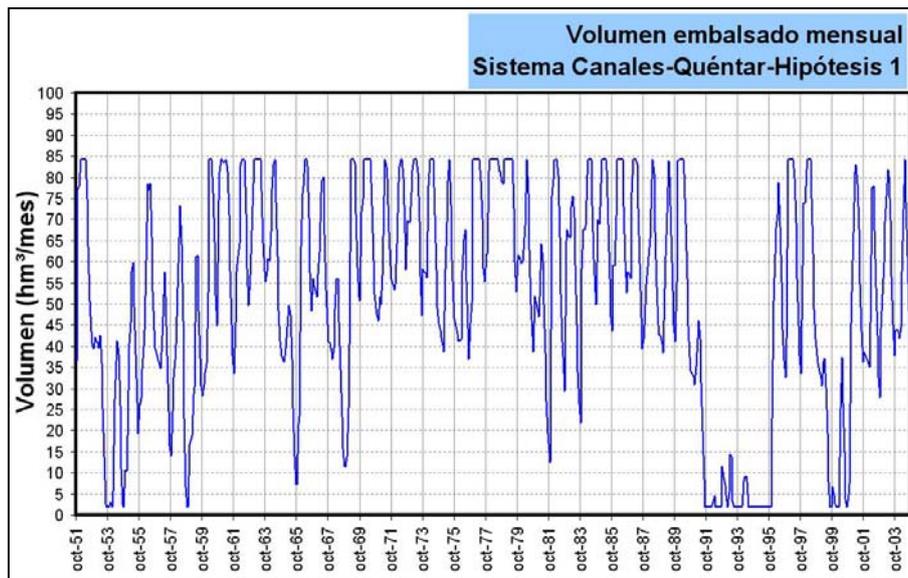


Figura 175. Evolución de los embalses del sistema Canales-Quéntar (Hipótesis 1)

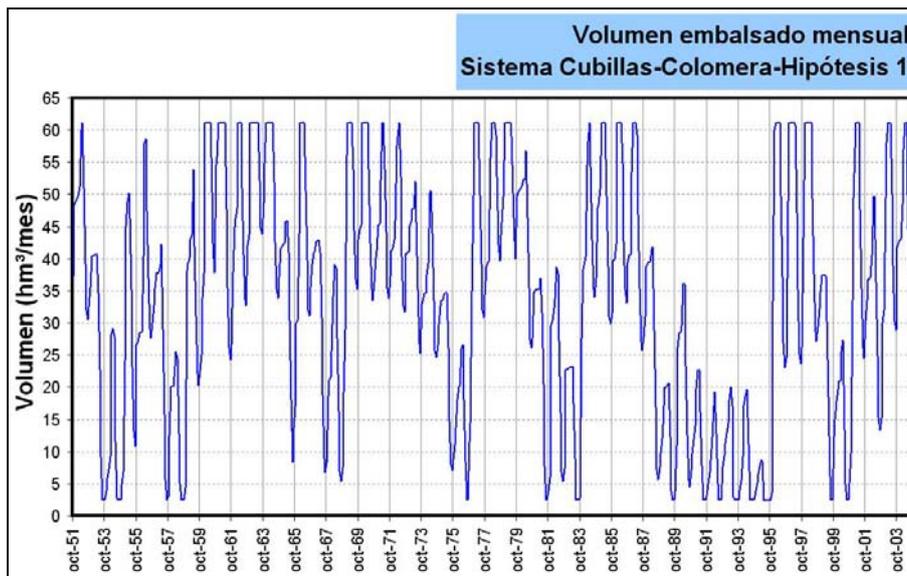


Figura 176. Evolución de los embalses del sistema Cubillas-Colomera (Hipótesis 1)

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

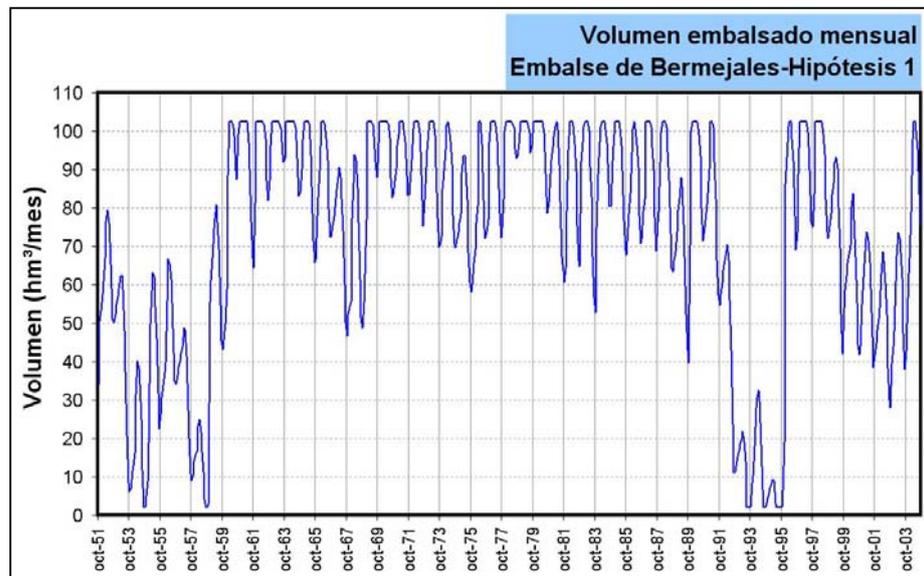


Figura 177. Evolución embalse Los Bermejales (Hipótesis 1)

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.

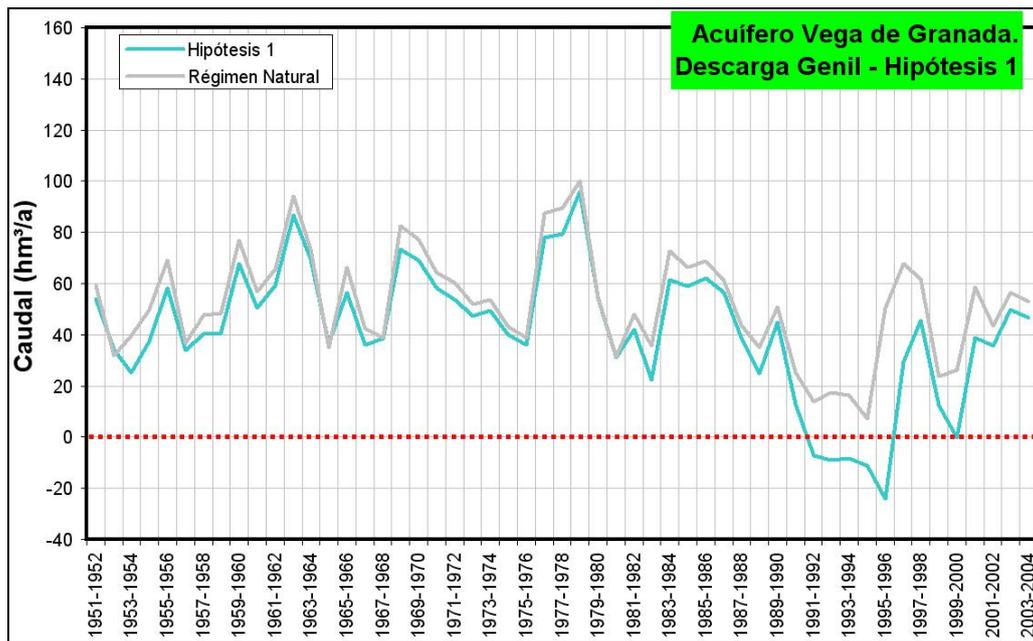


Figura 178. Simulación de la descarga que recibe el río Genil del embalse subterráneo Vega de Granada mediante el modelo de autovalores. Hipótesis 1

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.

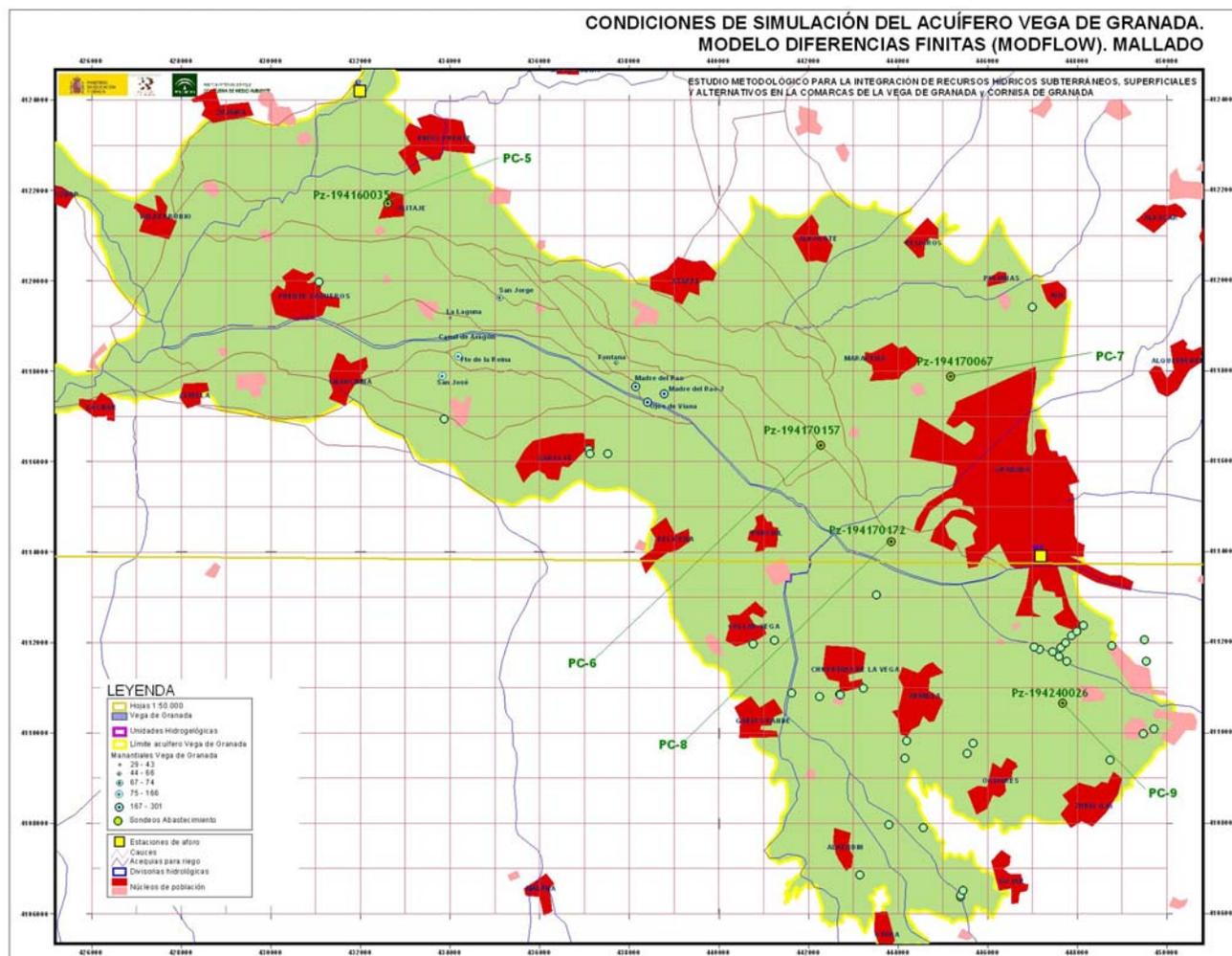
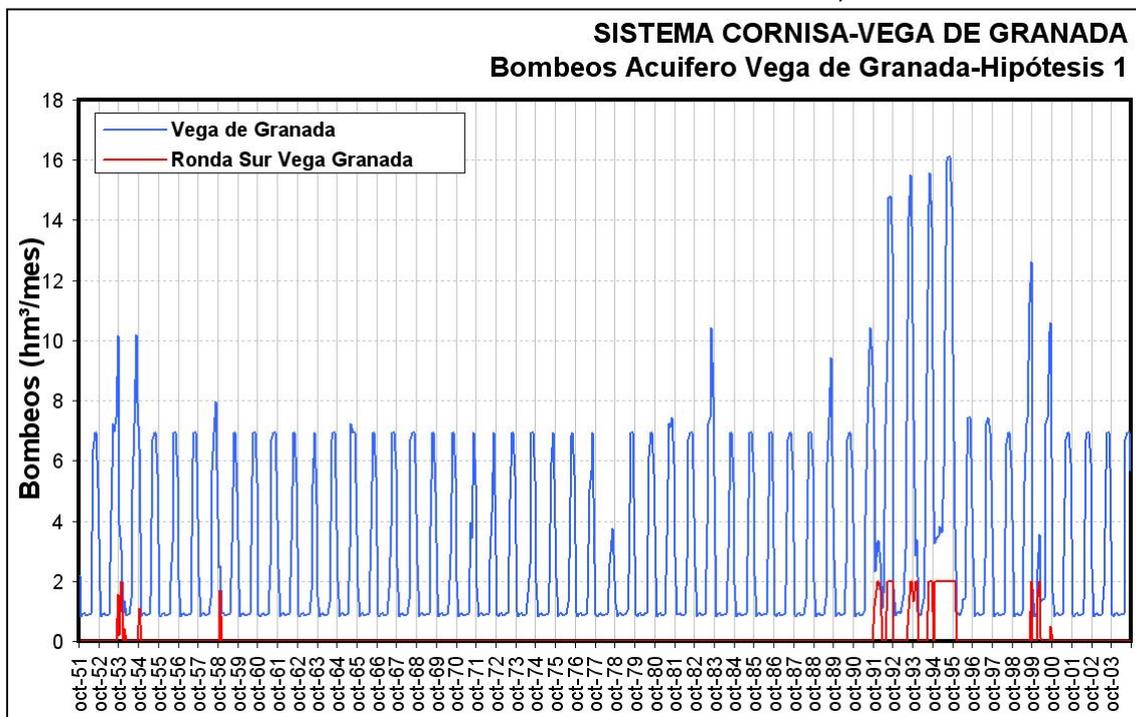


Figura 179. Piezómetros de control del embalse subterráneo Vega de Granada

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).

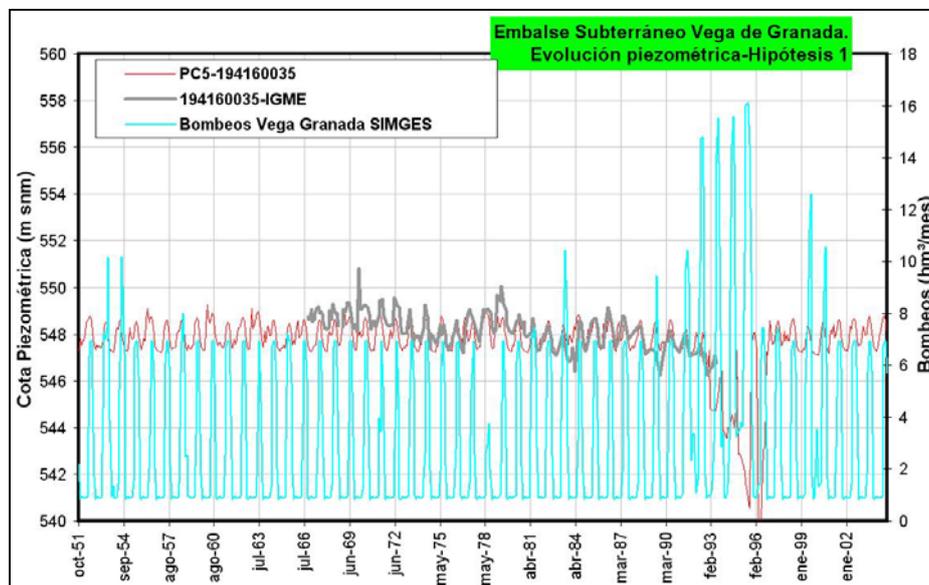


Figura 181. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 1.
Piezómetro 194160035

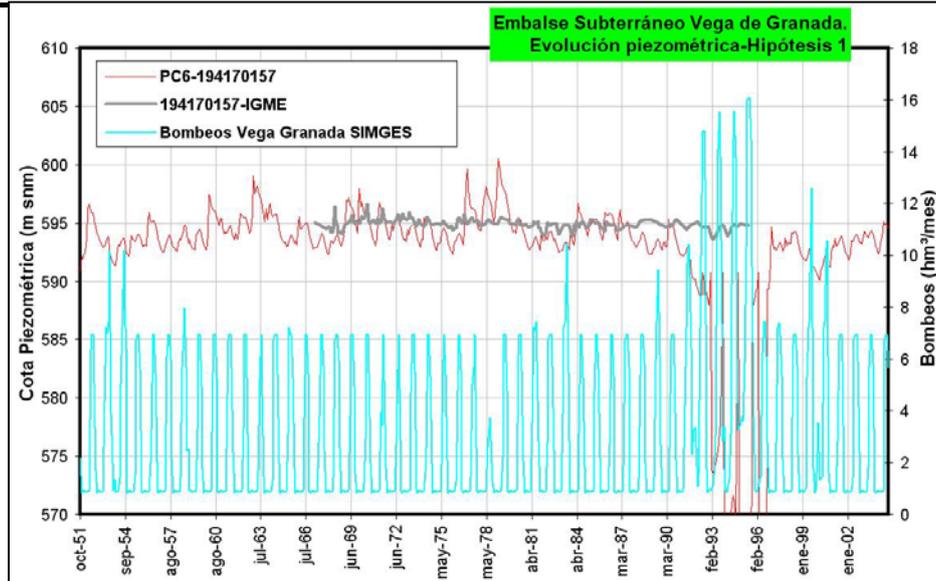


Figura 182. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 1. Piezómetro 194170157

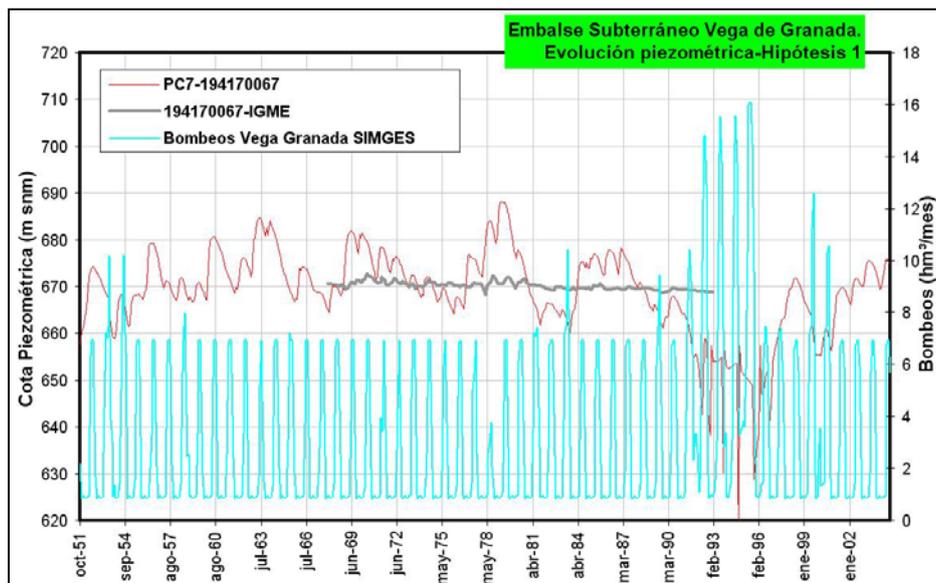


Figura 183. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 1. Piezómetro 194170067

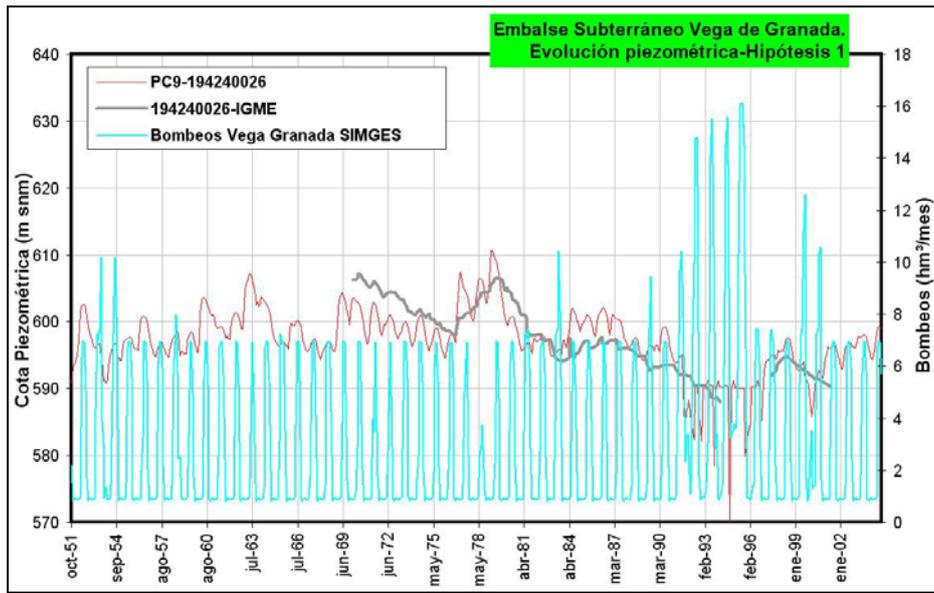


Figura 184. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 1.
Piezómetro 194170026

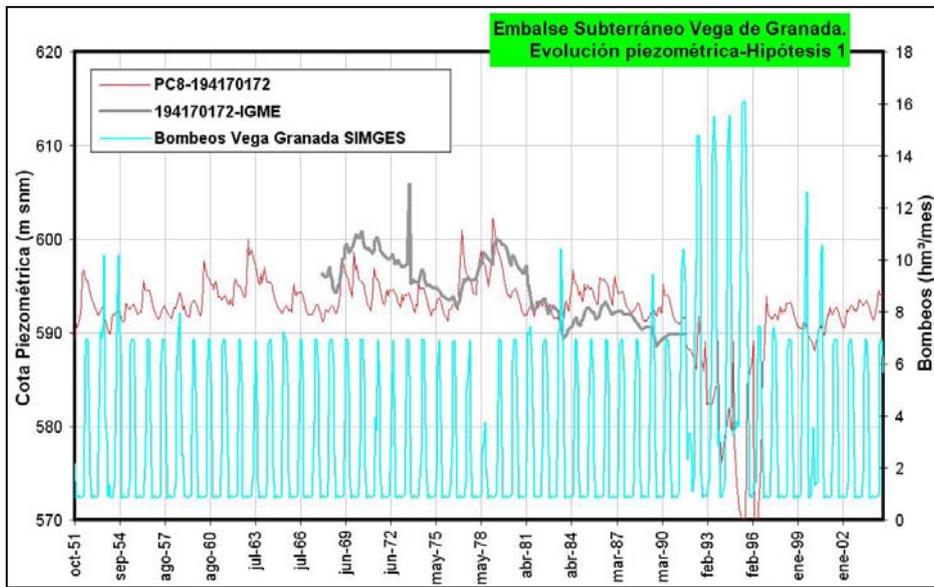


Figura 185. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 1.
Piezómetro 194240172

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.

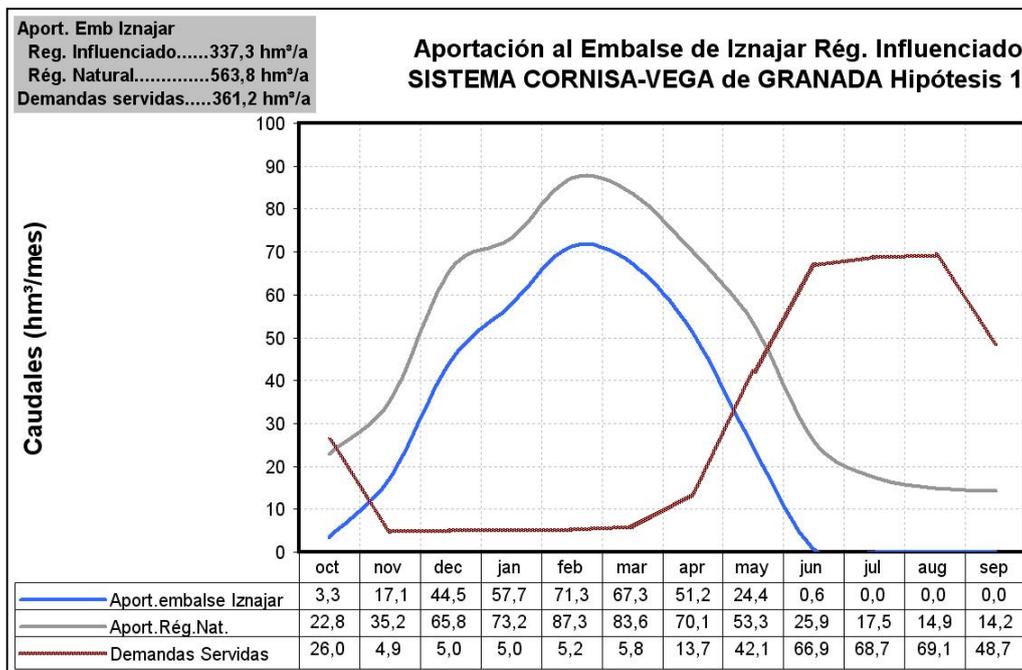


Figura 186. Aportación del Sistema Cornisa–Vega de Granada a Iznajar. Hipótesis 1

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).

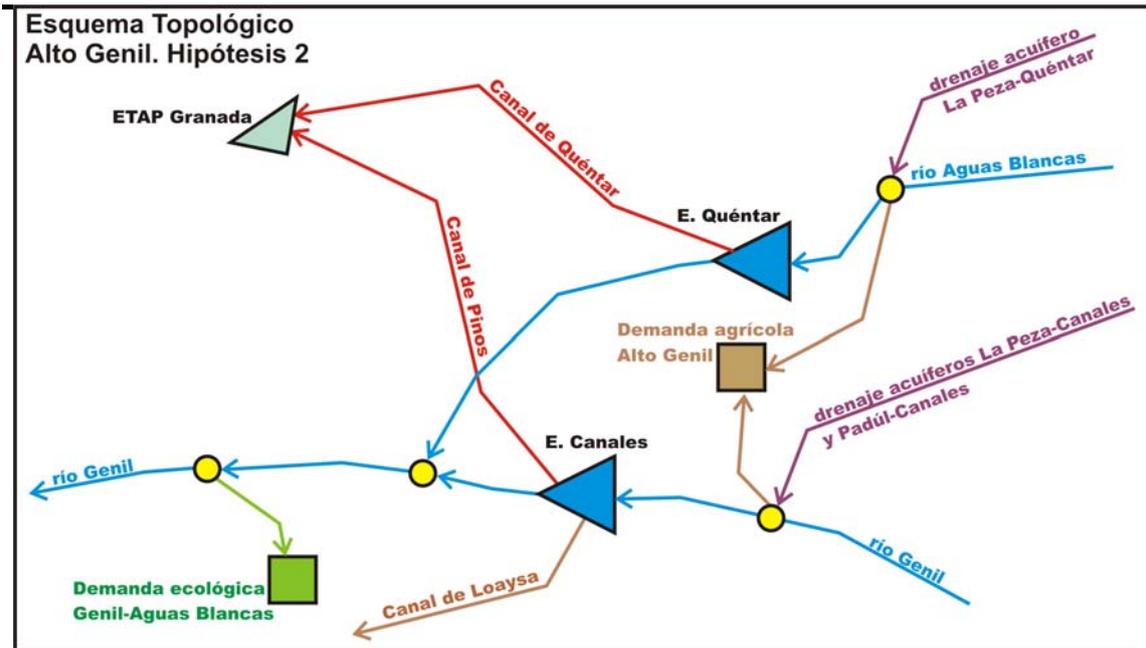


Figura 187. Esquema topológico del Alto Genil-Hipótesis 2

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

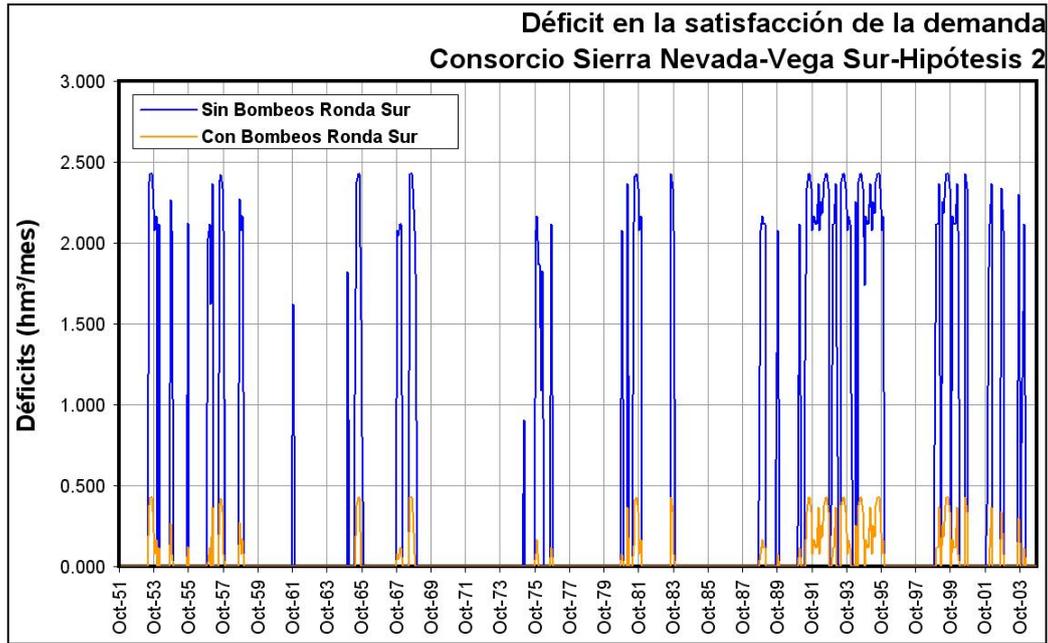


Figura 188. Déficits en la Demanda Urbana Sierra Nevada-Vega Sur Hipótesis 2-sin bombeos Ronda Sur

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).

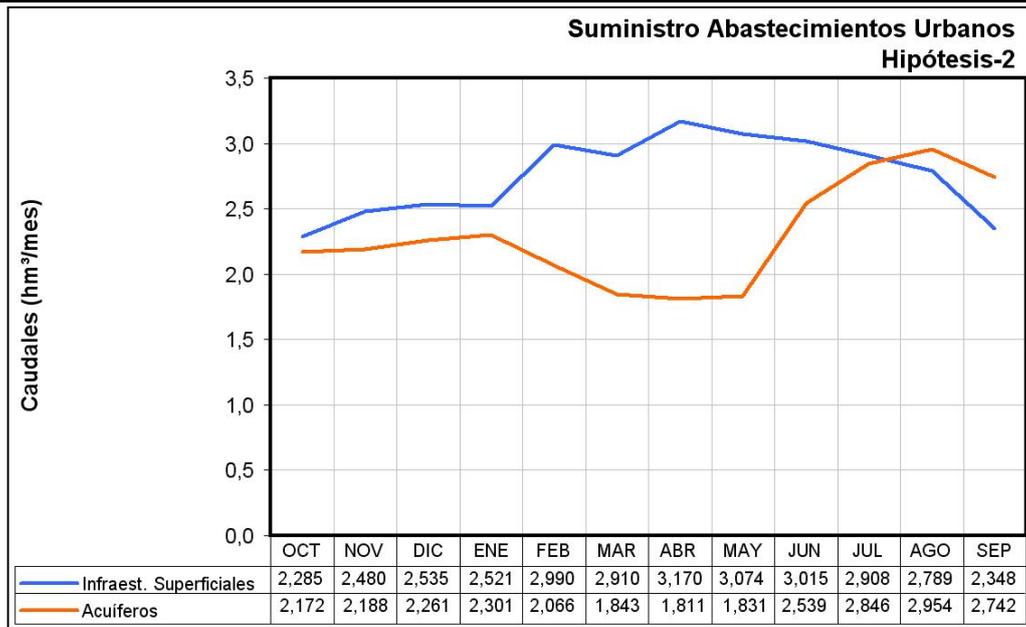


Figura 189. Suministro de agua para abastecimiento urbano Hipótesis-2

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 Ml	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.

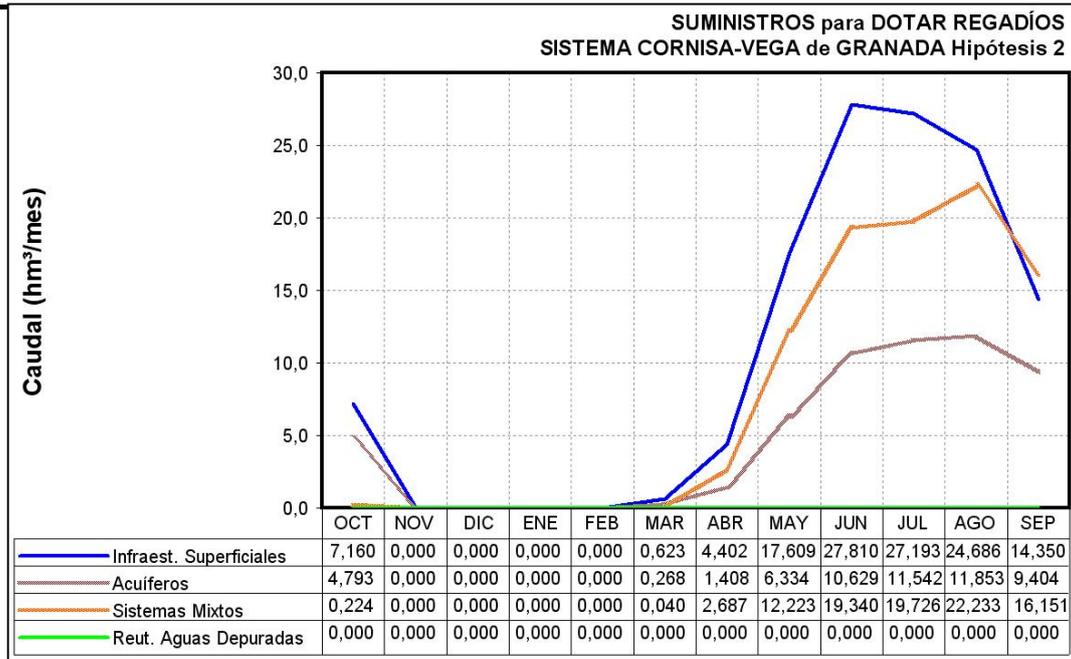


Figura 190. Procedencia de los recursos suministrado para riegos. Hipótesis 2

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).

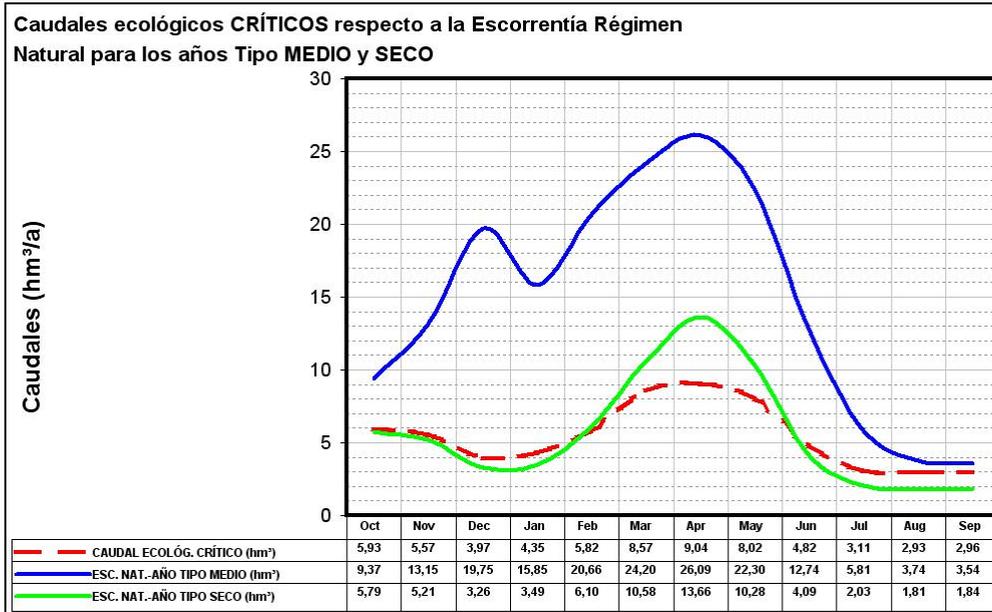


Figura 191. Régimen de caudales ecológicos calculados para el sistema Canales-Quéntar.

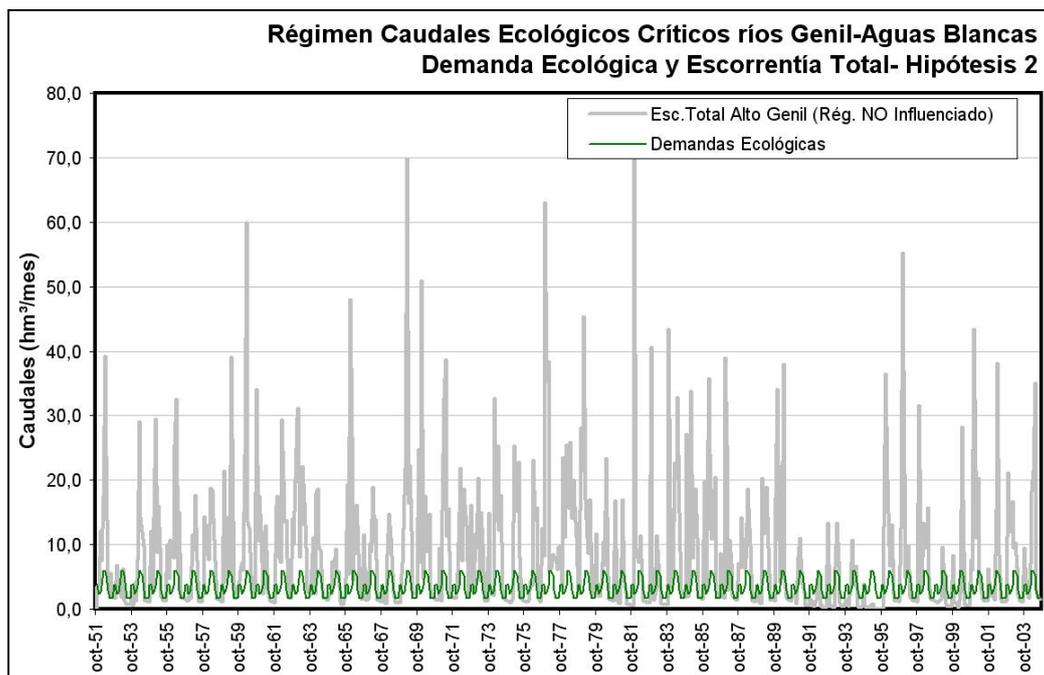


Figura 192. Comparación demanda ecológica y escorrentía total en régimen NO influenciado. Ríos Genil y Aguas Blancas

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).

