

***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 Consorcio Sierra Nevada-Vega Sur	26
5.2.2 Consorcio 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>	228
9.	<u>FUENTES DE SUMINISTRO</u>	235
10.	<u>CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN DE LA GESTIÓN CONJUNTA</u>	239
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>	245
10.2.2	<u>Tomas</u>	250
10.2.3	<u>Aportaciones</u>	254
10.2.4	<u>Conducciones</u>	257
10.2.5	<u>Retornos</u>	260
10.2.6	<u>Bombeos adicionales</u>	261
10.2.7	<u>Recarga Artificial de Acuíferos</u>	261
10.2.8	<u>Modelación de Embalses Subterráneos en SIMGES</u>	265
10.2.9	<u>Criterios de Garantía utilizados</u>	309
10.2.10	<u>Criterios de Simulación</u>	310
11.	<u>SIMULACIÓN DE ALTERNATIVAS DE GESTIÓN</u>	313
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>	480

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.	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	130
Tabla 35.	Coeficientes 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 MODLLOW (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 MODLLOW (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.

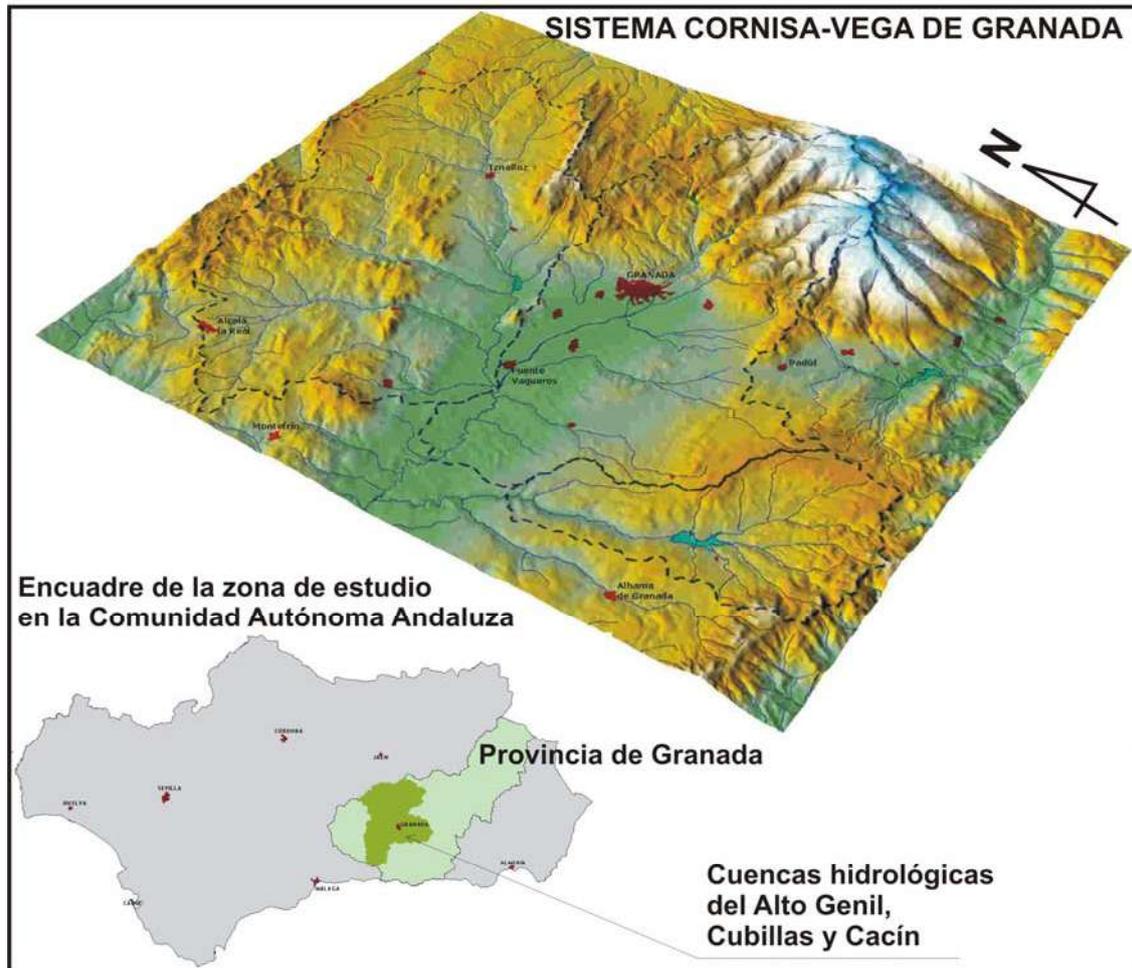


Figura 1. Localización y vista tridimensional del Sistema Cornisa-Vega de Granada

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.

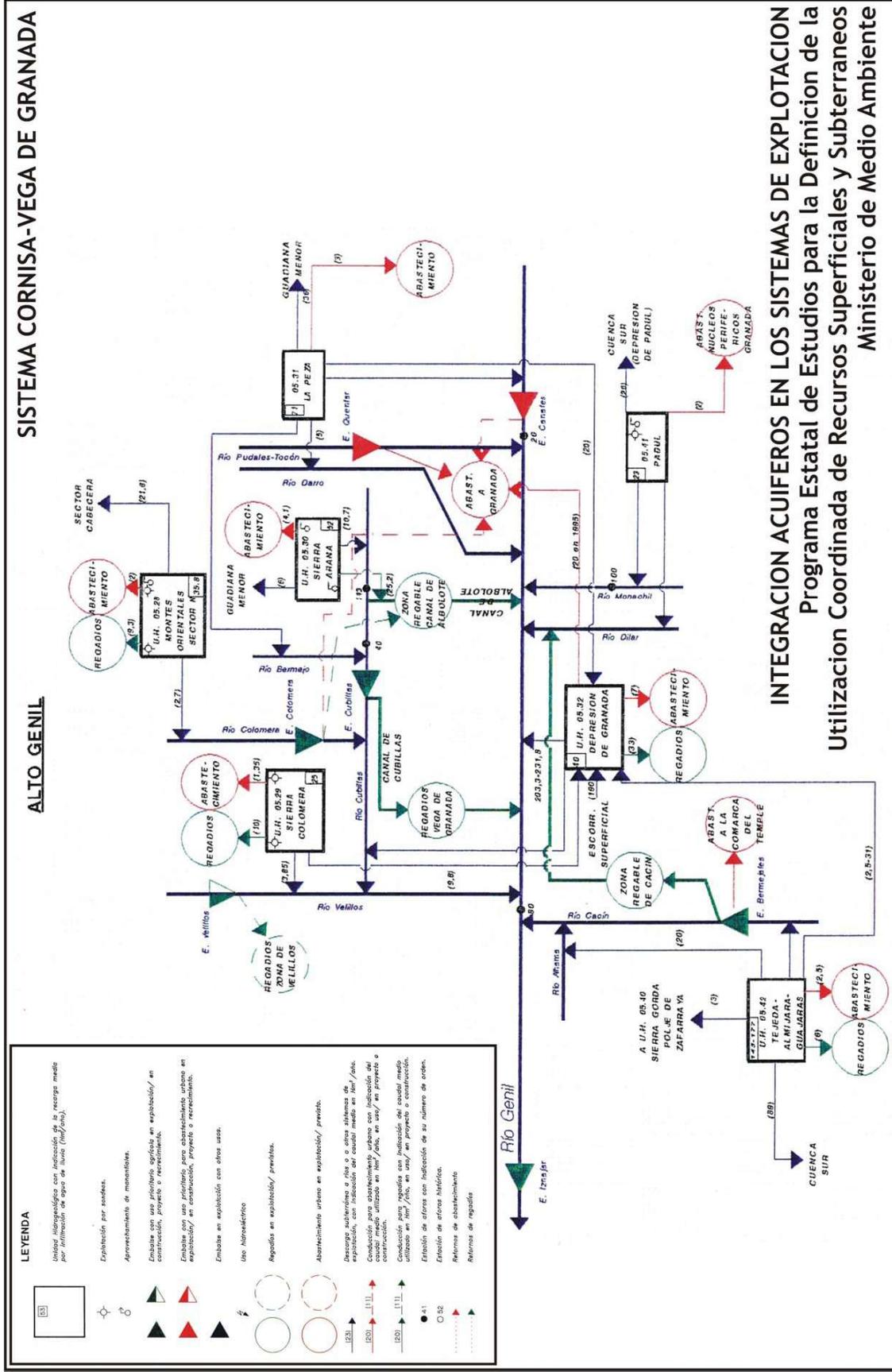


Figura 3. Esquema Topológico del Alto Genil. INTEGRACIÓN DE LOS ACUIFEROS EN LOS SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS. PROGRAMA ESTATAL DE ESTUDIOS PARA LA DEFINICIÓN DE LA UTILIZACIÓN COORDINADA DE LOS RECURSOS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEOS (Sanchez-González y Murillo, 1997)

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 del 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.

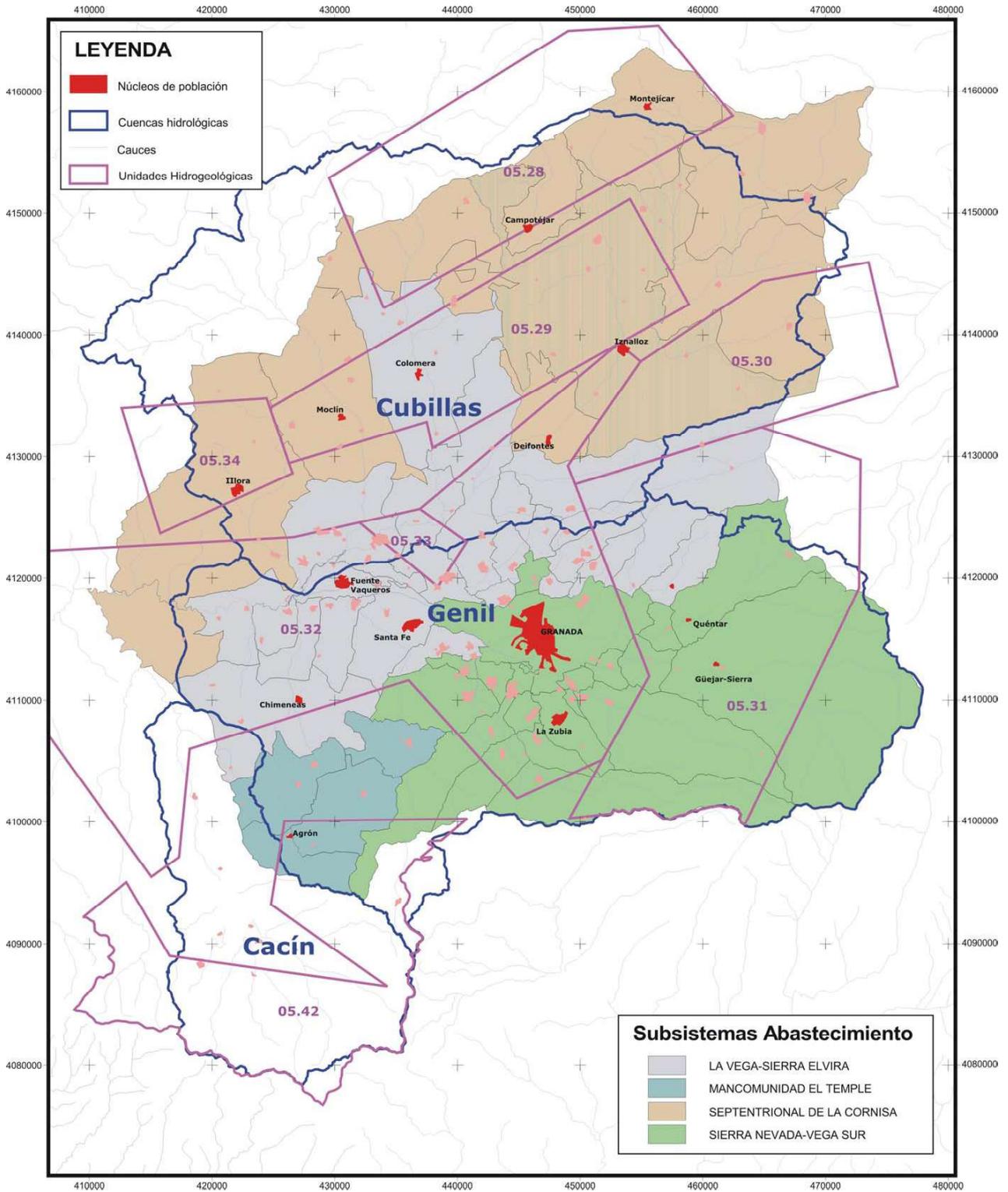


Figura 4. Sistemas de abastecimiento supramunicipales del Sistema Cornisa-Vega de Granada

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 Excma. 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.

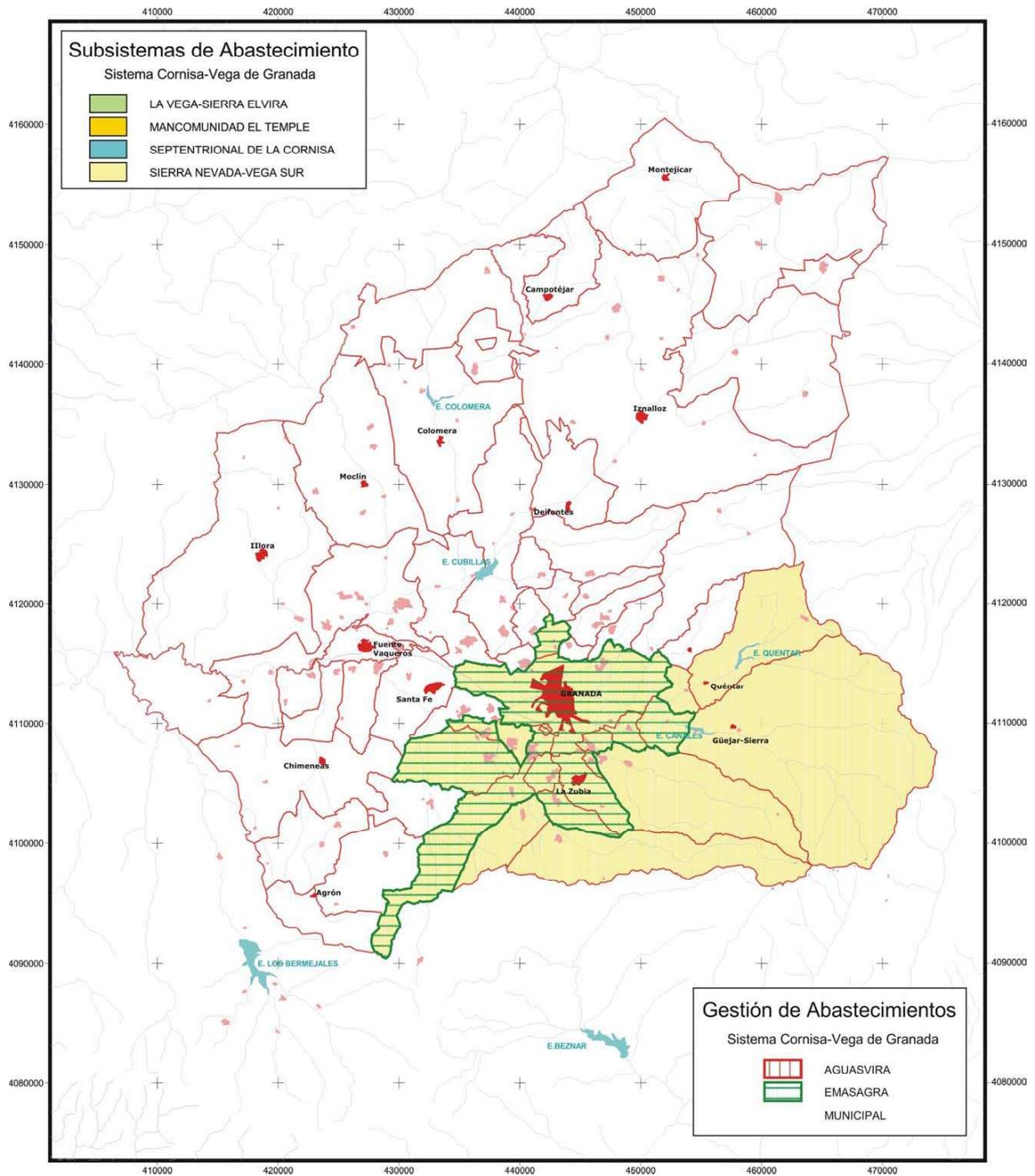


Figura 5. Consorcio Sierra Nevada-Vega Sur.

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.