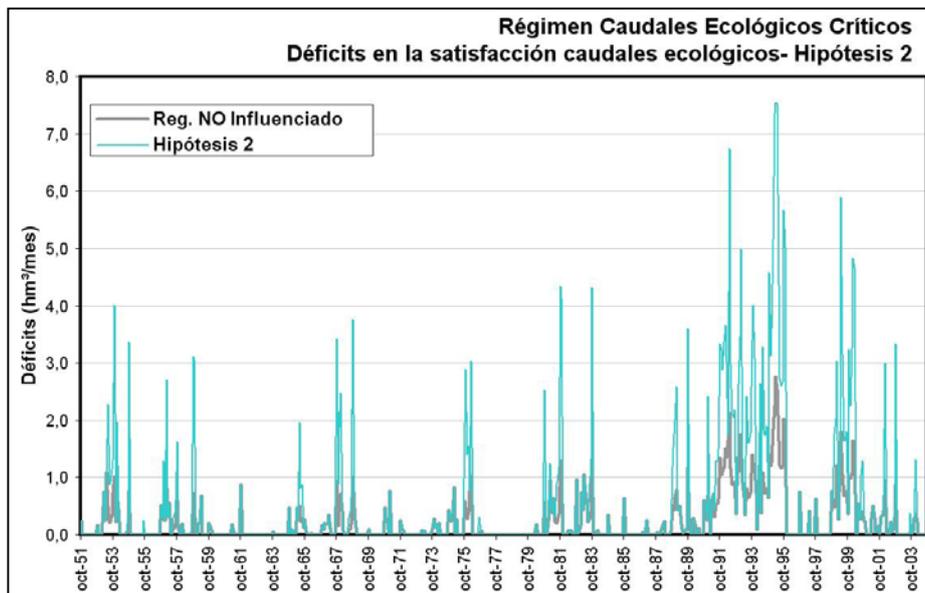


Figura 193. Déficit asociados a la demanda en caudales ecológicos sistema Canales-Quéntar. Hipótesis 2

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.

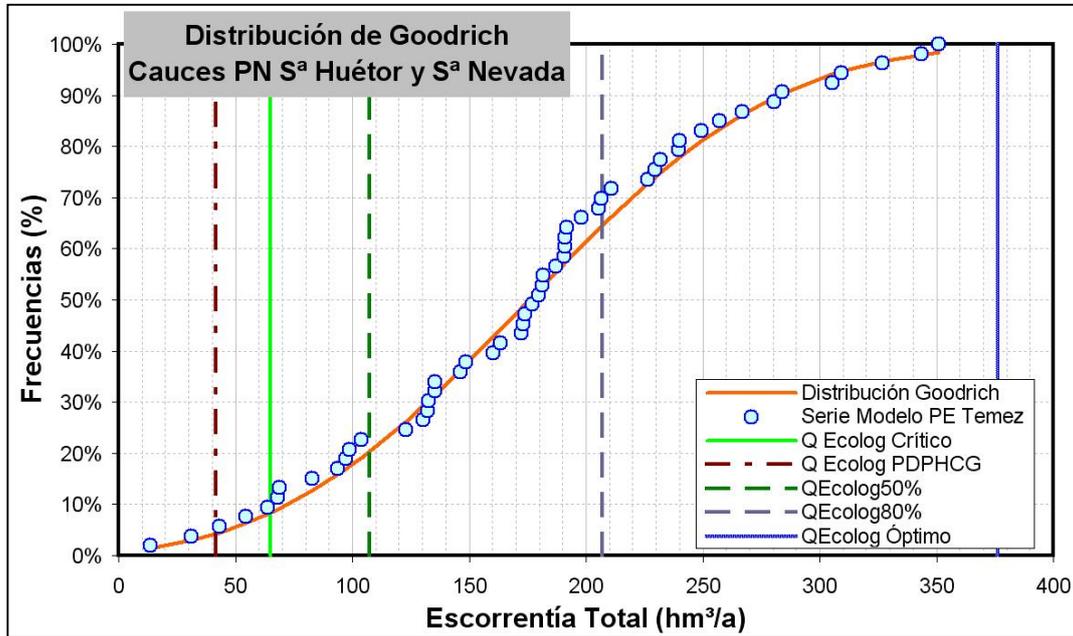


Figura 194. Régimen de caudales ecológicos en el Alto Genil

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).

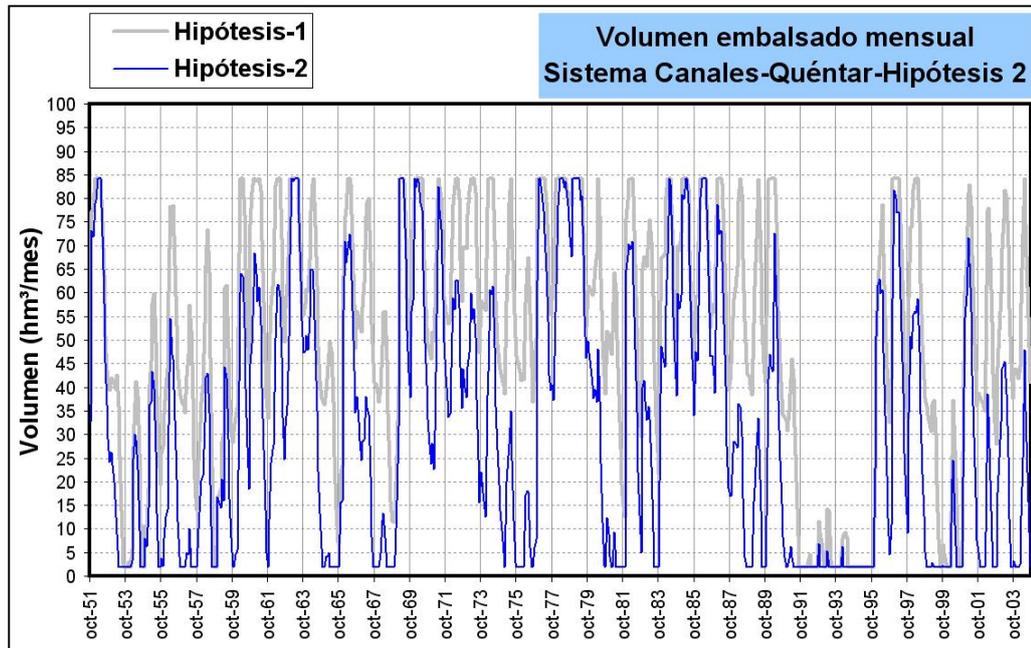


Figura 195. Evolución de los embalses del sistema Canales–Quéntar (Hipótesis 2)

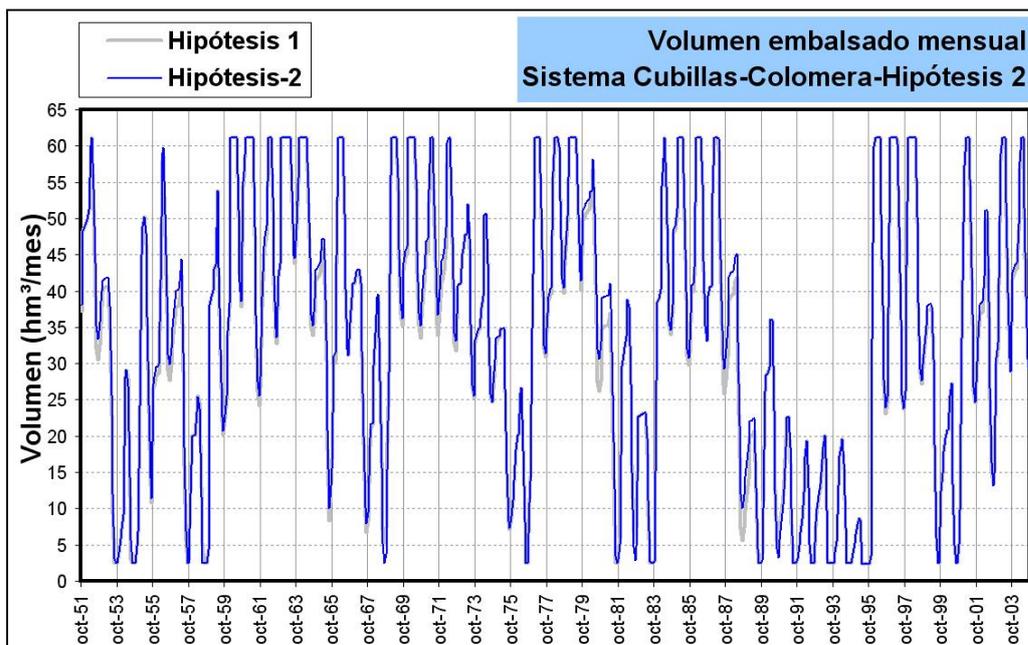


Figura 196. Evolución de los embalses del sistema Cubillas–Colomera (Hipótesis 2)

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).

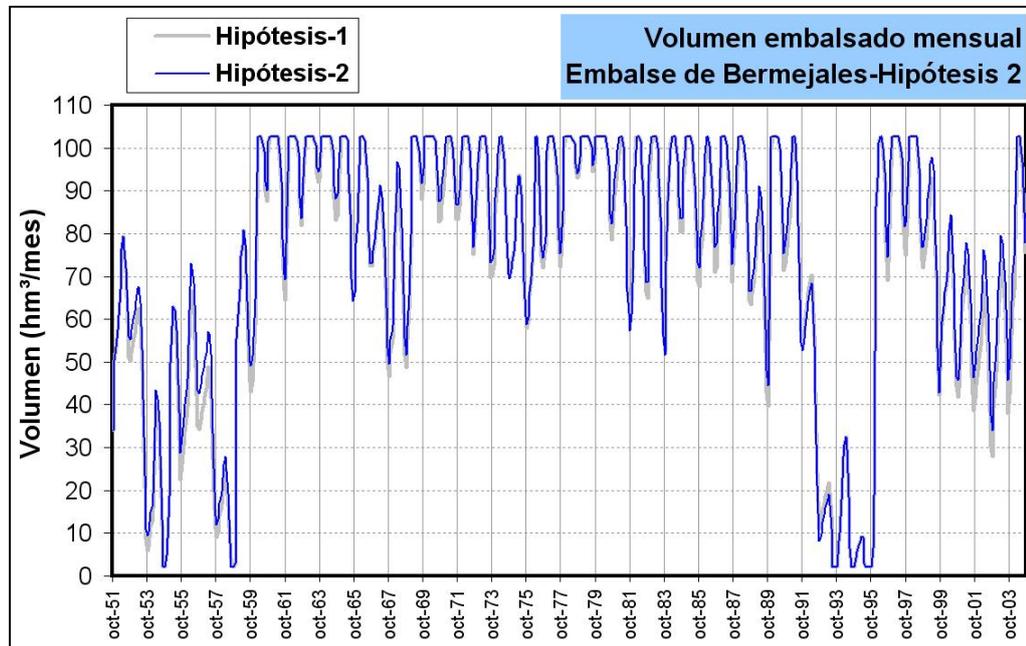


Figura 197. Evolución de los embalses del sistema Bermejales (Hipótesis 2)

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).

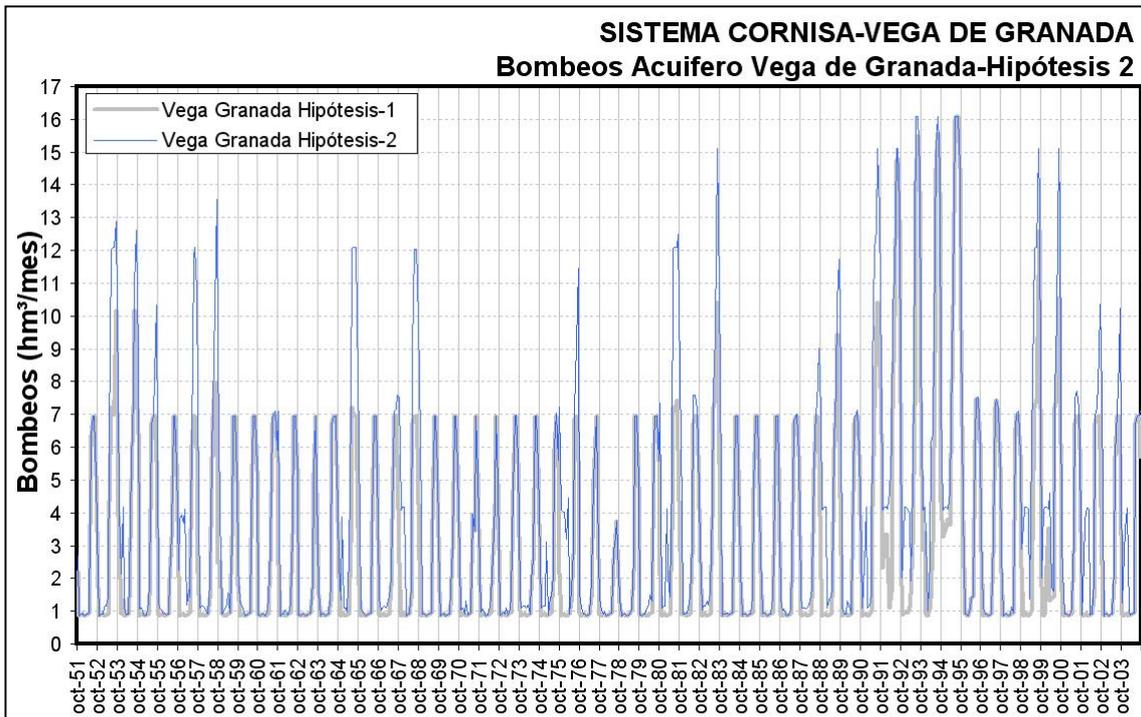


Figura 198. Bombeos en el embalse subterráneo Vega de Granada. Hipótesis 2

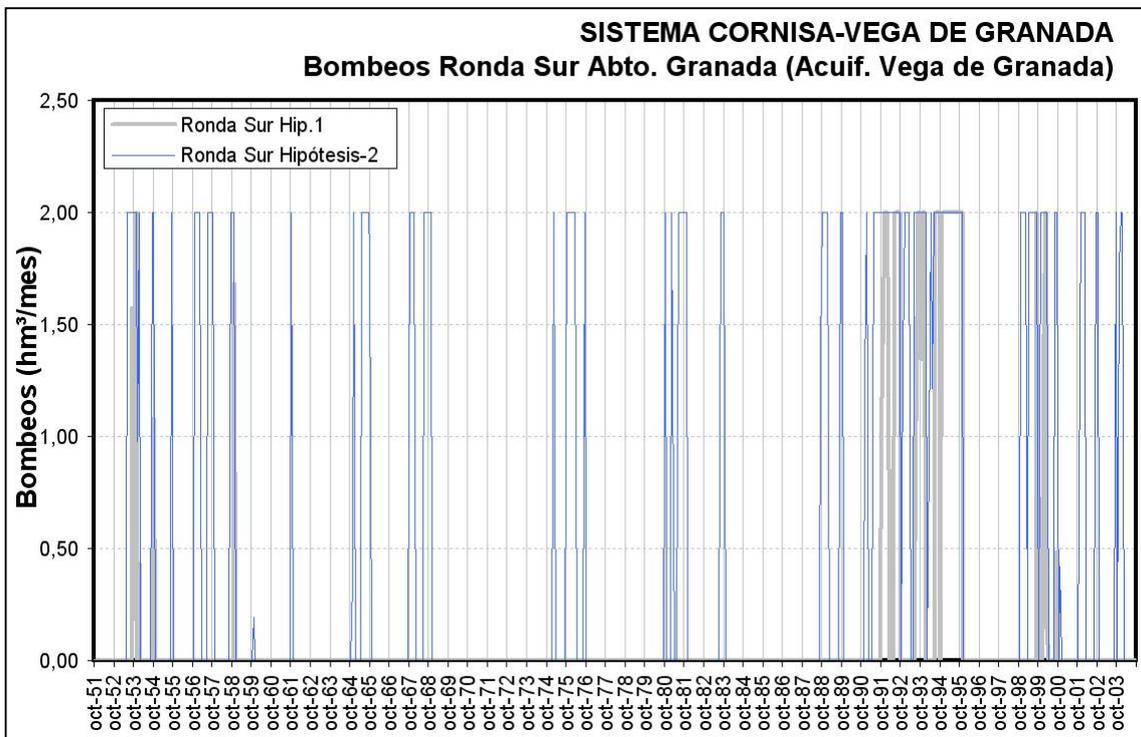


Figura 199. Bombeos en el Campo de Pozos Ronda Sur (embalse subterráneo Vega de Granada). Hipótesis 2

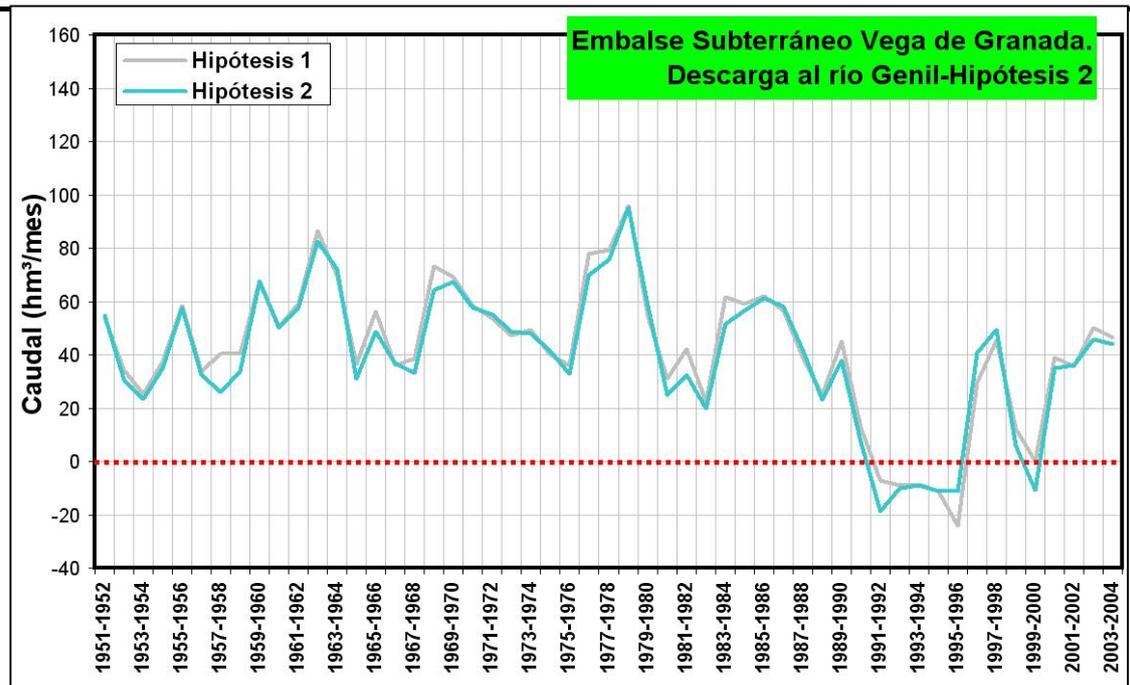


Figura 200. Simulación de la descarga que recibe el río Genil del embalse subterráneo Vega de Granada mediante el modelo de autovalores. Hipótesis 2

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.

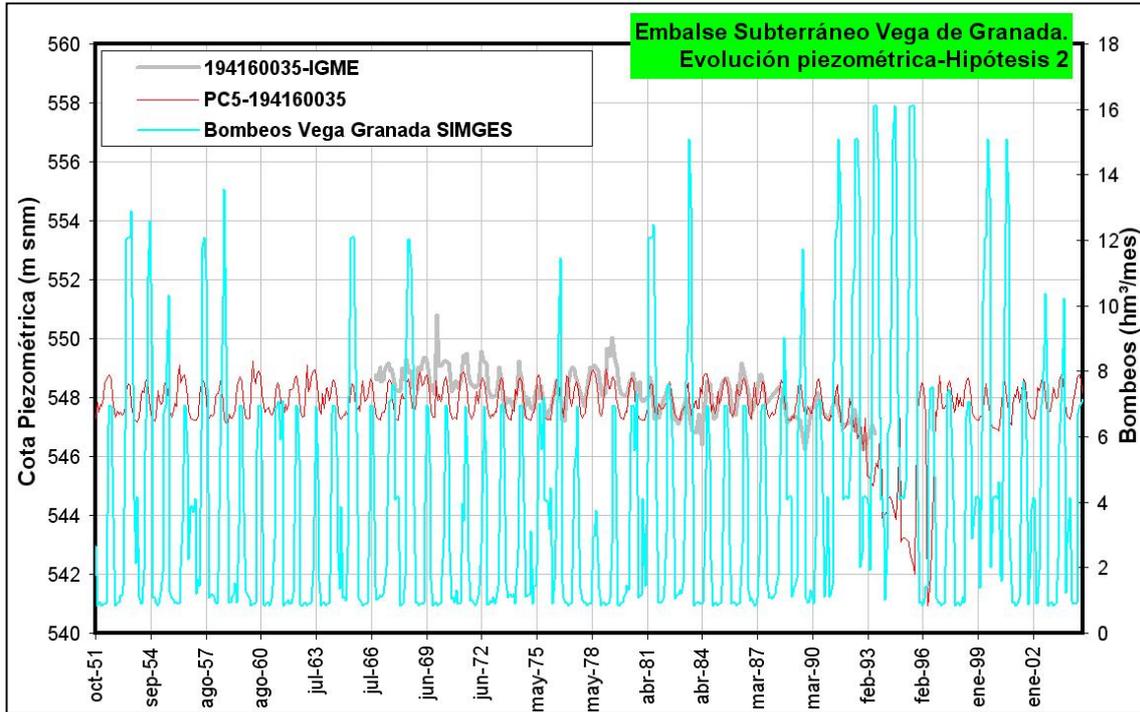


Figura 201. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 2. Piezómetro 194160035

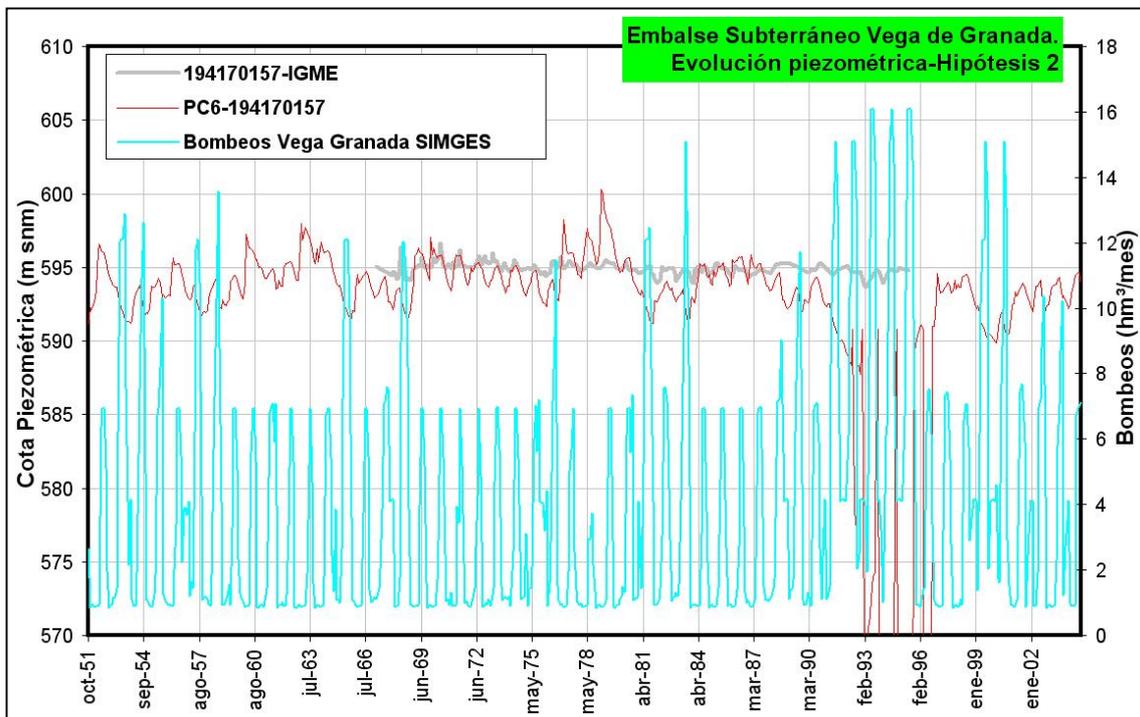


Figura 202. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 2. Piezómetro 194170157

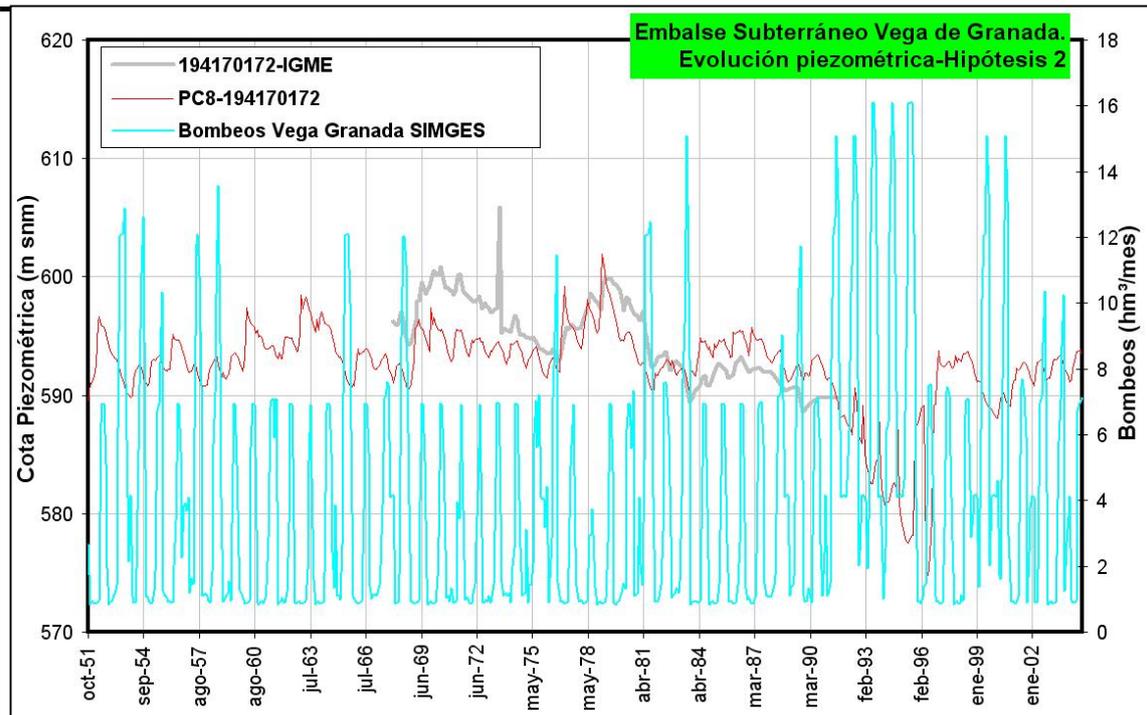


Figura 203. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 2. Piezómetro 194170172

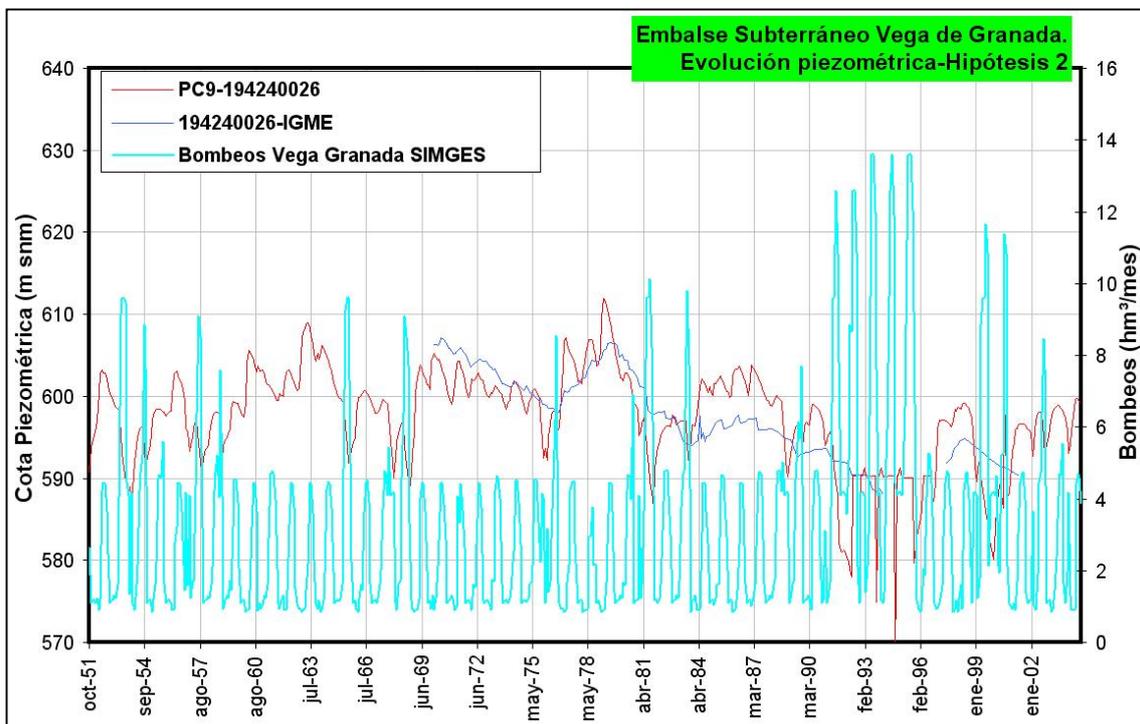


Figura 204. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 2. Piezómetro 194240026

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.

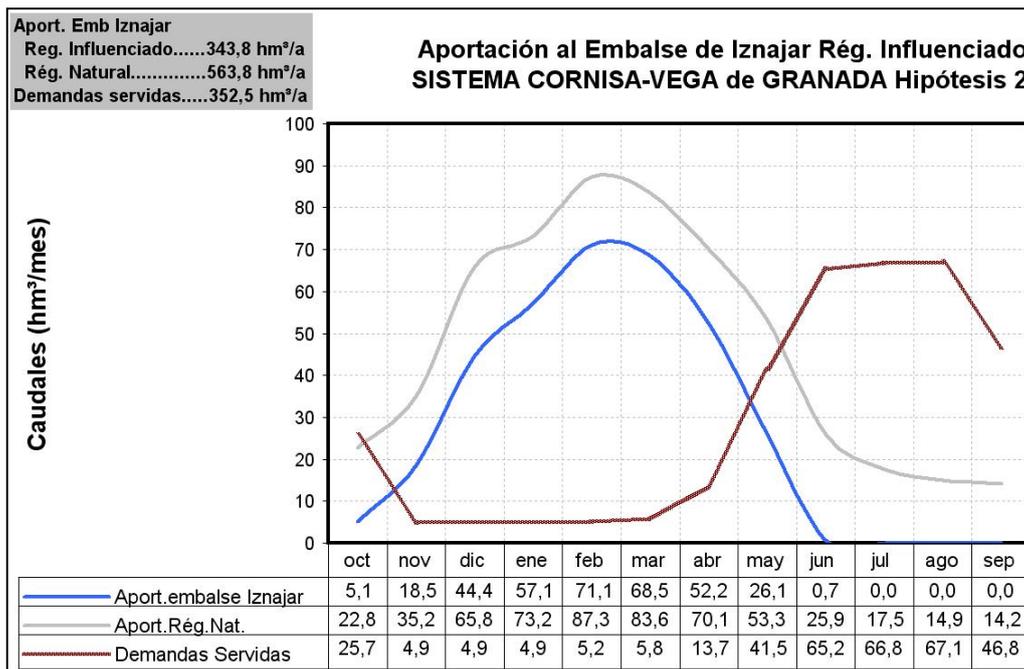


Figura 205. Aportación del Sistema Cornisa–Vega de Granada a Iznajar. Hipótesis 2

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).

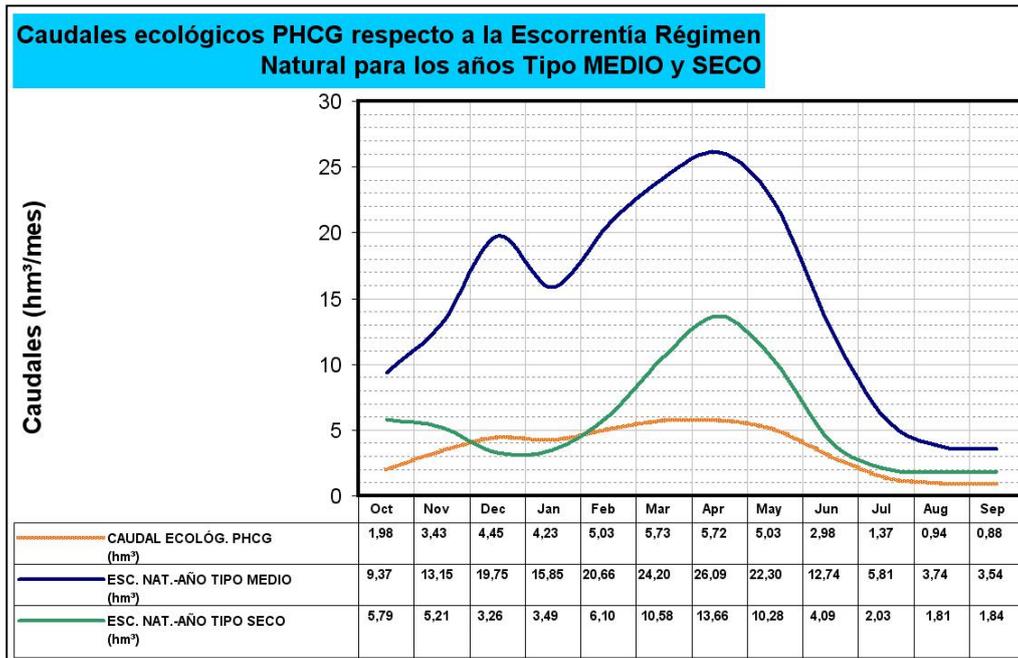


Figura 206. Comparativa de los caudales ecológicos mínimos que derivan de la aplicación del PD-PHCG con los caudales

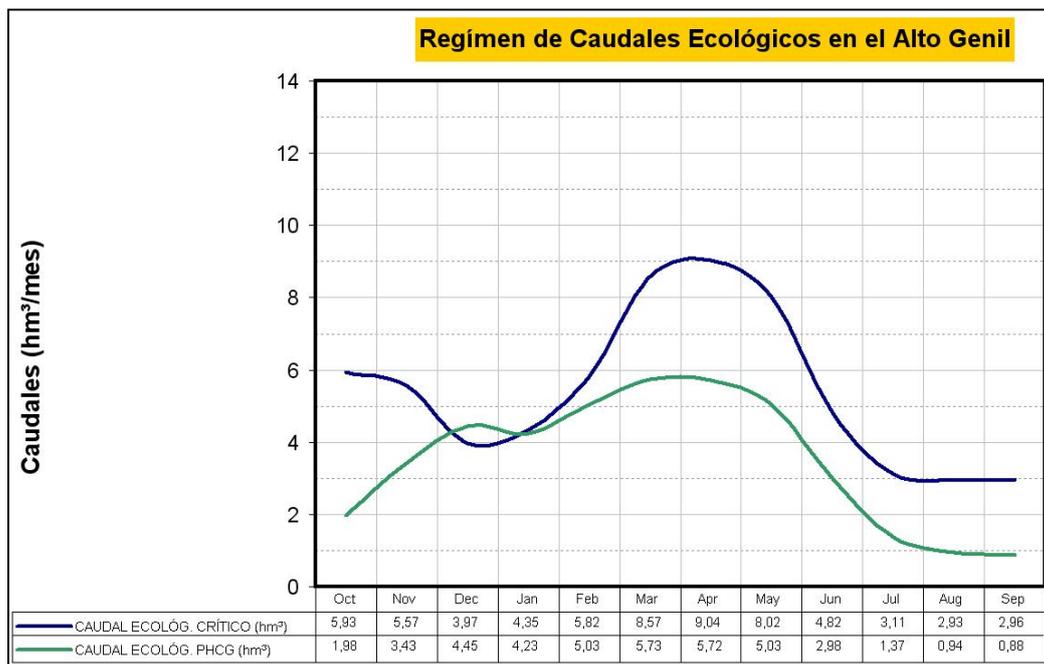


Figura 207. Comparativa caudales ecológicos críticos calculados y los caudales ecológicos mínimos del PD-PHCG

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		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	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

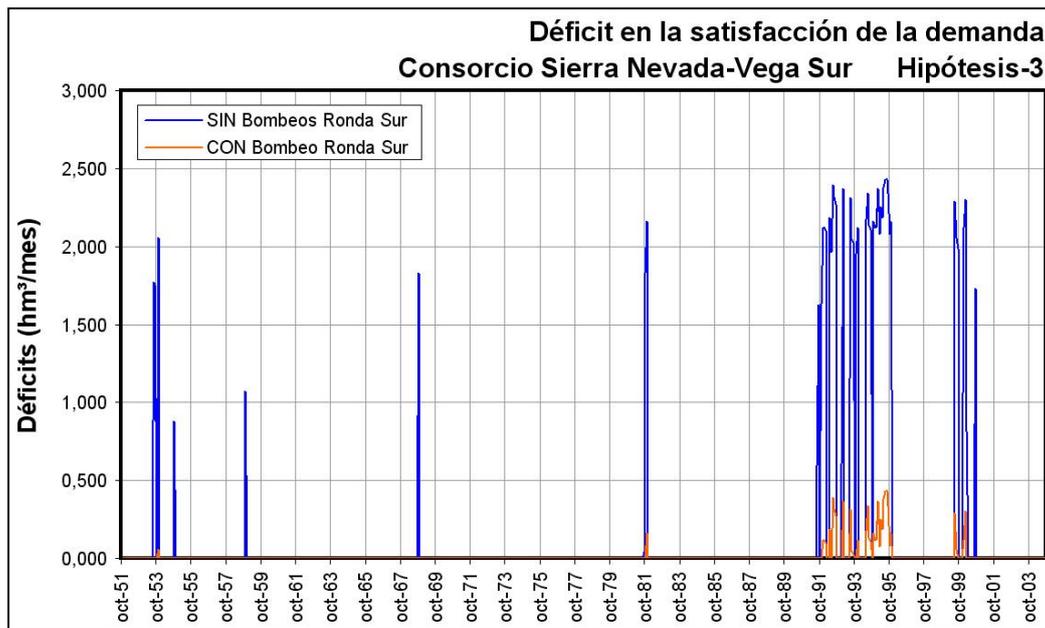


Figura 208. Déficit en la Demanda Urbana Sierra Nevada-Vega Sur Hipótesis 3-sin bombeos Ronda Sur

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.

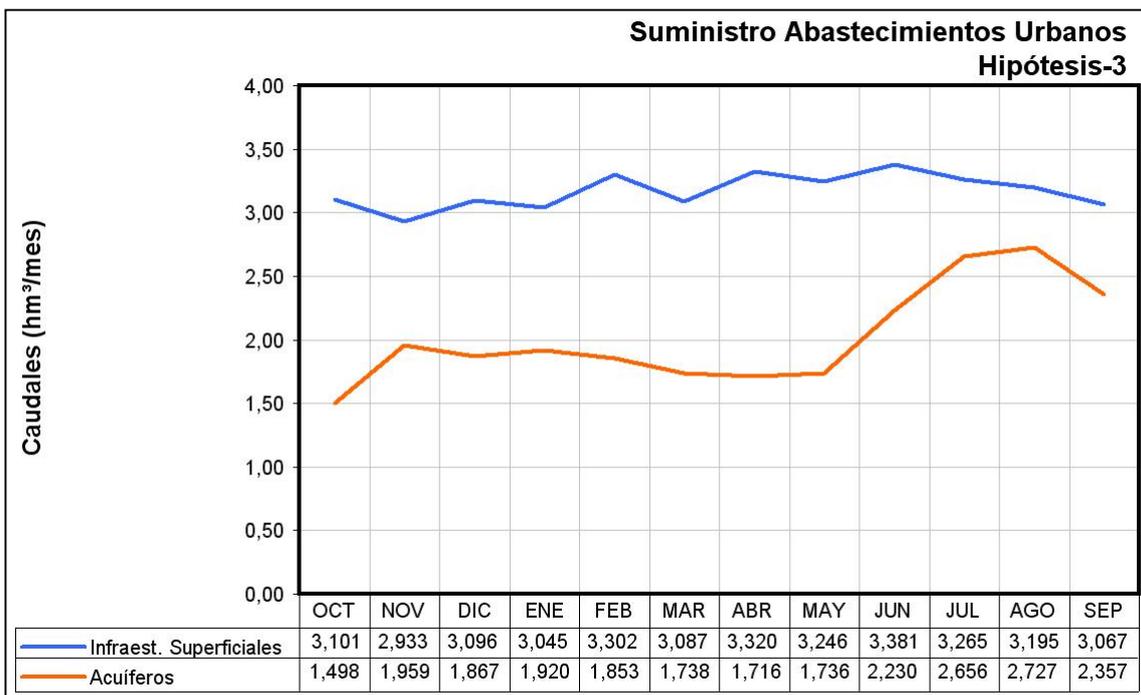


Figura 209. Suministro de agua para abastecimiento urbano Hipótesis-3

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-Dilar	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.

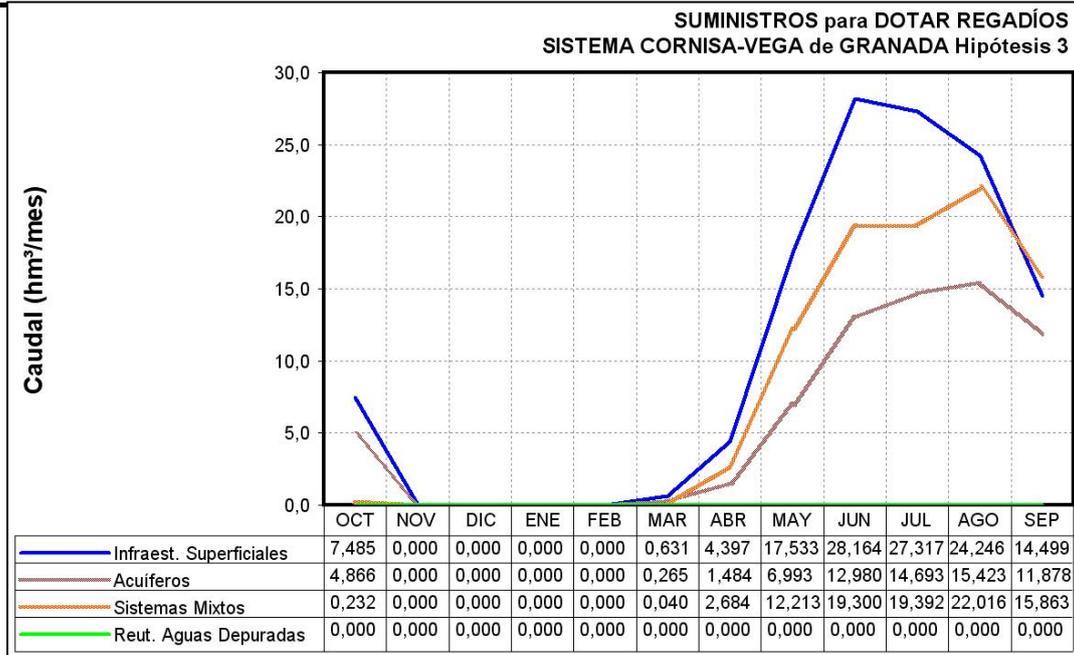


Figura 210. Procedencia de los recursos suministrado para riegos. Hipótesis 3

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

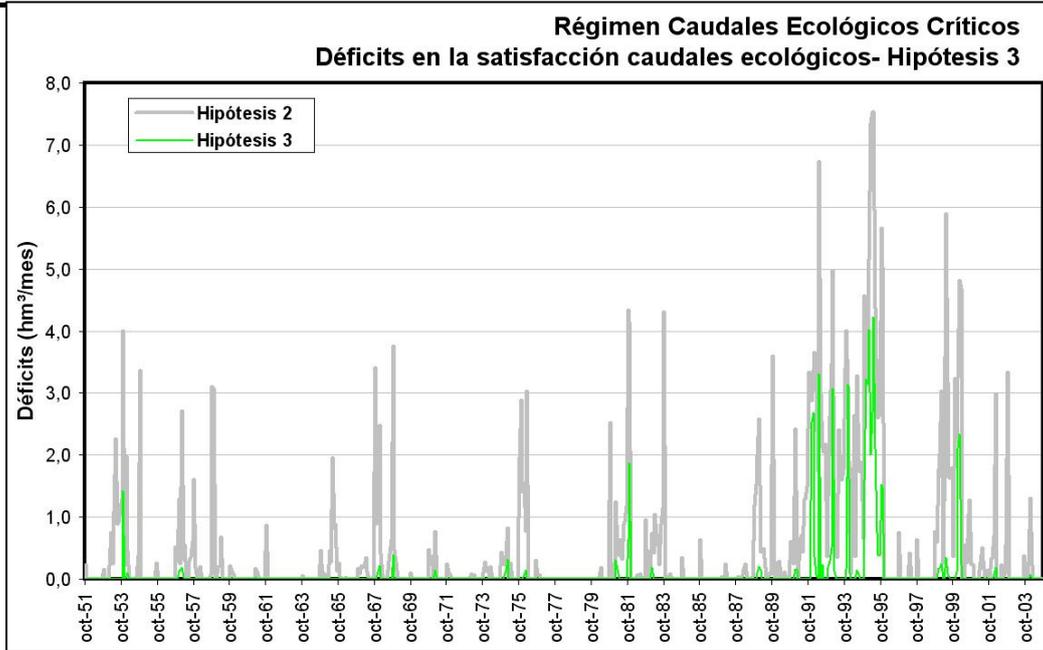


Figura 211. Déficits asociados a la demanda en caudales ecológicos sistema Canales–Quéntar. Hipótesis 3

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).

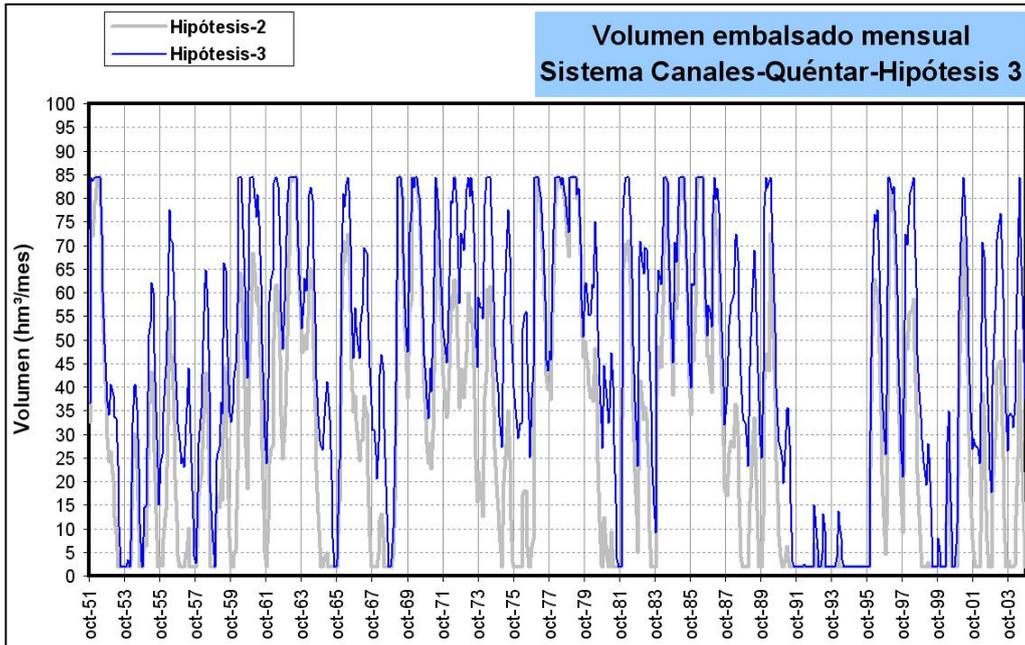


Figura 212. Evolución de los embalses del sistema Canales-Quéntar (Hipótesis 3)

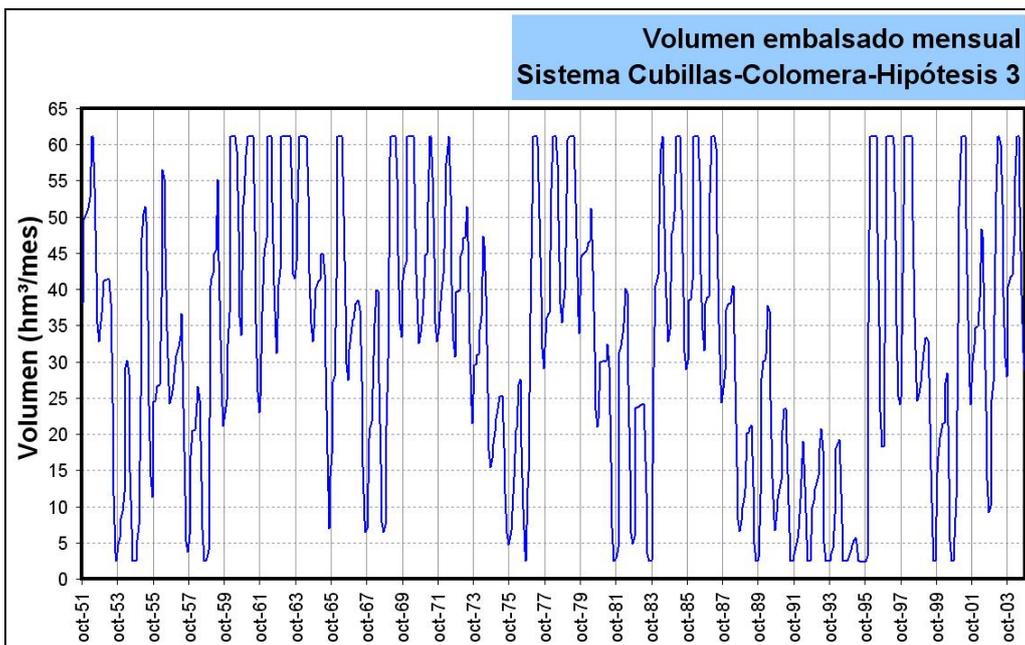


Figura 213. Evolución de los embalses del sistema Cubillas-Colomera (Hipótesis 3)

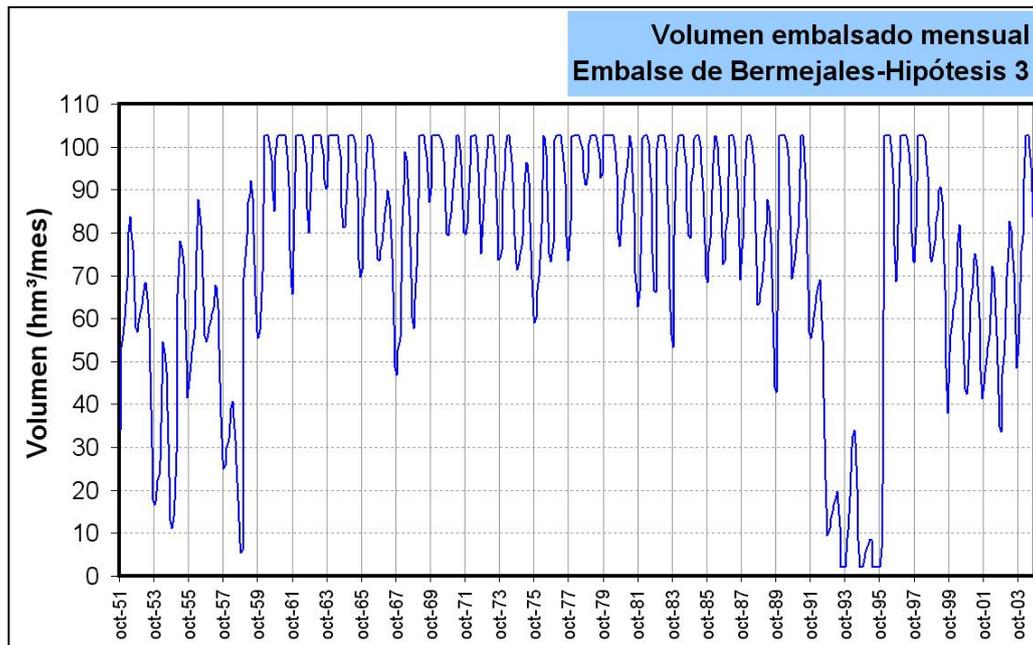


Figura 214. Evolución de los embalses del sistema Bermejales (Hipótesis 3)

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 $56,138 \text{ hm}^3$, superior al que se obtendría para el régimen natural ($52,285 \text{ hm}^3/\text{a}$), 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.

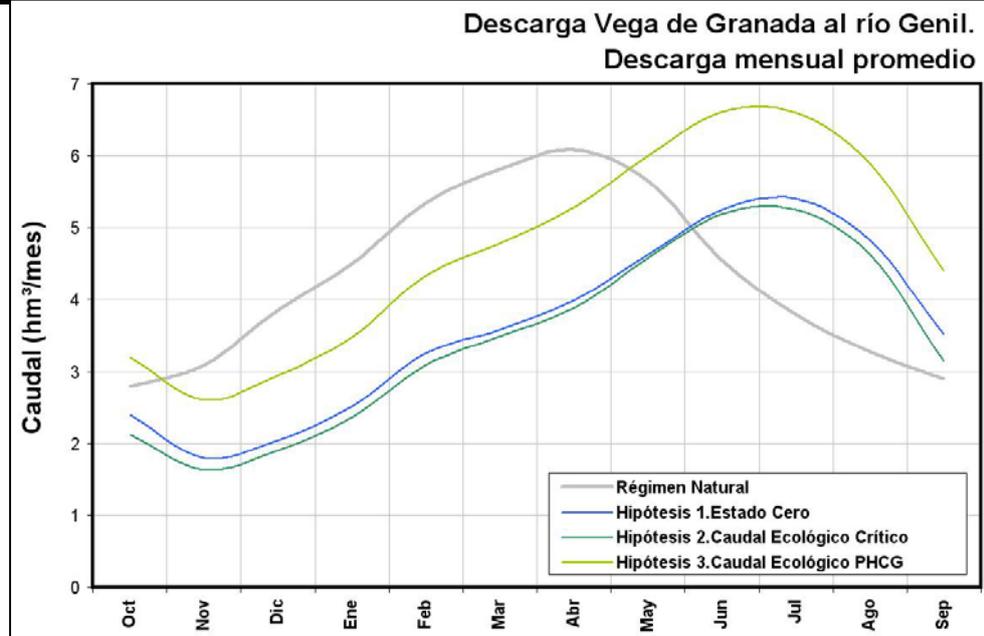


Figura 215. Descarga mensual promedio del acuífero Vega de Granada al río Genil. Relación río-acuífero

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).

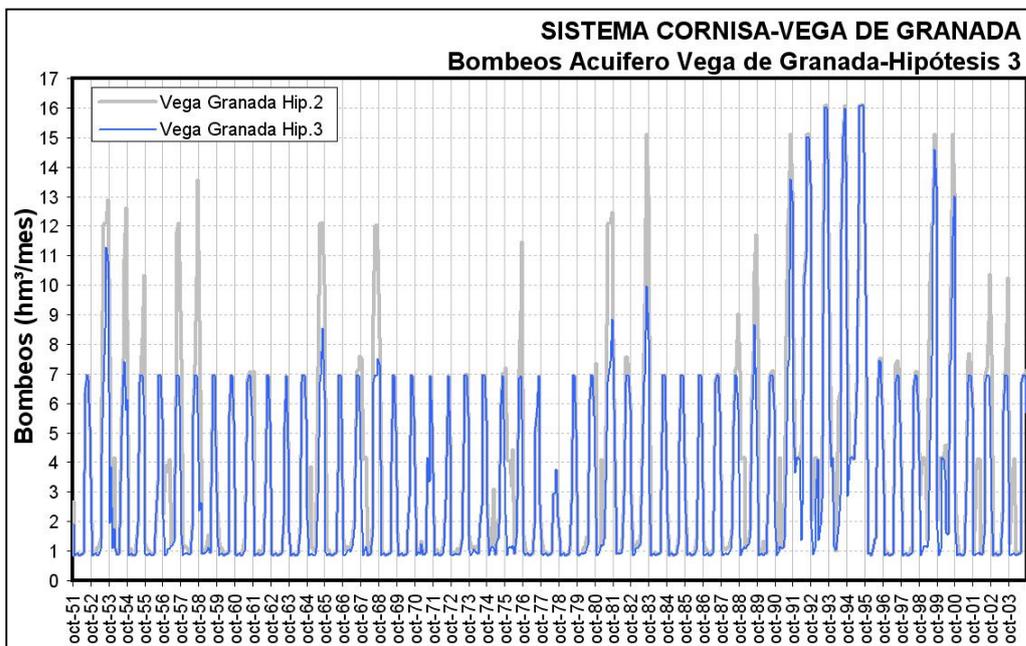


Figura 216. Bombeos en el embalse subterráneo Vega de Granada. Hipótesis 3

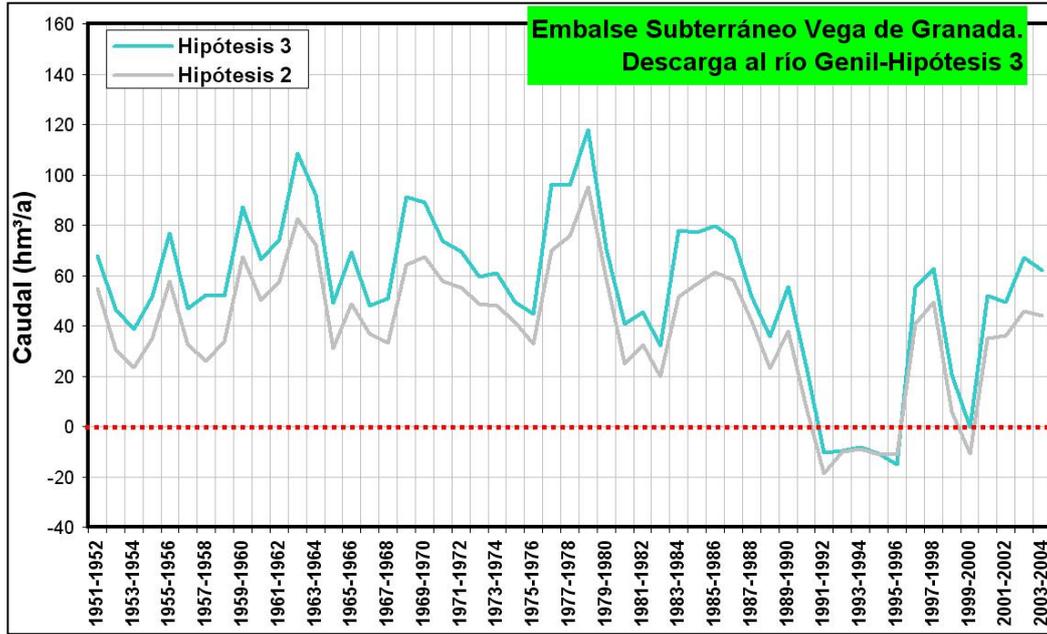


Figura 217. Simulación de la descarga que recibe el río Genil del embalse subterráneo Vega de Granada mediante el modelo de autovalores. Hipótesis 3

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).

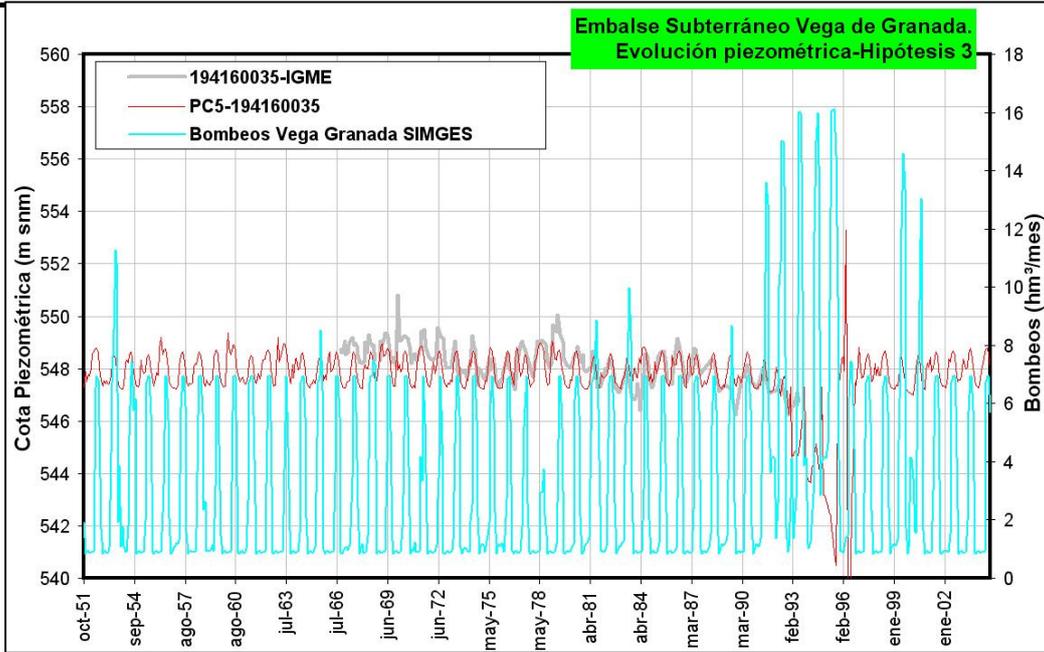


Figura 218. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada–Hipótesis 3. Piezómetro 194160035

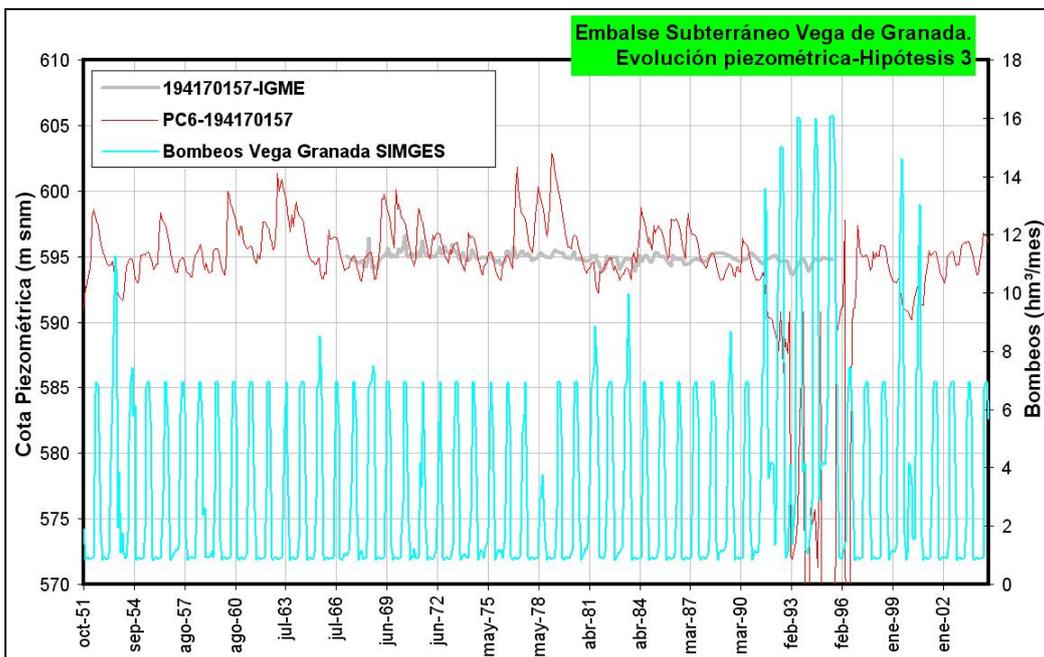


Figura 219. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada–Hipótesis 3. Piezómetro 194170157

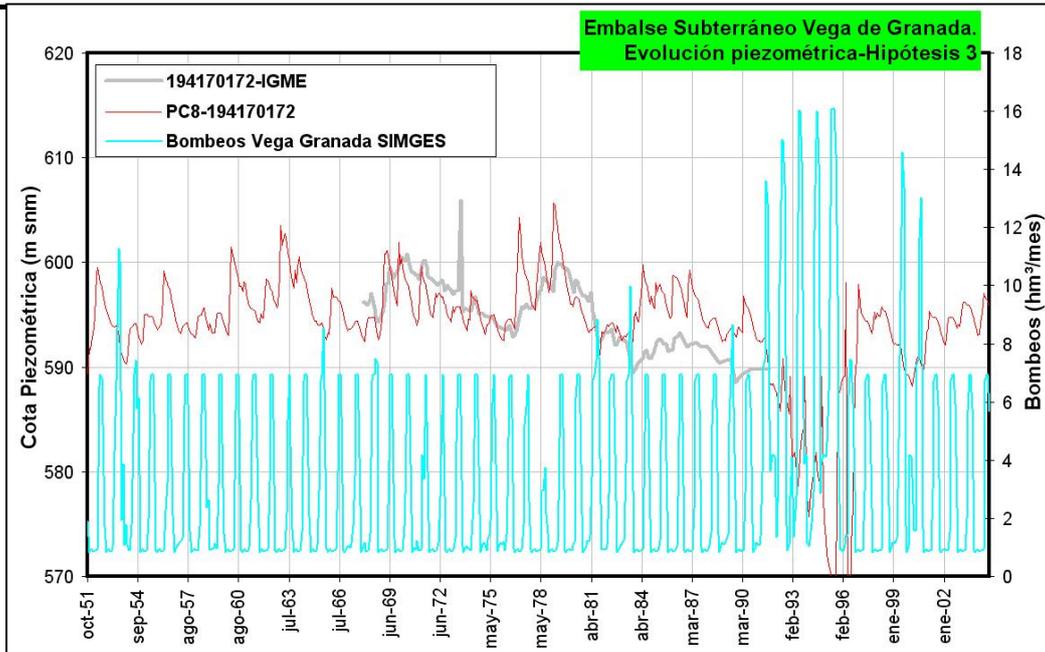


Figura 220. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada–Hipótesis 3. Piezómetro 194170172

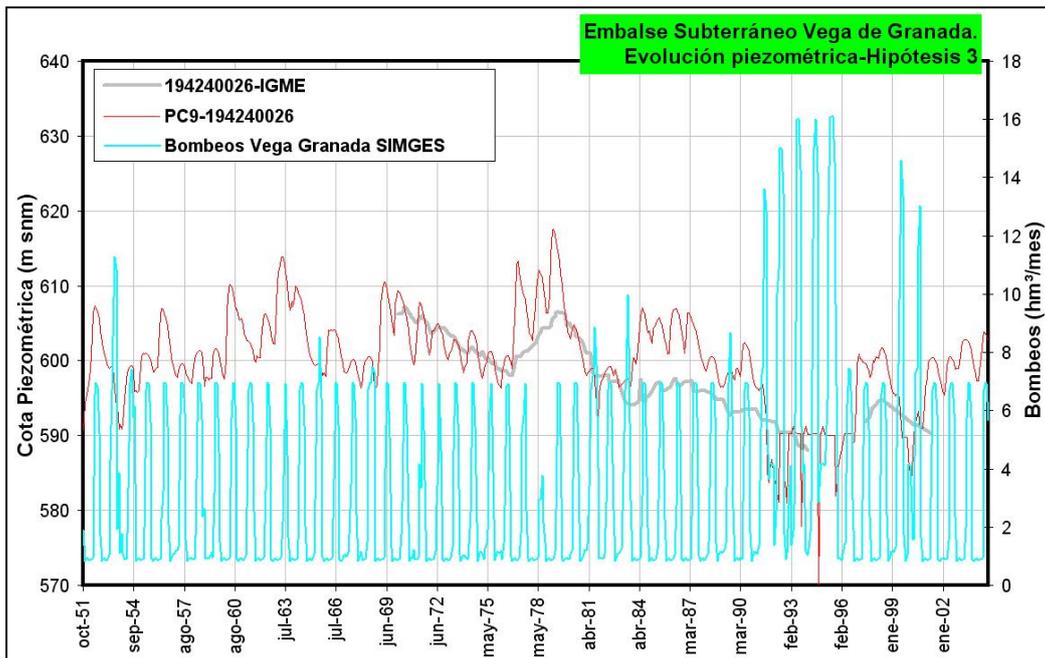


Figura 221. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada–Hipótesis 3. Piezómetro 194240026

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.

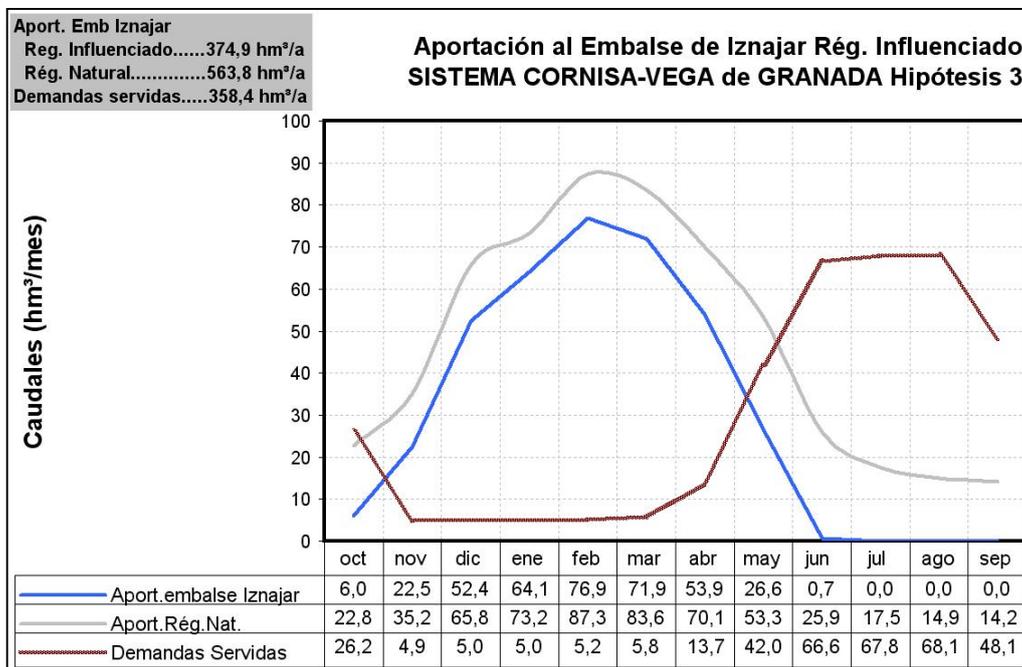


Figura 222. Aportación del Sistema Cornisa-Vega de Granada a Iznajar. Hipótesis 3

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		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

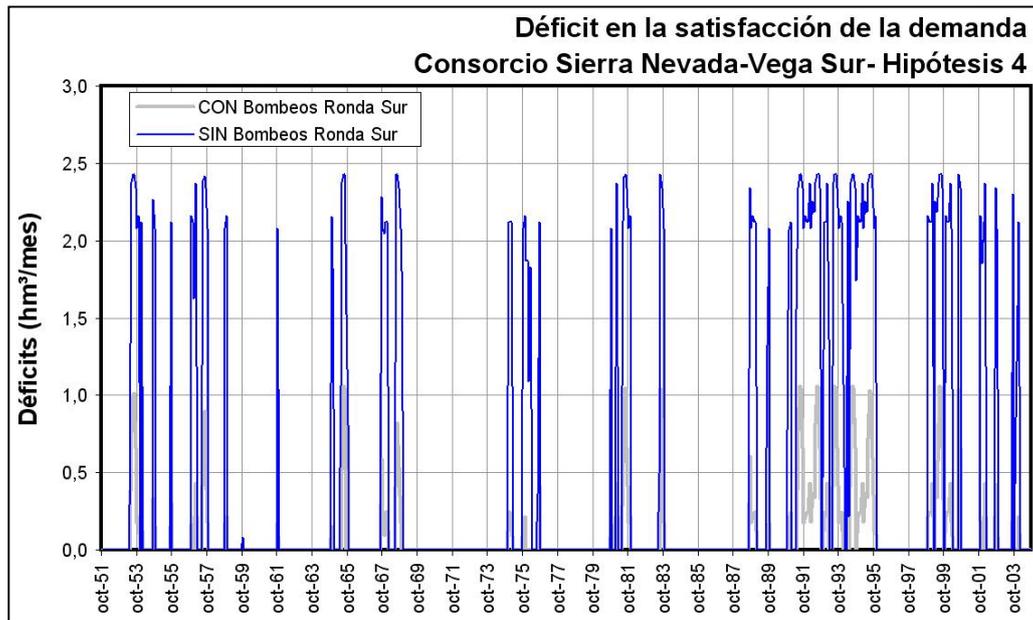
Tabla 115. Resultados de la simulación Hipótesis 4–Conducción El Chaparral

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		Consorcio 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.

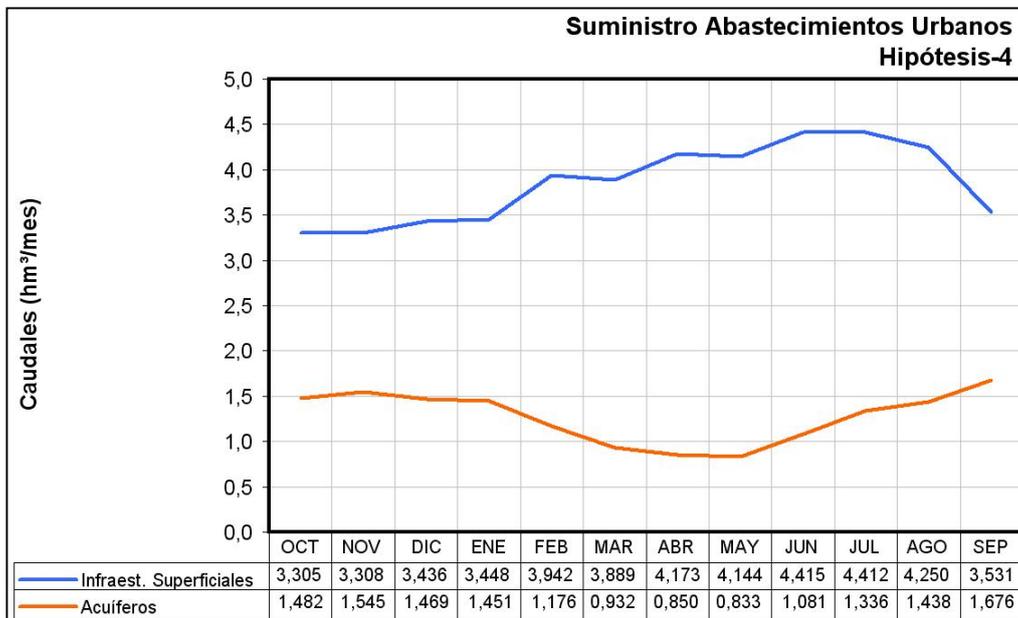


Figura 224. Suministro de agua para abastecimiento urbano Hipótesis-4

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 Ml	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

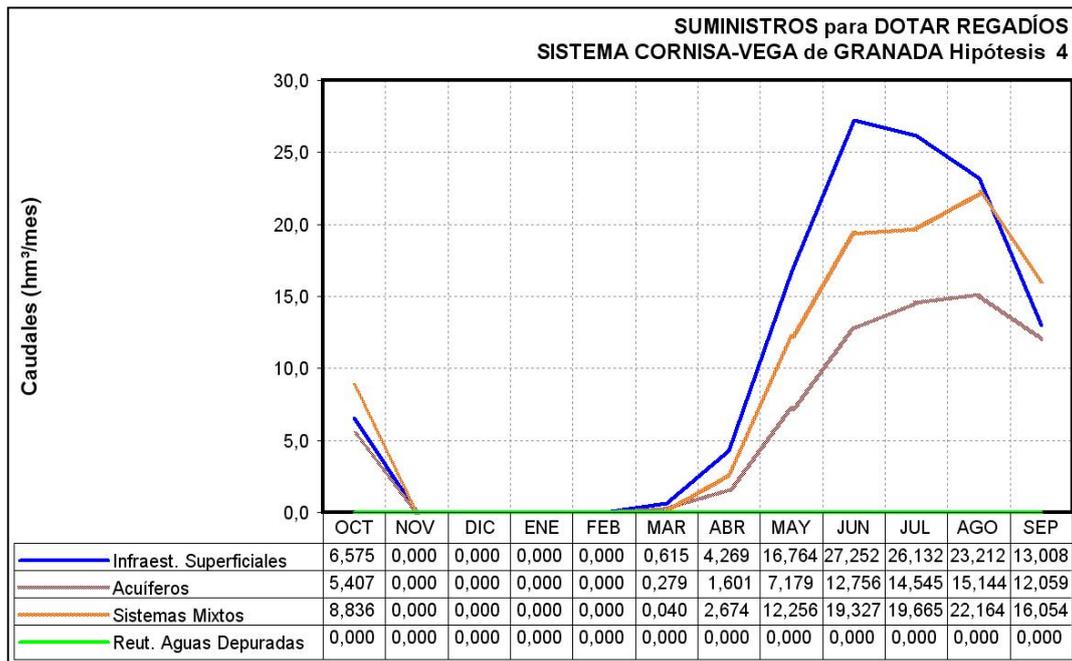


Figura 225. Procedencia de los recursos suministrado para riegos. Hipótesis 4

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

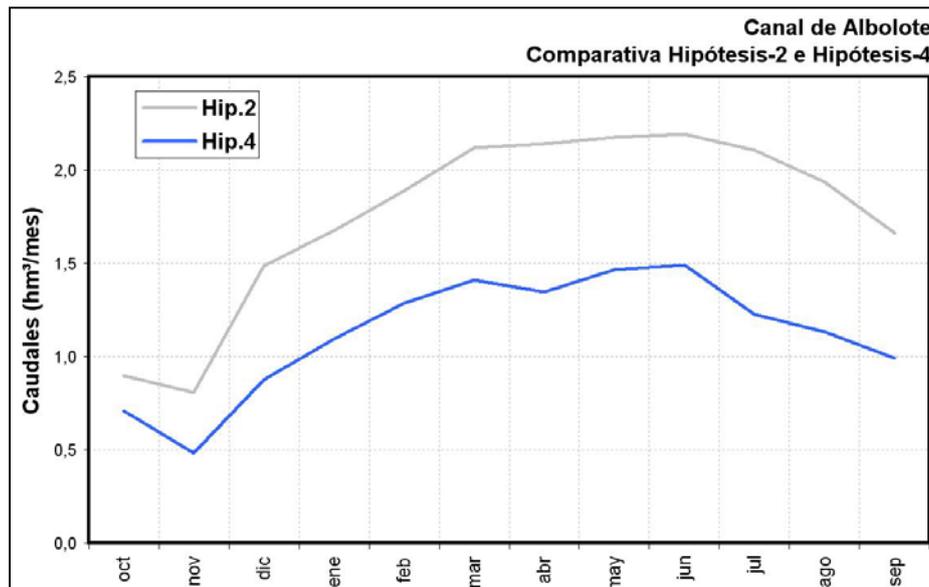


Figura 226. Caudal circulante por el Canal Albolote en las hipótesis de simulación 2 y 4

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).