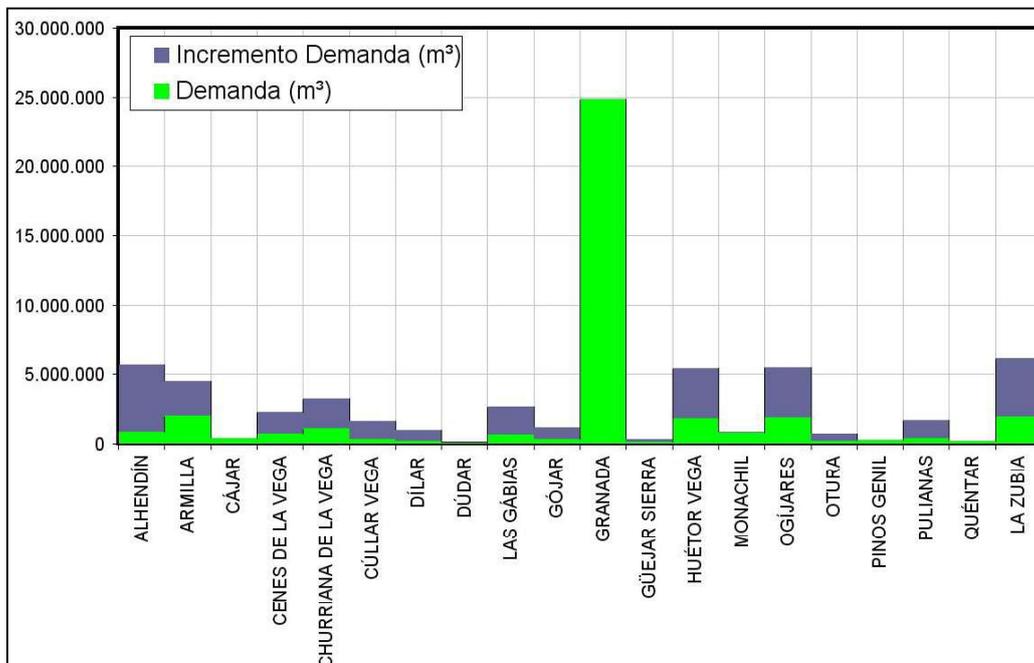


Figura 6. Datos de la demanda de agua para abastecimiento en el Consorcio Sierra Nevada–Vega Sur e incremento de demanda previsto

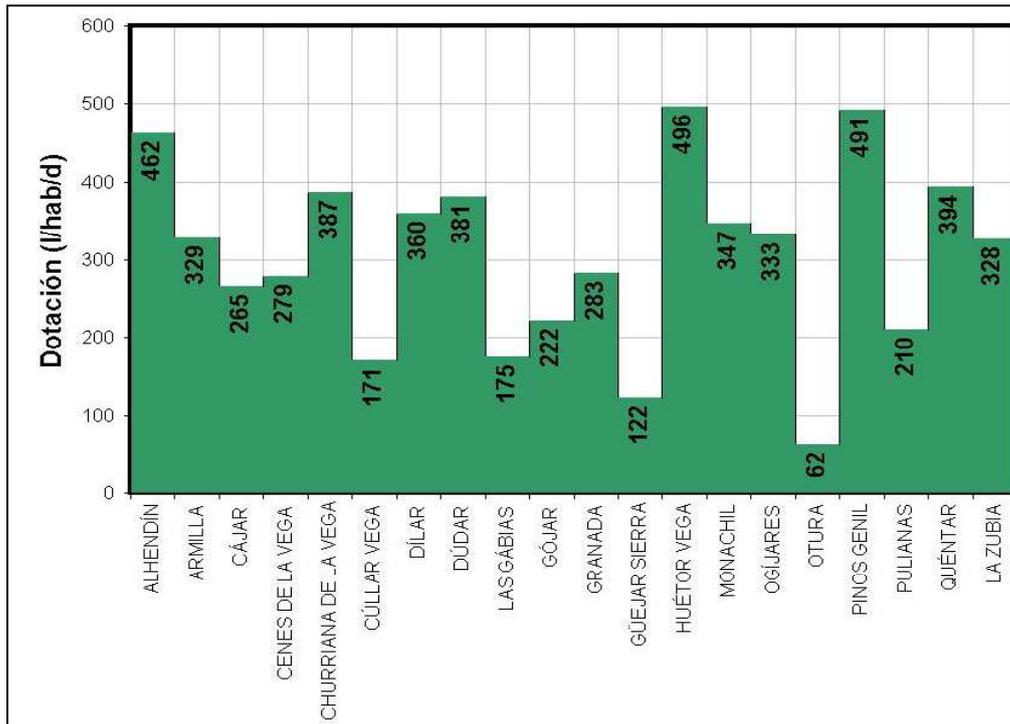


Figura 7. Datos sobre dotaciones de abastecimiento urbano en el Consorcio Sierra Nevada-Vega Sur.

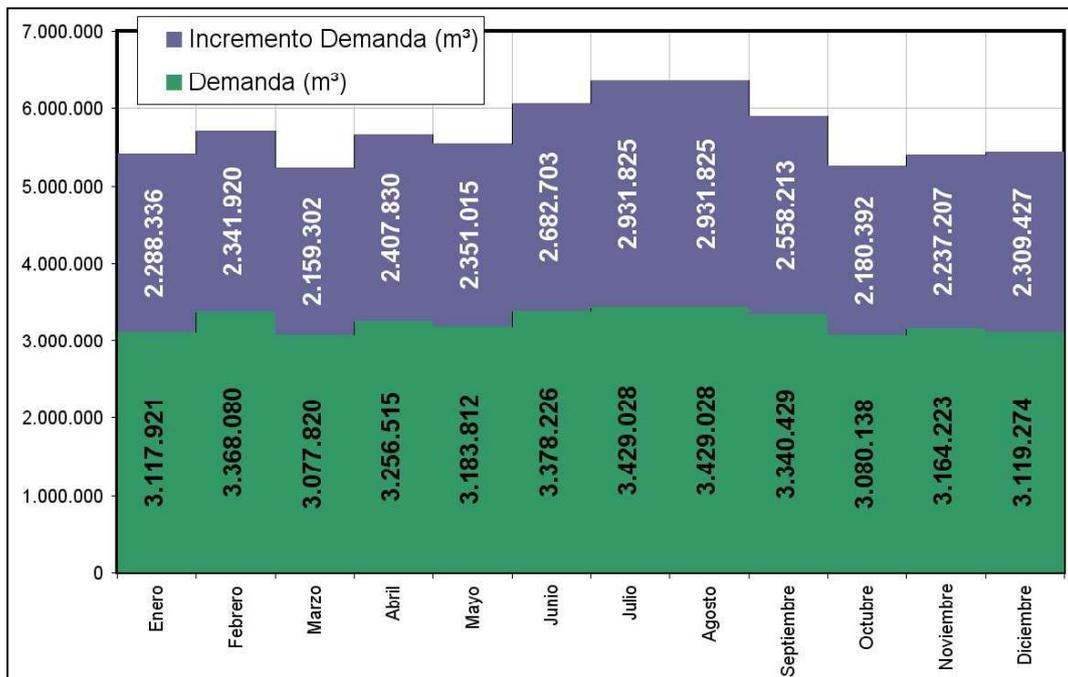


Figura 8. Distribución mensual de la demanda urbana en el Consorcio Sierra Nevada-Vega Sur.

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.

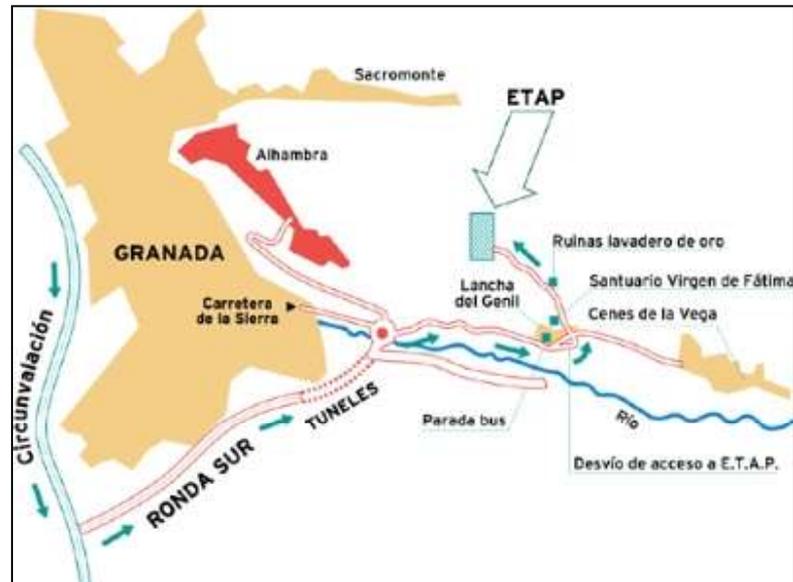


Figura 9. Ubicación de la ETAP de Lancha de Genil.

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).

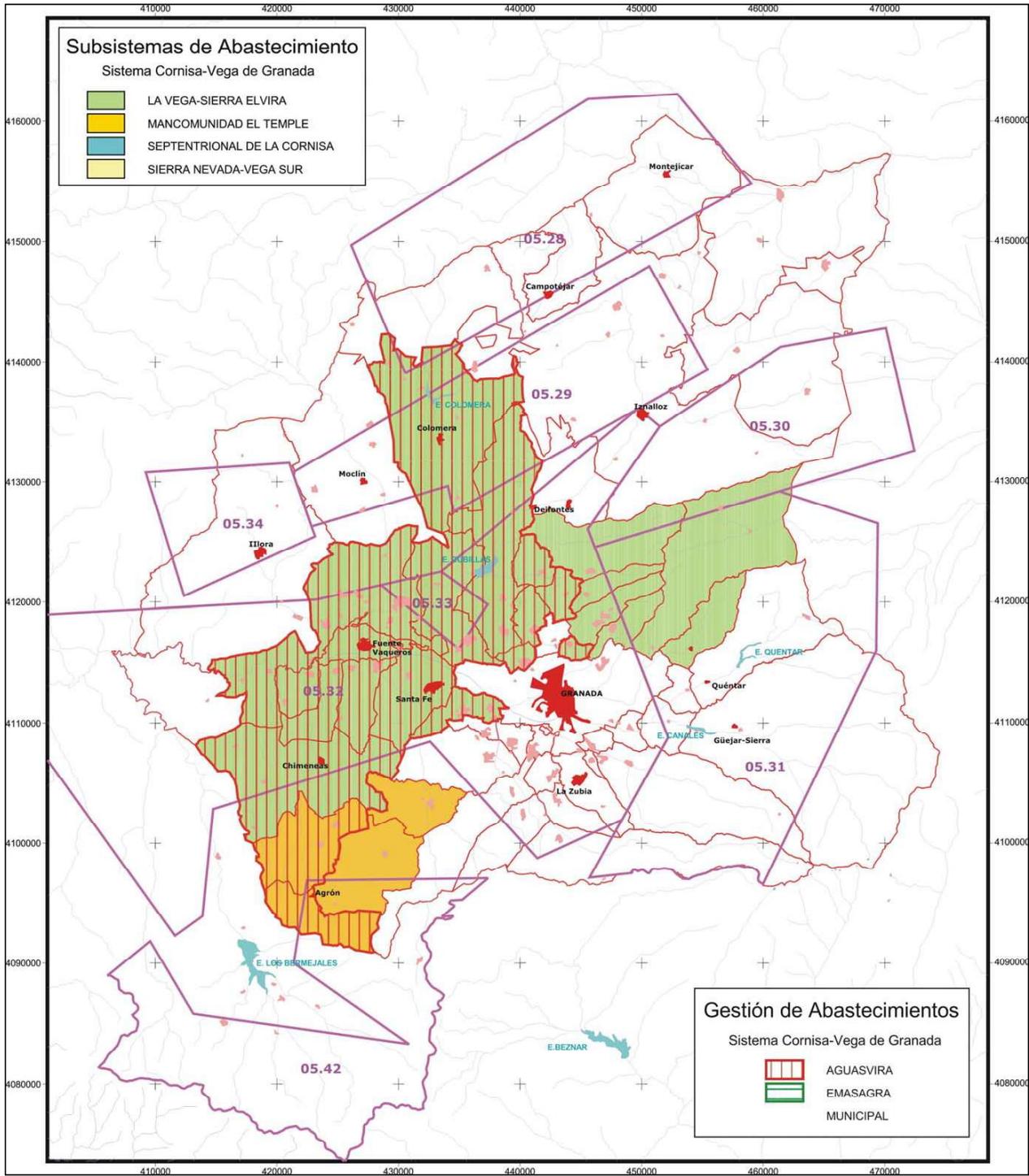


Figura 10. Consorcio La Vega-Sierra Elvira.

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.

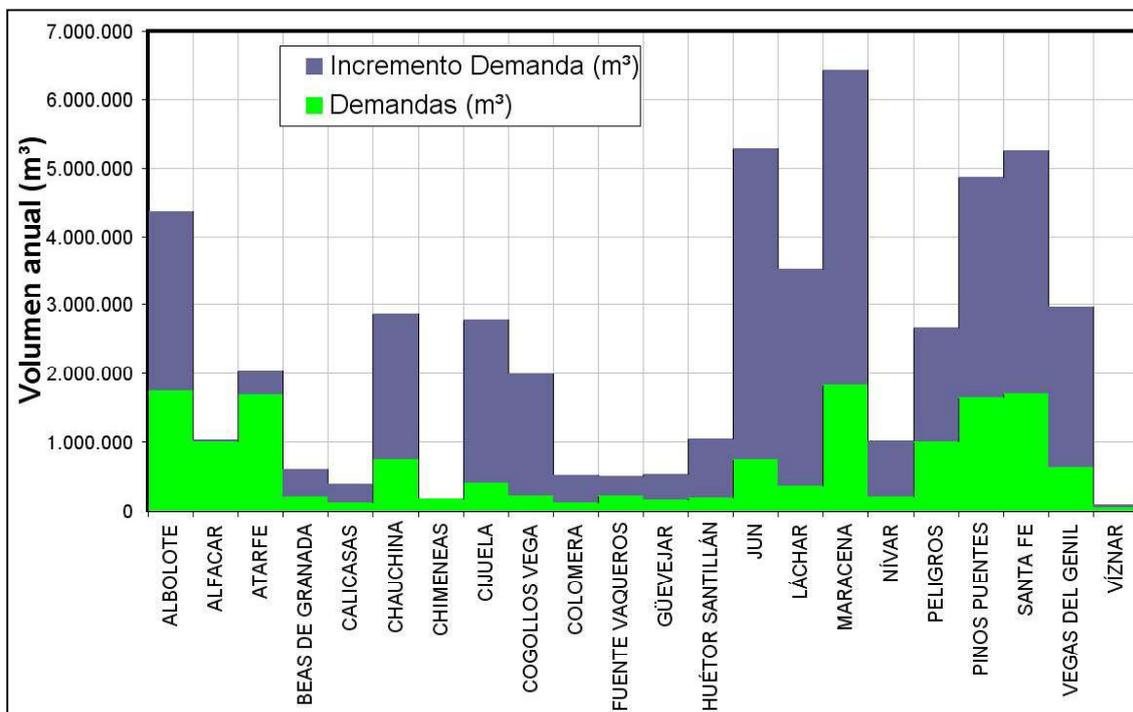


Figura 11. Datos de la demanda de agua para abastecimiento en el Consorcio La Vega-Sierra Elvira e incremento de demanda previsto.

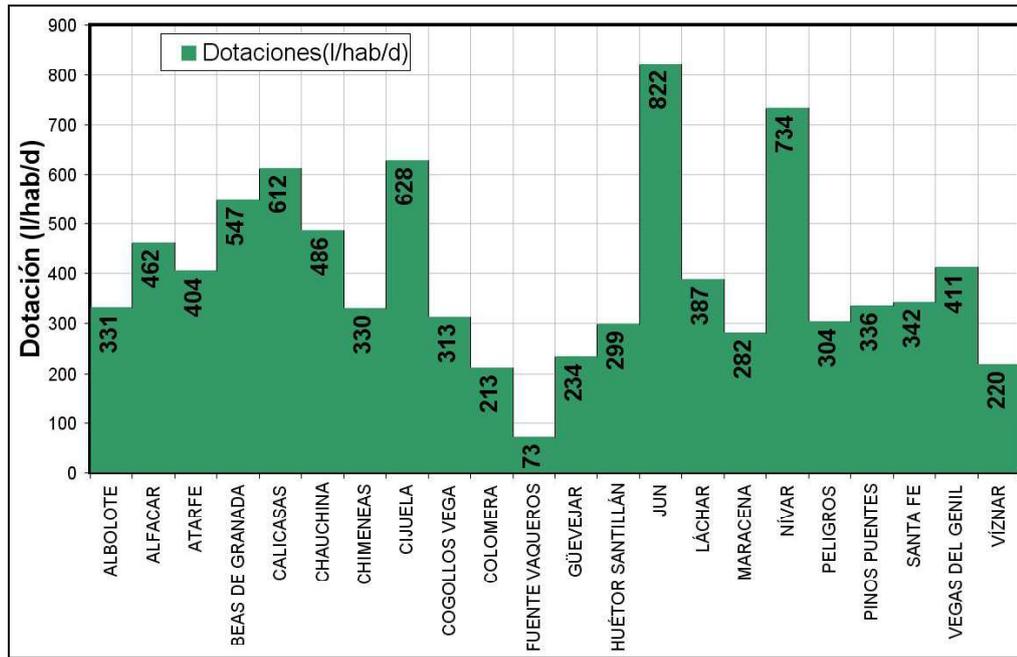


Figura 12. Datos sobre dotaciones de abastecimiento urbano en el Consorcio La Vega-Sierra Elvira.