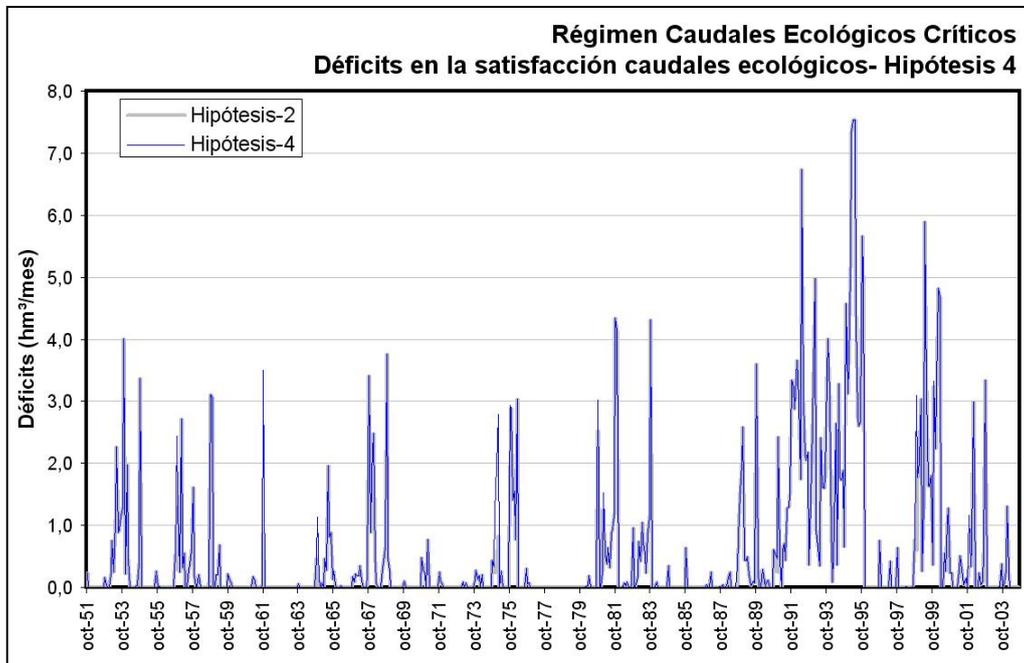


Figura 227. Déficits asociados a la demanda en caudales ecológicos sistema Canales–Quéntar. Hipótesis 4

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.

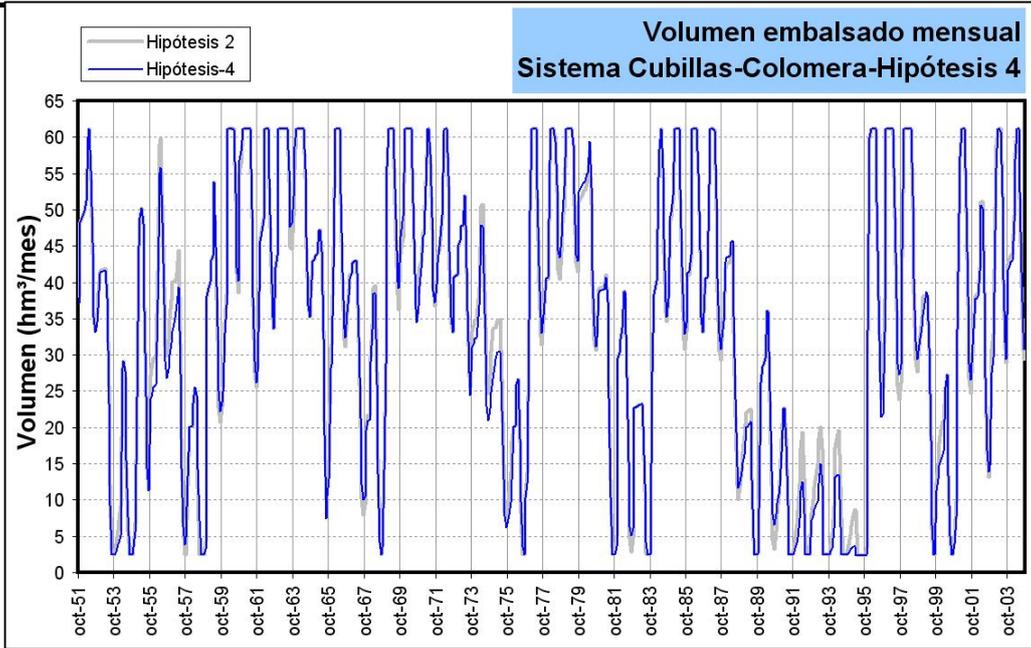


Figura 228. Evolución de los embalses del sistema Canales-Quéntar (Hipótesis 4)

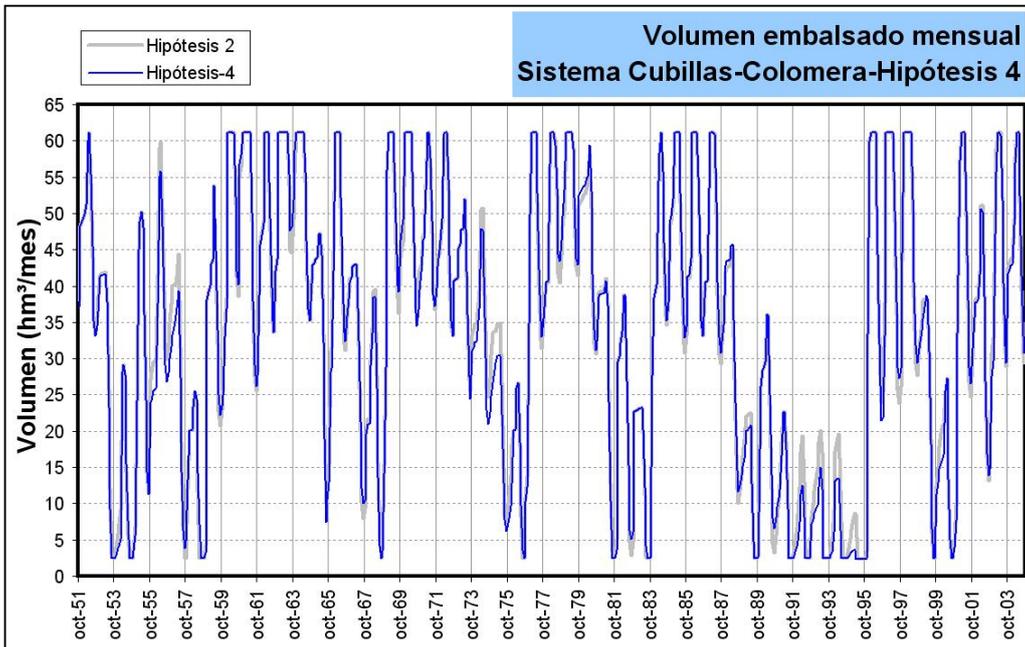


Figura 229. Evolución de los embalses del sistema Cubillas-Colomera (Hipótesis 4)

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.

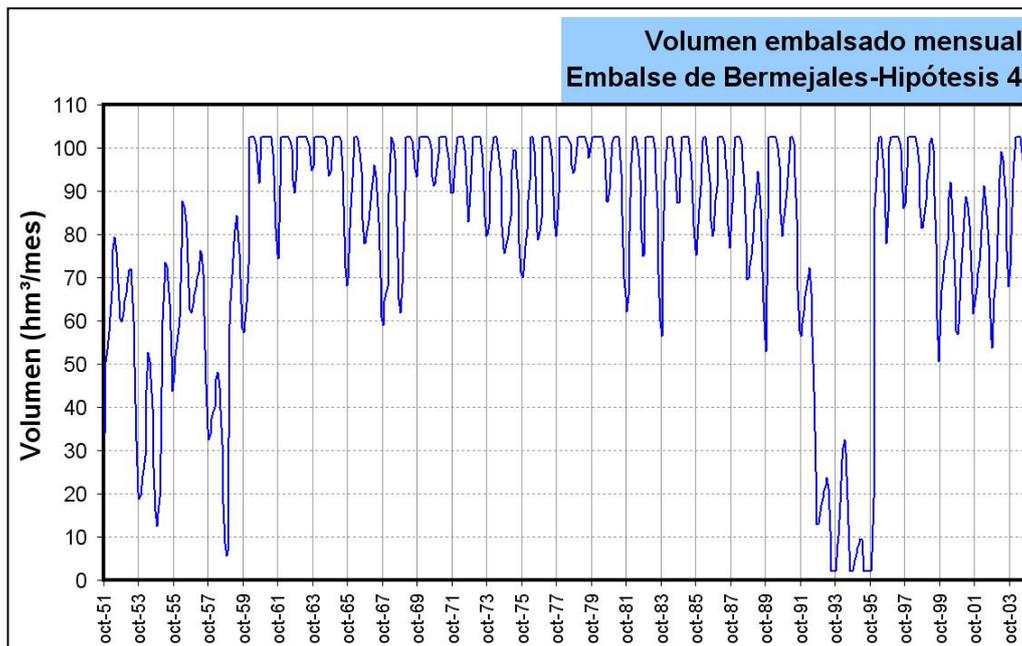


Figura 230. Evolución de los embalses del sistema Bermejales (Hipótesis 4)

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.

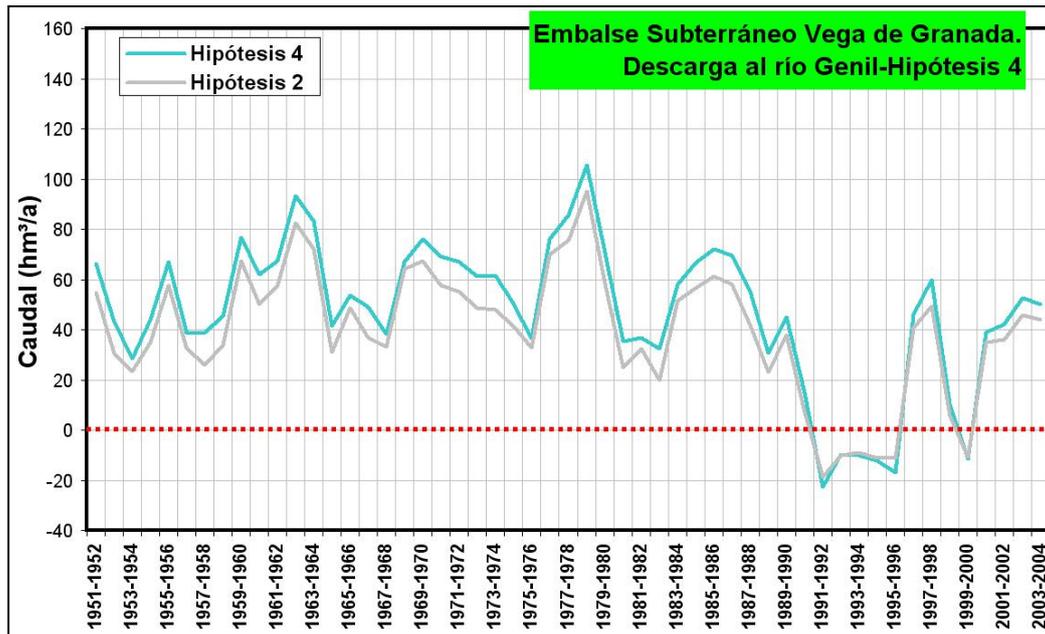


Figura 231. Simulación de la descarga que recibe el río Genil del embalse subterráneo Vega de Granada mediante el modelo de autovalores. Hipótesis 4

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).

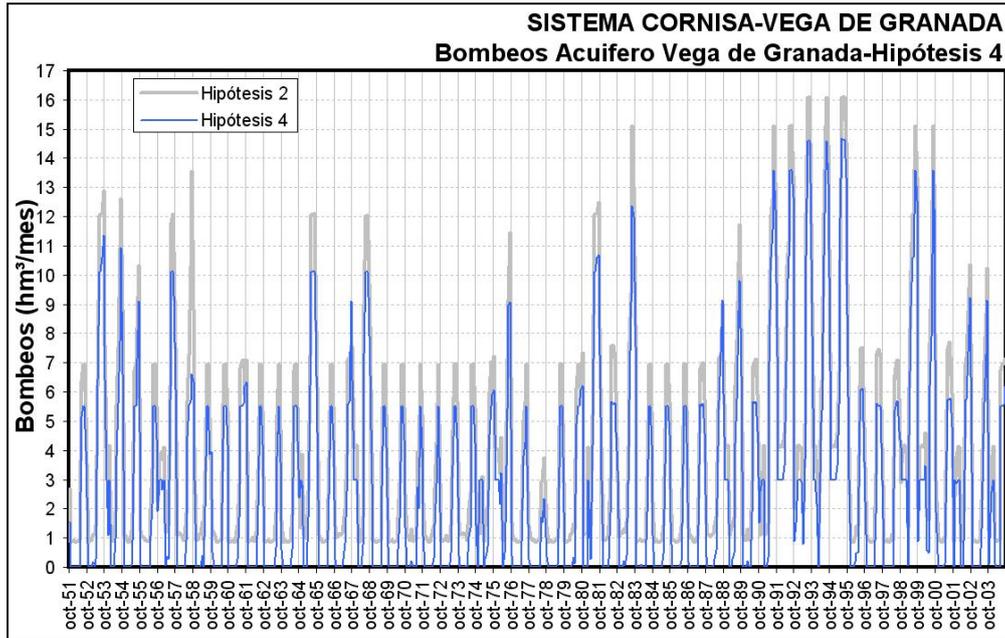


Figura 232. Bombeos en el embalse subterráneo Vega de Granada. Hipótesis 4

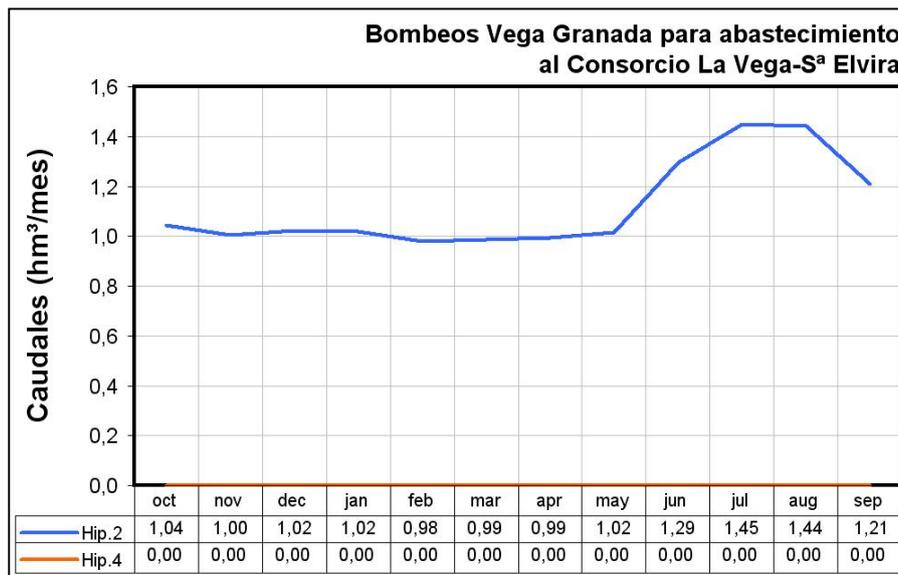


Figura 233. Bombeos simulados en el acuífero Vega de Granada para abastecimiento al Consorcio La Vega-Sª Elvira

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.

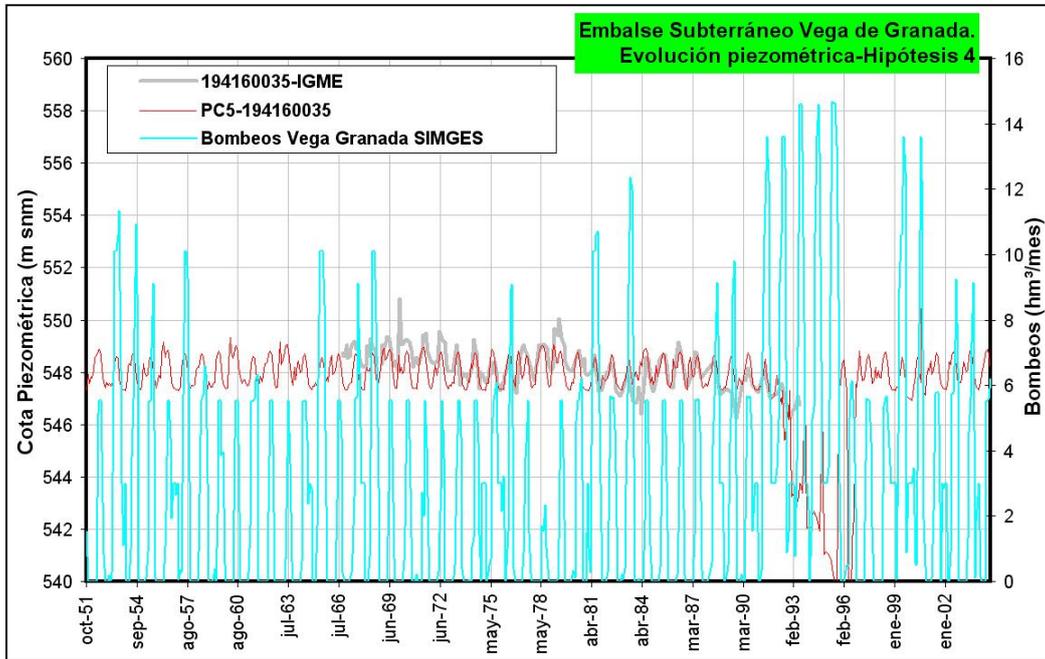


Figura 234. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada–Hipótesis 4. Piezómetro 194160035

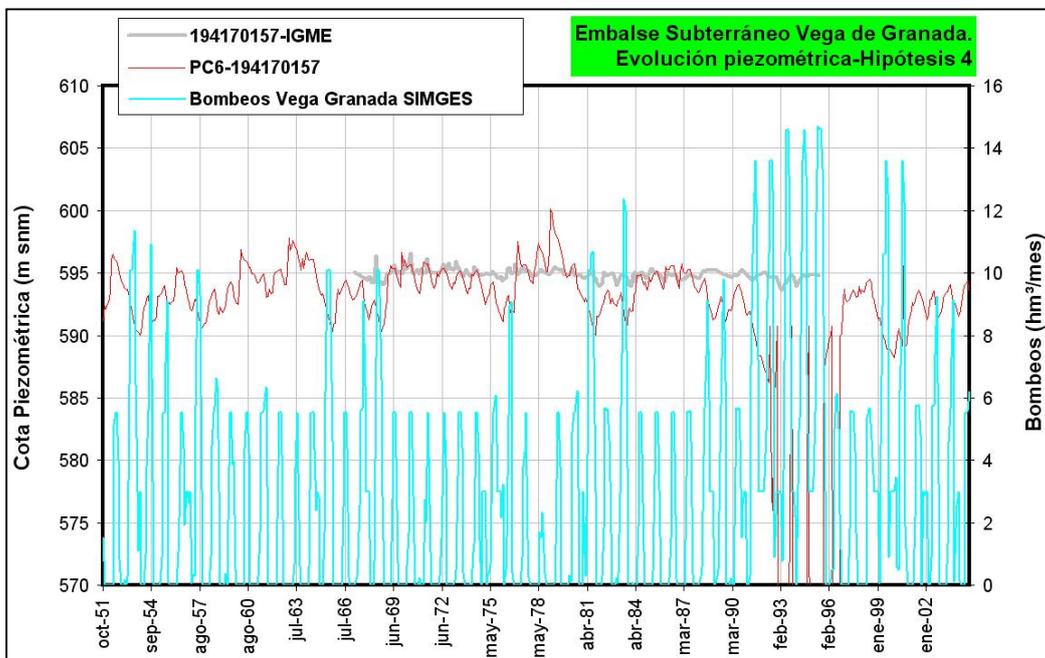


Figura 235. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada–Hipótesis 4. Piezómetro 194170157

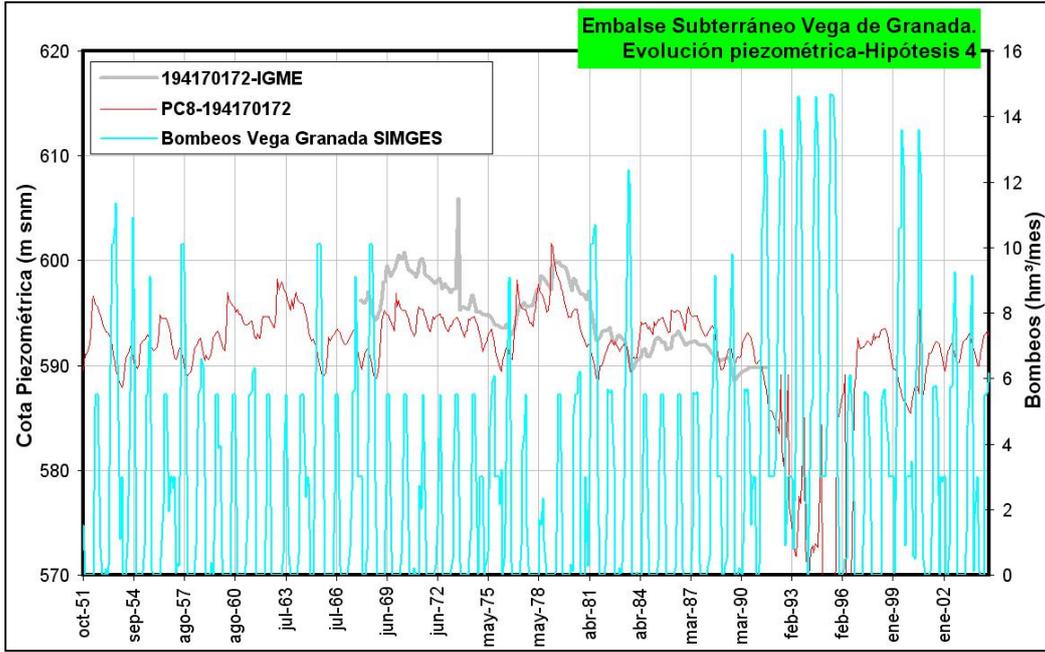


Figura 236. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada–Hipótesis 4. Piezómetro 194170172

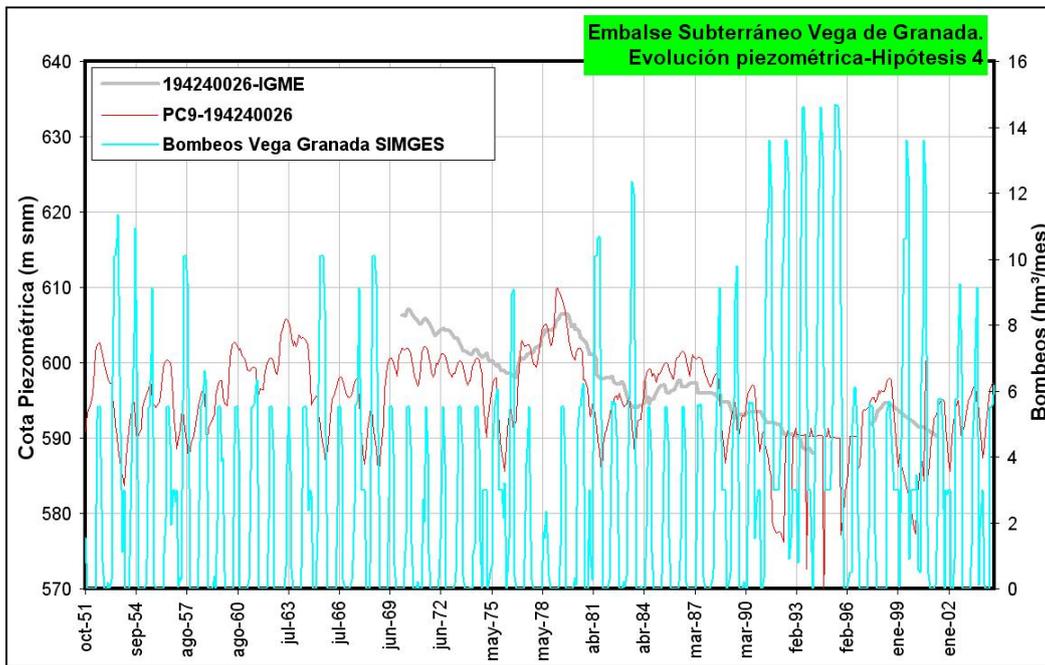


Figura 237. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada–Hipótesis 4. Piezómetro 194240026

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.

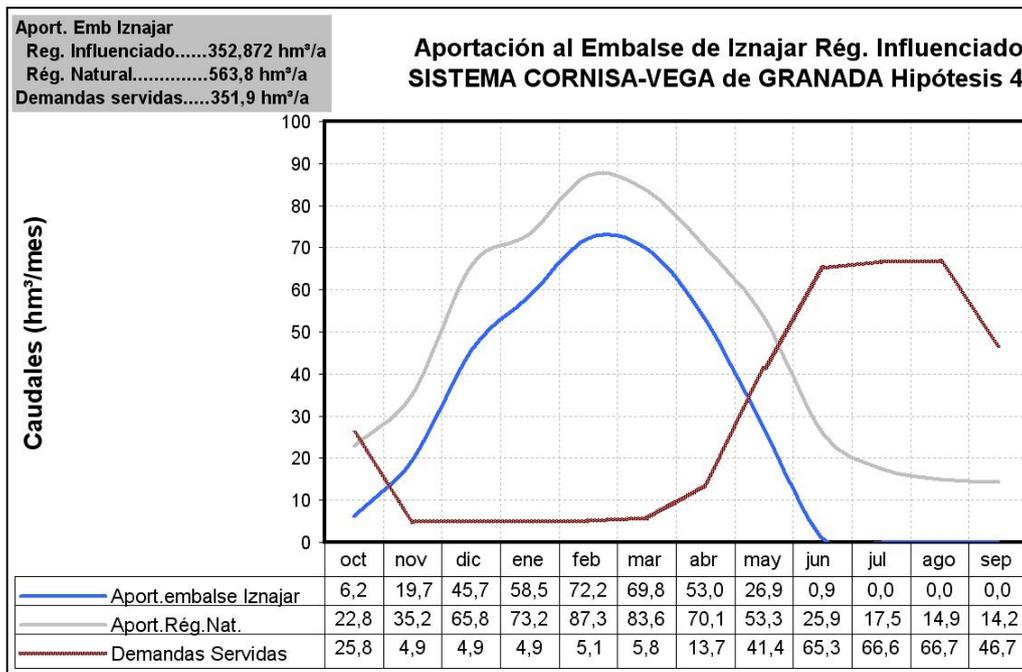


Figura 238. Aportación del Sistema Cornisa–Vega de Granada a Iznajar. Hipótesis 4

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 esorrentía 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 esorrentía 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.

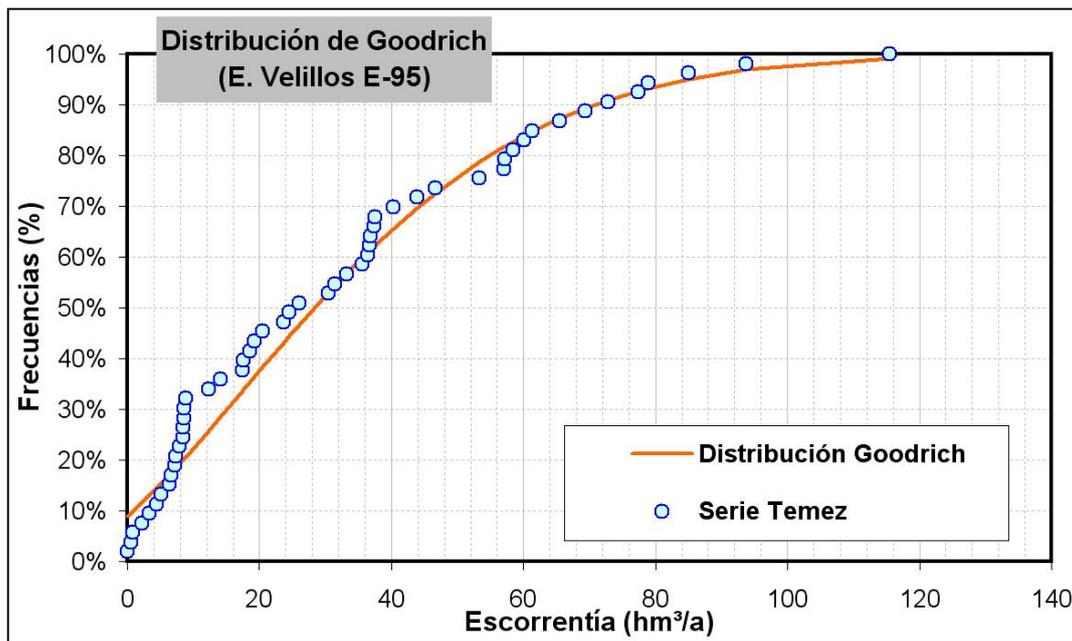


Figura 239. Escorrentía total que registra la cuenca de recepción del embalse de Velillos

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

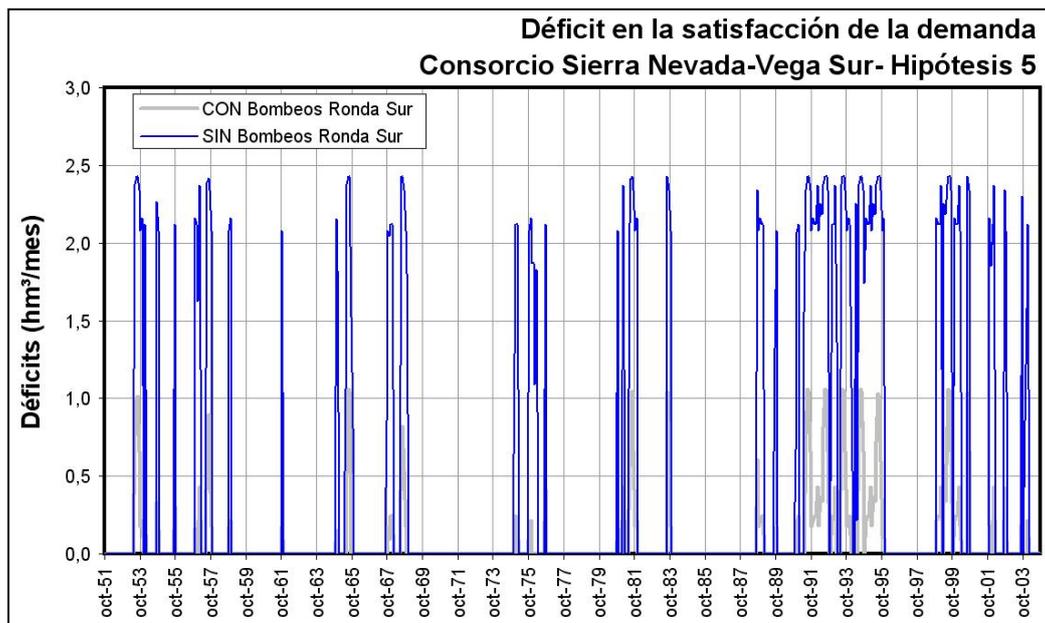


Figura 240. Déficits en la Demanda Urbana Sierra Nevada–Vega Sur Hipótesis 5–sin bombeos Ronda Sur

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.

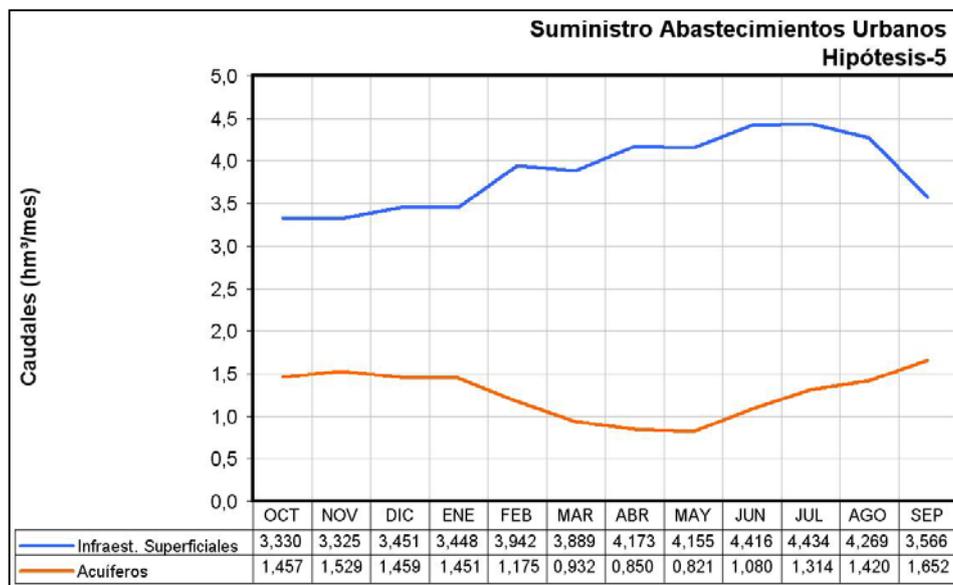


Figura 241. Suministro de agua para abastecimiento urbano Hipótesis-5

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

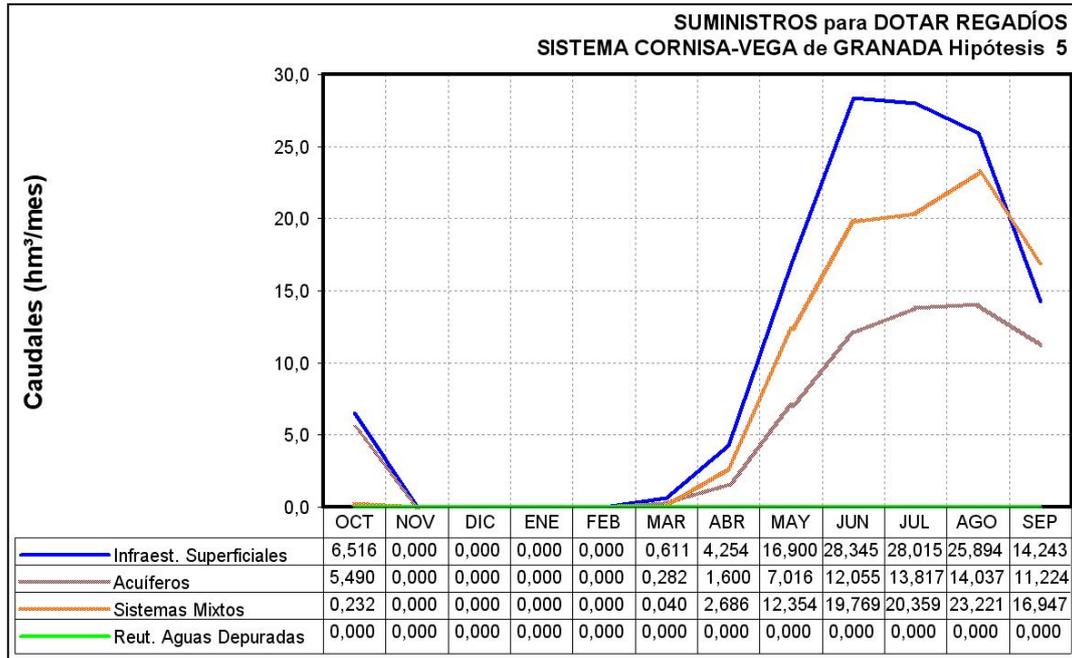
¹¹ La captación El Chaparral–Deifontes, realmente es de procedencia subterránea (captación del manantial de Deifontes, drenaje principal del acuífero de Sierra Arana).

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).

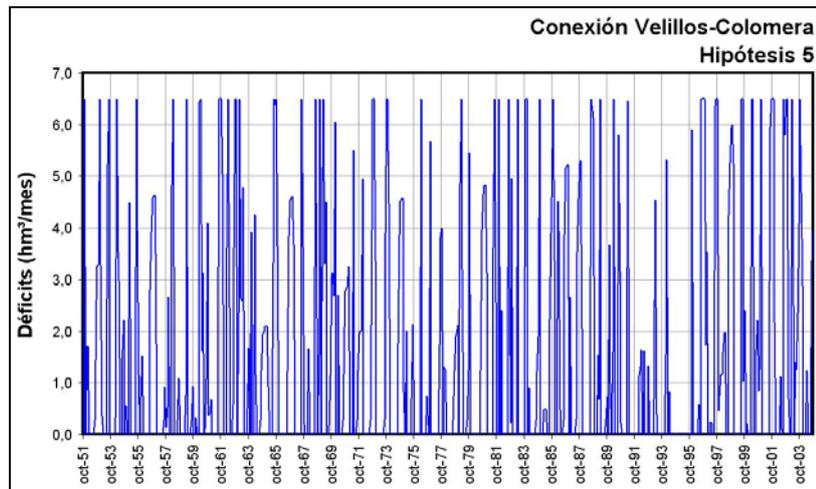


Figura 243. Funcionamiento de la conexión Velillos-Colomera Hipótesis 5. Serie completa mensual simulada (1951-2004)

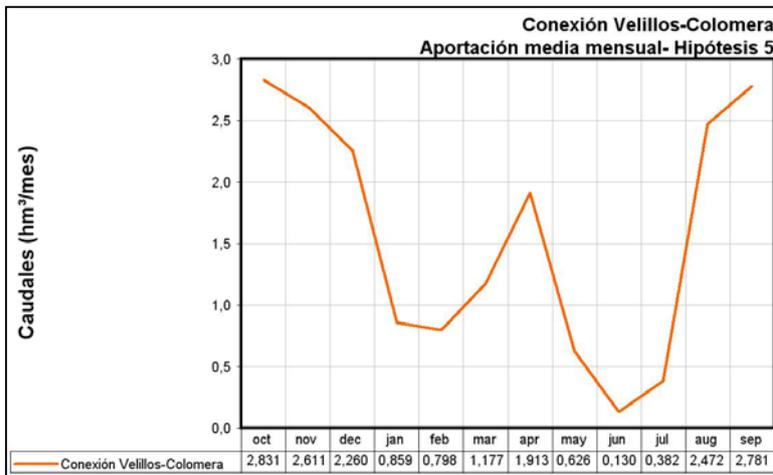


Figura 244. Funcionamiento de la conexión Velillos-Colomera Hipótesis 5. Valores promedio mensuales

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

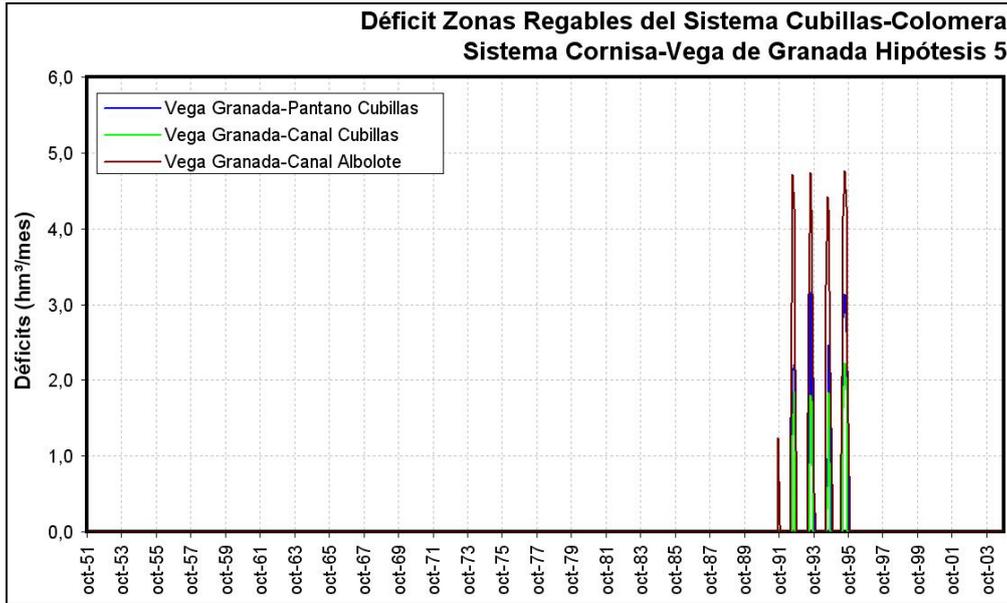


Figura 245. Déficits simulados para las zonas regables del subsistema Cubillas-Colomera. Hipótesis 5 (embalse de Velillos)

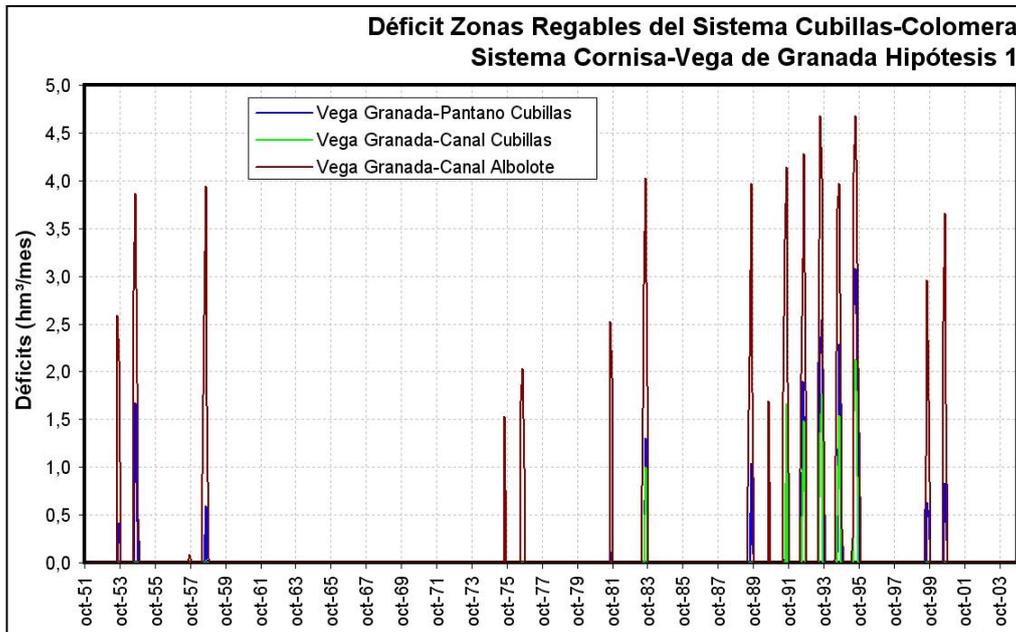


Figura 246. Déficits simulados para las zonas regables del subsistema Cubillas-Colomera. Hipótesis 1 (situación actual)

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).

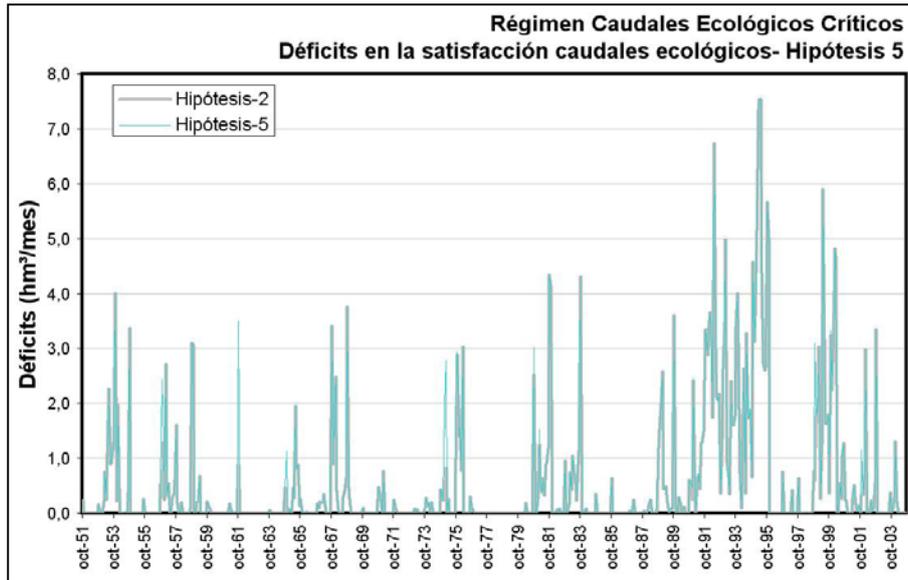


Figura 247. Déficits asociados a la demanda en caudales ecológicos sistema Canales-Quéntar. Hipótesis 5

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.

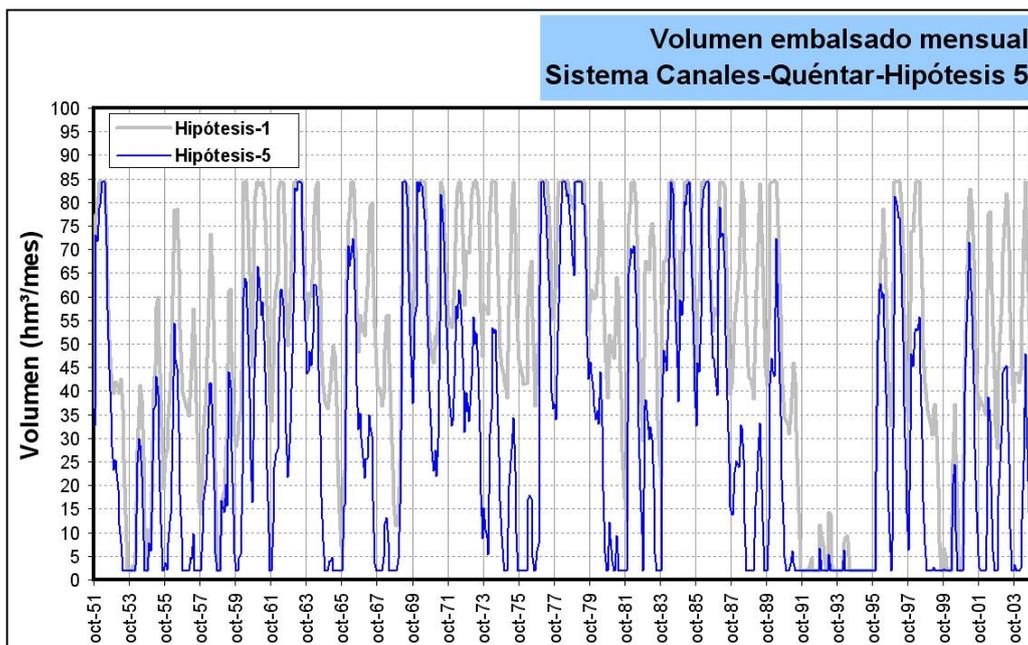


Figura 248. Evolución de los embalses del sistema Canales-Quéntar (Hipótesis 5)

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).

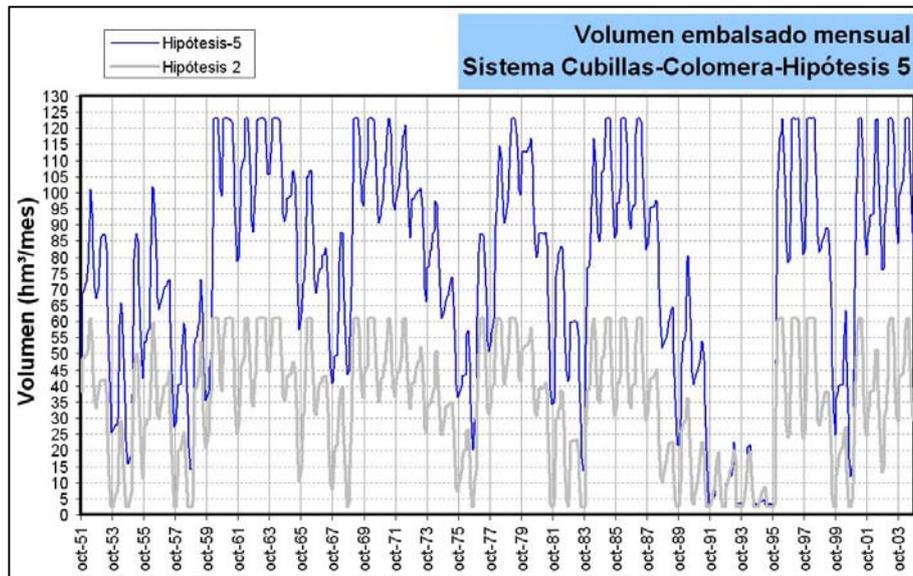


Figura 249. Evolución de los embalses del sistema Cubillas-Colomera (Hipótesis 5)

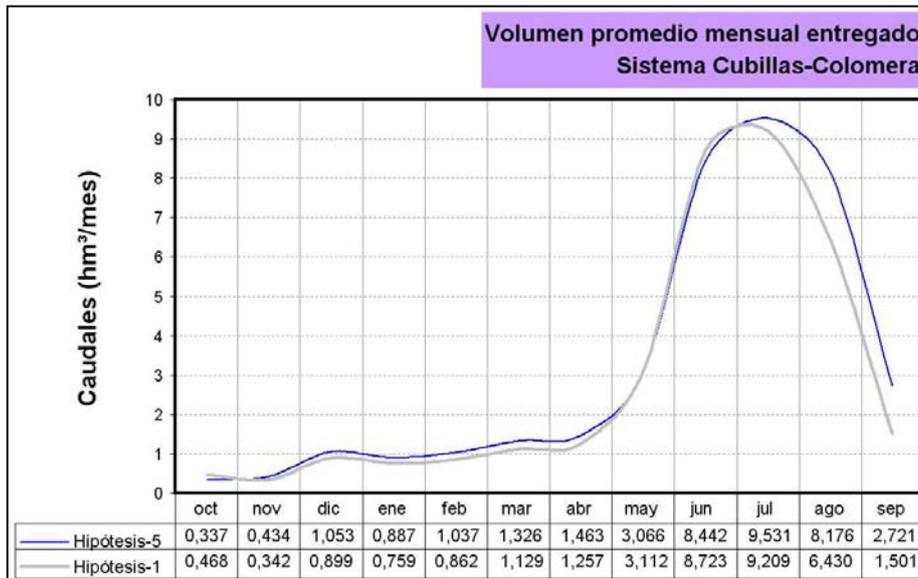


Figura 250. Regulación ofrecida por el sistema Cubillas-Colomera

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).

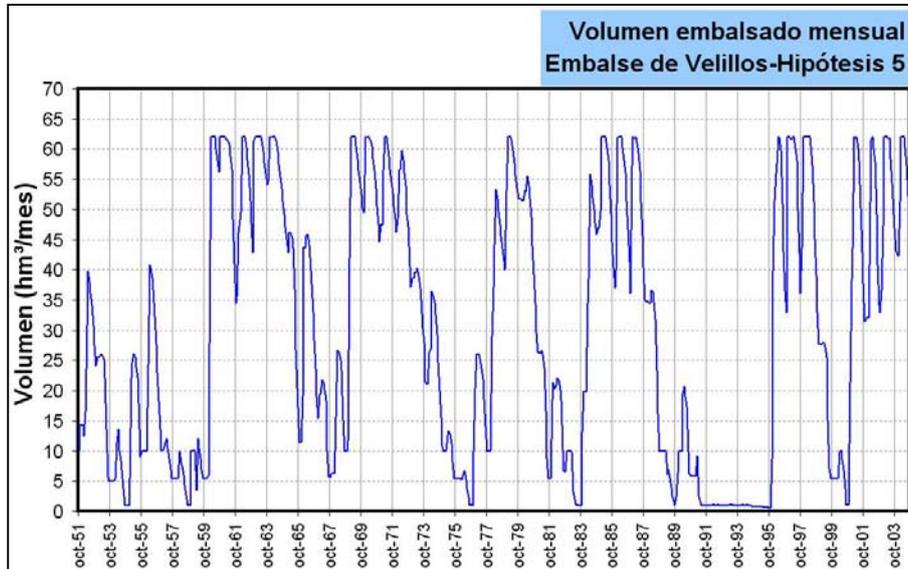


Figura 251. Evolución del embalse de Velillos (Hipótesis 5)

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

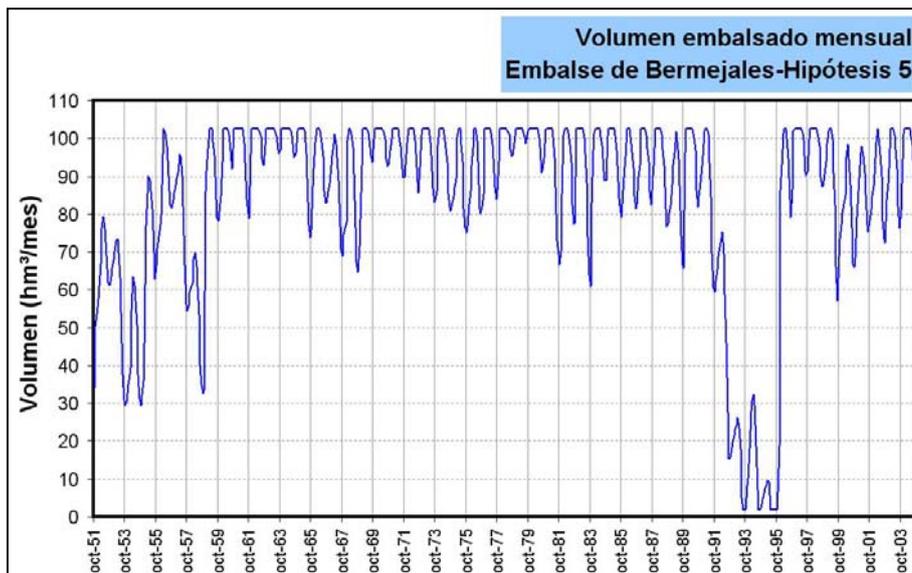


Figura 252. Evolución de los embalses del sistema Bermejales (Hipótesis 5)

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.

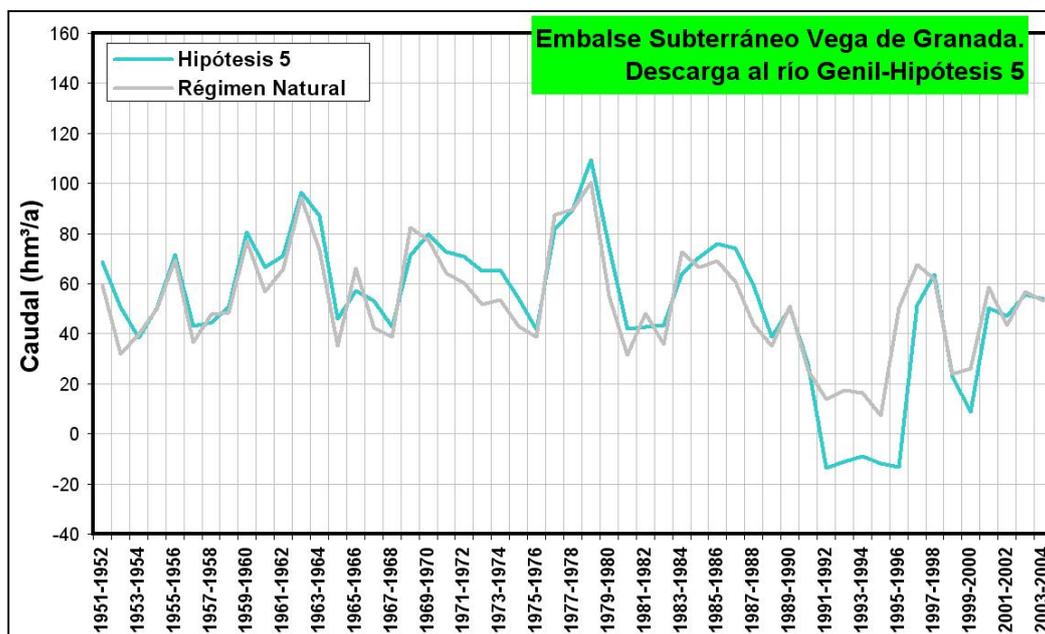


Figura 253. Simulación de la descarga que recibe el río Genil del embalse subterráneo Vega de Granada mediante el modelo de autovalores. Hipótesis 5

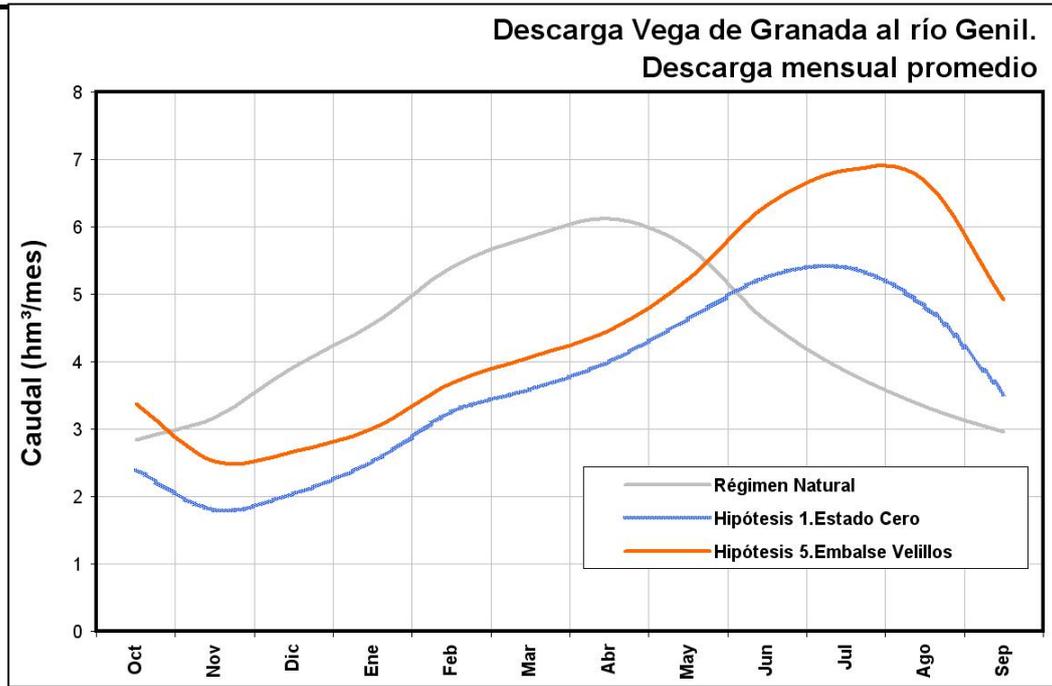


Figura 254. Simulación de la descarga promedio mensual que recibe el río Genil del embalse subterráneo Vega de Granada. Comparativa Hipótesis 5–Régimen Natural

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).

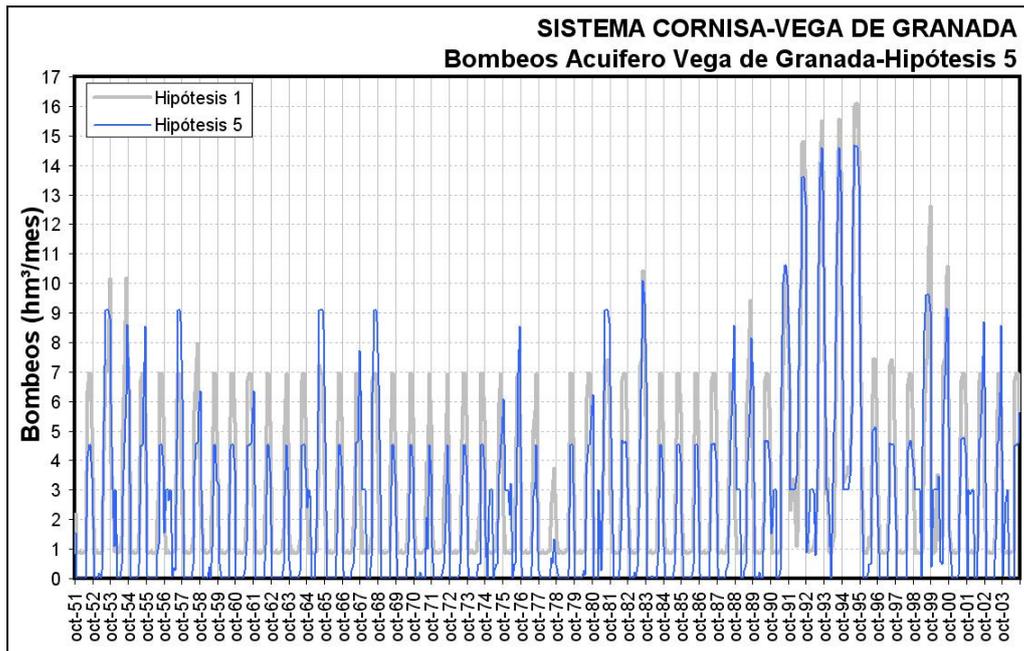


Figura 255. Bombeos en el embalse subterráneo Vega de Granada. Hipótesis 5

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).

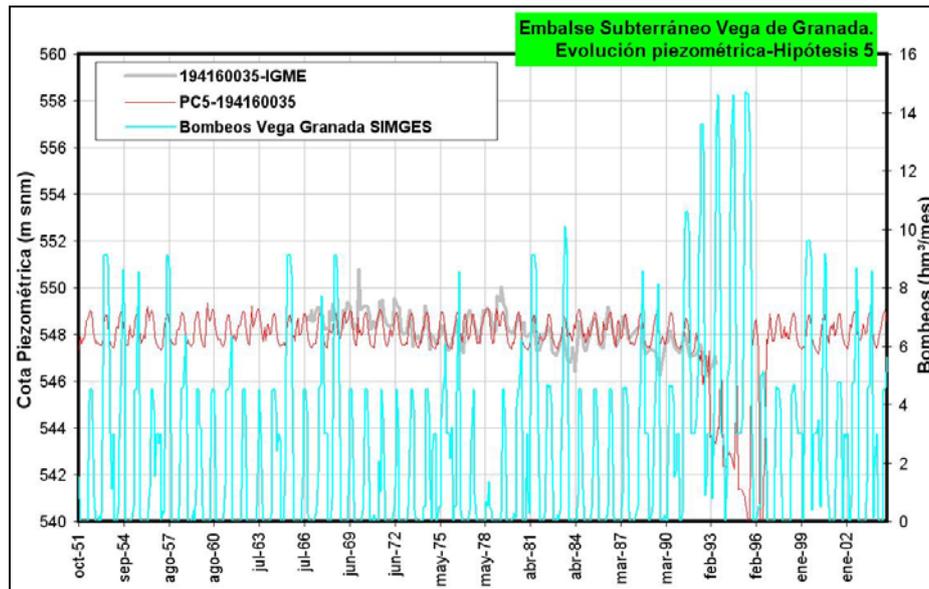


Figura 256. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 5.
Piezómetro 194160035

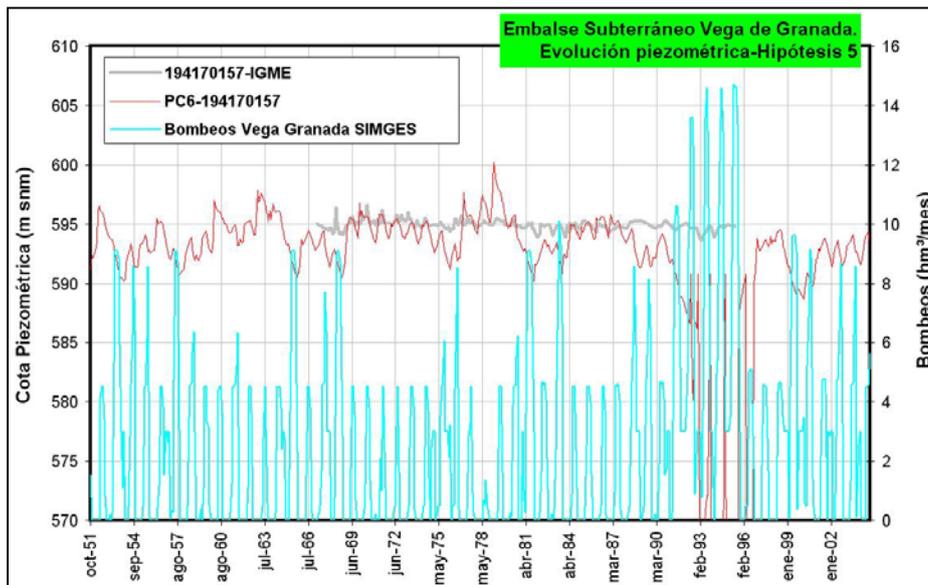


Figura 257. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 5.
Piezómetro 194170157

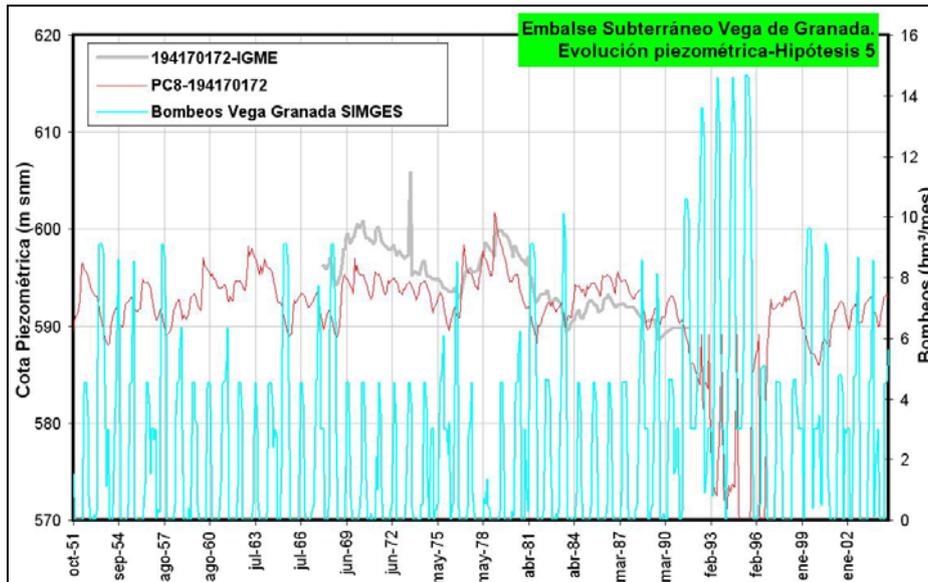


Figura 258. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 5.
Piezómetro 194170172

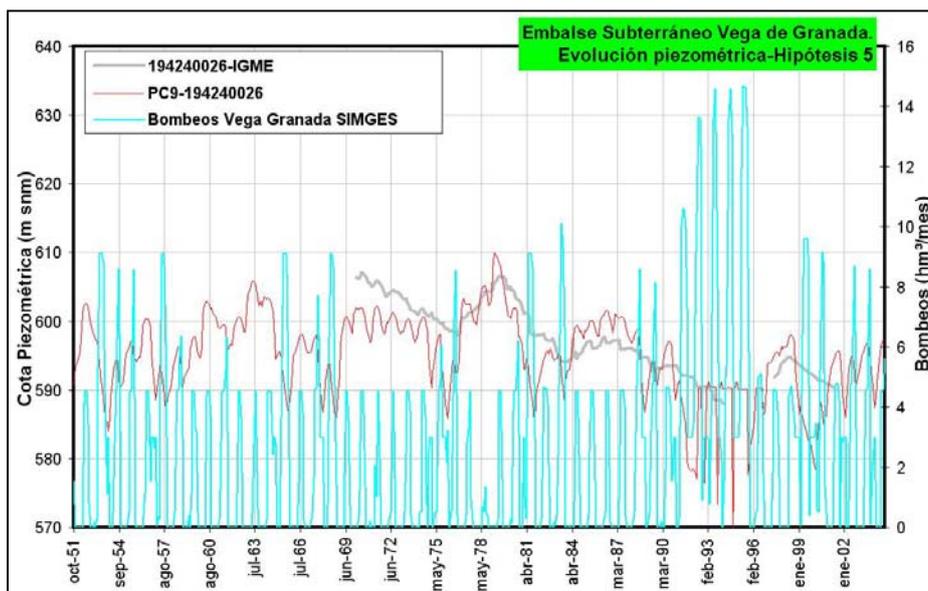


Figura 259. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 5.
Piezómetro 194240026

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.

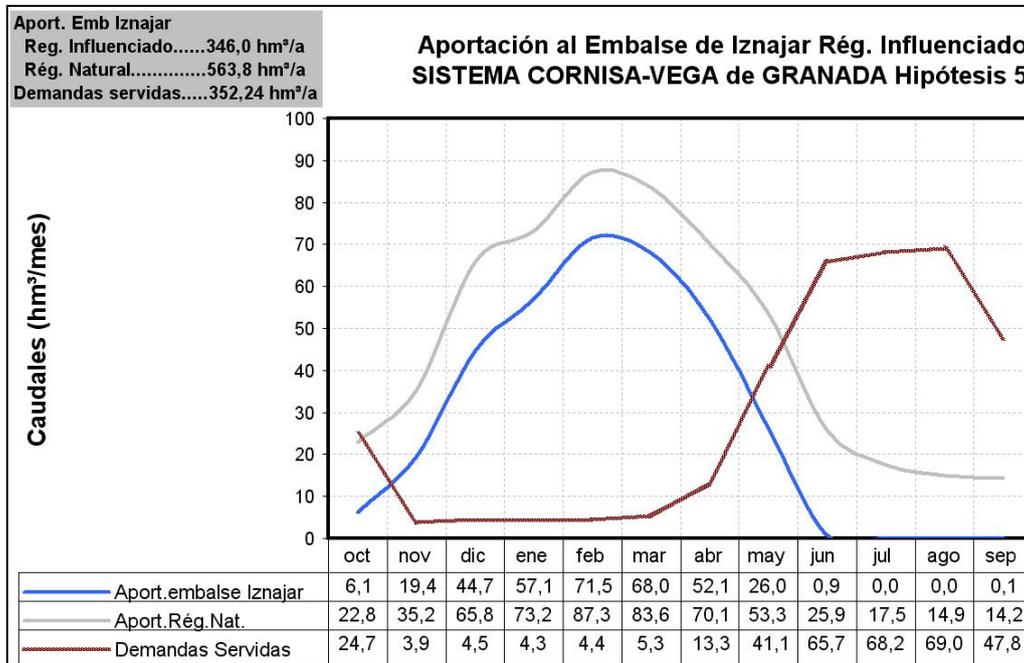


Figura 260. Aportación del Sistema Cornisa-Vega de Granada a Iznajar. Hipótesis 5

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).

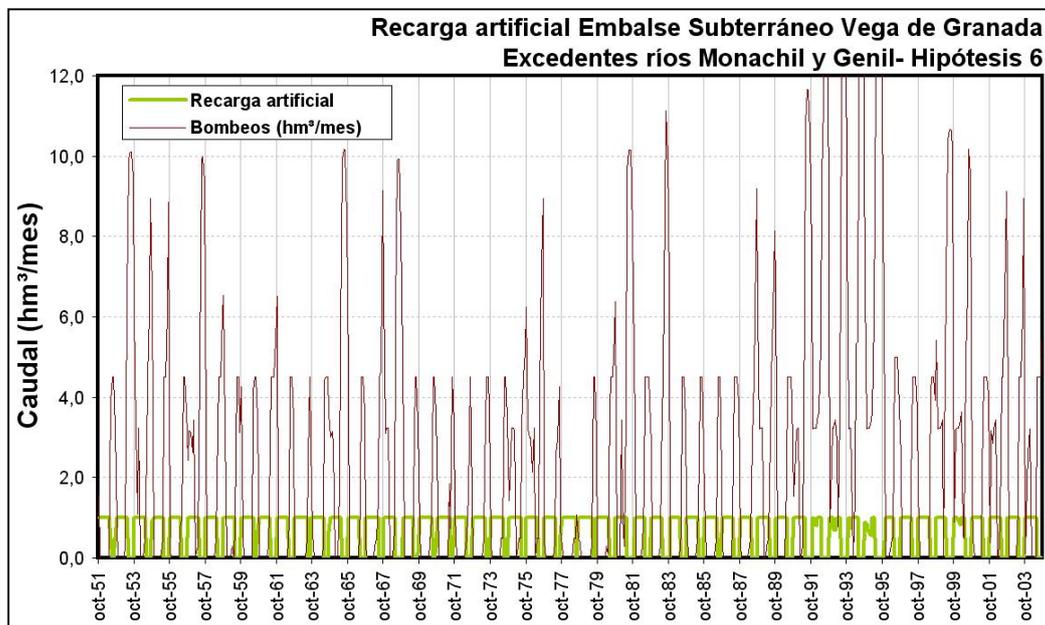


Figura 261. Recarga artificial programada en el embalse subterráneo Vega Granada con excedentes de los ríos Genil y Monachil

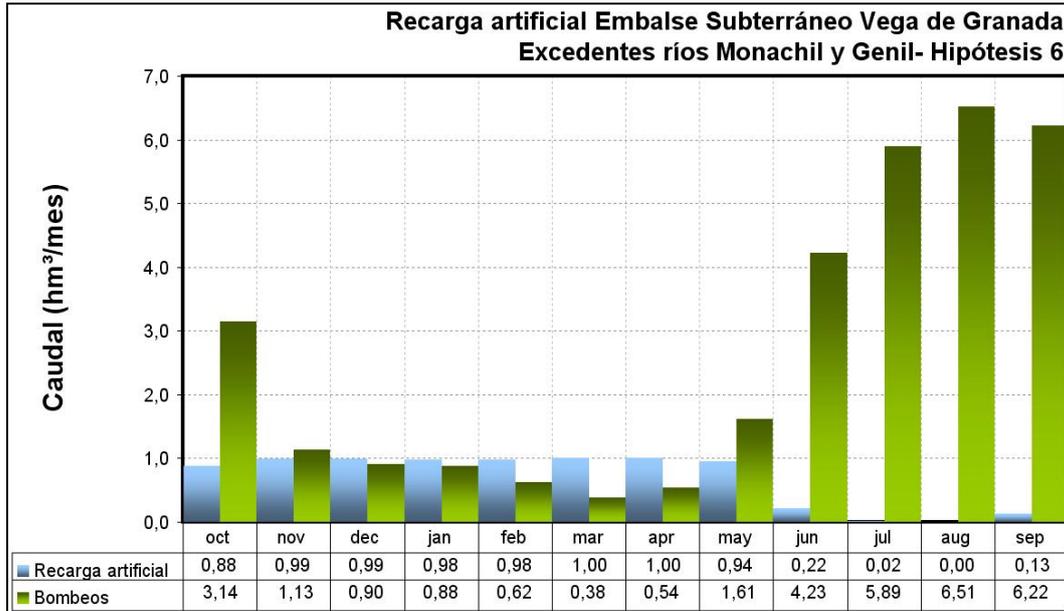


Figura 262. Recarga artificial programada en el embalse subterráneo Vega Granada con excedentes de los ríos Genil y Monachil. Valores promedio mensual

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).

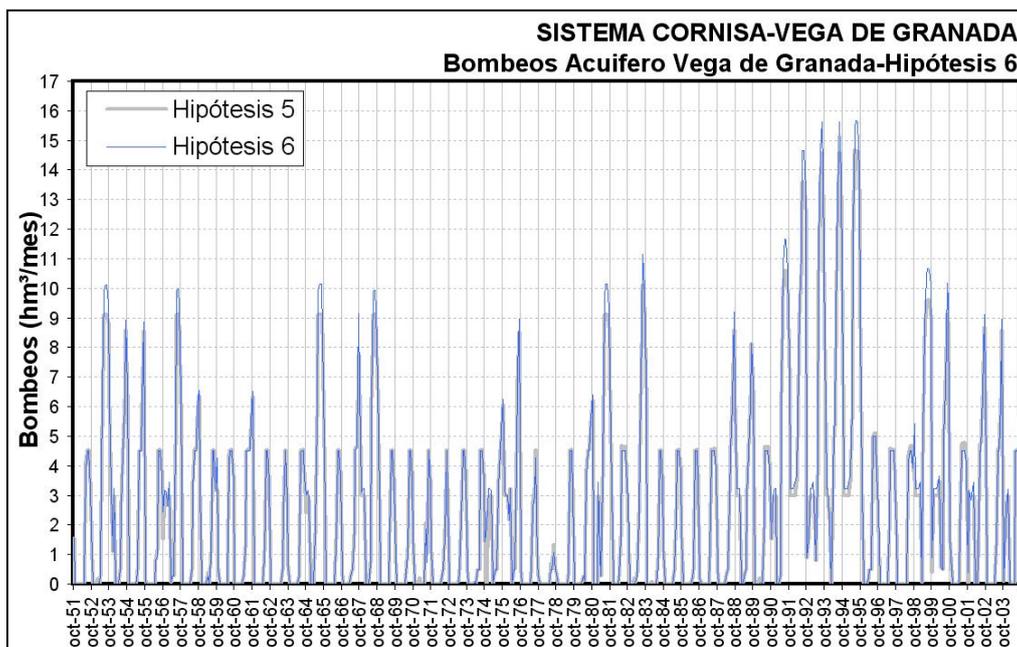


Figura 263. Comparativa bombeos Vega Granada hipótesis 5 e hipótesis 6

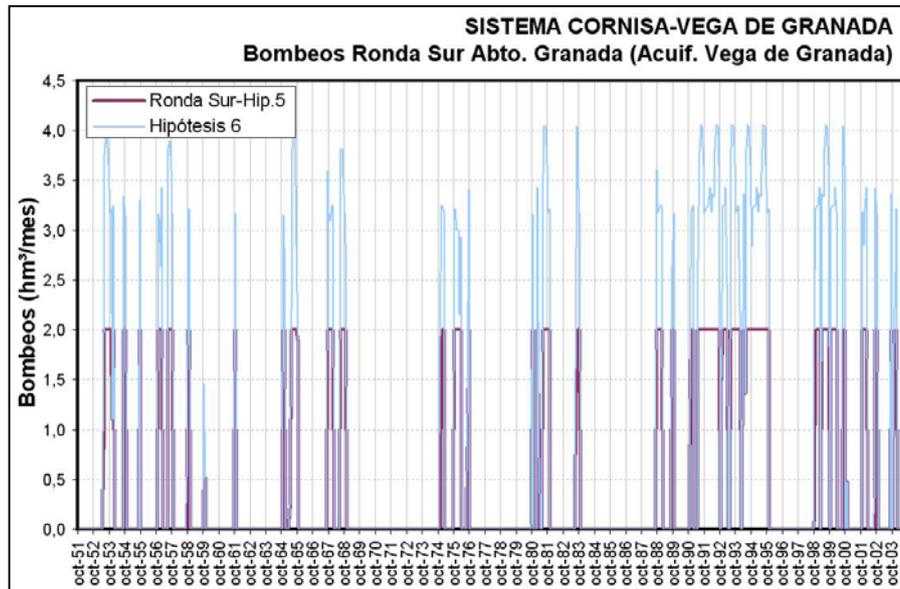


Figura 264. Comparativa bombeos Ronda Sur hipótesis 5 e hipótesis 6

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.