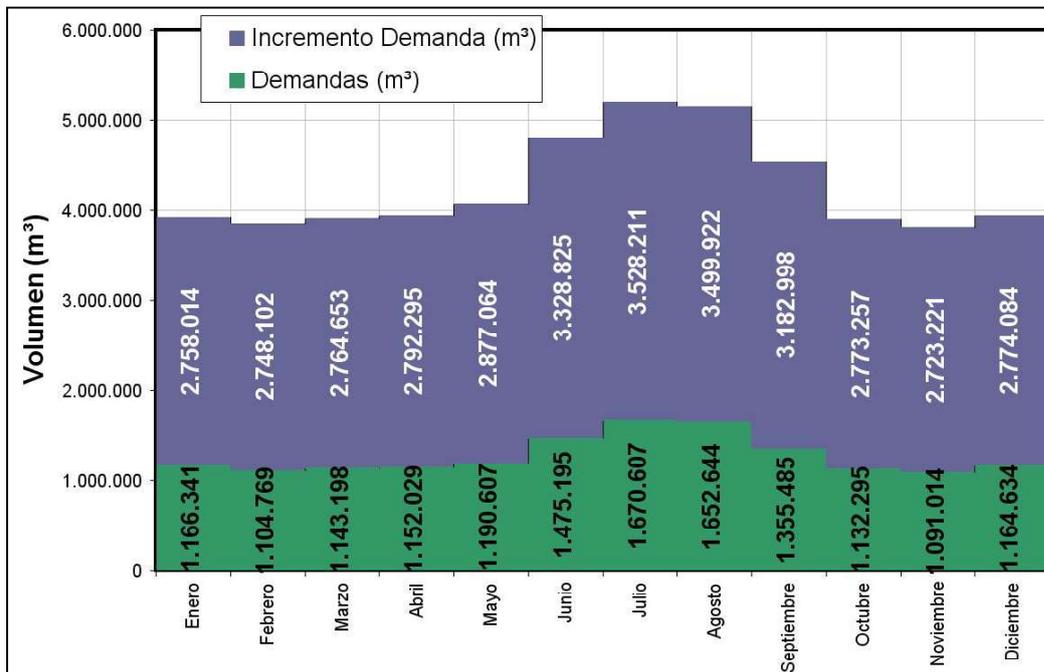


Figura 13. Distribución mensual de la demanda urbana en el Consorcio La Vega-Sierra Elvira.

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.

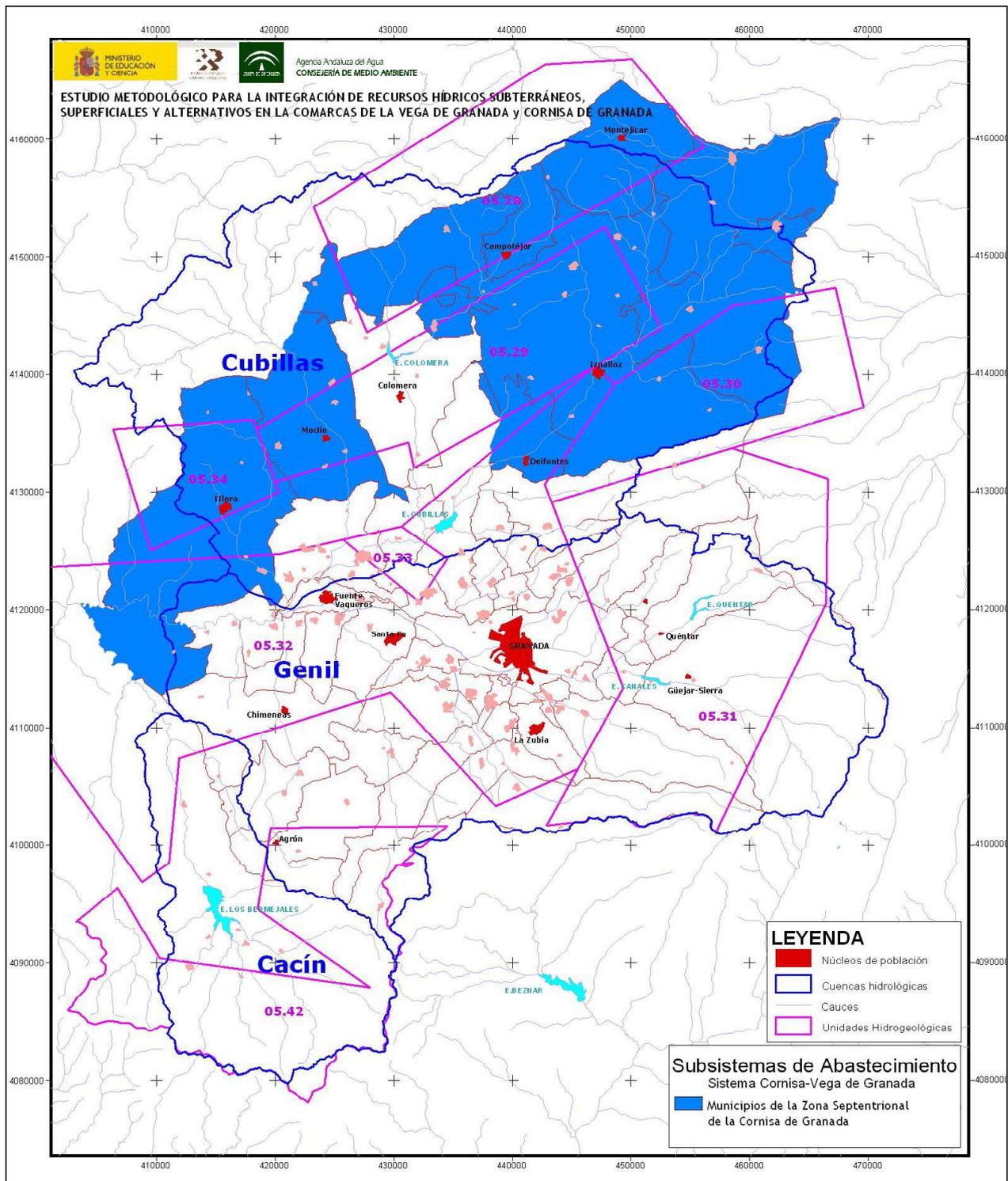


Figura 14. Municipios de la Zona Septentrional de la Cornisa de Granada.

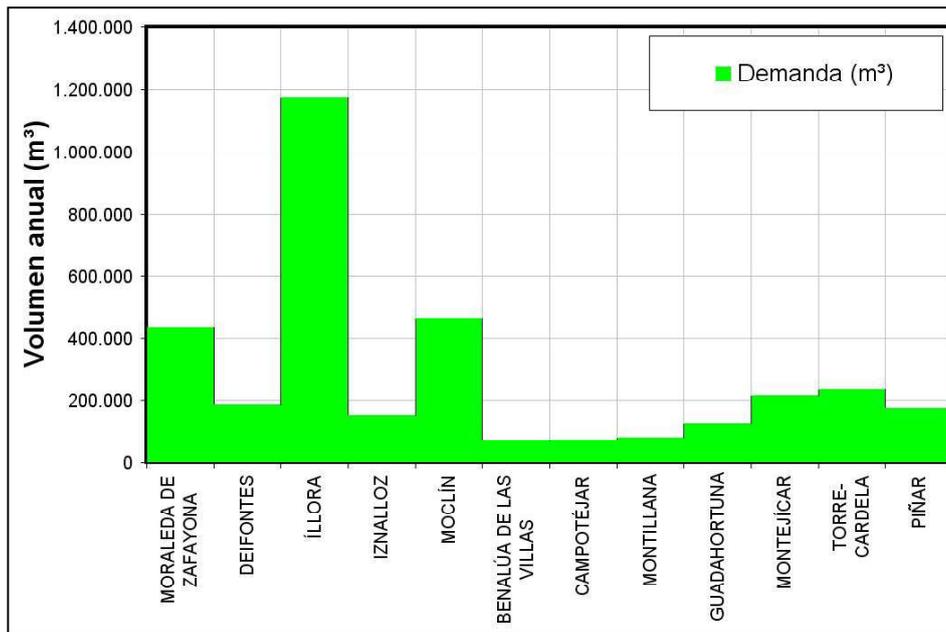


Figura 15. Datos de la demanda de agua para abastecimiento en el Subsistema Septentrional de La Cornisa de Granada.

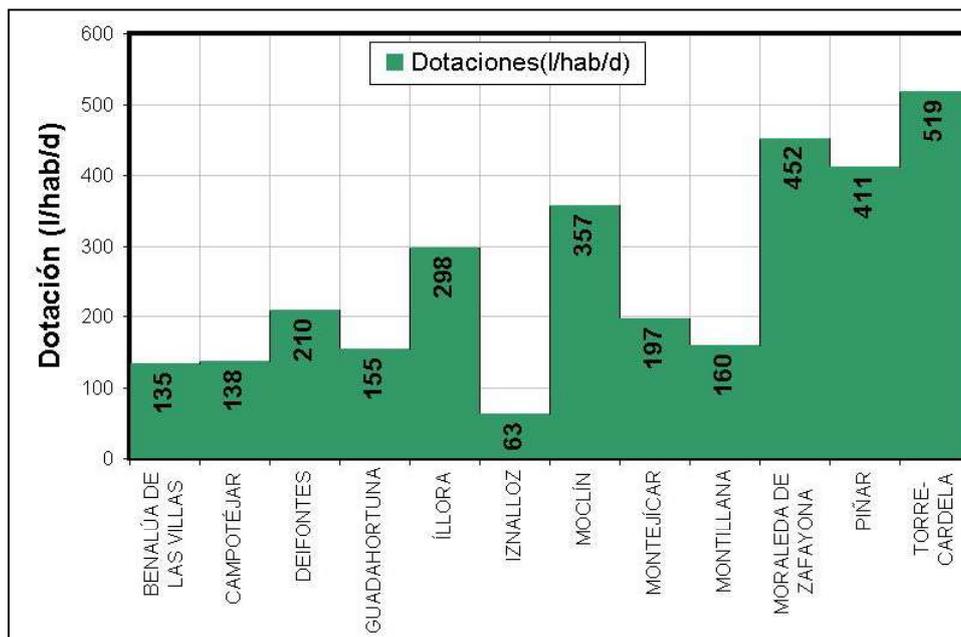


Figura 16. Datos sobre dotaciones de abastecimiento urbano en el Subsistema Septentrional de La Cornisa de Granada.

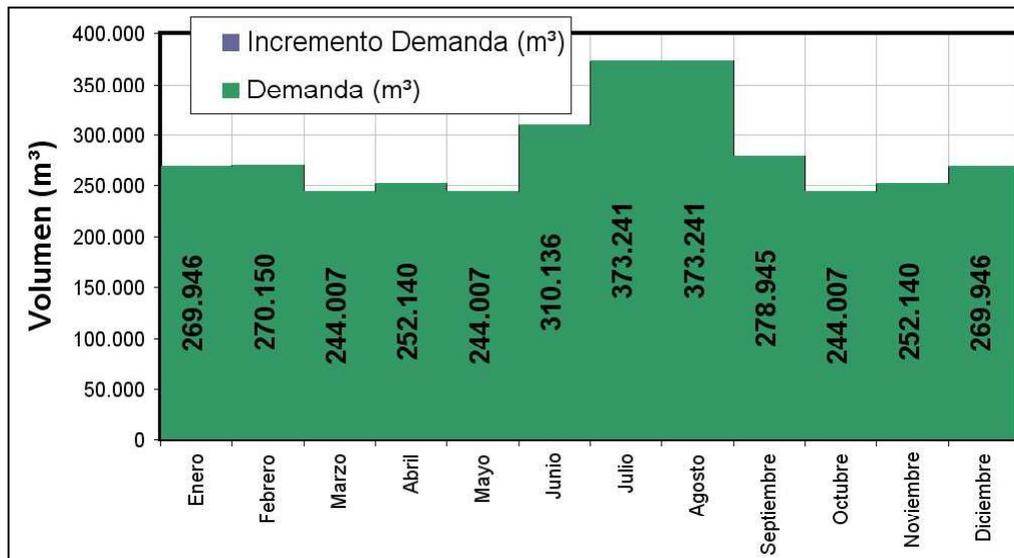


Figura 17. Distribución mensual de la demanda urbana en el Subsistema Septentrional de La Cornisa de Granada.

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.

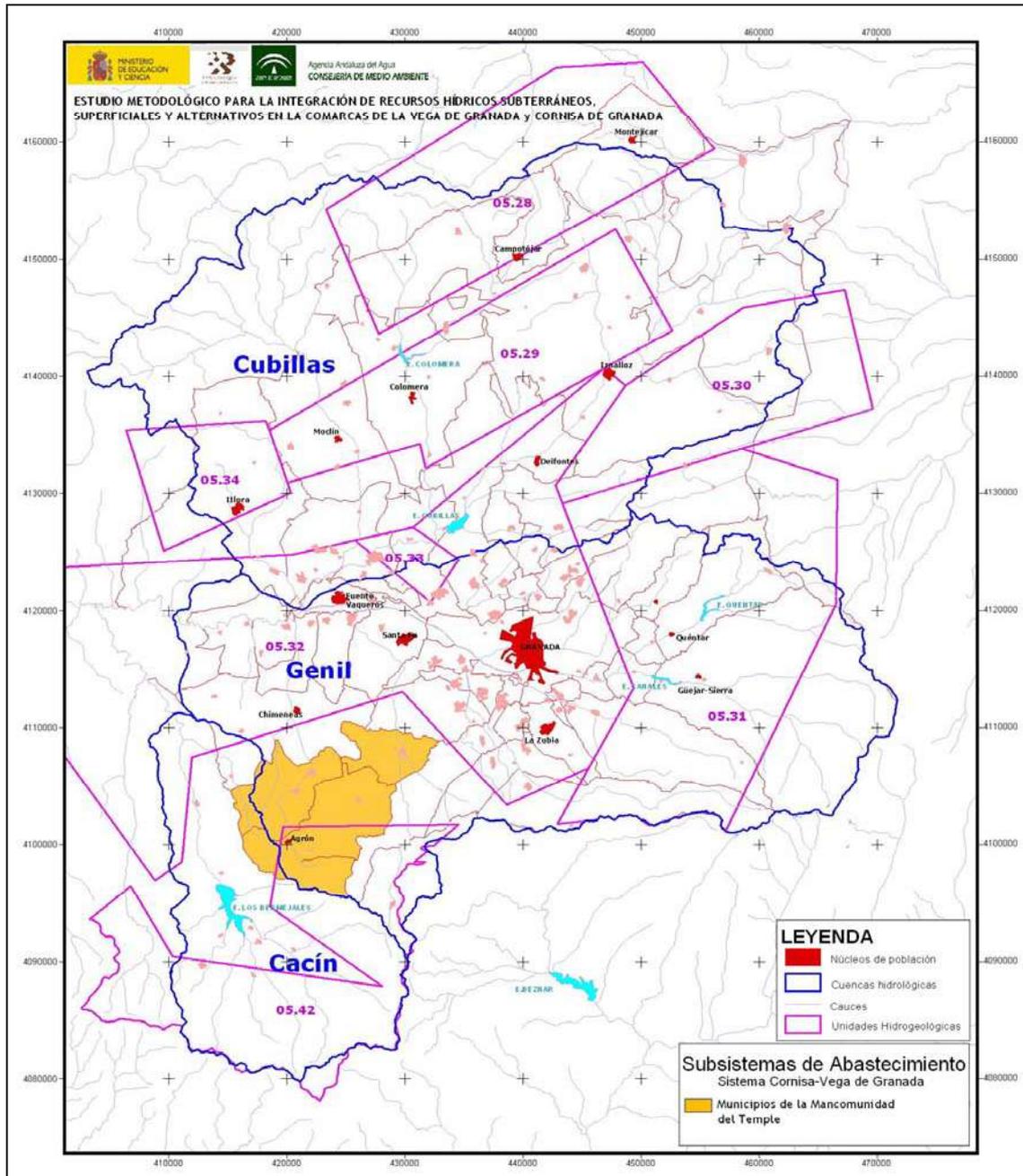


Figura 18. Municipios de la Zona Septentrional de la Cornisa de Granada.

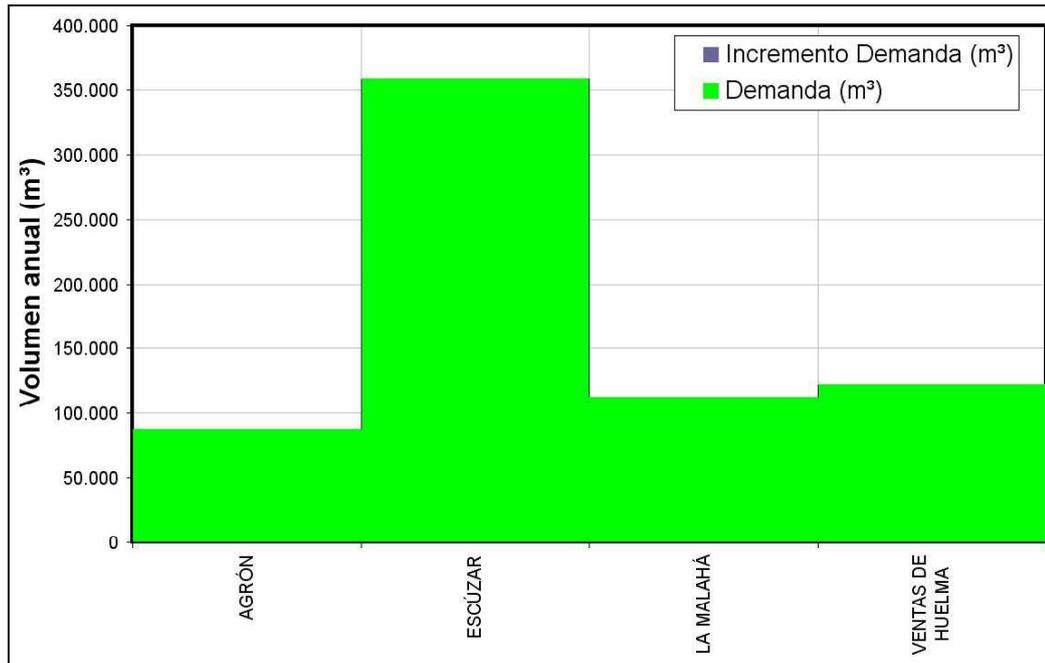


Figura 19. Datos sobre el suministro de aguas para abastecimiento en la Mancomunidad del Temple.