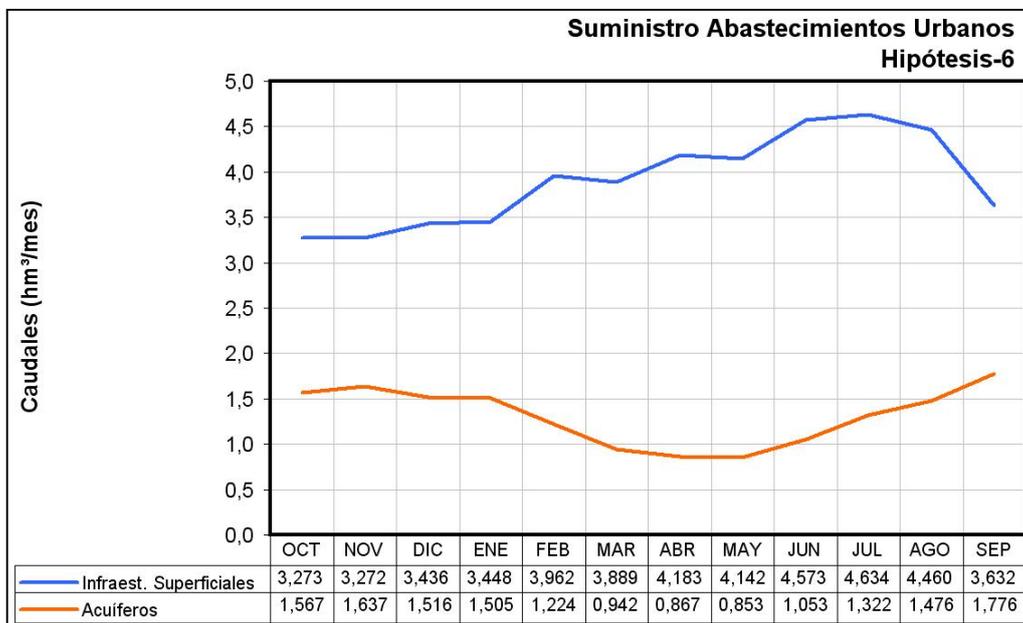


Figura 265. Suministro de agua para abastecimiento urbano Hipótesis-6

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.

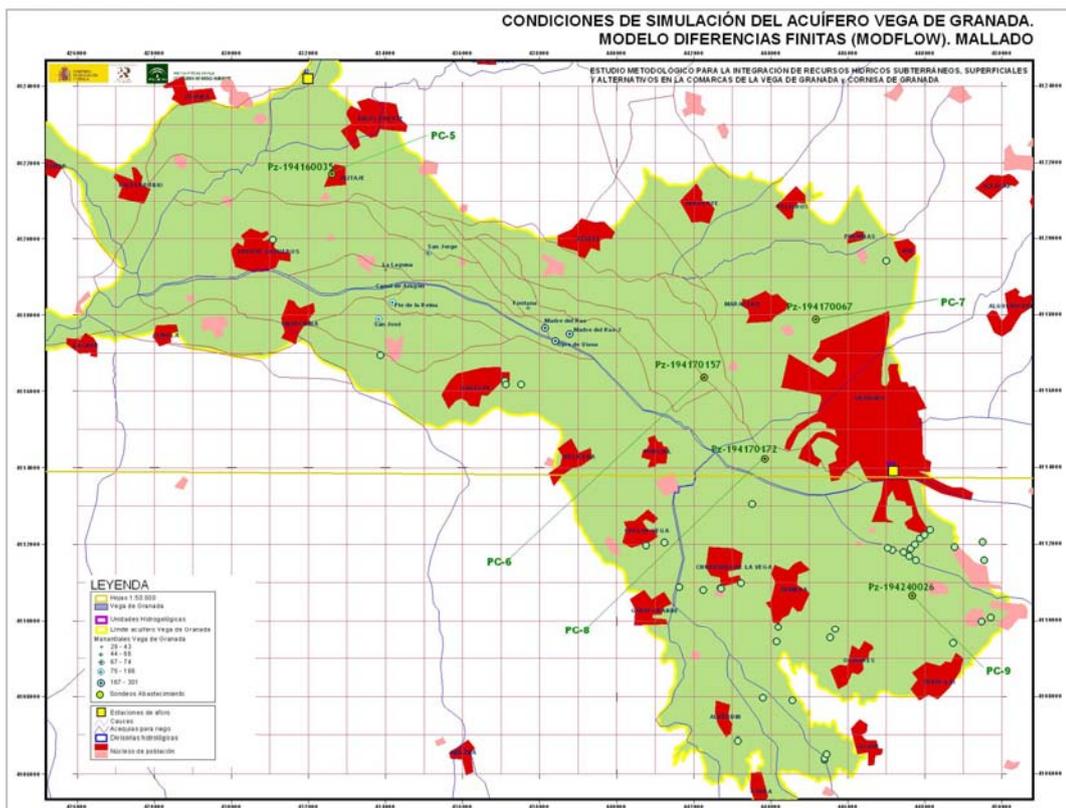


Figura 266. Piezómetros de control del embalse subterráneo Vega de Granada

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.

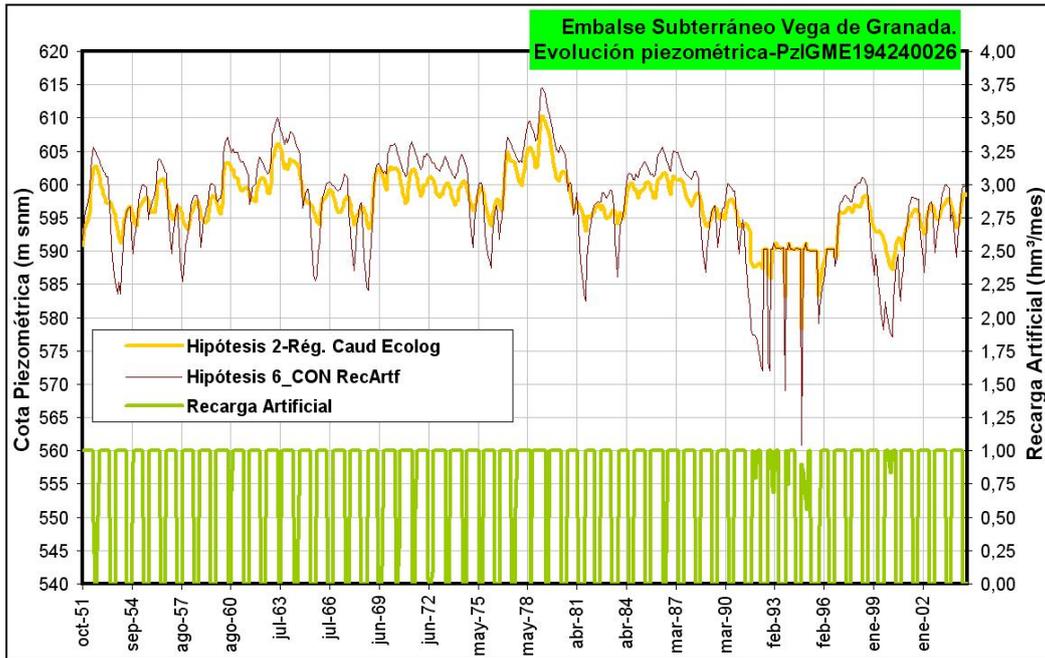


Figura 267. Evolución piezométrica comparada PzIGME 194240026

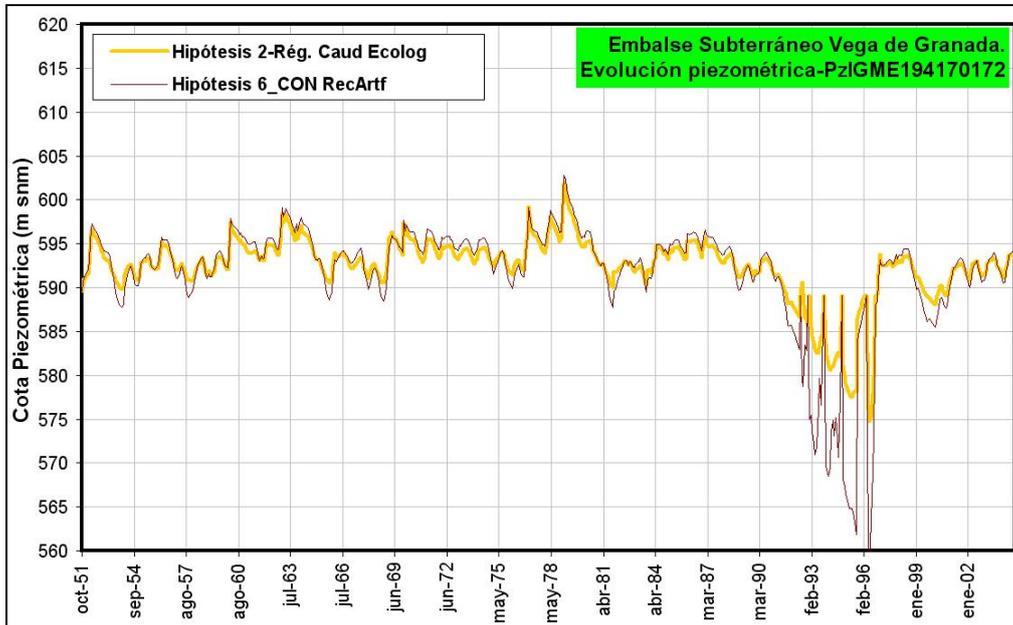


Figura 268. Evolución piezométrica comparada PzIGME 194170172

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)

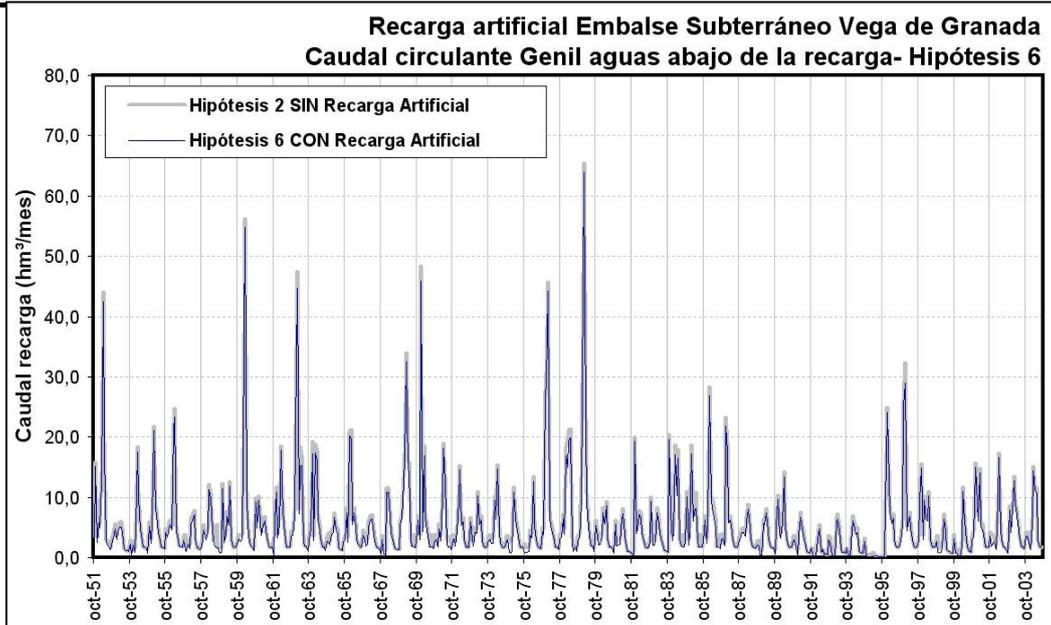


Figura 269. Caudal circulante río Genil aguas abajo de la recarga artificial

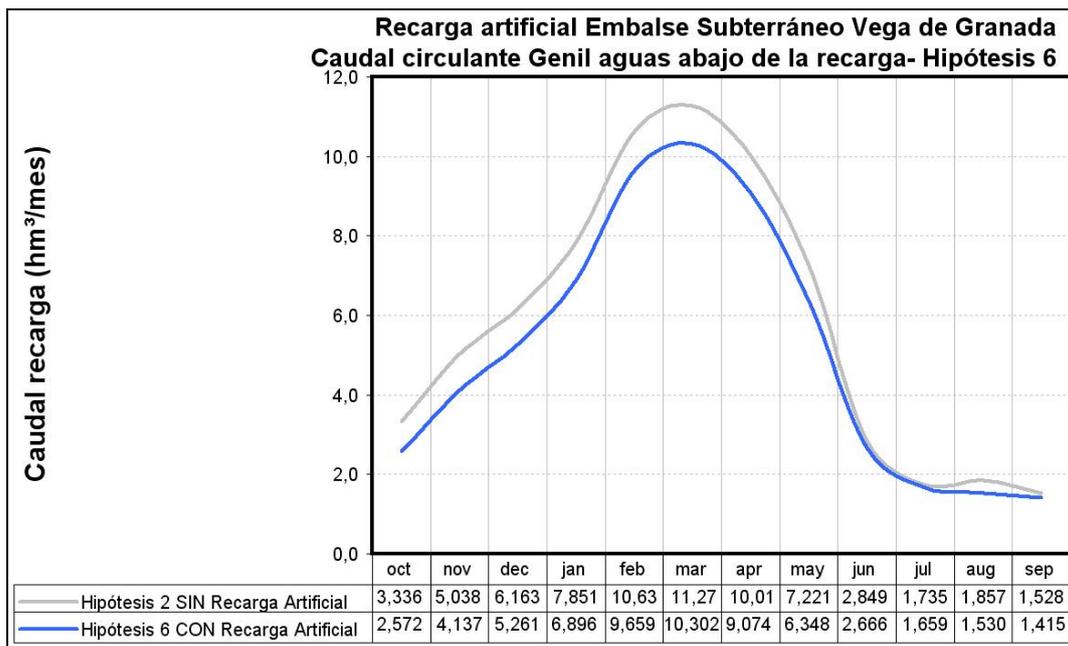


Figura 270. Caudal circulante promedio mensual en el río Genil aguas debajo de la recarga artificial

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.

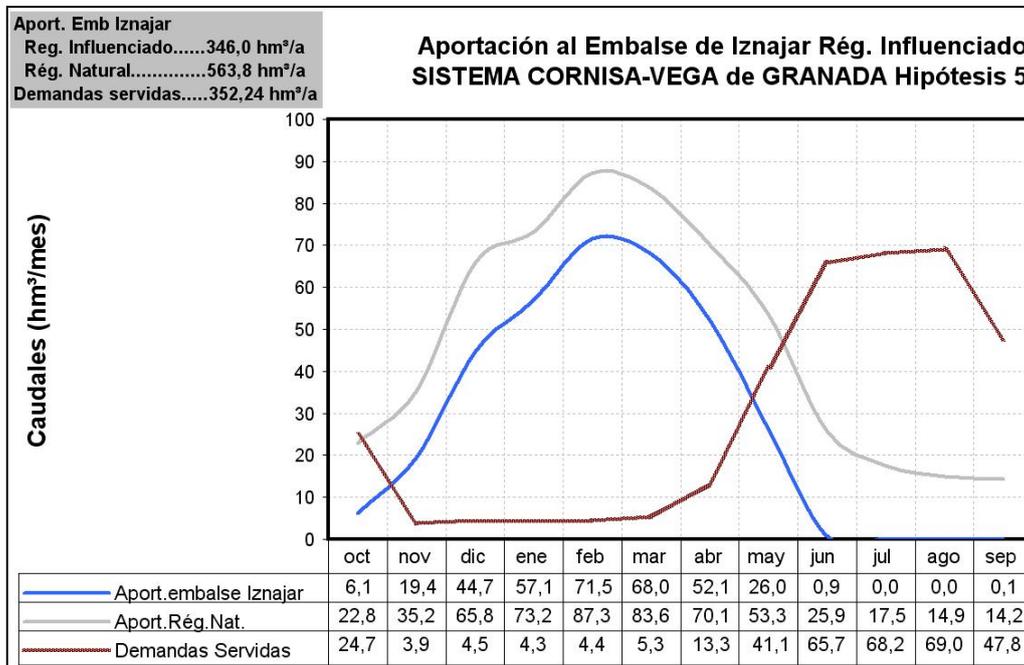


Figura 271. Aportación del Sistema Cornisa-Vega de Granada a Iznajar. Hipótesis 5

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

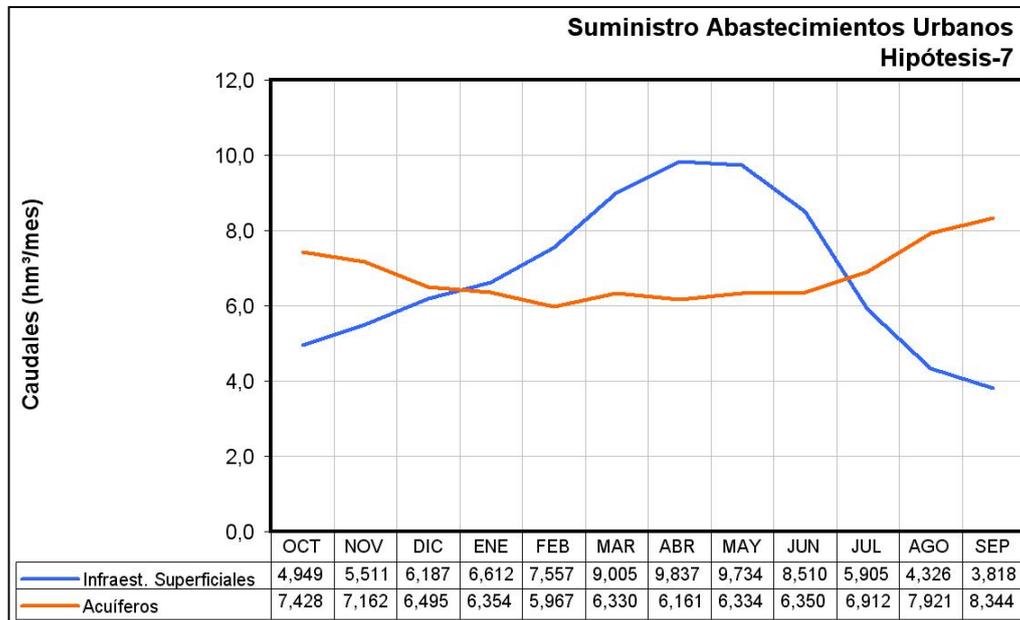


Figura 272. *Suministro de agua para abastecimiento urbano Hipótesis-7*

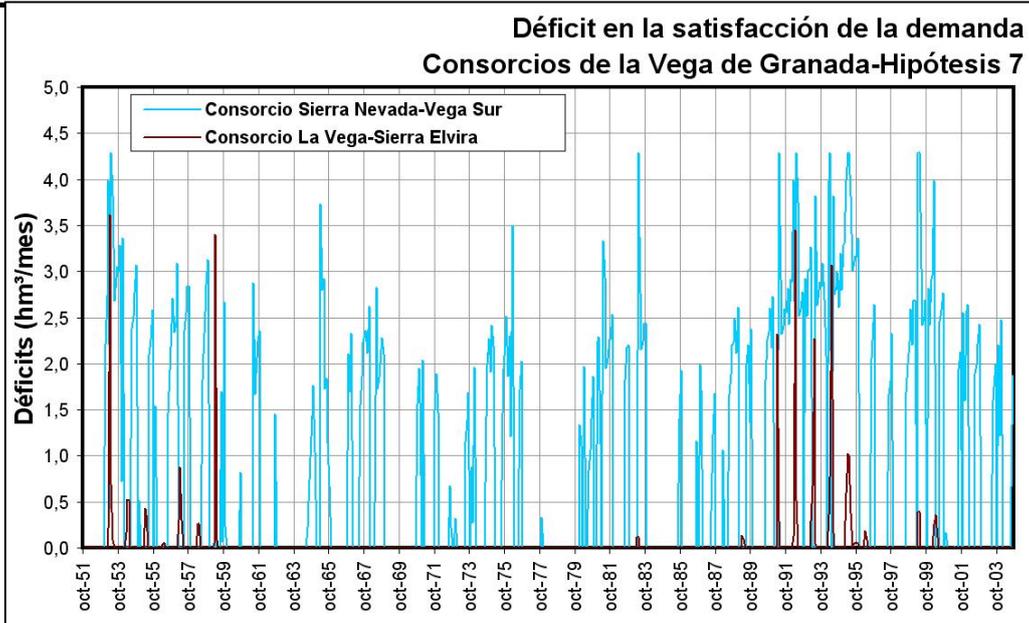


Figura 273. Déficits en el abastecimiento urbano a la Vega de Granada-Hipótesis 7

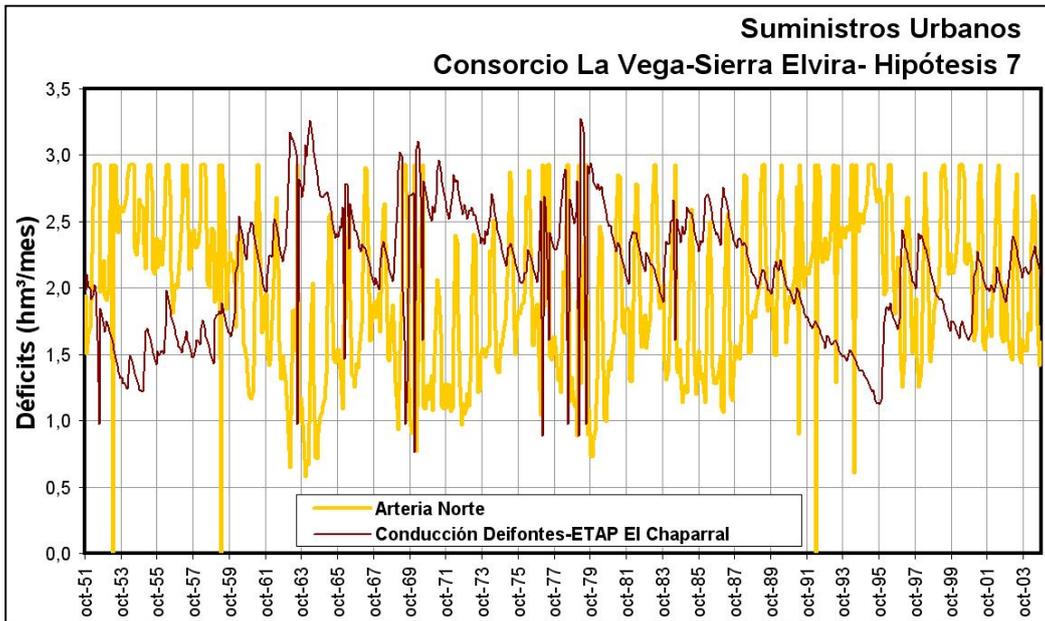


Figura 274. Suministro de agua para abastecimiento al Consorcio La Vega-Sierra Elvira

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).

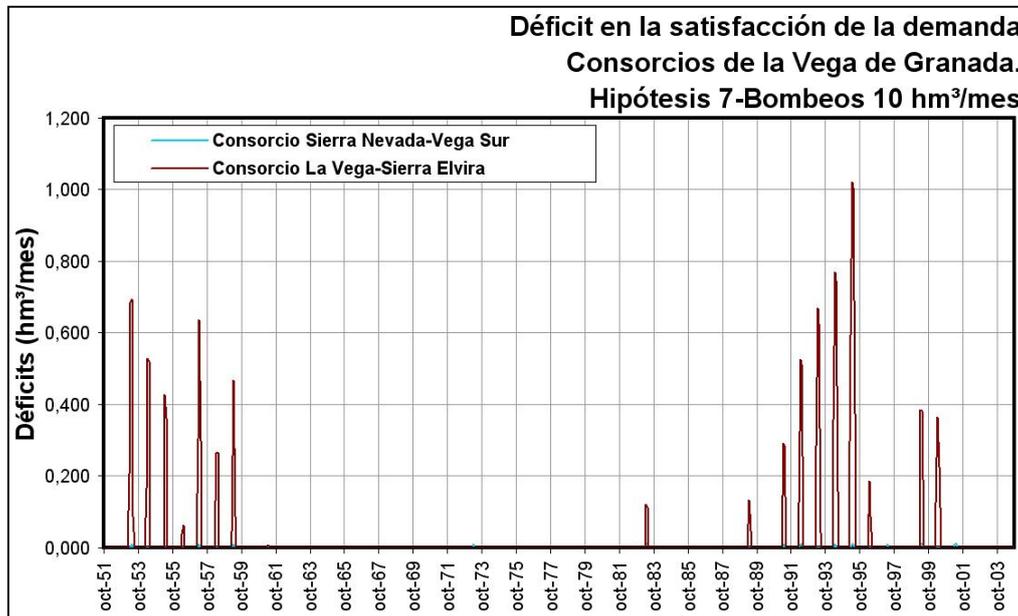


Figura 275. Déficits en el abastecimiento urbano a la Vega de Granada-Hipótesis 7 con bombes en la Vega de Granada para abastecimiento de 10 hm³/mes

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).

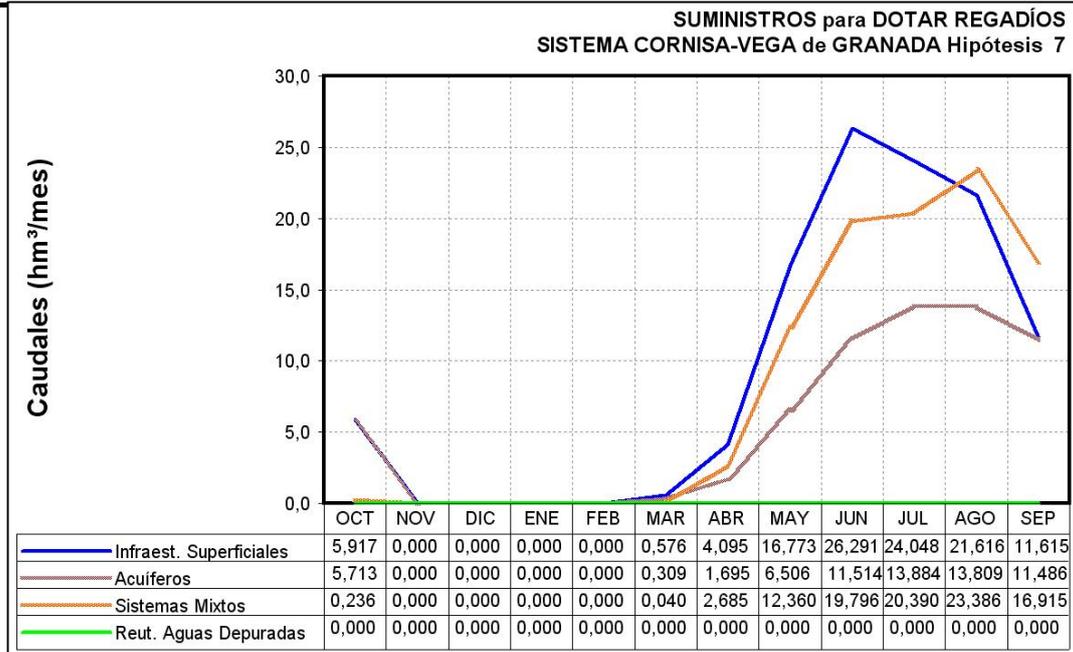


Figura 276. Procedencia de los recursos suministrado para riegos.
Hipótesis 7

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.

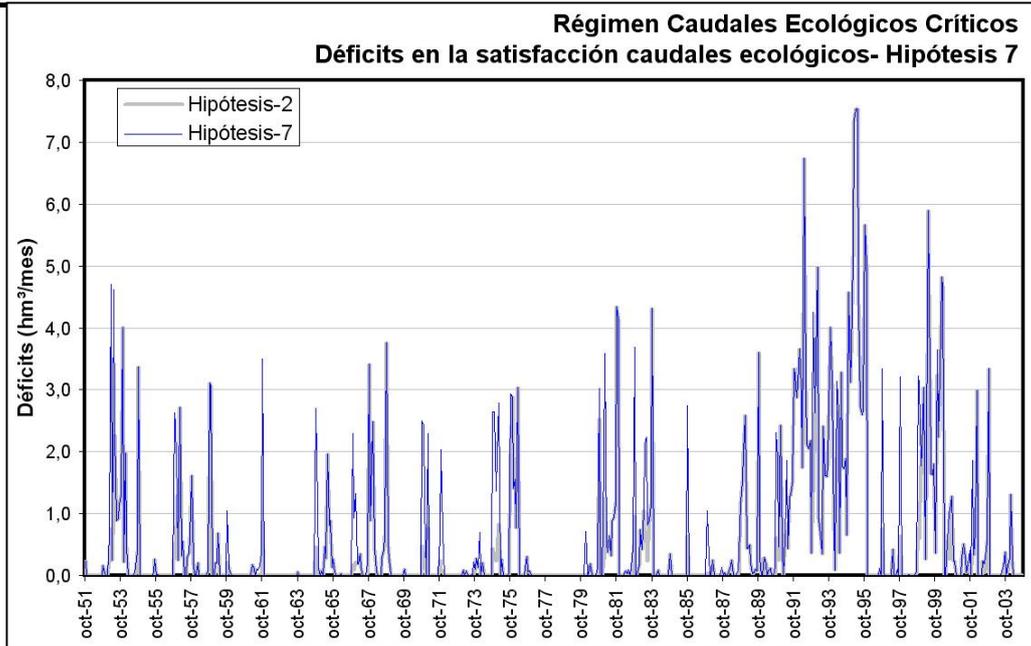


Figura 277. Déficits asociados a la demanda en caudales ecológicos sistema Canales-Quéntar. Hipótesis 7

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).

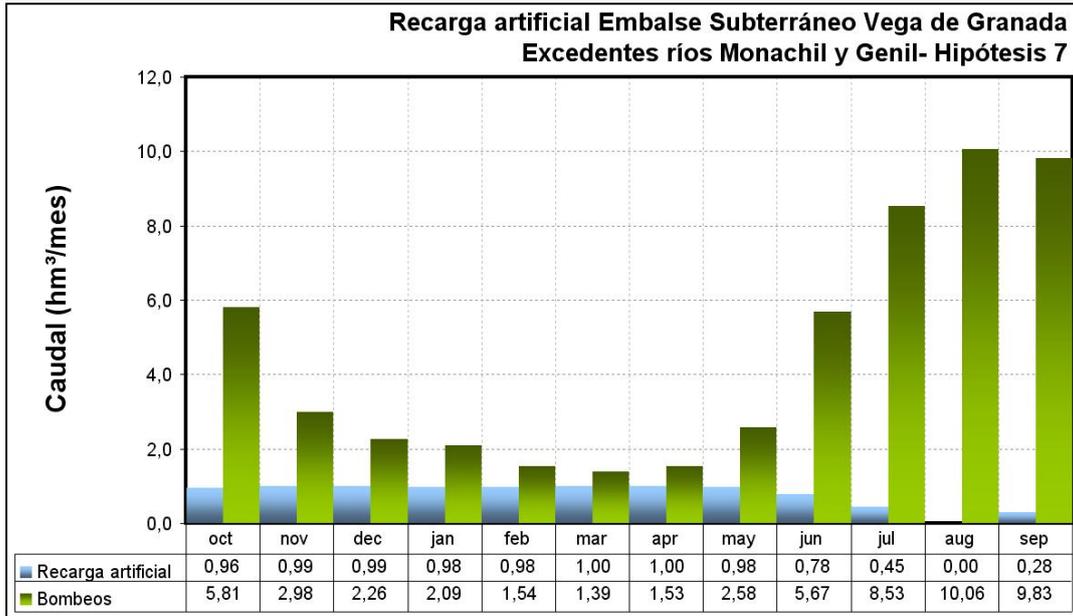


Figura 278. Recarga artificial embalse subterráneo Vega de Granada. Promedio mensual-Hipótesis 7

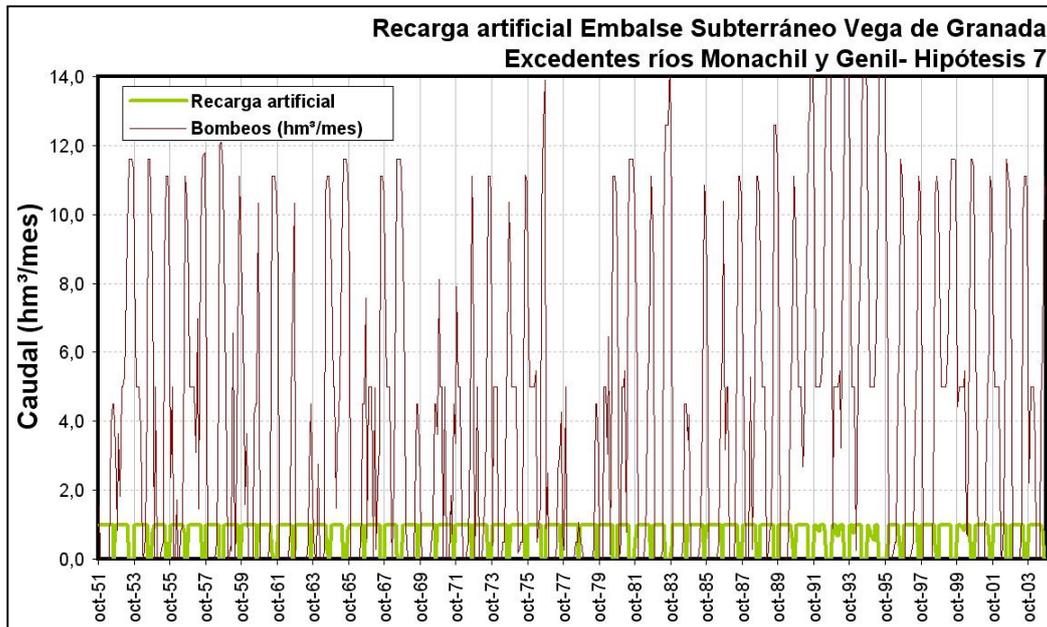


Figura 279. Recarga artificial embalse subterráneo Vega de Granada. Serie completa mensual-Hipótesis 7

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.

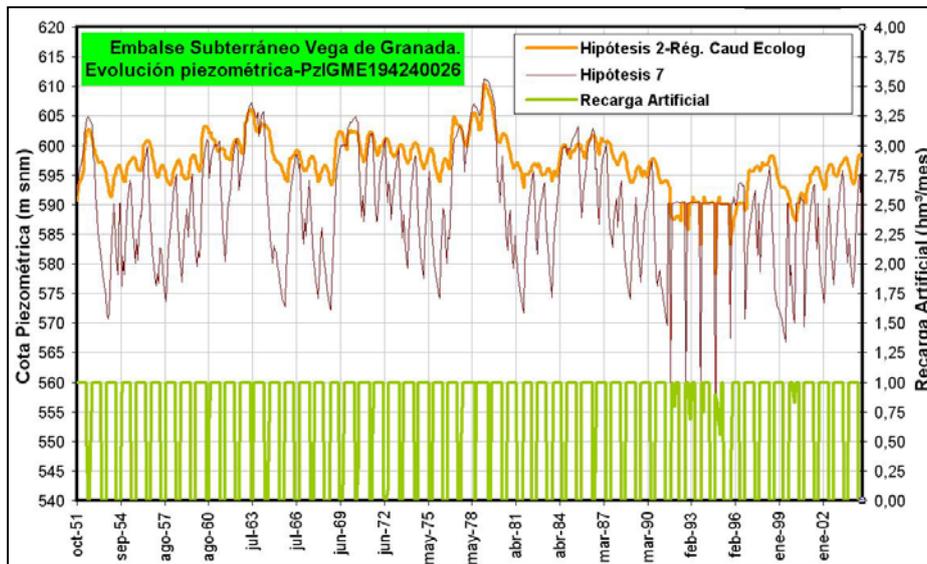


Figura 280. Evolución piezométrica comparada PzIGME 194240026

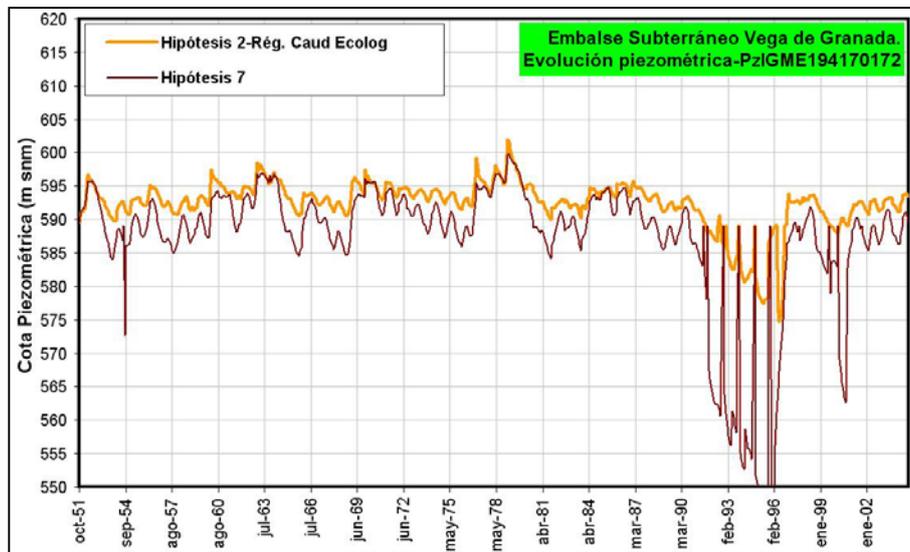


Figura 281. Evolución piezométrica comparada PzIGME 194170172

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).

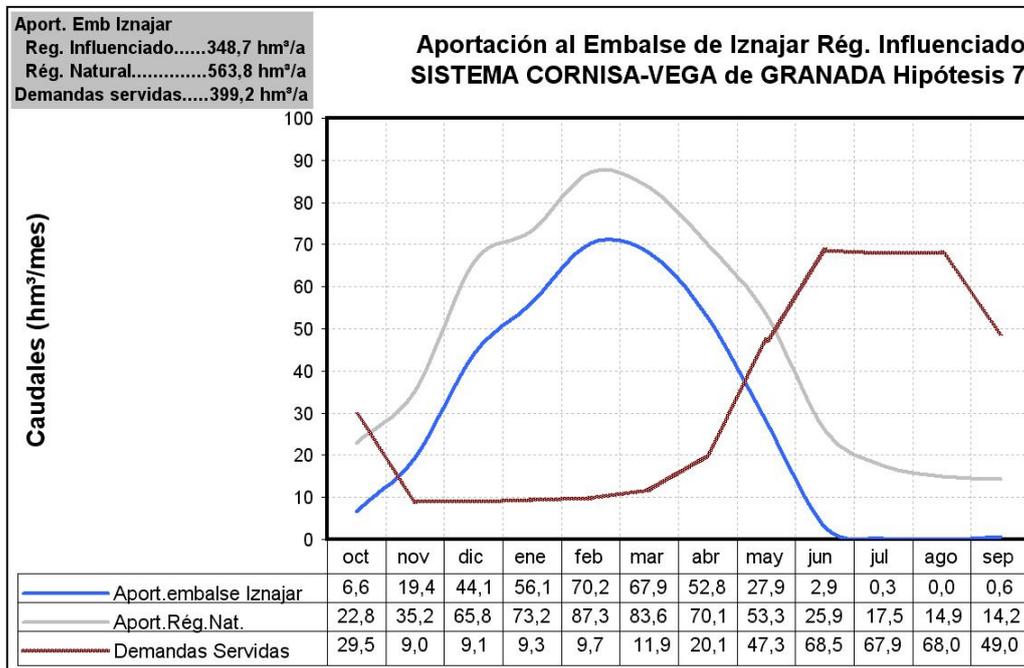
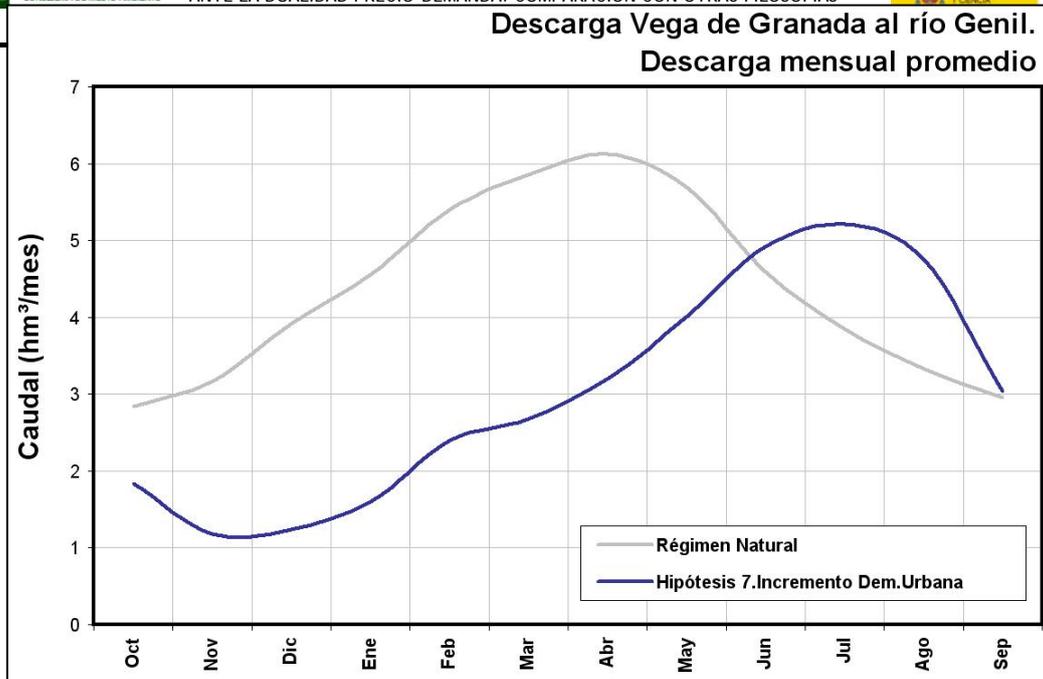


Figura 282. Descarga que registra el río Genil procedente del embalse subterráneo Vega de Granada

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 Cacín	8	Zona Regable del Canal del Cacín	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 Cacín	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 Cacín	8	Zona Regable del Canal del Cacín	64,6%	7.515	4.853	6.500
Vegas de Granada	16	Vega Granada-Vega Alta	67,9%	9.358	6.354	
	17	Vega Granada-Monachil-Dílar	67,9%	9.459	6.423	
	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	
Cubillas-Colomera	9	Vega Baja del Genil	67,0%	9.605	6.439	5.325
	24	Vega Granada-Pantano Cubillas	67,9%	9.716	6.597	
	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).

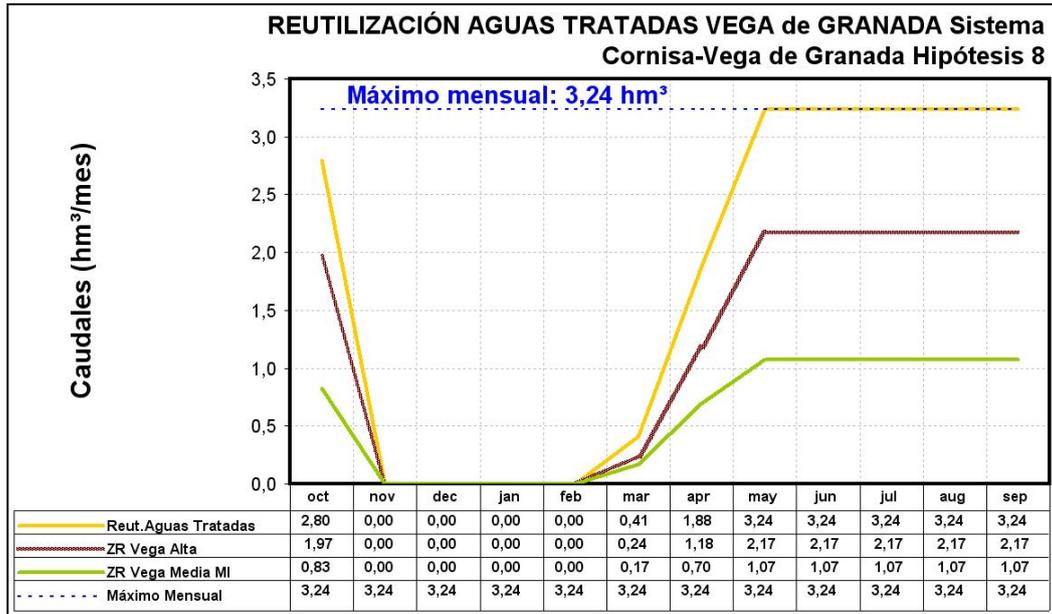


Figura 284. Posibilidades de reutilización de las aguas tratadas en el riego de la Vega de Granada

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 Cacán, 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).

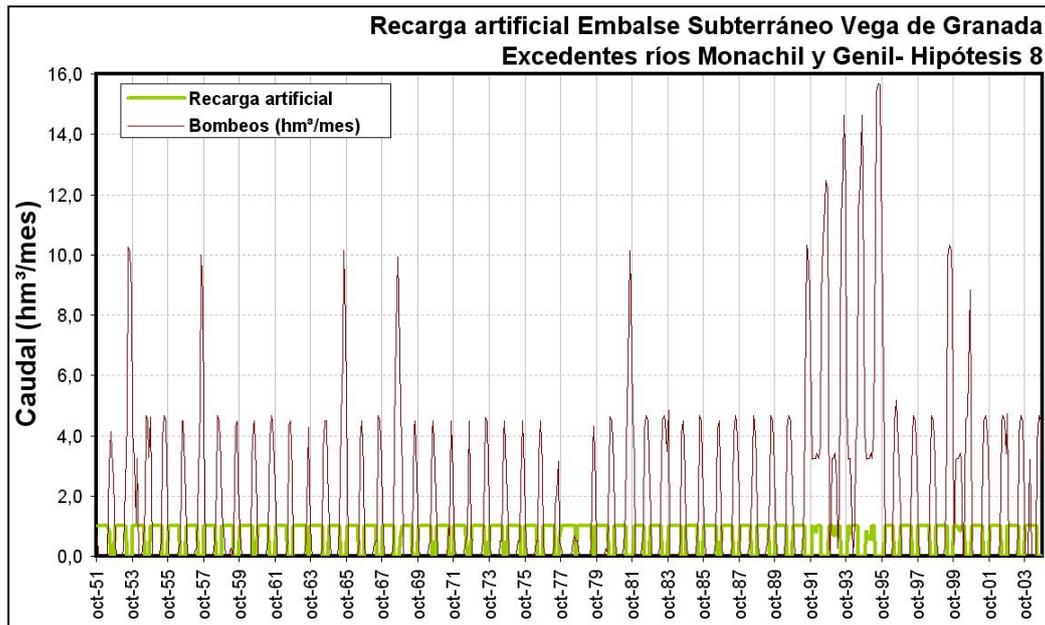


Figura 285. Recarga artificial programada en el embalse subterráneo Vega Granada con excedentes de los ríos Genil y Monachil–Hipótesis 8

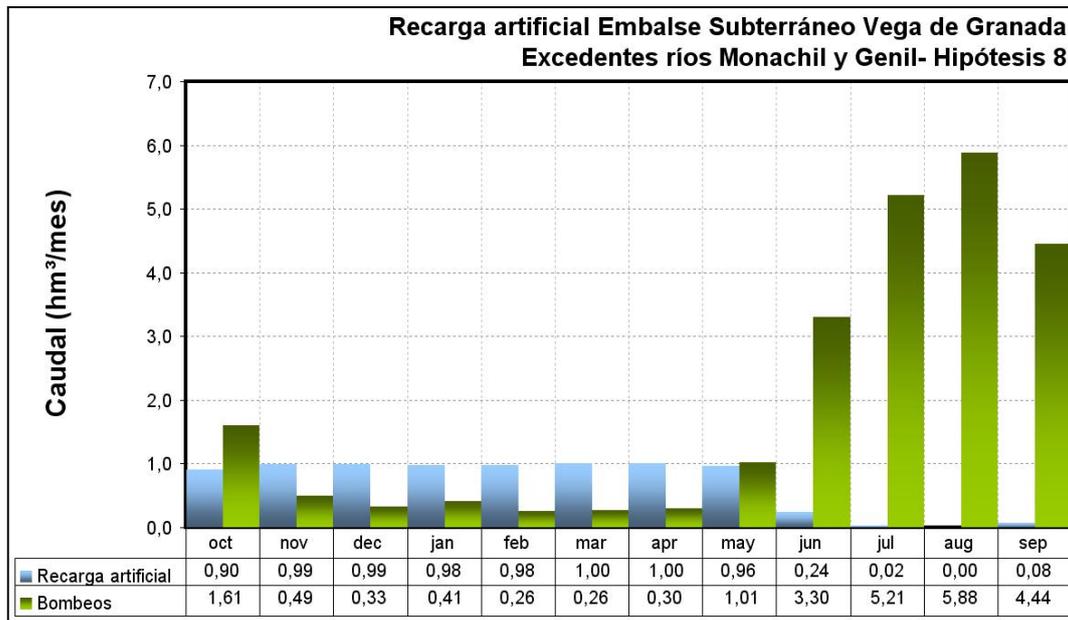


Figura 286. Recarga artificial programada en el embalse subterráneo Vega Granada con excedentes de los ríos Genil y Monachil. Valores promedio mensual. Hipótesis 8

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).

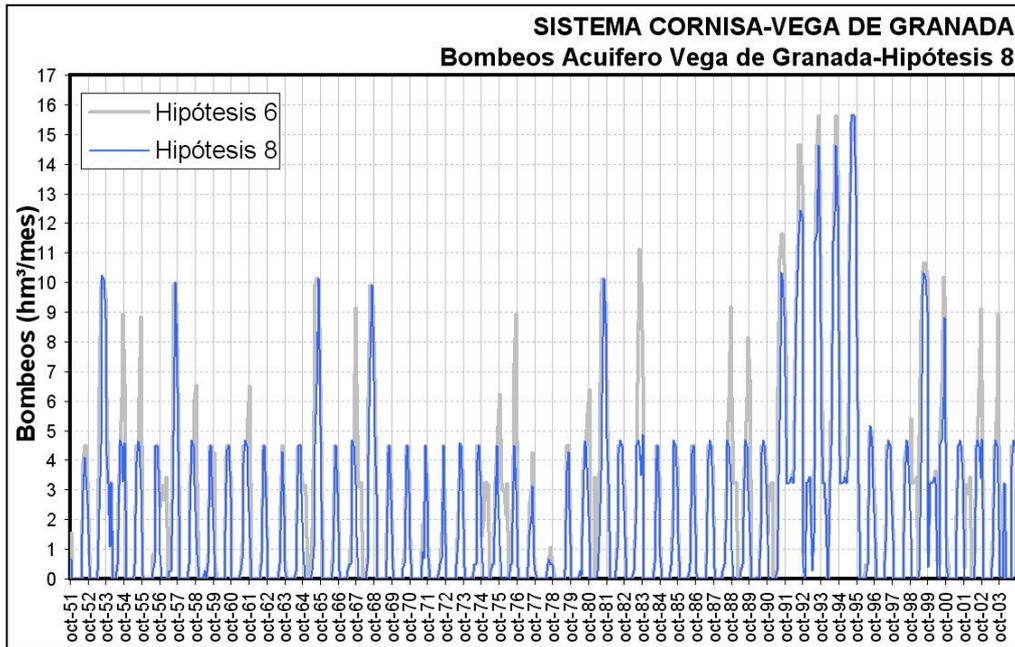


Figura 287. Comparativa bombeos Vega Granada hipótesis 6 e hipótesis 8

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.

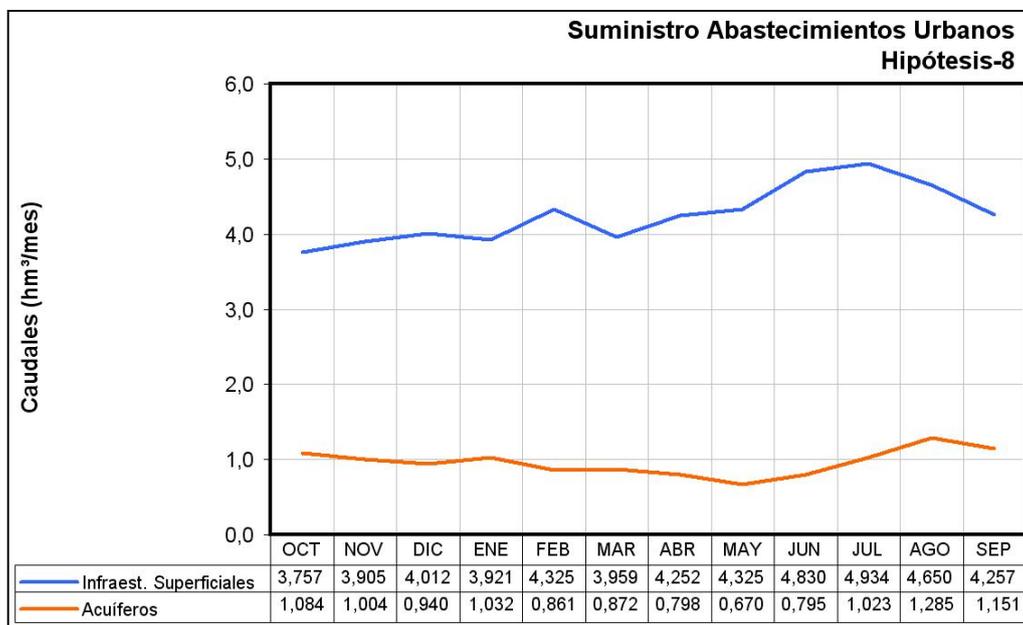


Figura 288. Suministro de agua para abastecimiento urbano Hipótesis-8

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).

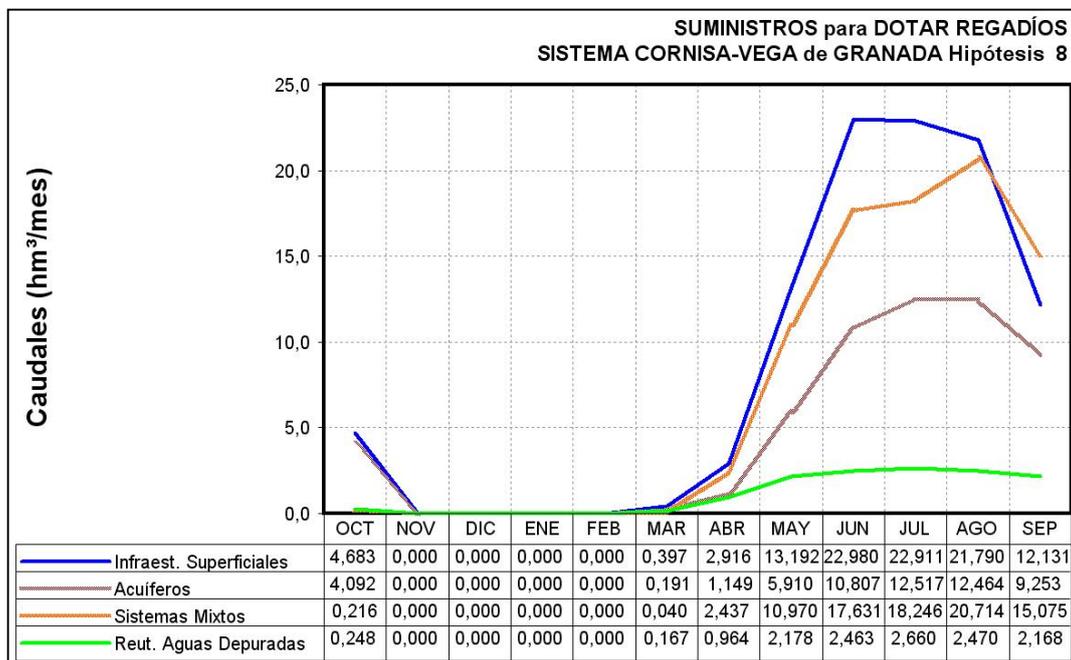


Figura 289. Procedencia de los recursos suministrado para riegos. Hipótesis 8

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

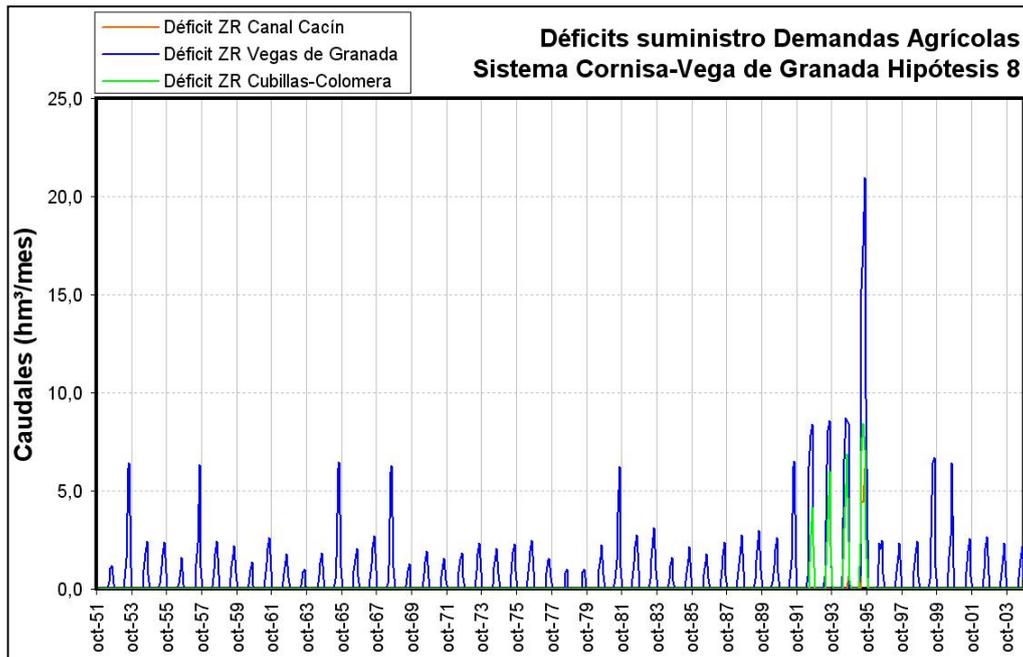


Figura 290. Déficits simulados para las zonas regables del subsistema Cubillas-Colomera. Hipótesis 8

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).

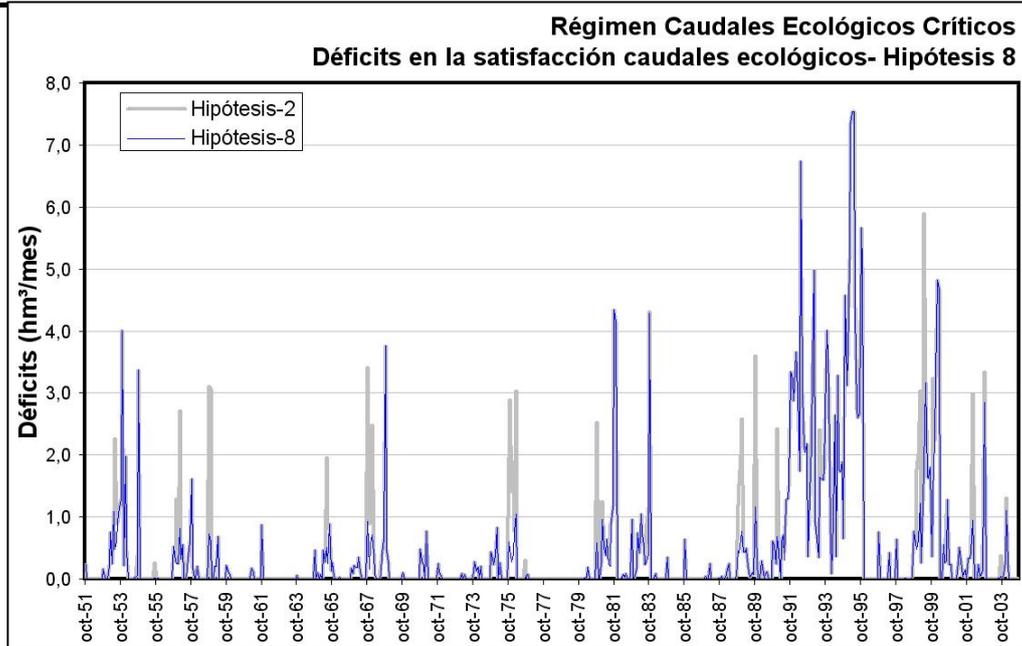


Figura 291. Déficits asociados a la demanda en caudales ecológicos sistema Canales-Quéntar. Hipótesis 8

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).

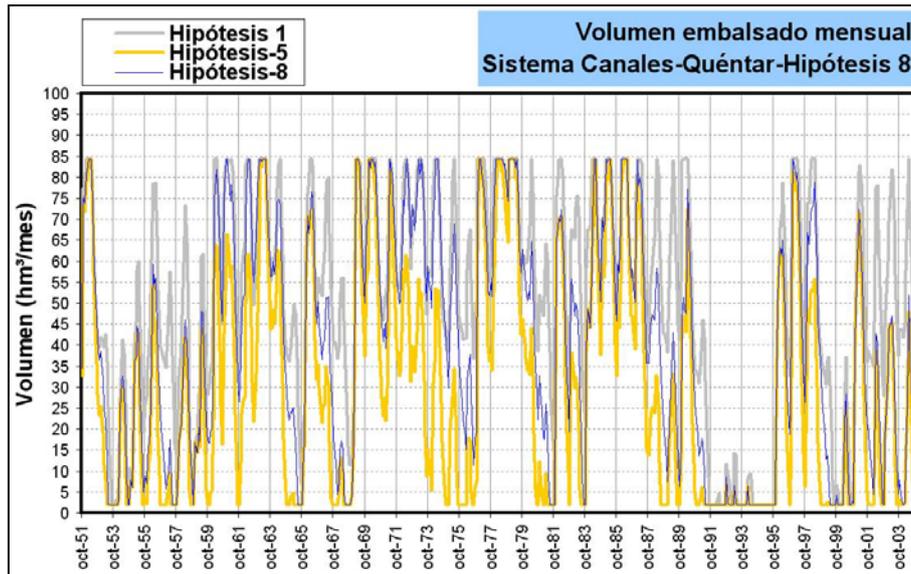


Figura 292. Evolución de los embalses del sistema Canales-Quéntar (Hipótesis 8)

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).

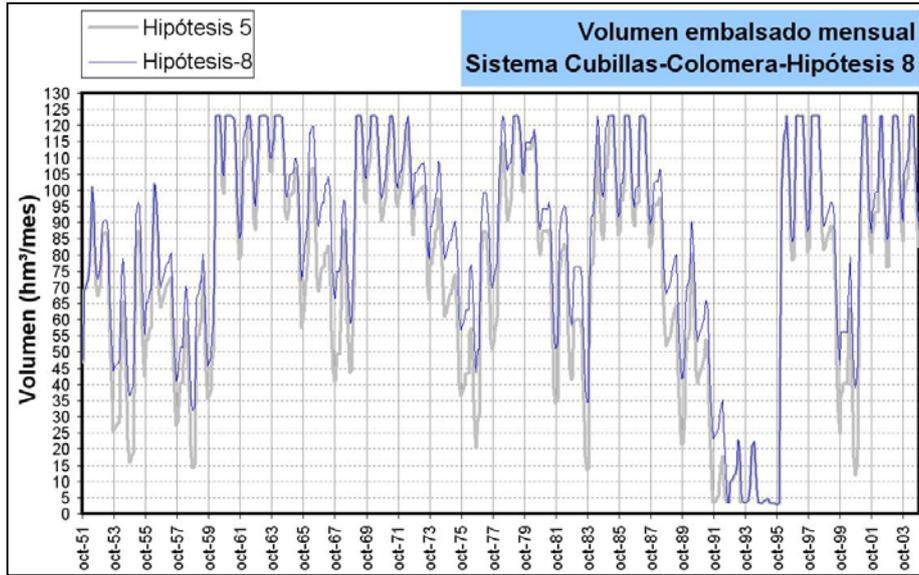


Figura 293. Evolución de los embalses del sistema Cubillas-Colomera (Hipótesis 8)

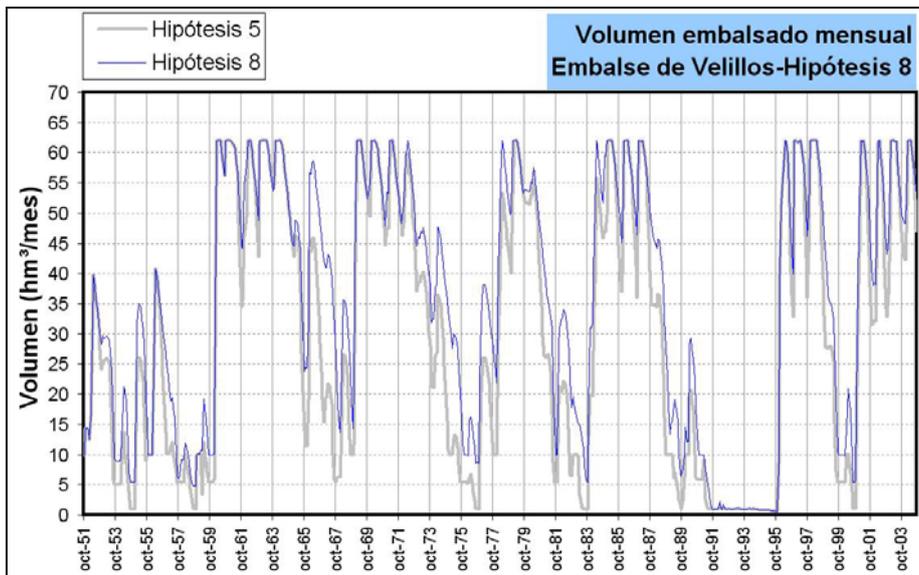


Figura 294. Evolución del embalse de Velillos (Hipótesis 8)

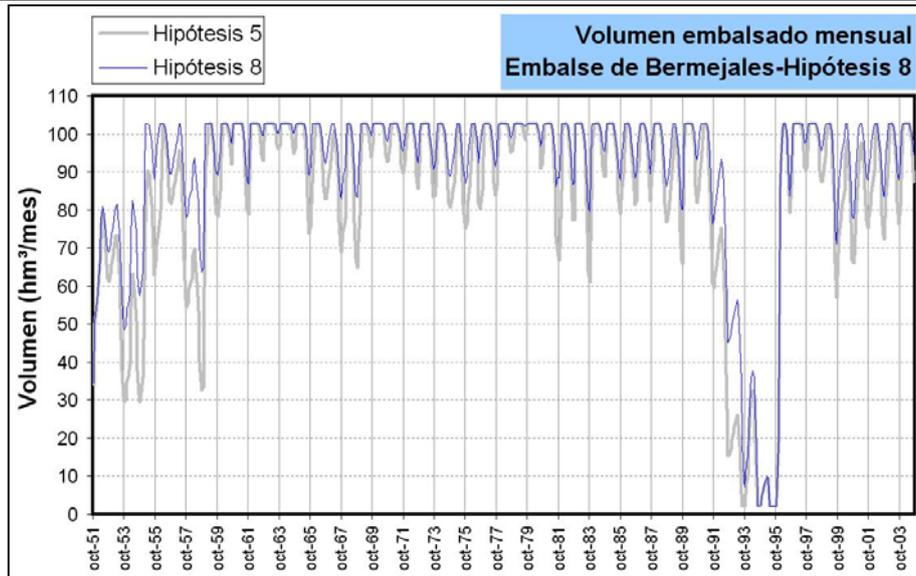


Figura 295. Evolución de los embalses del sistema Bermejales (Hipótesis 8)

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.

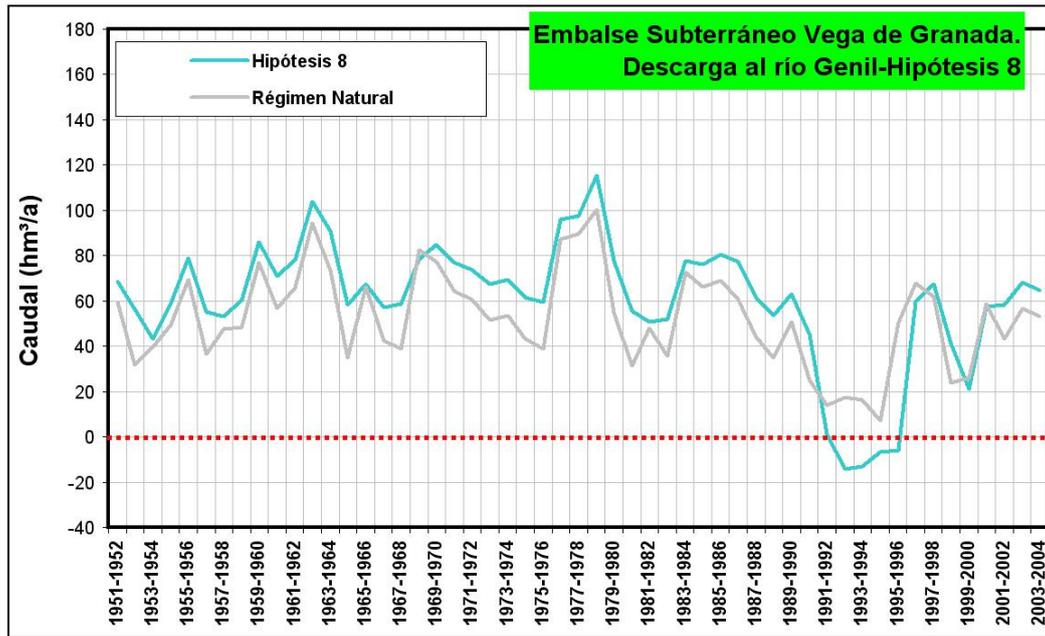


Figura 296. Simulación de la descarga que recibe el río Genil del embalse subterráneo Vega de Granada mediante el modelo de autovalores. Hipótesis 8

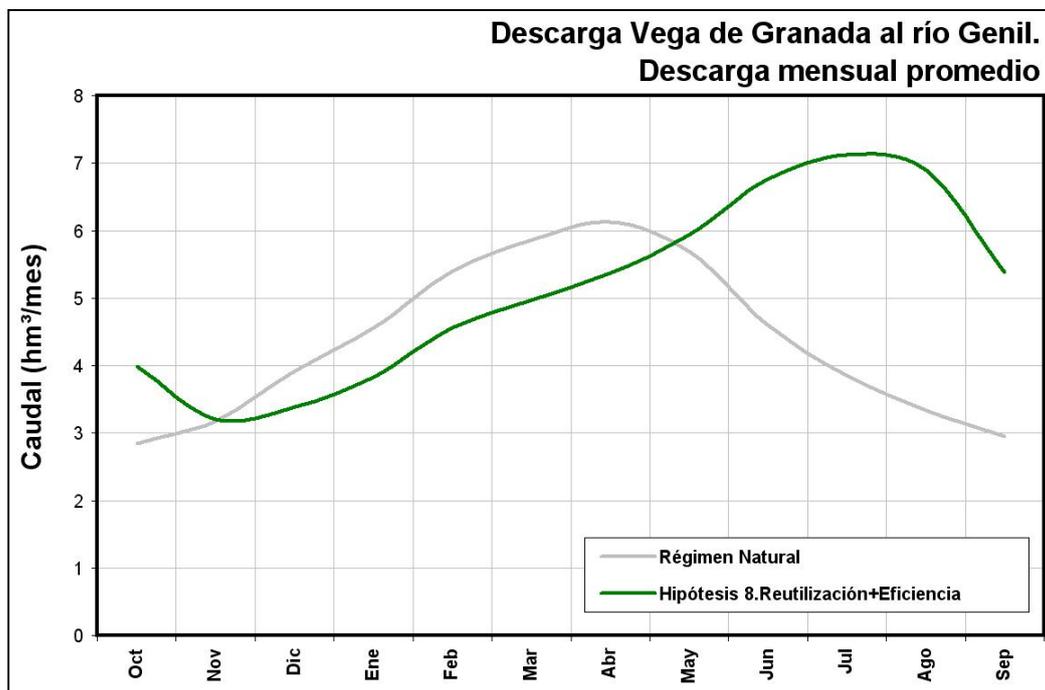


Figura 297. Comparativa de la descarga que recibe el río Genil del embalse subterráneo Vega de Granada

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.

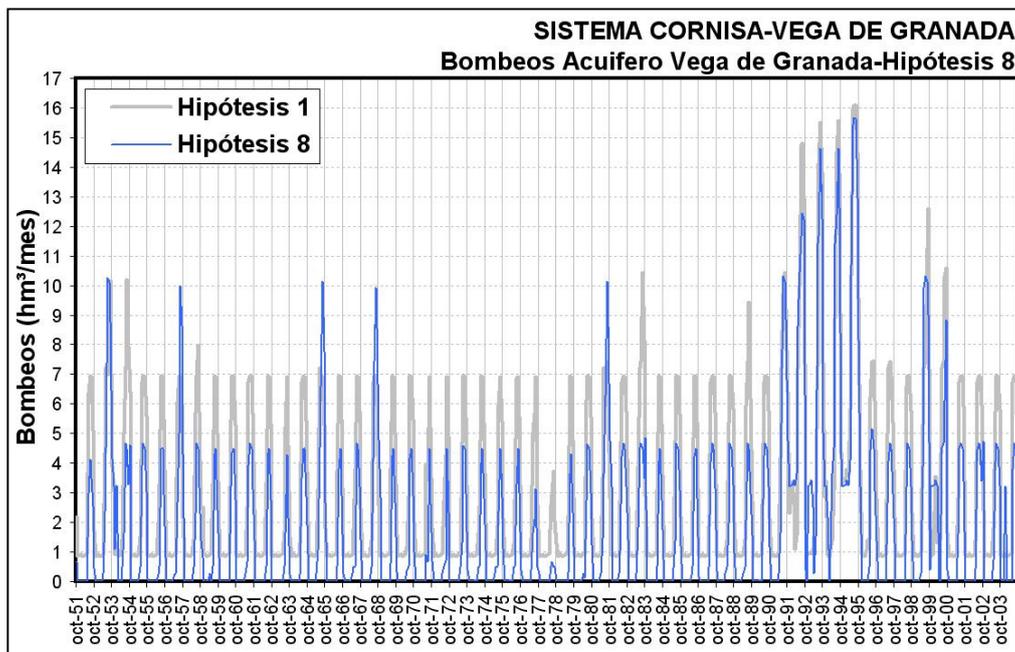


Figura 298. Bombeos en el embalse subterráneo Vega de Granada. Hipótesis 8

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).

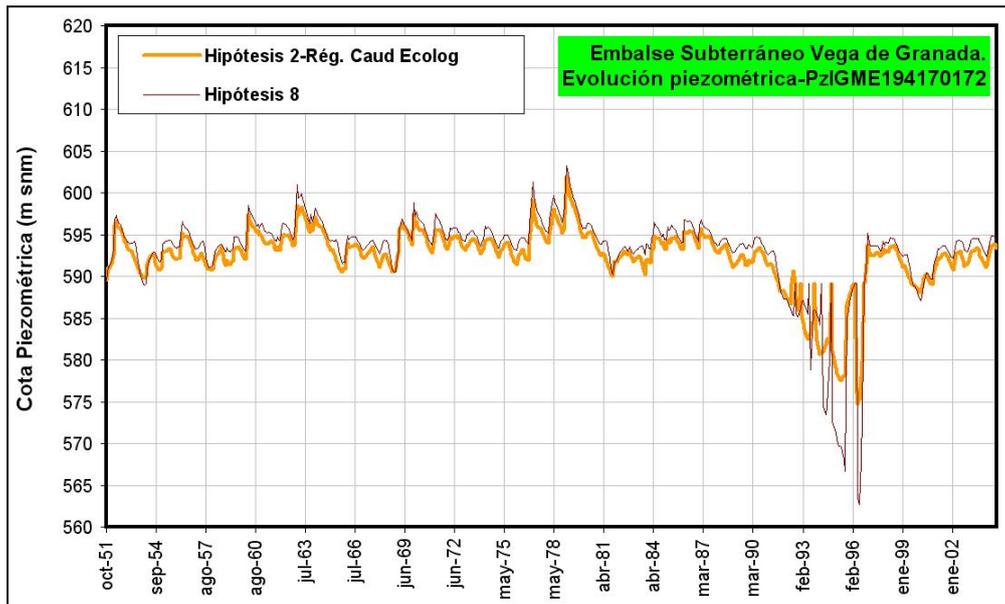


Figura 299. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 8. Piezómetro 194170172

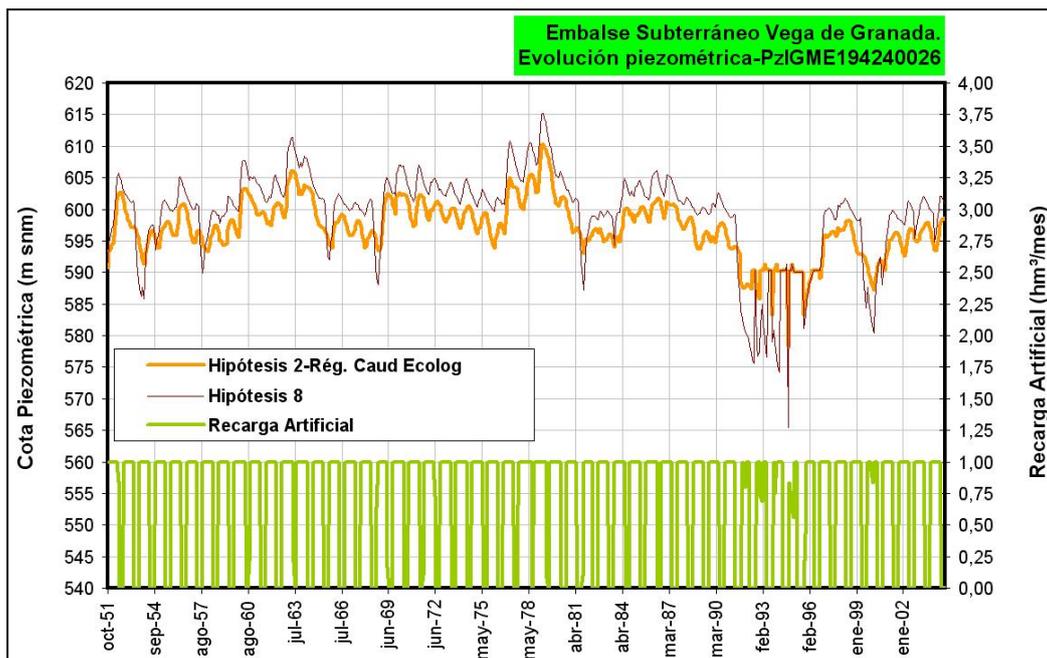


Figura 300. Evolución piezométrica embalse subterráneo Vega de Granada-Hipótesis 5. Piezómetro 194240026

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.