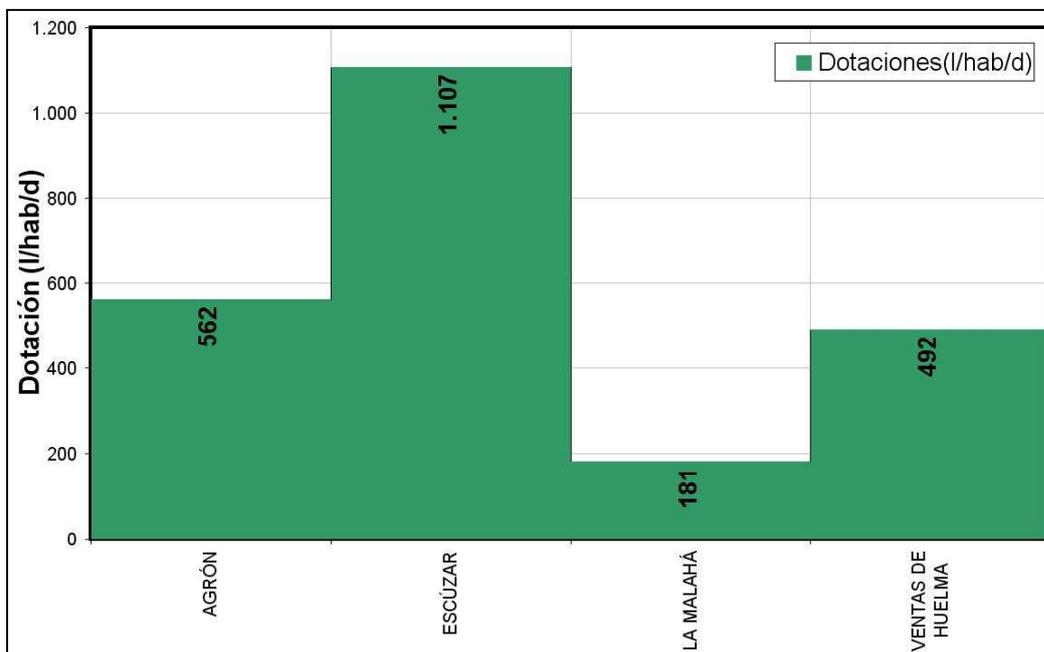


Figura 20. Datos sobre dotaciones de abastecimiento urbano en la Mancomunidad del Temple.

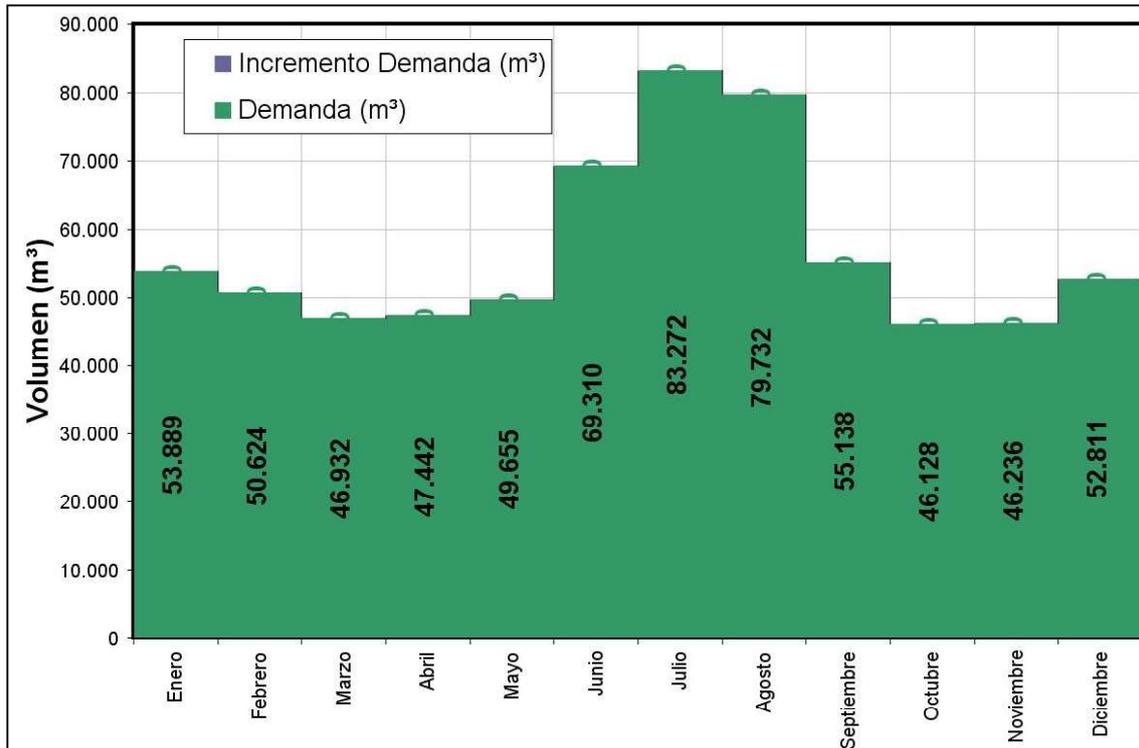


Figura 21. Distribución mensual de la demanda urbana en la Mancomunidad del Temple.

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.

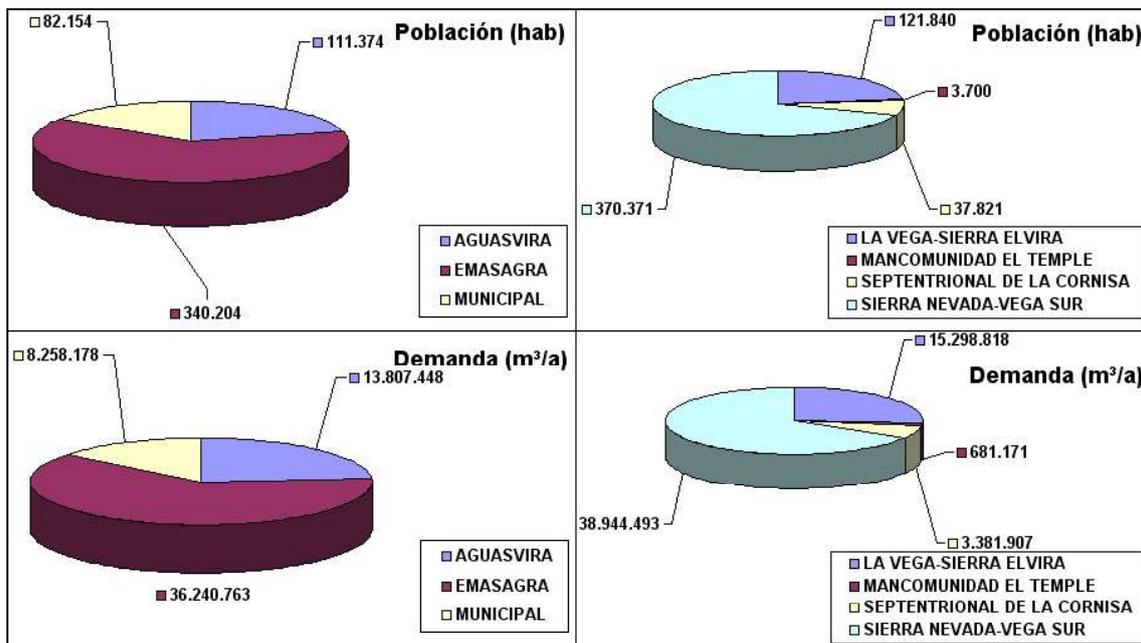


Figura 22. Demanda urbana en el sistema Cornisa-Vega de Granada

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			
	GÚEVÉJAR	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			
	MONTEJICAR	MUNICIPAL	3.006	215.715	0			
	MONTILLANA	MUNICIPAL	1.392	81.450	0			
	MORALEDA DE ZAFAYONA	MUNICIPAL	2.637	435.240	0			
PÍÑAR	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			
	CAJAR	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			
	GÚEJAR-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.

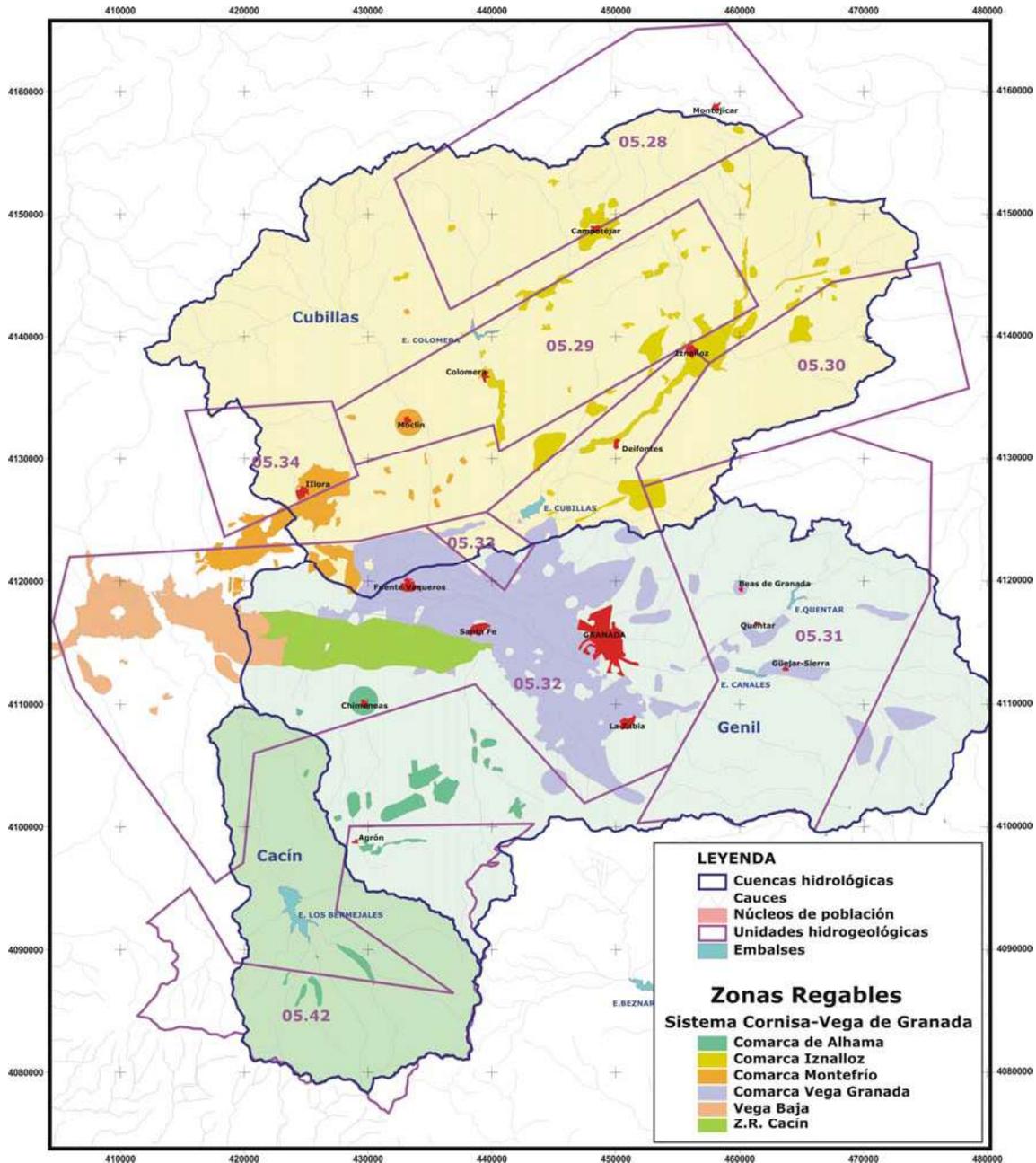


Figura 23. Zonas regables en el Sistema Cornisa-Vega de Granada.

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.

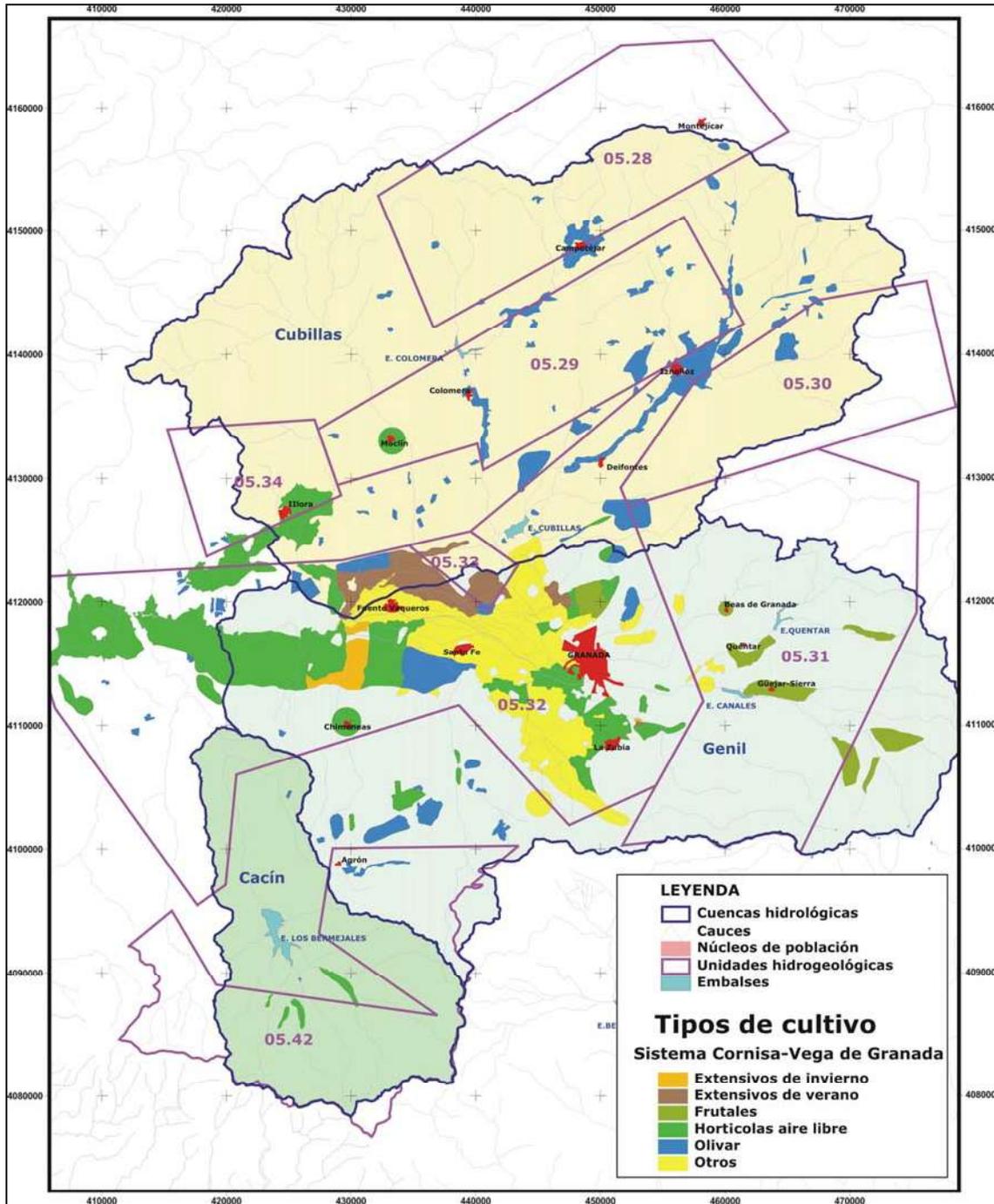


Figura 24. Tipos de cultivos en el Sistema Cornisa-Vega de Granada.

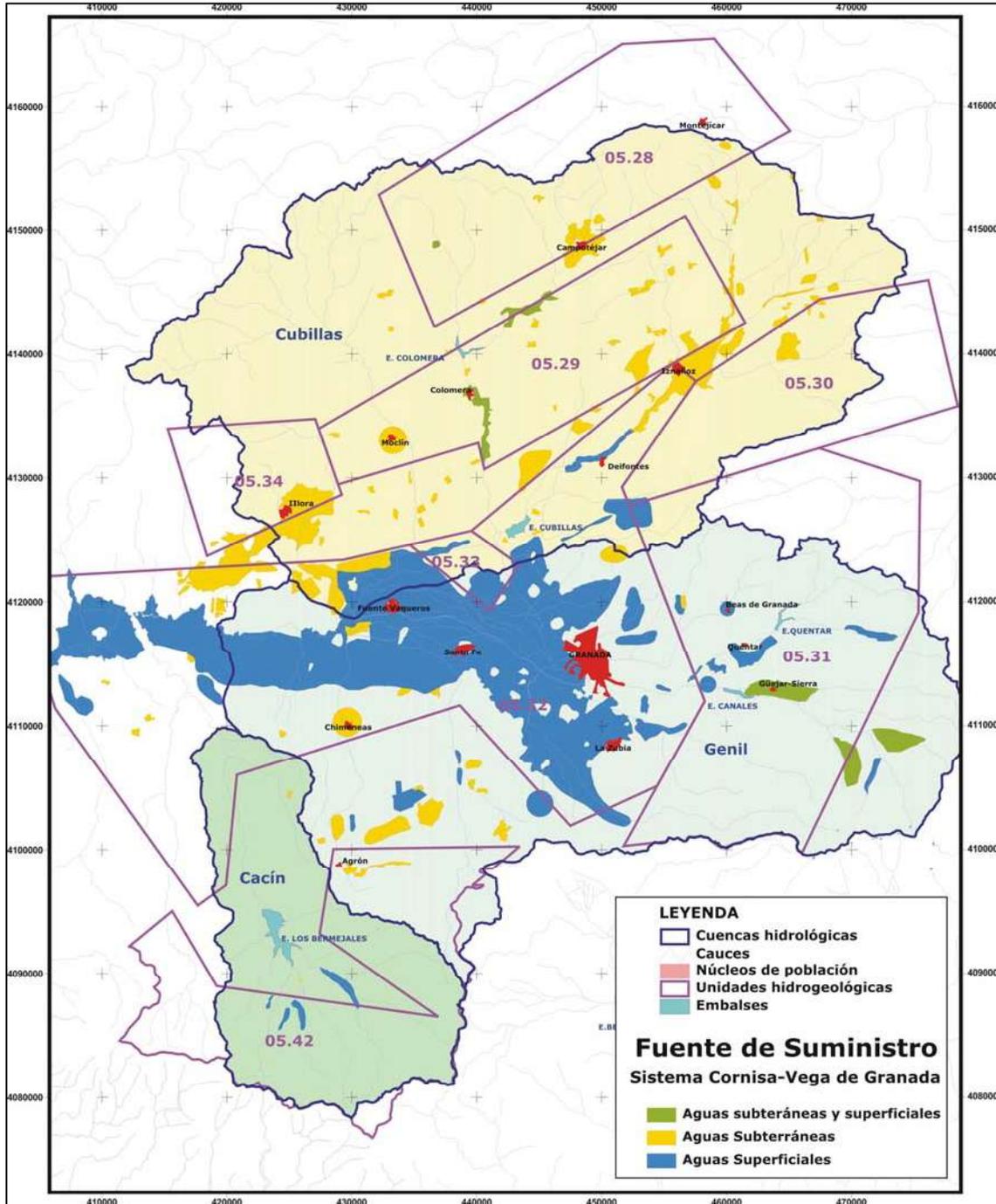


Figura 25. Procedencia del agua aplicada en el riego en el Sistema Cornisa-Vega de Granada.

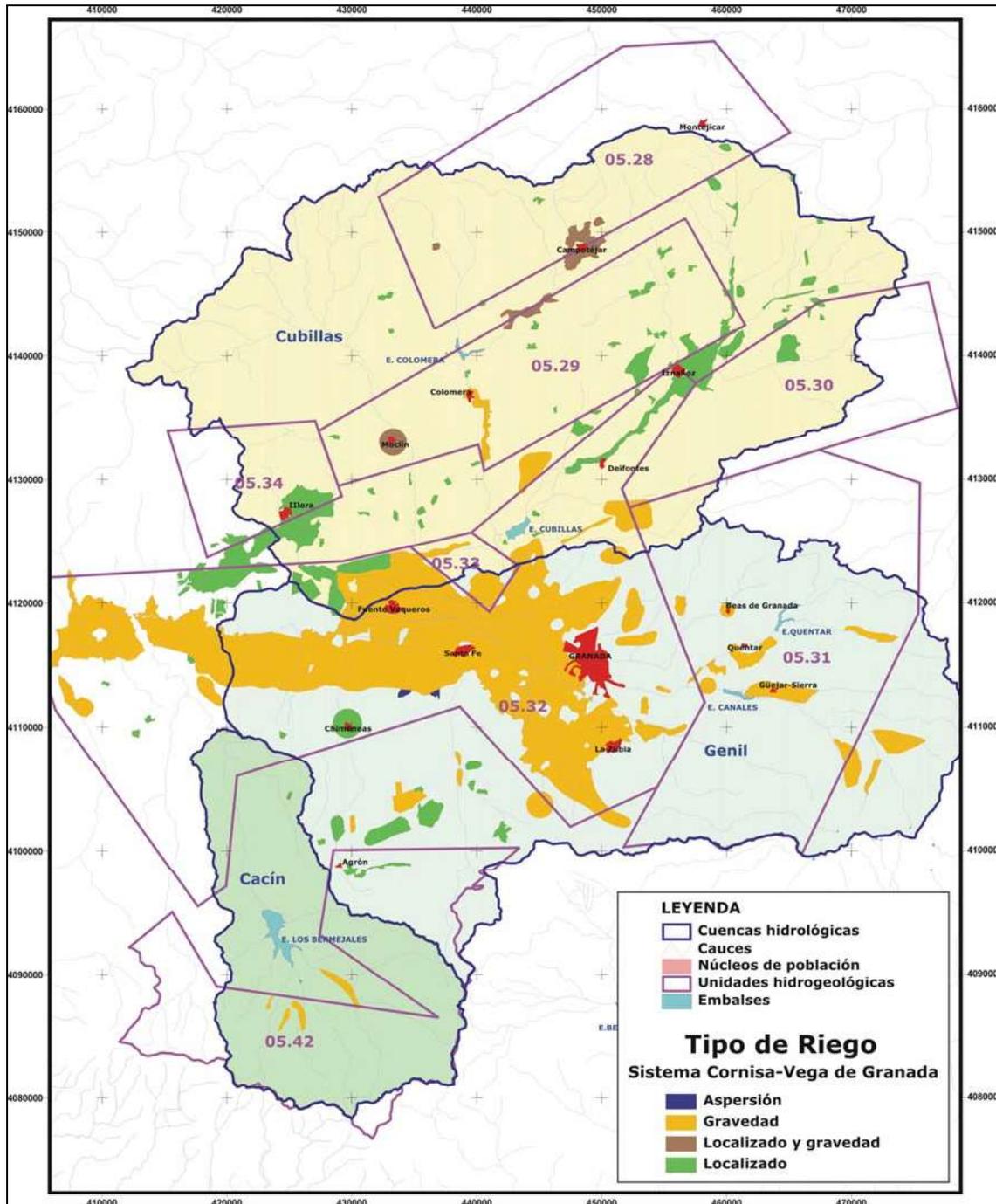


Figura 26. Tipo de riego aplicado en parcela para el Sistema Cornisa-Vega de Granada.

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*

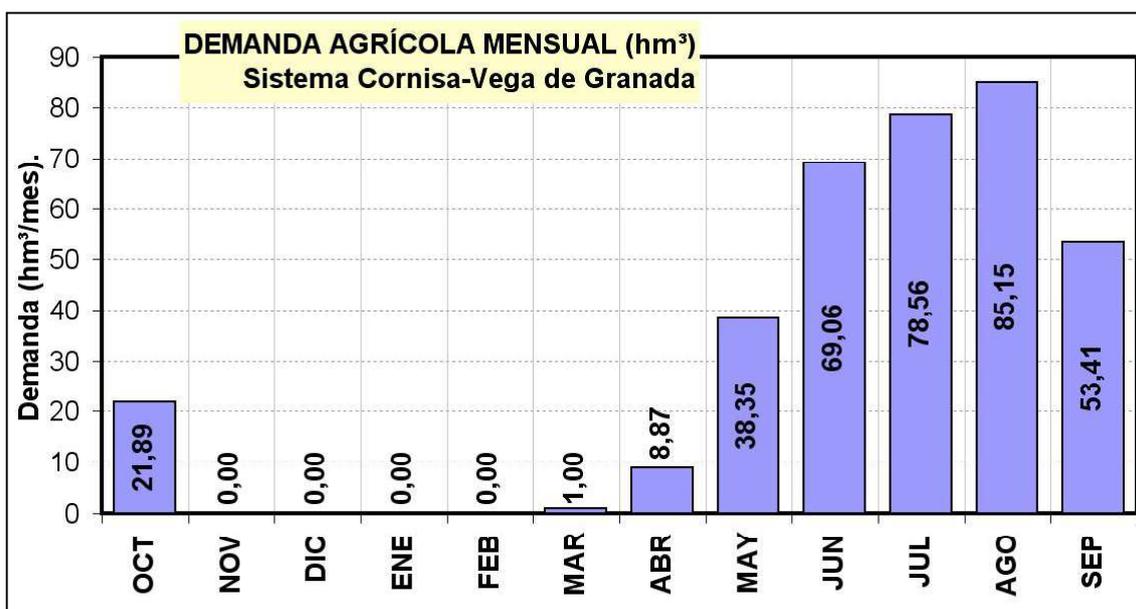


Figura 27. Distribución mensual de las dotaciones de riego según cultivos en el Sistema Cornisa-Vega de Granada

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.

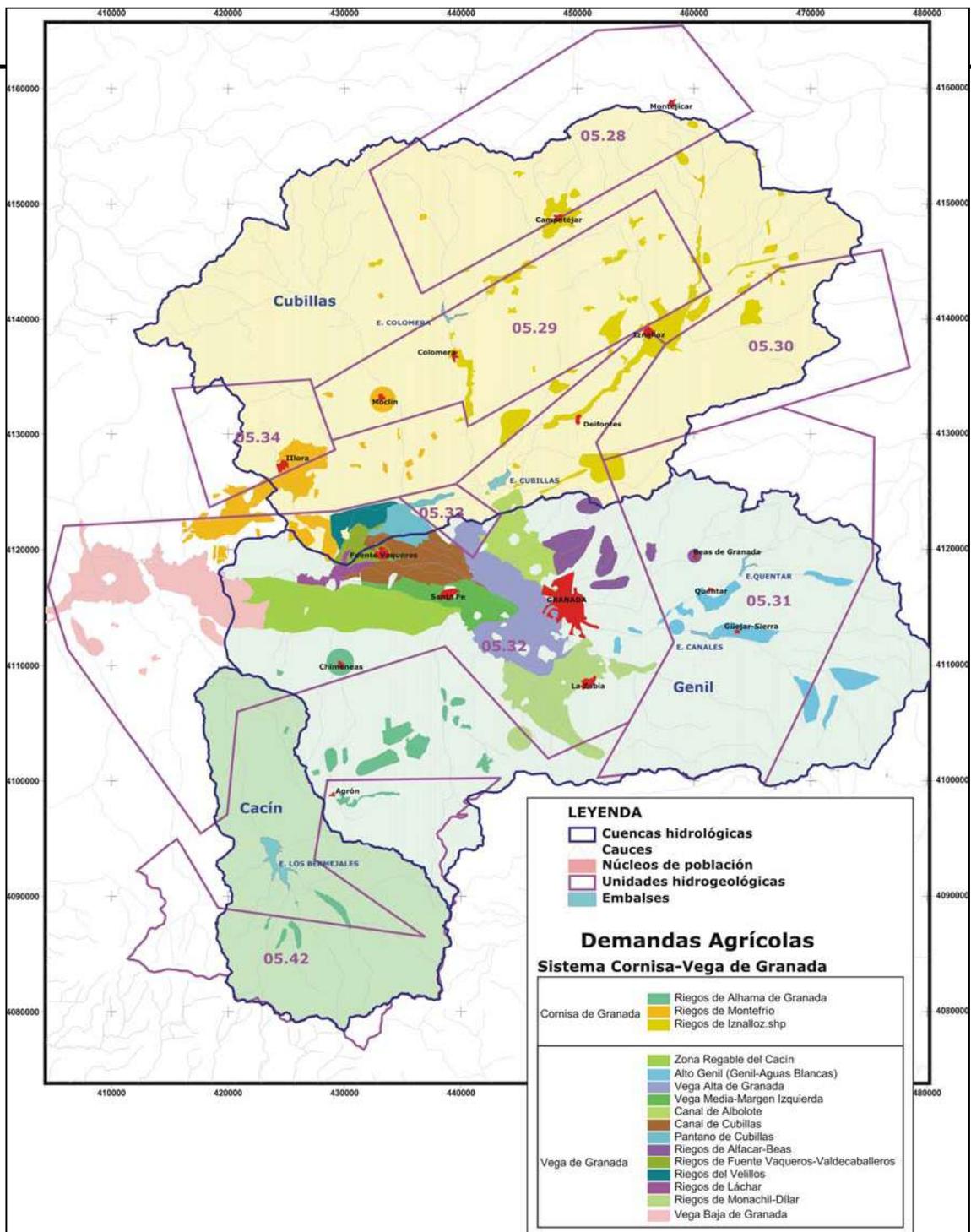


Figura 28. Centros de demanda agrícola diferenciados para el Sistema Cornisa-Vega de Granada

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 (manantial de Deifontes ; 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

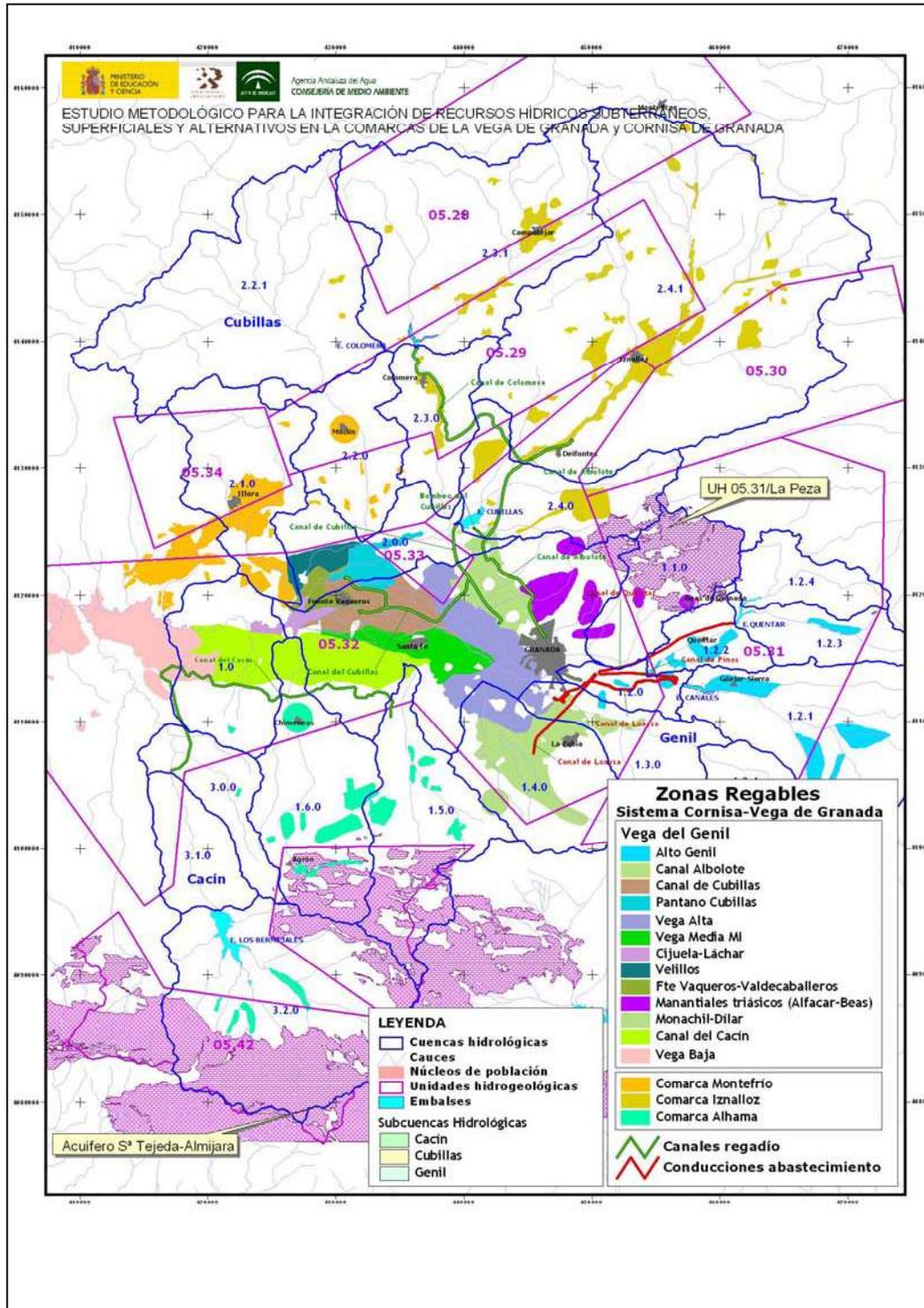


Figura 29. Sistemas de regulación-adsucción que dotan los riegos del Sistema Cornisa-Vega de Granada

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.

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).

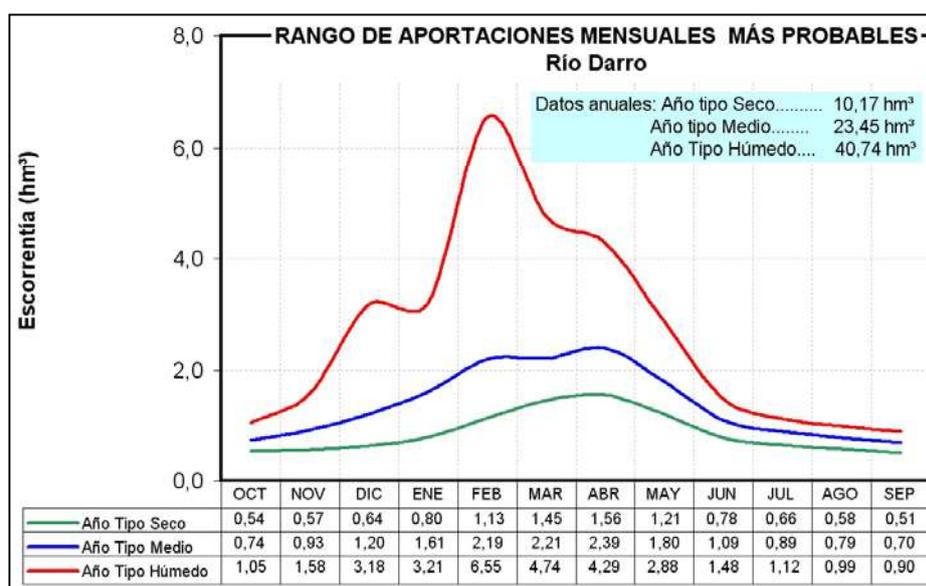


Figura 31. Régimen natural conjunto Darro-Beas.

- **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).