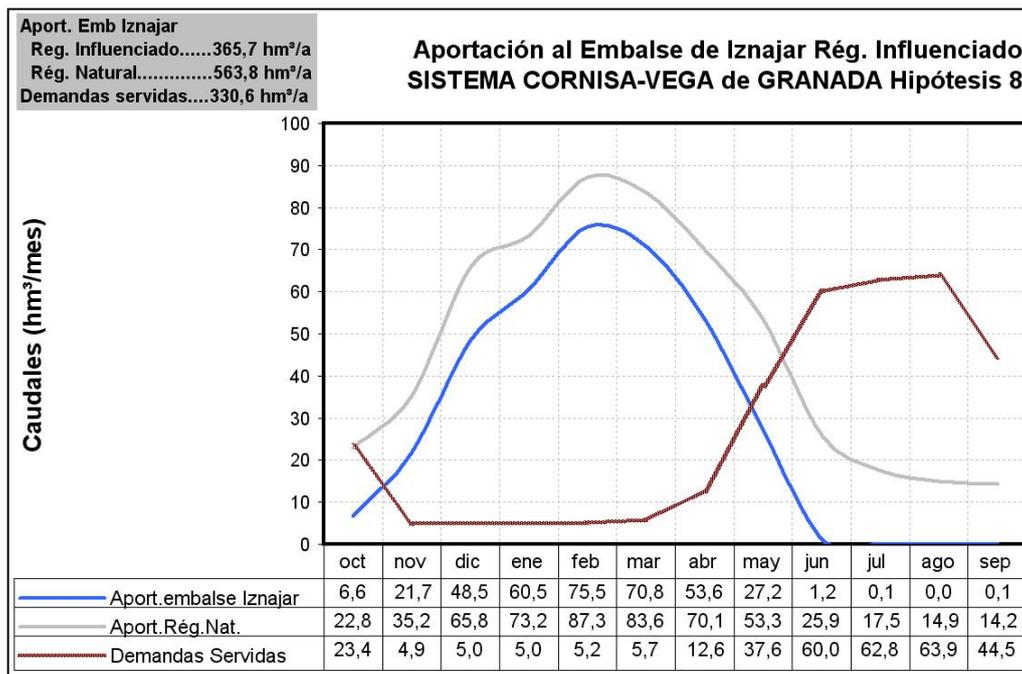


Figura 301. Aportación del Sistema Cornisa–Vega de Granada a Iznajar. Hipótesis 8

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.

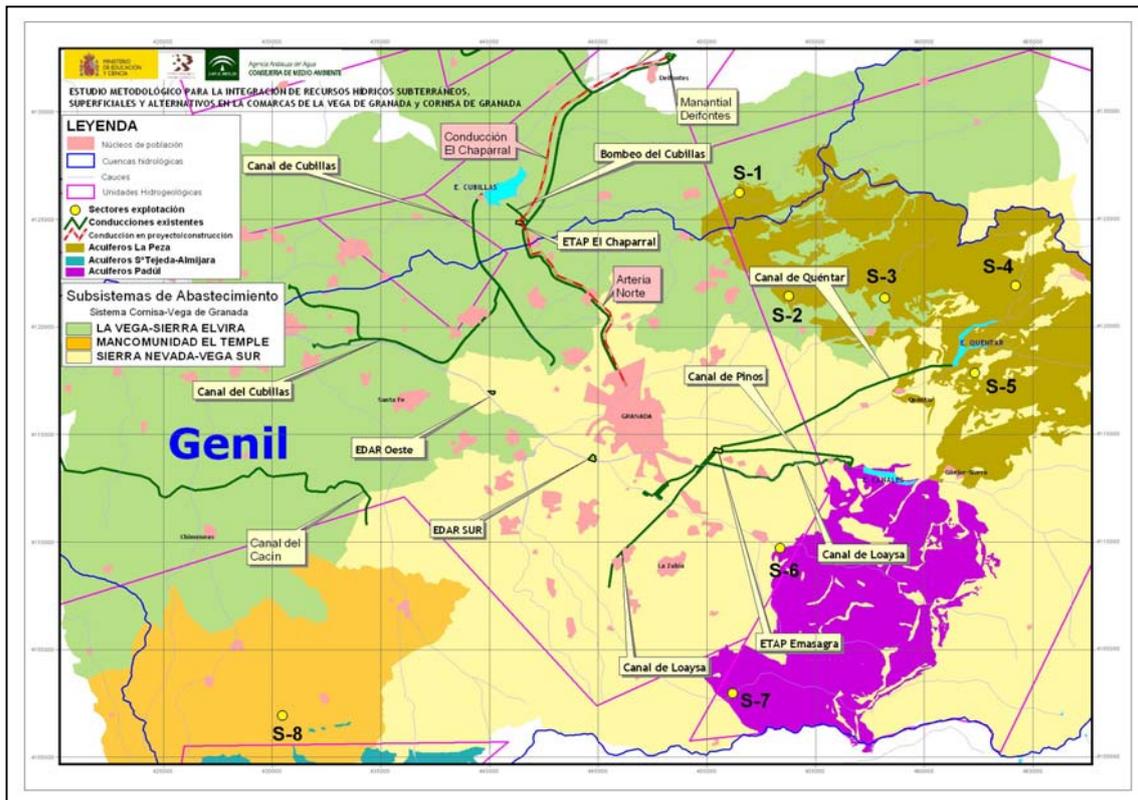


Figura 302. Sectores de explotación propuestos para el aprovechamiento de aguas subterráneas en la Cornisa de Granada

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	0	0
	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
	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.

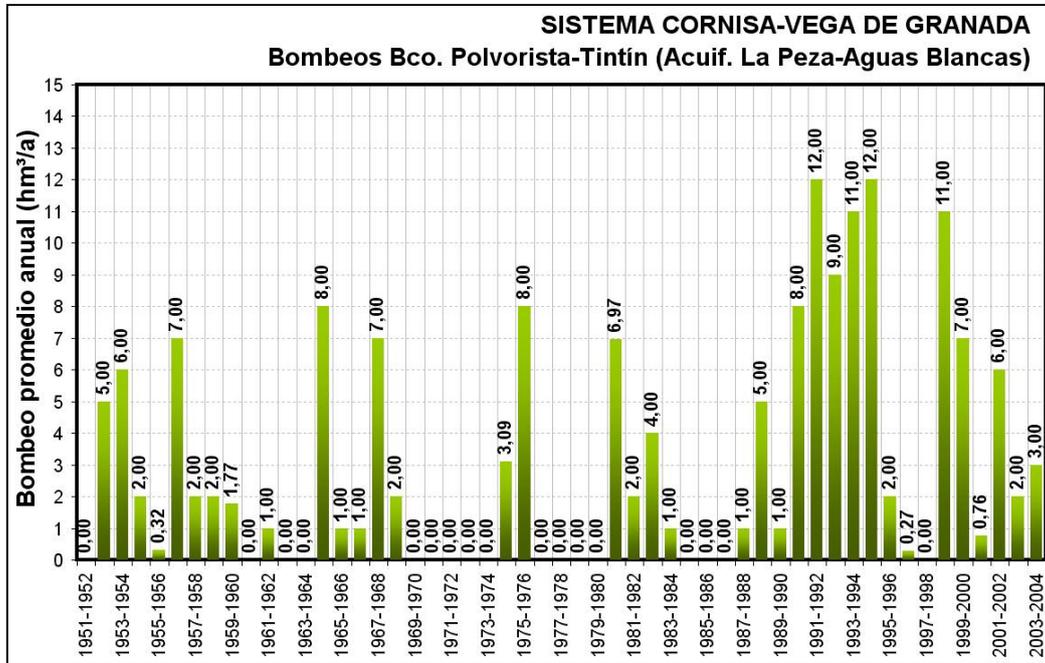


Figura 303. Simulación de bombeos embalse subterráneo Aguas Blancas. Promedio mensual

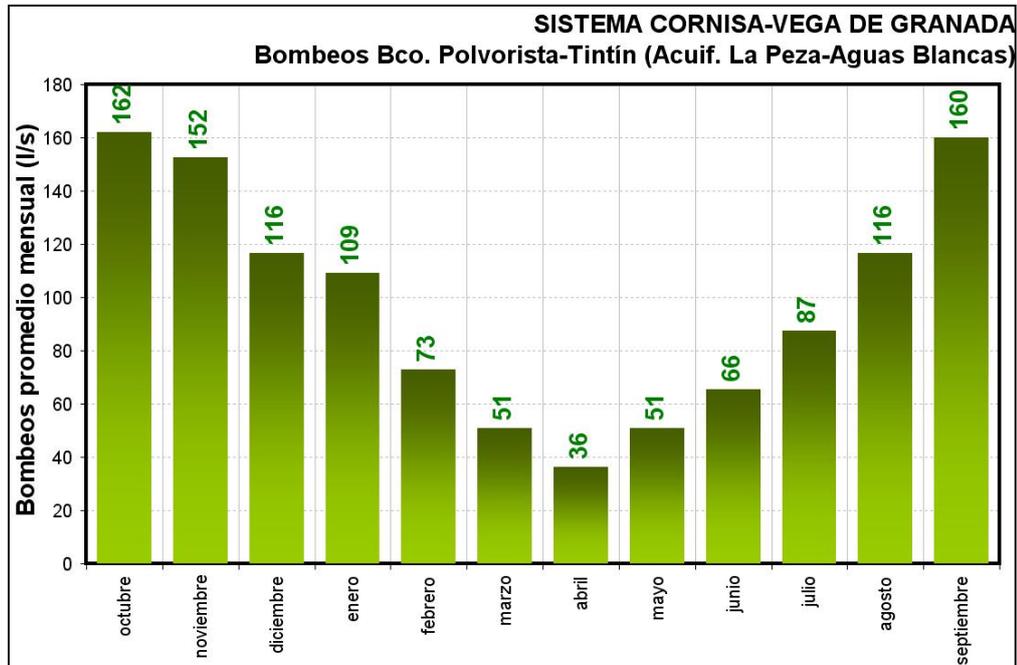


Figura 304. Simulación de bombeos embalse subterráneo Aguas Blancas. Bombeo total anual

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 Veillios	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
BOMBEOS 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
Hipótesis de simulación		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 esorrentía 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-Veillos	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*

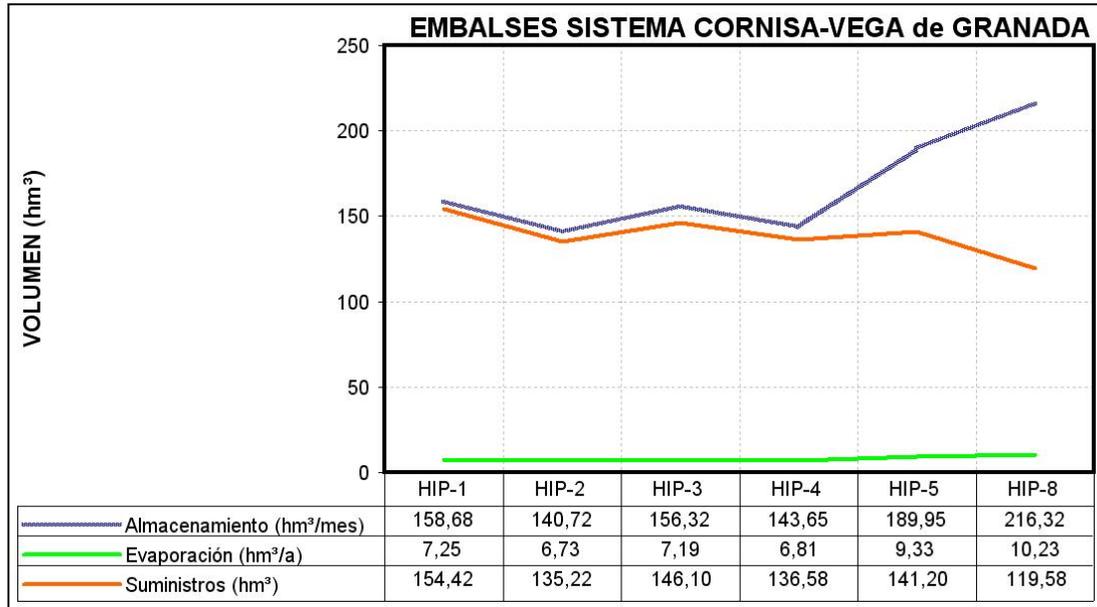


Figura 305. Respuesta de los embalses en los diferentes escenarios de simulación

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

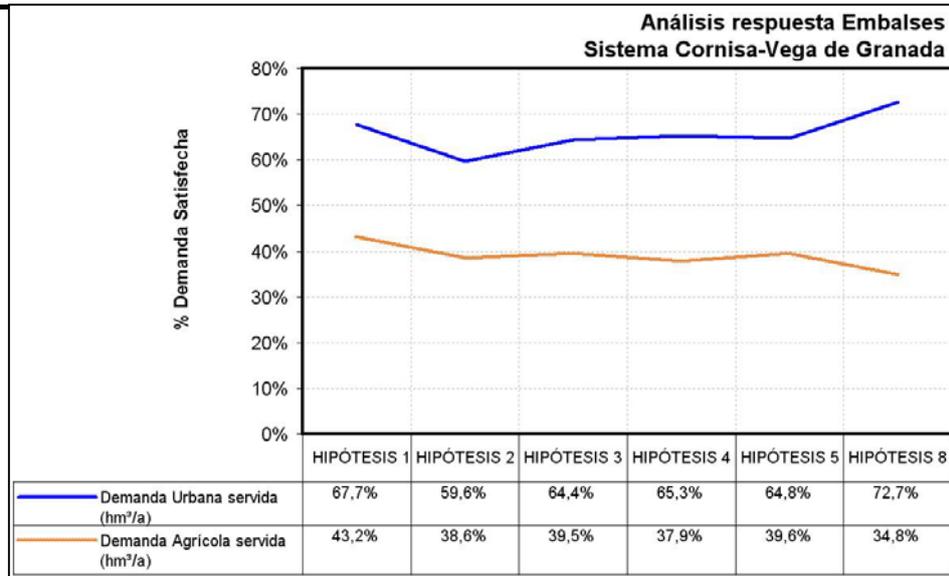


Figura 306. Demandas servidas desde los embalses para los diferentes escenarios de simulación

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 Sª 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 Sª 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 SªNevada-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 SªNevada-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).

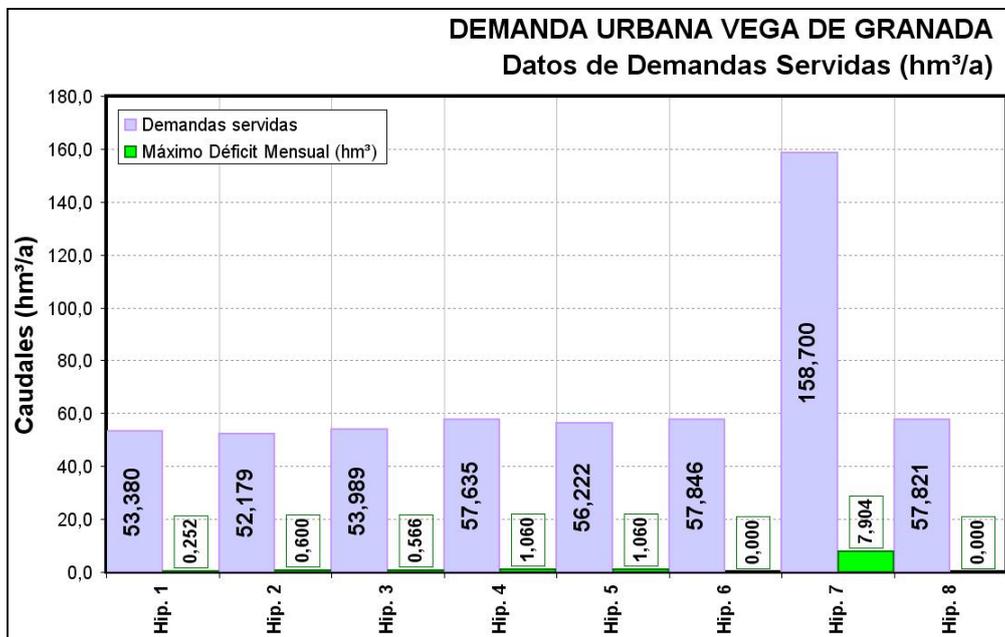


Figura 307. Resumen de los resultados de las simulaciones efectuadas para la demanda urbana. Demandas y déficits

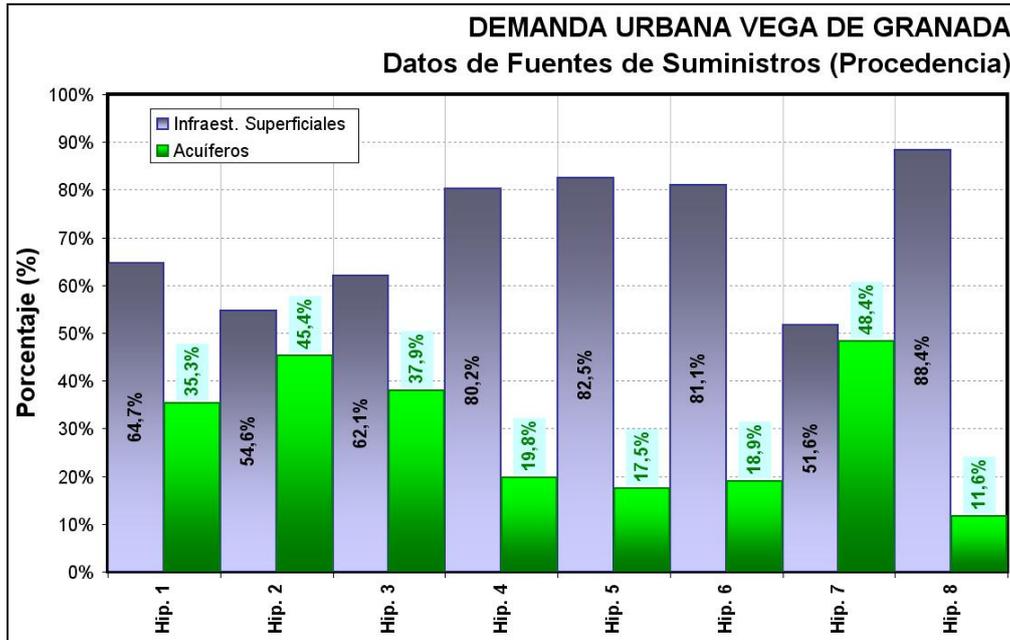


Figura 308. Datos de fuentes de suministros en el abastecimiento urbano a la Vega de Granada en las hipótesis consideradas

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.

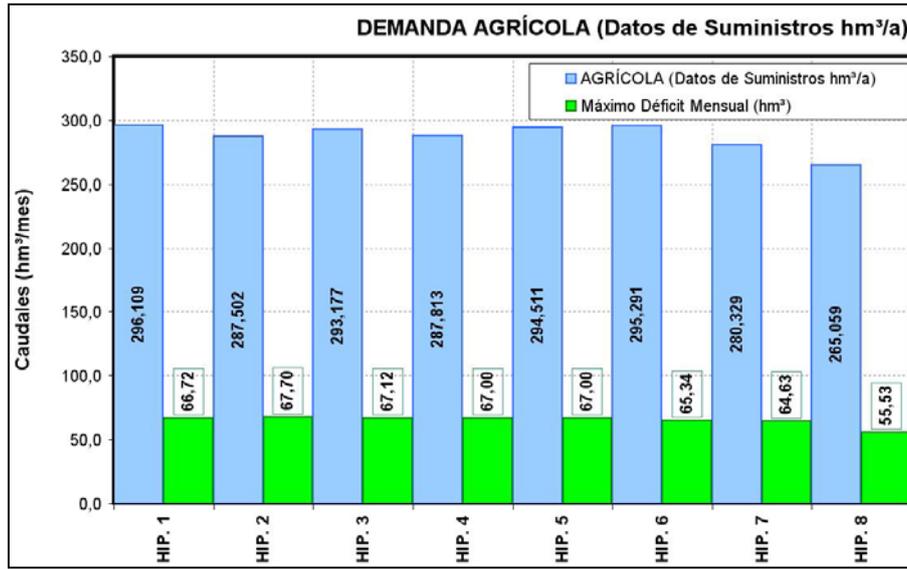


Figura 309. Resumen de los resultados de las simulaciones efectuadas para la demanda agrícola. Demandas y déficits

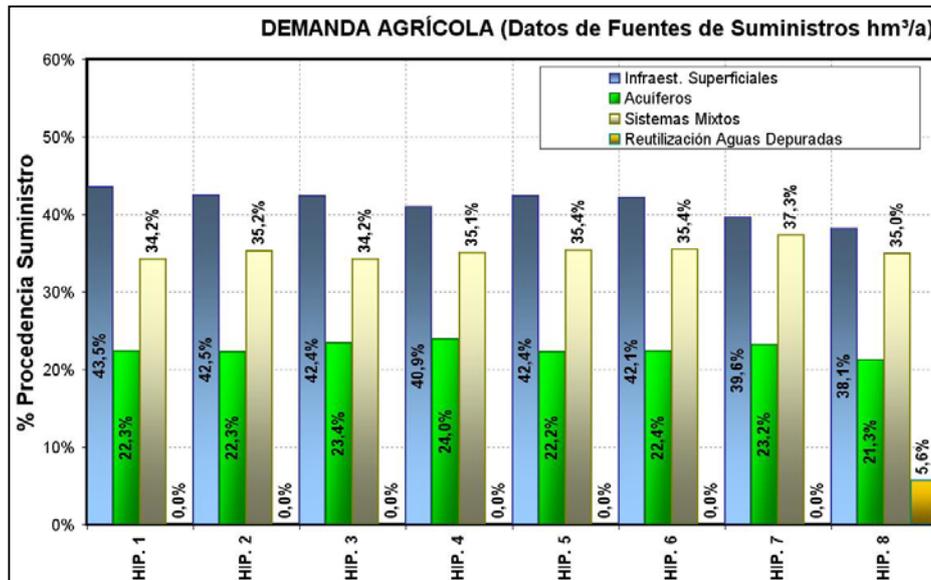


Figura 310. Datos de fuentes de suministros en la dotación para riegos a la Vega de Granada en las hipótesis consideradas

Fuentes de suministro			Demandas servidas	Demanda (hm³/a)	Suministro (hm³/a)							
Infraest. 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 Cacín 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-Dílar D-17	29,819	7,252	7,974	7,938	7,975	7,972	8,465	8,220	8,023
	Dílar				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 Peza	La Peza-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 (9)	Vega de Granada	Bombeos	ZR Vega Alta D-16		0,843	2,938	1,211	3,230	3,184	3,269	6,493	1,327
			ZR Monachil-Dílar 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	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	12,108
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	10,60
			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 escorrentía 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.

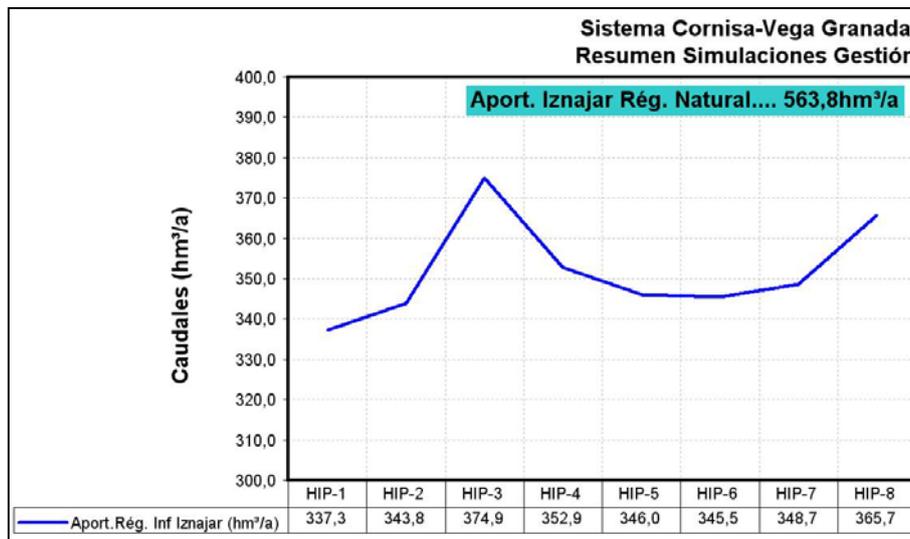


Figura 311. Aportación del Sistema Cornisa-Vega de Granada al embalse de Iznajar en las condiciones de régimen influenciado que suponen los escenarios de simulación considerados

Hipótesis de simulación	Máximo Déficit Mensual hm³/mes (MDM)	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

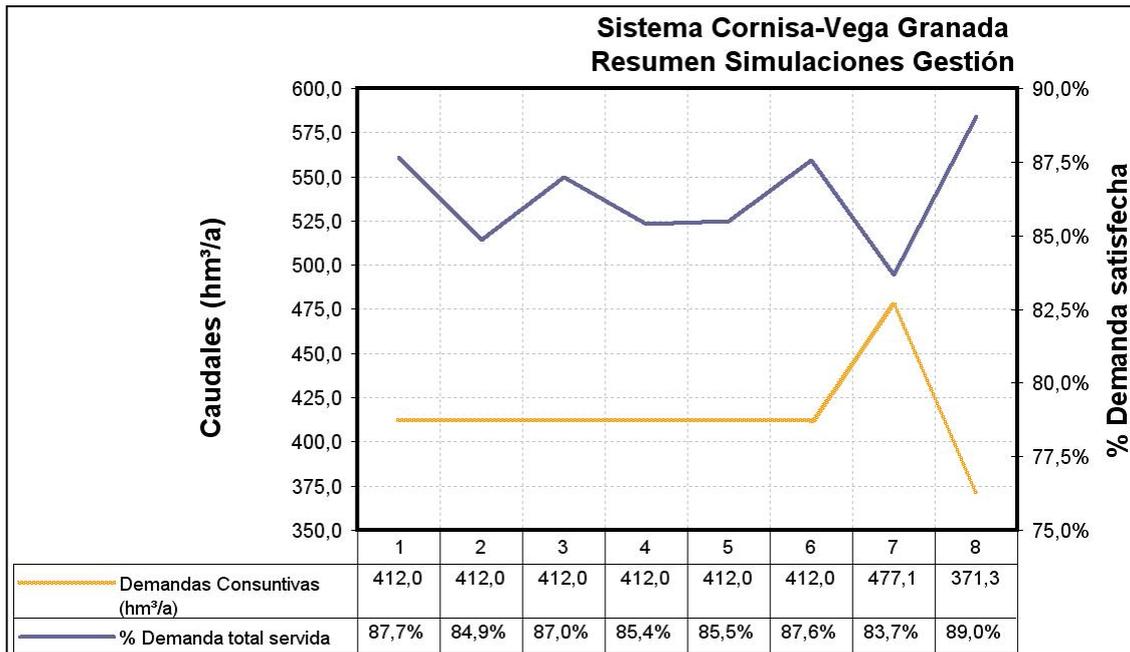


Figura 312. Demandas satisfechas por el Sistema Cornisa-Vega de Granada en los diferentes escenarios de simulación

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).

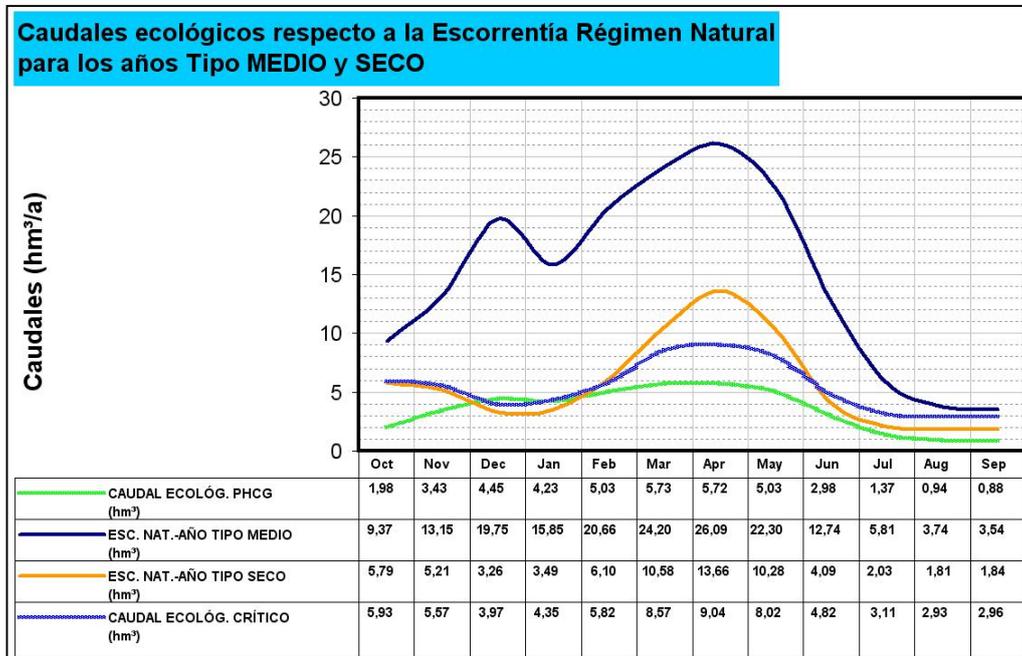


Figura 313. Comparativa de la escorrentía en régimen natural de los cauces del Alto Genil y el régimen de caudales ecológico crítico calculado

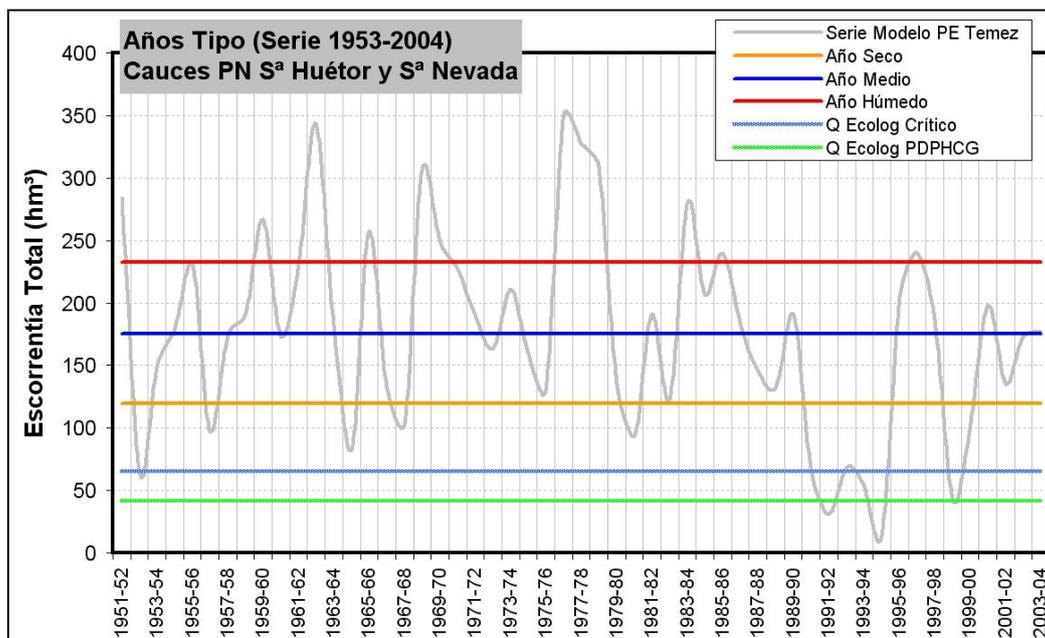


Figura 314. Serie de escorrentía (1953-2004) en régimen natural de los cauces del Alto Genil y régimen de caudales ecológico crítico calculado

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

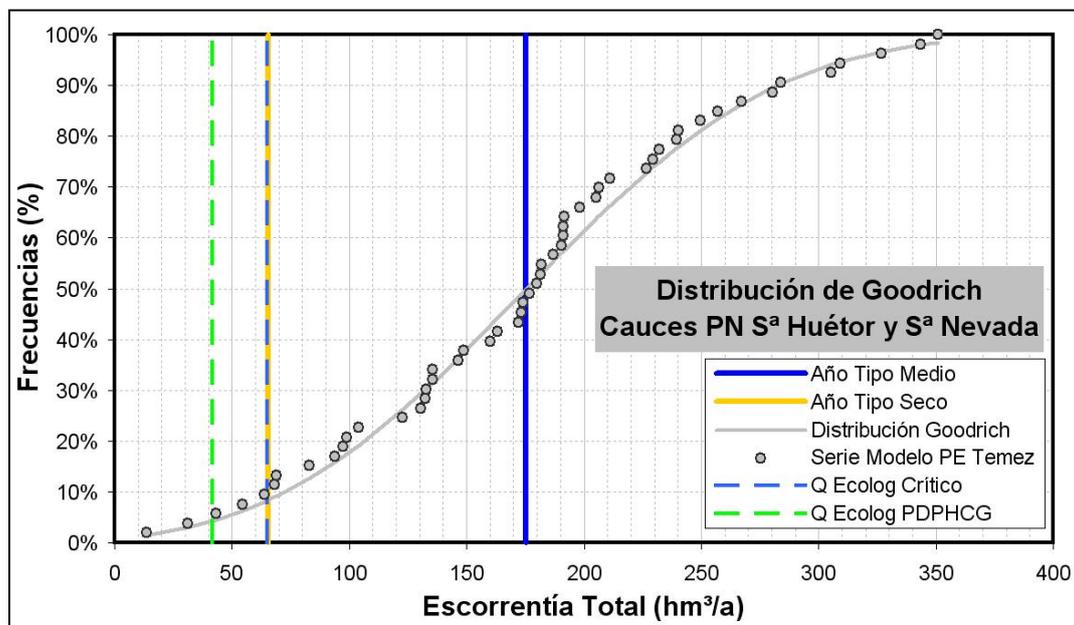


Figura 315. Escorrentía Total régimen natural en el Alto Genil y caudales ecológicos críticos

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)**.

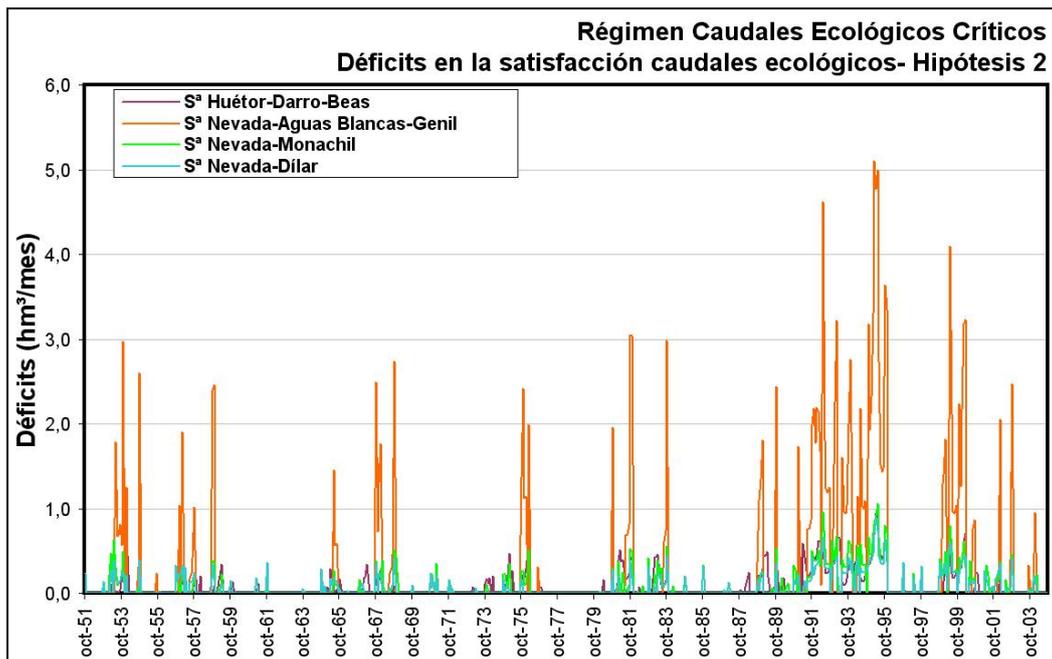


Figura 316. Déficits en la satisfacción de la demanda asociada al régimen de caudales ecológico críticos del Alto Genil

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.

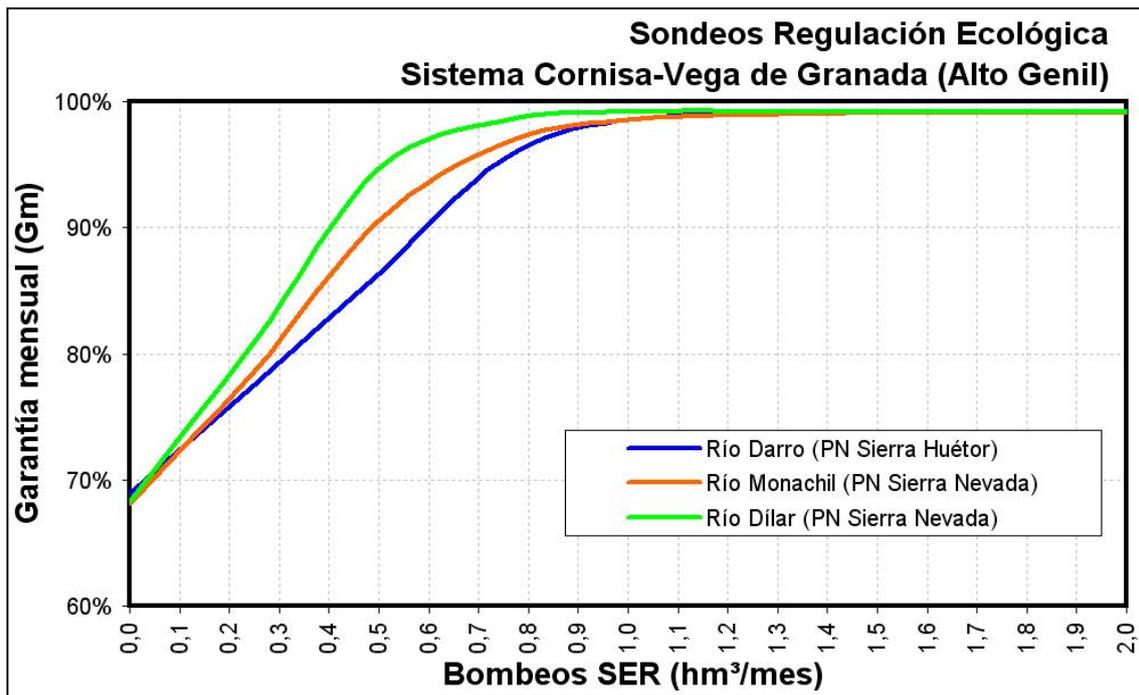


Figura 317. Sondeos Regulación Ecológica Alto Genil. Garantía mensual en la Demanda Ecológica

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.