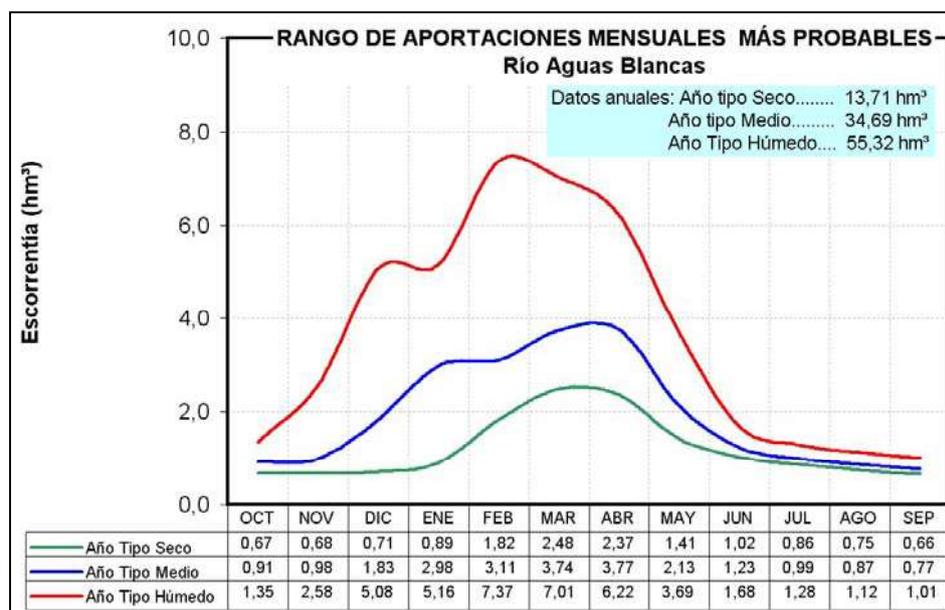


Figura 32. Régimen natural río Aguas Blancas.

- **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).

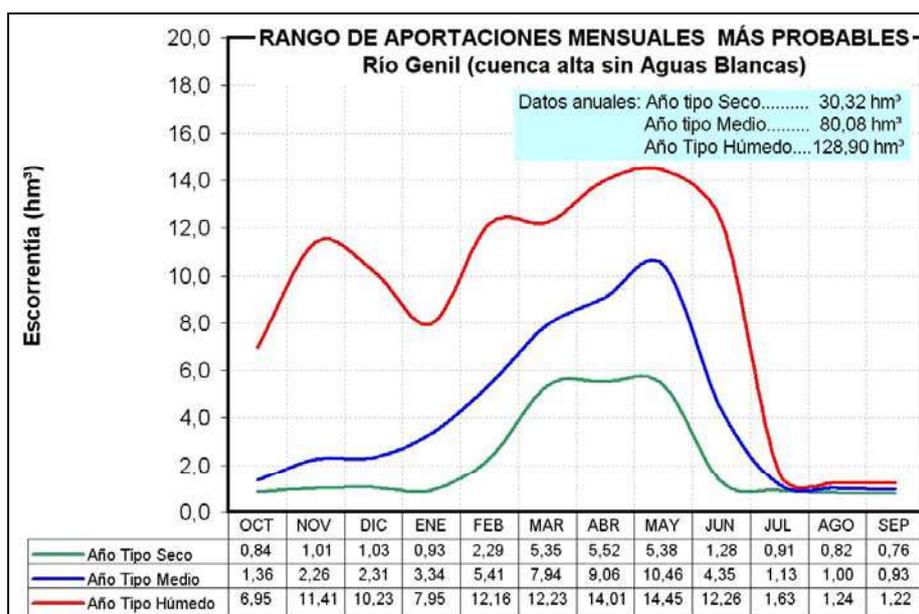


Figura 33. Régimen natural río Aguas Genil (antes de la confluencia con el Monachil y sin considerar la aportación del Aguas Blancas).

- **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).

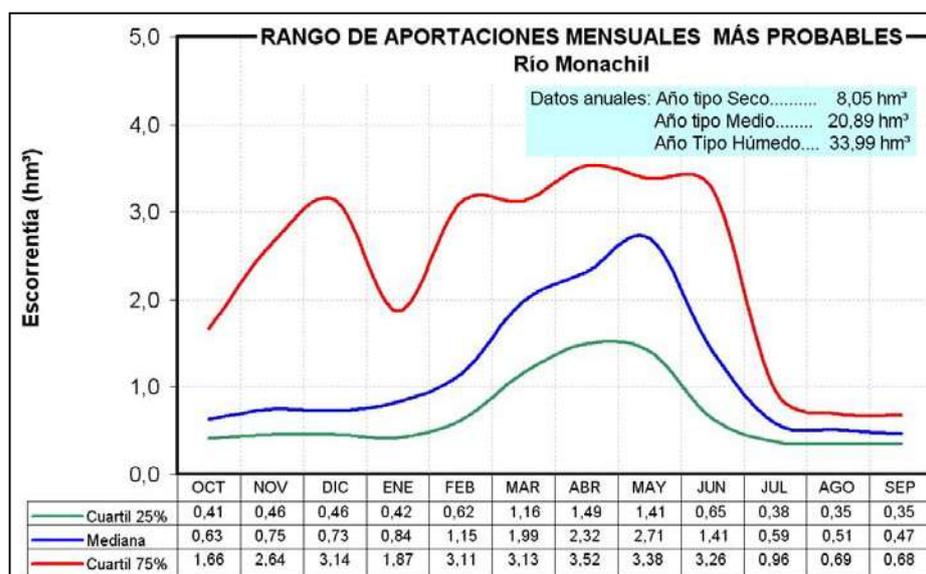


Figura 34. Régimen natural del río Monachil.

- **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).

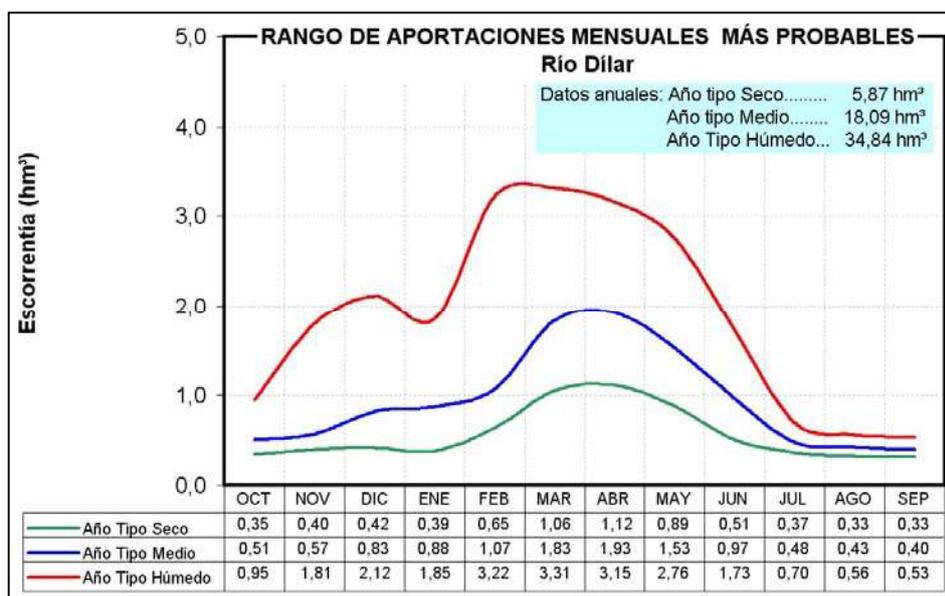


Figura 35. Régimen natural del río Dílar.

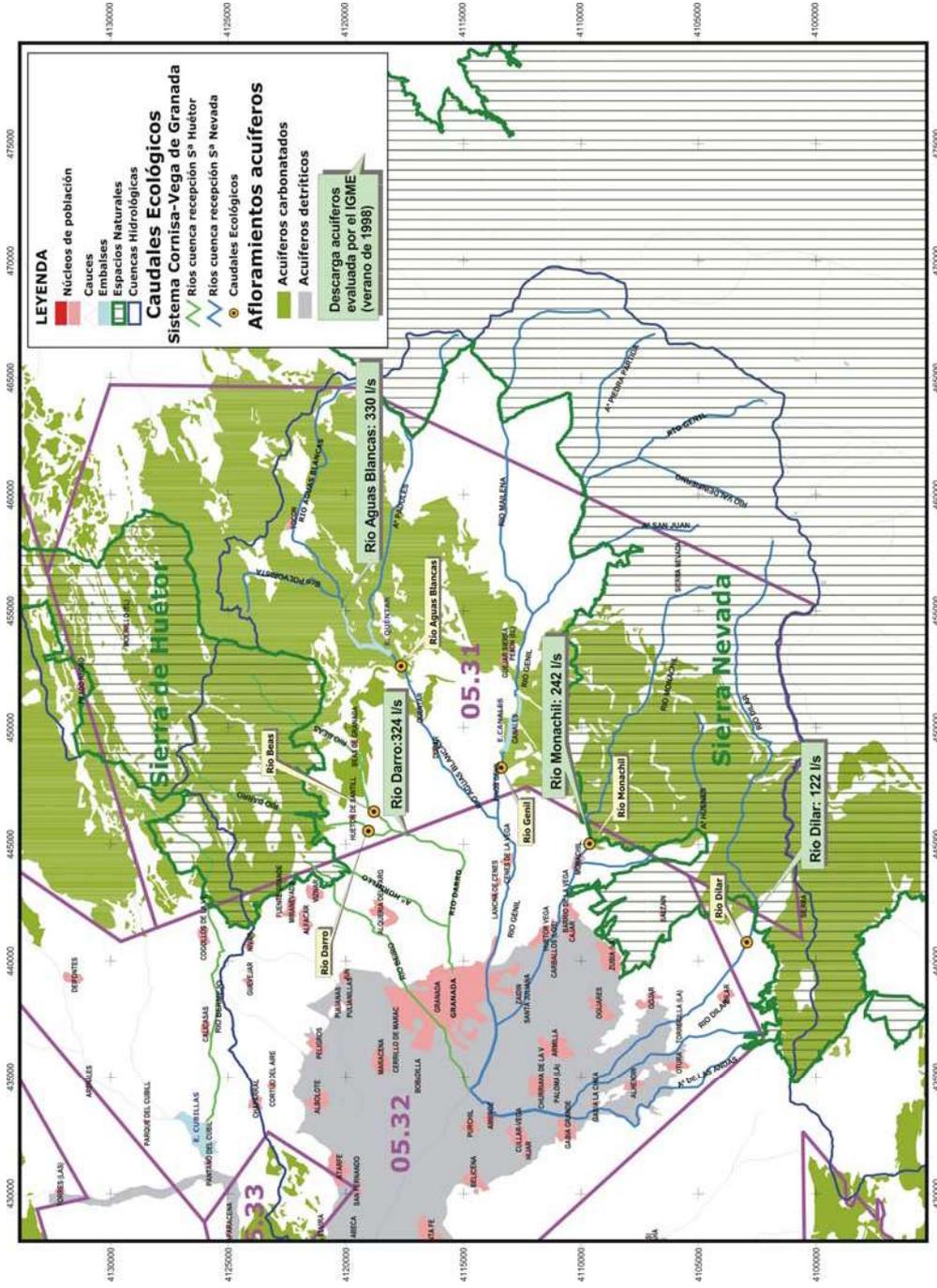


Figura 36. Relación entre ecosistemas acuáticos de especial relevancia medioambiental y las aguas subterráneas (Parques Naturales de Sierra de Huétor y Sierra Nevada)

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.

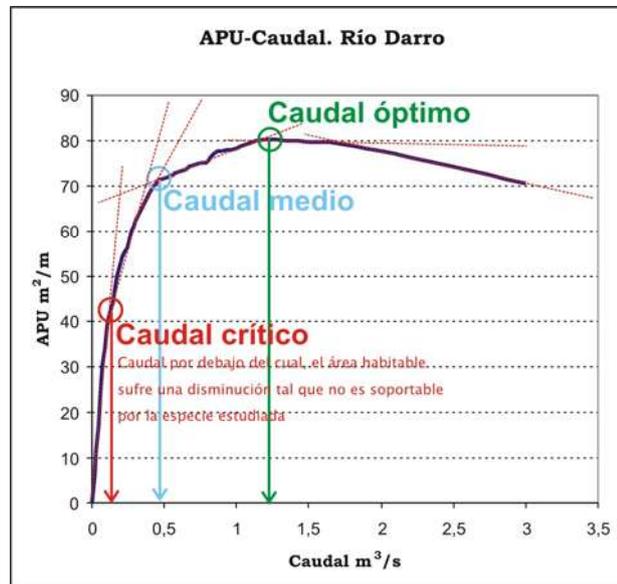


Figura 37. Curvas APU-Caudal

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.

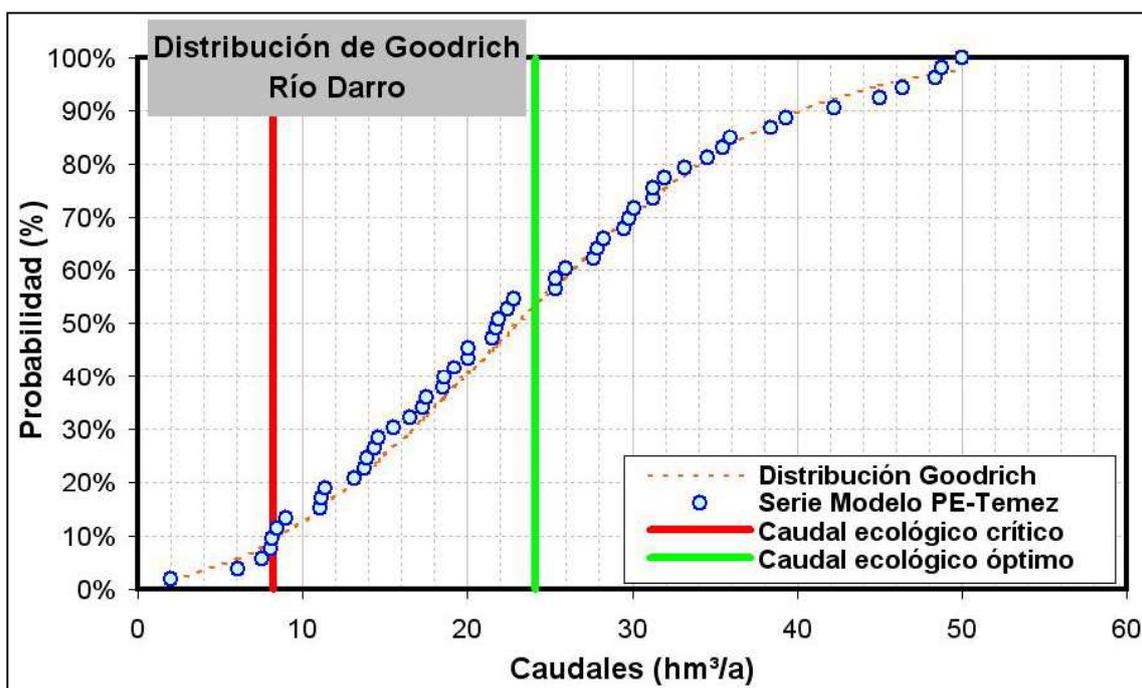


Figura 38. Análisis de caudales ecológicos en el río Darro

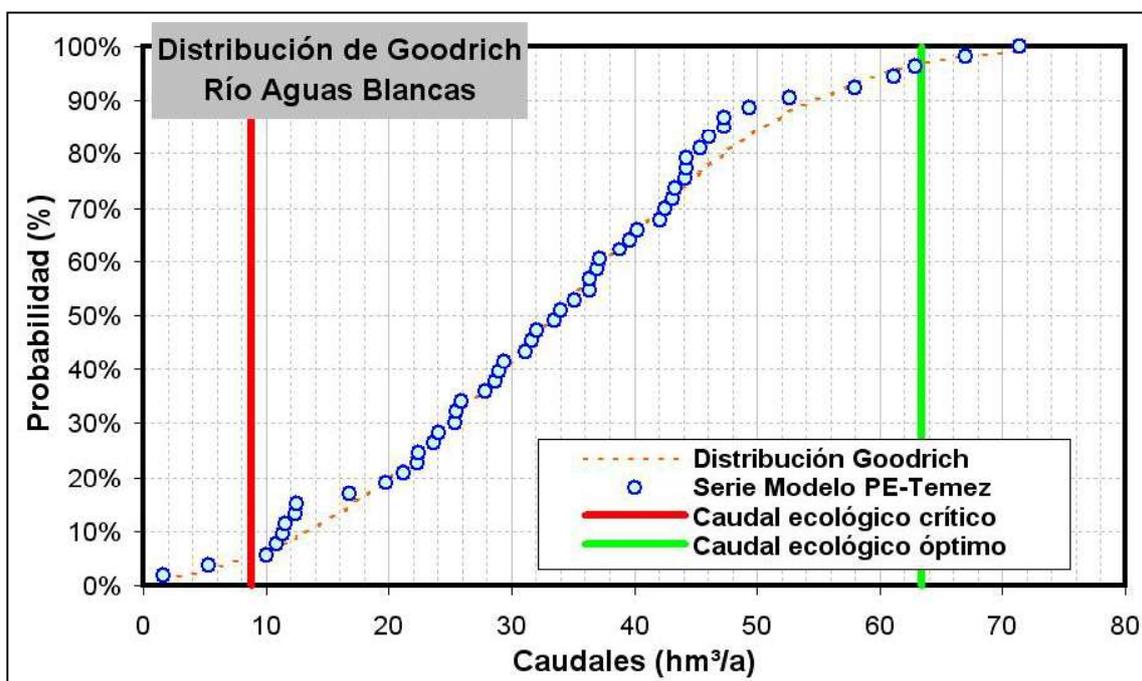


Figura 39. Análisis de caudales en el río Aguas Blancas

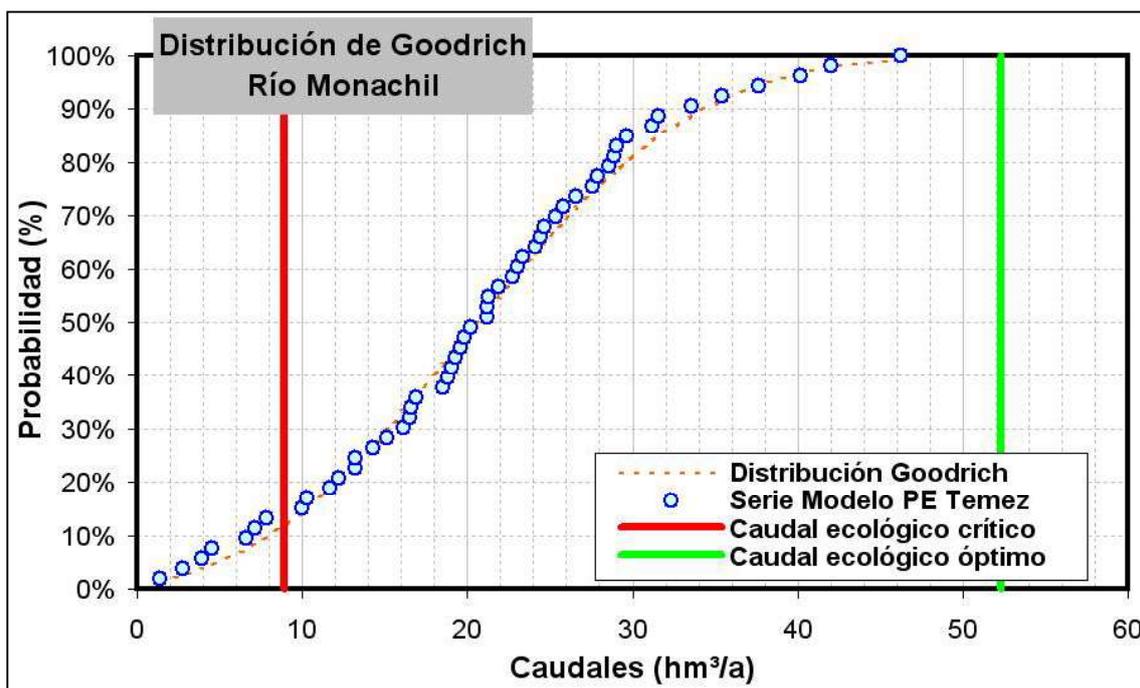


Figura 40. Análisis de caudales en el río Monachil

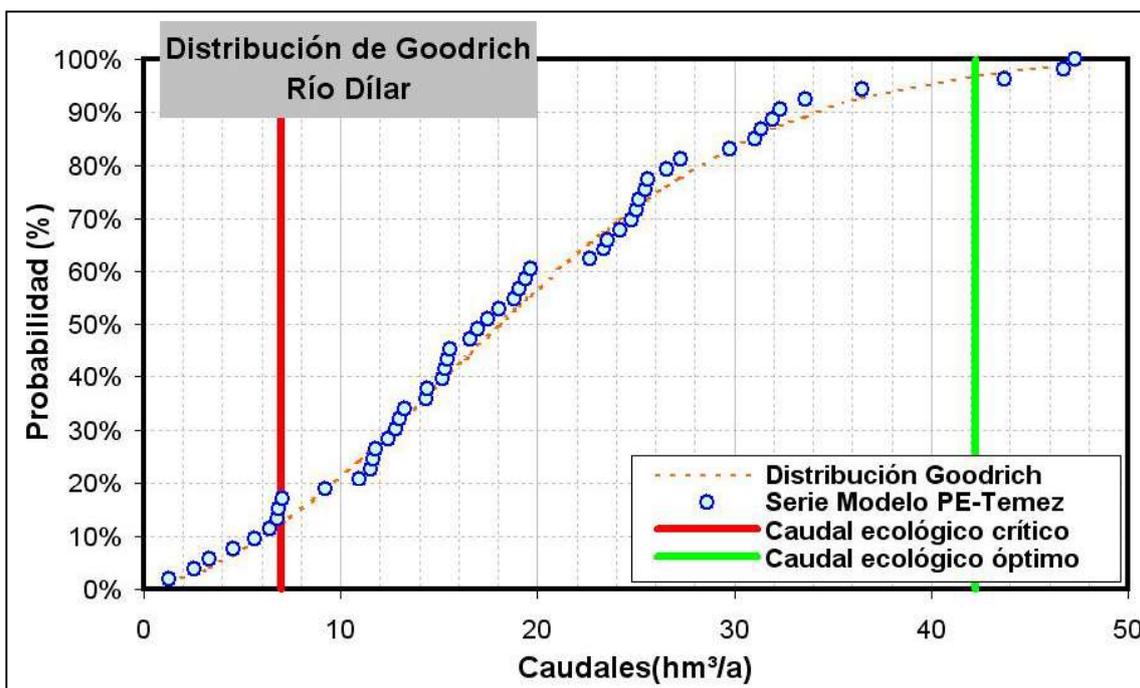


Figura 41. Análisis de caudales en el río Dílar

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	36,7%
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	

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.

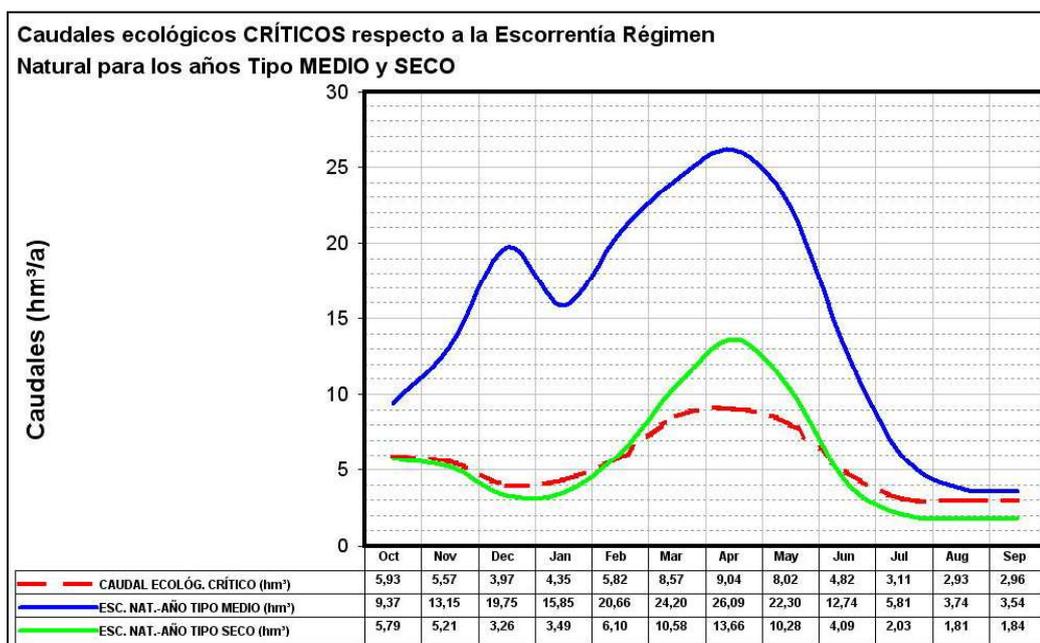


Figura 42. Comparativa del régimen de caudales ecológico y la escorrentía para los años Tipo Medio y Seco

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	Consorcio La Vega–Sierra Elvira	15,3	51,0	
	Consorcio 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 de los 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 una 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.

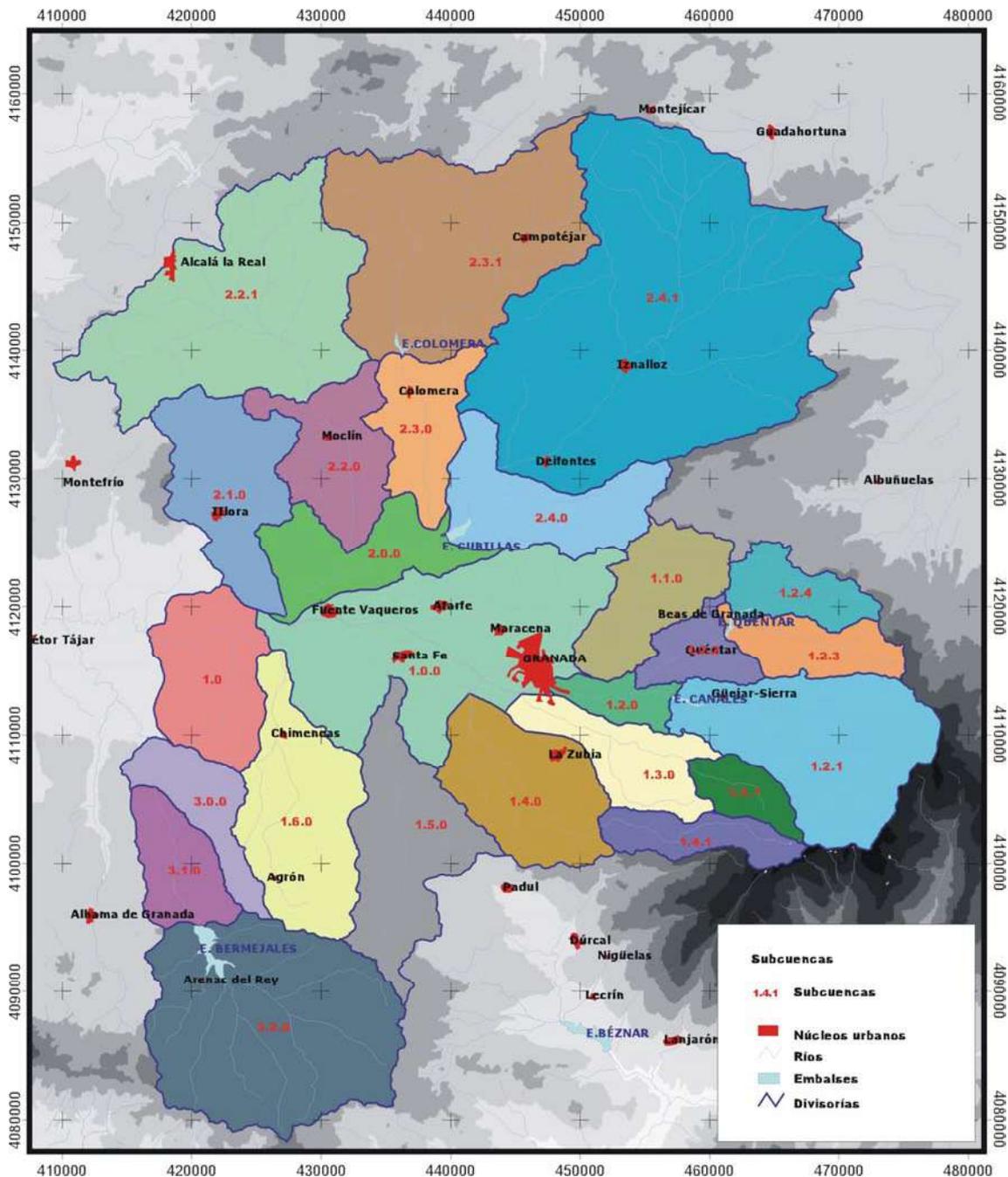


Figura 44. Subcuencas definidas en el Sistema Cornisa Vega de Granada

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 Dilar	1.712	626	1.070	16.932	453	2,67	47.011	11.665
	1.4.1	Alto Dilar	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.

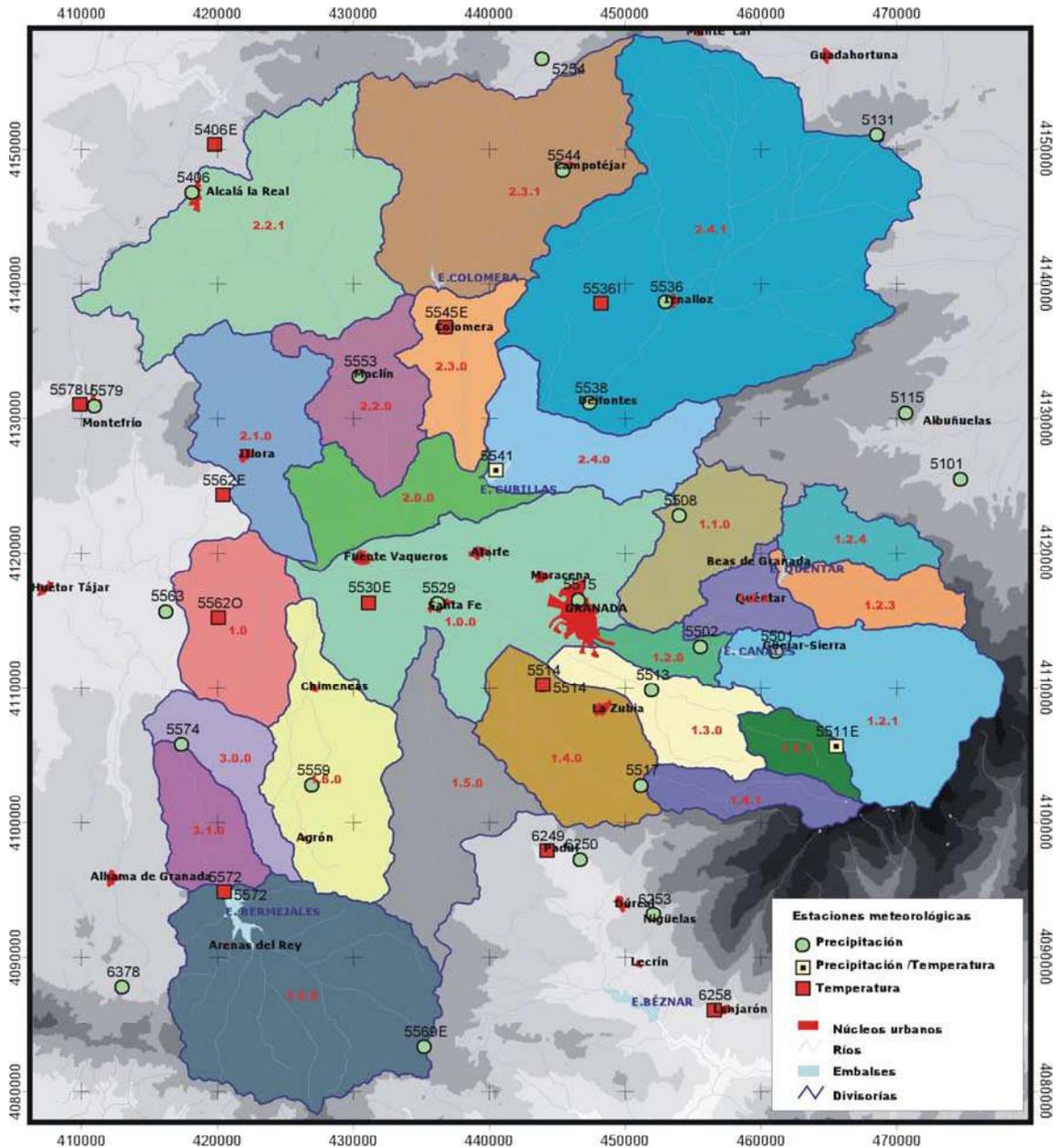


Figura 45. Estaciones meteorológicas (INM) utilizadas en el estudio

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

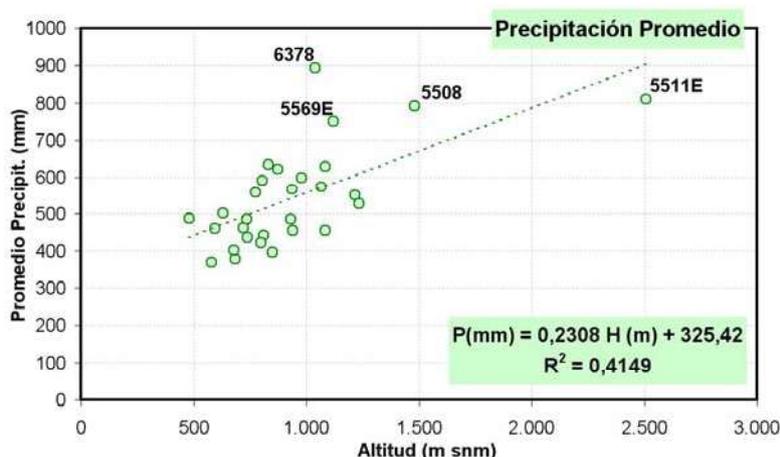


Figura 46. Correlación datos precipitación media anual–altitud

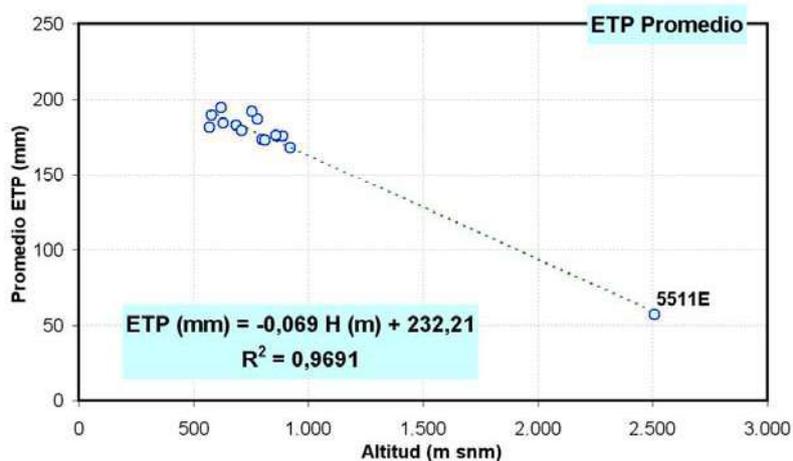


Figura 47. Correlación datos ETP–altitud

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..

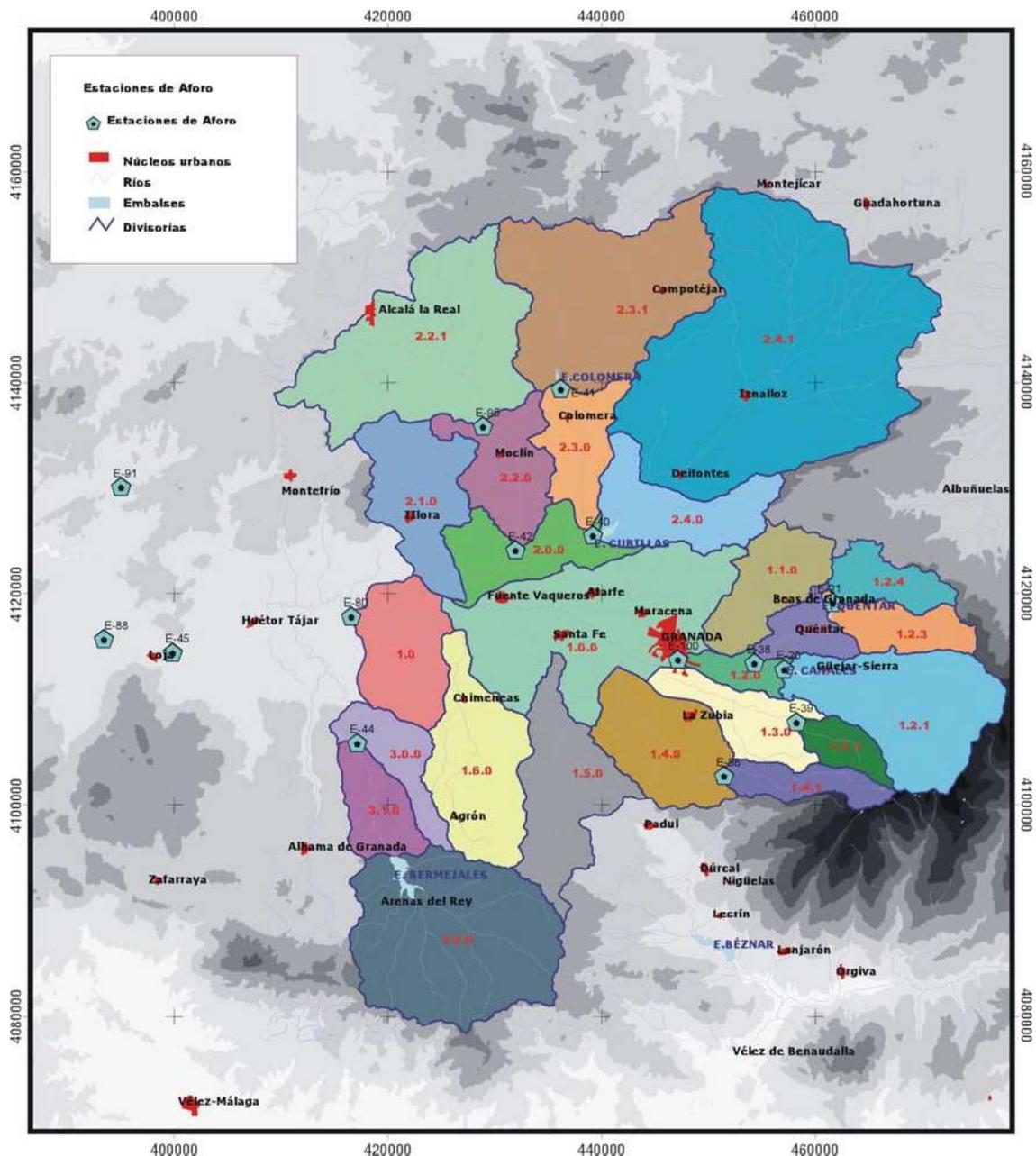


Figura 48. Estaciones de aforos. Datos hidrológicos

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	CACÍN	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.

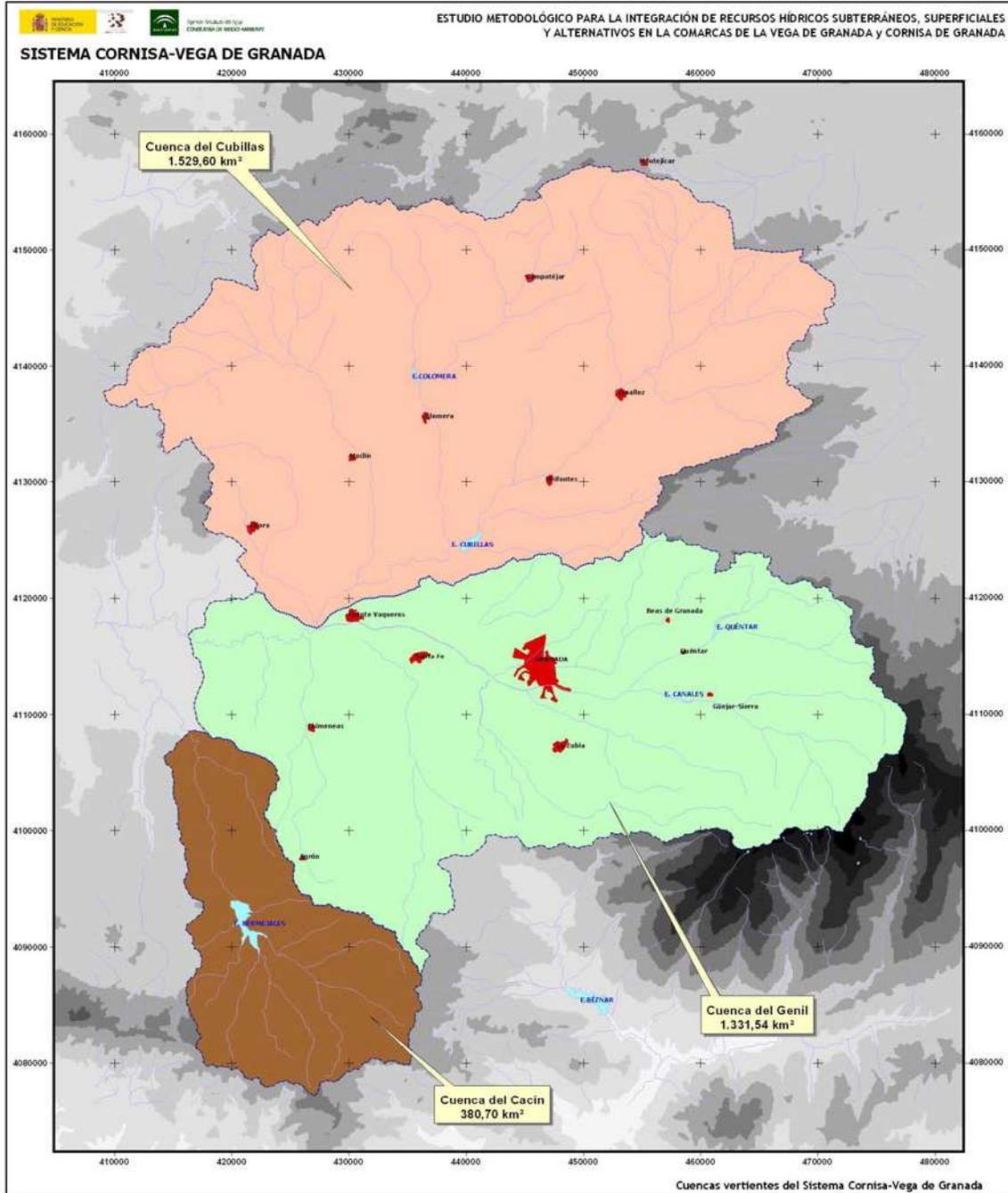


Figura 49. Cuencas vertientes del Sistema Cornisa-Vega de Granada

La cuenca del río Cacin considerada en el presente estudio, abarca una superficie de 380,7 km². El río Cacin 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	Riód 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.

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	Restituída
5501	GUEJAR-SIERRA	P/T	461103,38	4112748,19	1.084,00	GRANADA	Restituída
5508	ALFACAR 'LA ALFAGUARA'	P/T	454005,32	4122799,79	1.480,00	GRANADA	Restituída
5511E	GRANADA 'SIERRA NEVADA'	P/T	465514,12	4105641,07	2.507,00	GRANADA	Restituída
5517	DILAR 'CENTRAL ELECTRICA'	P	451179,40	4102784,14	980,00	GRANADA	Restituída
6253	NIGUELAS	P	452113,16	4093225,49	931,00	GRANADA	Restituída
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	Restituída
5254	CAMPILLO DE ARENAS	P	443886,58	4156762,89	874,00	JAEN	Restituída
5536	IZNALLOZ	P	452985,90	4138677,02	805,00	GRANADA	Restituída
5544	CAMPOTEJAR	P	445426,83	4148431,20	936,00	GRANADA	Restituída
5553	MOCLIN	P	430439,26	4133132,60	1.065,00	GRANADA	Restituída
5579	MONTEFRIO	P	410974,93	4130943,77	833,00	GRANADA	Restituída
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	Restituída
5513	MONACHIL	P	451960,60	4109867,69	810,00	GRANADA	Restituída
5515	GRANADA 'CARTUJA'	P/T	446574,42	4116526,01	720,00	GRANADA	Restituída
5529	SANTA FE	P	436217,19	4116289,97	579,00	GRANADA	Restituída
5538	DEIFONTES	P	447405,87	4131159,61	737,00	GRANADA	Restituída
5541	PANTANO CUBILLAS	P/T	440478,54	4126120,81	630,00	GRANADA	Restituída
5559	VENTAS DE HUELMA	P	426977,29	4102804,54	851,00	GRANADA	Restituída
5563	MORALEDA DE ZAFAYONA LORETO	P	416238,44	4115694,65	596,00	GRANADA	Restituída
5574	PRESA DE CACIN	P	417374,72	4105820,89	680,00	GRANADA	Restituída
5582	LOJA AFOROS	P/T	397475,58	4114052,98	480,00	GRANADA	Restituída
6250	PADUL AGUADERO	P/T	446699,44	4097264,06	740,00	GRANADA	Restituída
5572	PANTANO DE BERMEJALES	P/T	420481,22	4094850,10	800,00	GRANADA	Completa
5569E	ALBUÑUELAS HUIDA	P	435225,50	4083321,95	1.120,00	GRANADA	Restituída
6378	ALHAMA DE GRANADA ALCAICERIA	P	412992,86	4087835,11	1.040,00	GRANADA	Restituída

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

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	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
	Húmedo	74,7	72,8	83,1	72,8	68,3	66,3	66,0	49,3	29,0	2,0	5,0
5115	Seco	17,5	30,1	28,9	17,1	21,8	27,8	25,8	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
	Húmedo	73,5	86,6	104,0	73,8	67,7	83,9	75,7	48,5	26,6	2,0	8,5
5501	Seco	23,0	40,0	45,1	27,0	27,5	36,0	41,2	19,0	7,0	0,0	3,1
	Medio	57,3	52,5	69,3	62,1	54,7	60,5	60,3	41,0	17,3	1,6	1,1
	Húmedo	84,3	113,3	129,9	87,5	106,2	93,0	81,0	72,7	31,9	3,6	4,8
5508	Seco	29,7	56,8	48,6	39,2	43,5	42,0	45,6	39,4	13,6	0,0	1,0
	Medio	65,2	82,1	76,0	72,4	78,2	65,8	71,5	67,5	48,6	0,7	2,1
	Húmedo	111,5	142,0	137,6	118,0	142,5	120,0	115,1	83,0	48,7	2,0	4,5
5511E	Seco	27,3	52,6	39,0	32,6	45,7	42,6	27,3	19,7	15,2	0,0	0,1
	Medio	67,4	74,5	65,0	55,0	65,4	57,1	54,0	39,2	27,6	4,4	0,2
	Húmedo	109,2	133,7	105,2	97,2	99,5	83,4	89,9	84,4	44,1	5,0	4,8
6253	Seco	17,5	37,0	39,5	19,0	28,2	34,1	32,7	13,0	4,5	0,0	2,0
	Medio	45,3	56,6	75,0	57,7	54,5	58,0	51,6	33,7	15,0	0,0	0,0
	Húmedo	91,9	101,3	138,7	93,5	93,6	110,1	76,2	61,0	48,6	3,0	3,5
5405	Seco	13,5	28,0	26,5	21,5	26,4	24,0	23,5	8,5	3,5	0,0	4,0
	Medio	37,4	53,9	55,9	42,0	45,0	45,0	40,3	25,0	13,5	0,0	0,6
	Húmedo	84,0	84,5	112,0	70,0	75,1	64,6	68,5	59,0	23,4	2,5	2,0
5572	Seco	9,0	24,0	20,3	15,0	15,1	19,5	17,0	14,0	7,2	0,0	0,0
	Medio	42,9	39,0	47,4	41,1	35,0	41,5	37,8	24,1	12,5	0,0	0,0
	Húmedo	72,7	72,8	88,1	72,8	68,3	66,3	66,0	48,3	29,0	2,0	5,0
5131	Seco	16,5	34,0	31,4	21,5	26,8	30,5	32,0	19,9	9,5	0,0	3,6
	Medio	41,2	51,9	55,3	45,2	46,5	50,7	47,3	33,7	23,2	0,9	3,4
	Húmedo	89,1	94,0	119,5	81,3	94,3	76,7	71,9	73,4	40,0	5,0	12,1
5254	Seco	14,9	30,0	30,5	23,5	24,8	32,1	29,3	16,8	8,5	0,0	0,3
	Medio	54,9	60,0	72,5	54,5	45,5	56,0	46,4	36,2	20,3	0,0	5,4
	Húmedo	91,4	110,0	122,6	116,1	116,6	83,3	75,6	71,0	39,8	3,6	15,0
5536	Seco	29,1	42,3	32,2	39,3	30,5	38,0	24,9	18,1	17,0	0,7	0,0
	Medio	59,5	60,0	74,2	63,2	46,4	60,6	42,9	34,2	21,1	4,5	2,0
	Húmedo	94,4	96,3	123,1	89,4	99,2	97,0	59,0	62,6	26,7	5,4	6,1
5544	Seco	14,6	40,0	30,7	24,7	21,5	34,0	25,7	13,5	10,8	0,0	0,0
	Medio	45,7	56,9	60,5	48,7	45,3	54,6	40,3	29,8	16,9	0,0	1,5
	Húmedo	87,1	113,0	130,4	105,4	96,2	87,3	62,5	70,4	34,0	4,7	9,7
5553	Seco	14,0	36,0	27,0	32,1	26,6	33,8	29,5	9,0	7,0	0,0	0,0
	Medio	42,1	59,0	71,0	55,5	57,0	55,0	41,5	37,5	24,0	0,0	0,0
	Húmedo	81,7	96,0	116,6	103,9	94,7	89,6	60,6	61,0	38,0	2,0	4,0
5579	Seco	16,6	49,0	35,4	28,0	27,5	36,5	31,0	7,0	7,0	0,0	0,0
	Medio	45,9	56,0	75,7	51,0	53,0	51,1	52,8	31,5	19,3	0,0	3,4
	Húmedo	96,7	118,0	136,1	122,5	120,0	87,1	74,0	59,0	33,3	3,0	8,9
5514	Seco	16,6	26,0	21,0	15,6	15,0	22,4	20,9	8,1	3,4	0,0	0,0
	Medio	37,9	37,0	47,0	35,2	28,1	36,7	33,7	24,5	8,9	0,0	0,5
	Húmedo	62,4	56,0	67,1	57,5	55,9	57,4	54,9	48,9	20,7	3,0	2,0
5502	Seco	16,3	36,0	27,6	21,0	24,0	27,5	30,5	13,7	7,0	0,0	0,0
	Medio	53,6	54,0	58,8	57,0	44,9	50,3	51,6	34,2	17,3	0,0	1,1
	Húmedo	90,3	95,0	111,0	100,3	96,7	91,6	71,1	65,4	30,1	2,5	4,5
5513	Seco	16,8	26,9	22,9	24,7	22,3	23,3	21,7	10,9	5,0	0,0	0,0
	Medio	45,8	45,0	46,0	43,4	35,7	42,3	42,6	31,6	10,0	1,3	0,1
	Húmedo	83,6	74,1	79,4	60,0	61,5	70,2	62,0	59,0	20,6	1,6	2,1
5515	Seco	22,1	29,0	29,1	21,0	23,0	26,6	25,7	14,4	4,8	0,0	0,0
	Medio	41,4	47,0	50,7	40,6	36,4	44,2	41,2	34,0	10,1	1,0	0,5
	Húmedo	75,9	79,5	85,6	75,0	73,4	70,6	59,9	57,9	21,0	3,7	3,5

Año tipo	Seco	Medio	Húmedo
Mínimo	0,0	0,6	2,9
Q25%	5,0	15,8	34,7
Mediana	20,0	45,2	74,0
Promedio	17,3	34,6	62,3
Q75%	27,2	48,8	85,8
Máximo	27,2	48,8	85,8
DesvEBI	12,3	21,1	35,7
CV	1,4	1,6	1,7

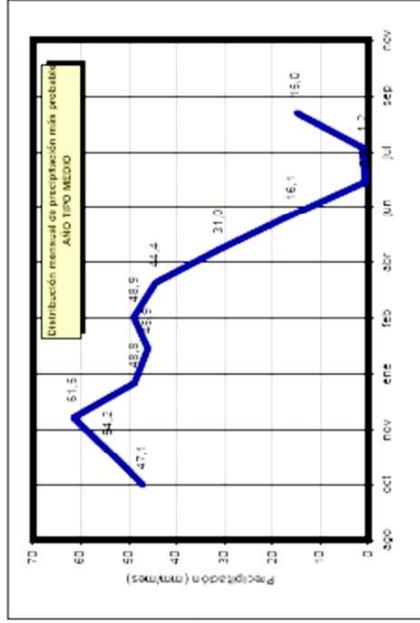


Tabla 21. Datos de precipitación según años tipo (serie 1951-2004)

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

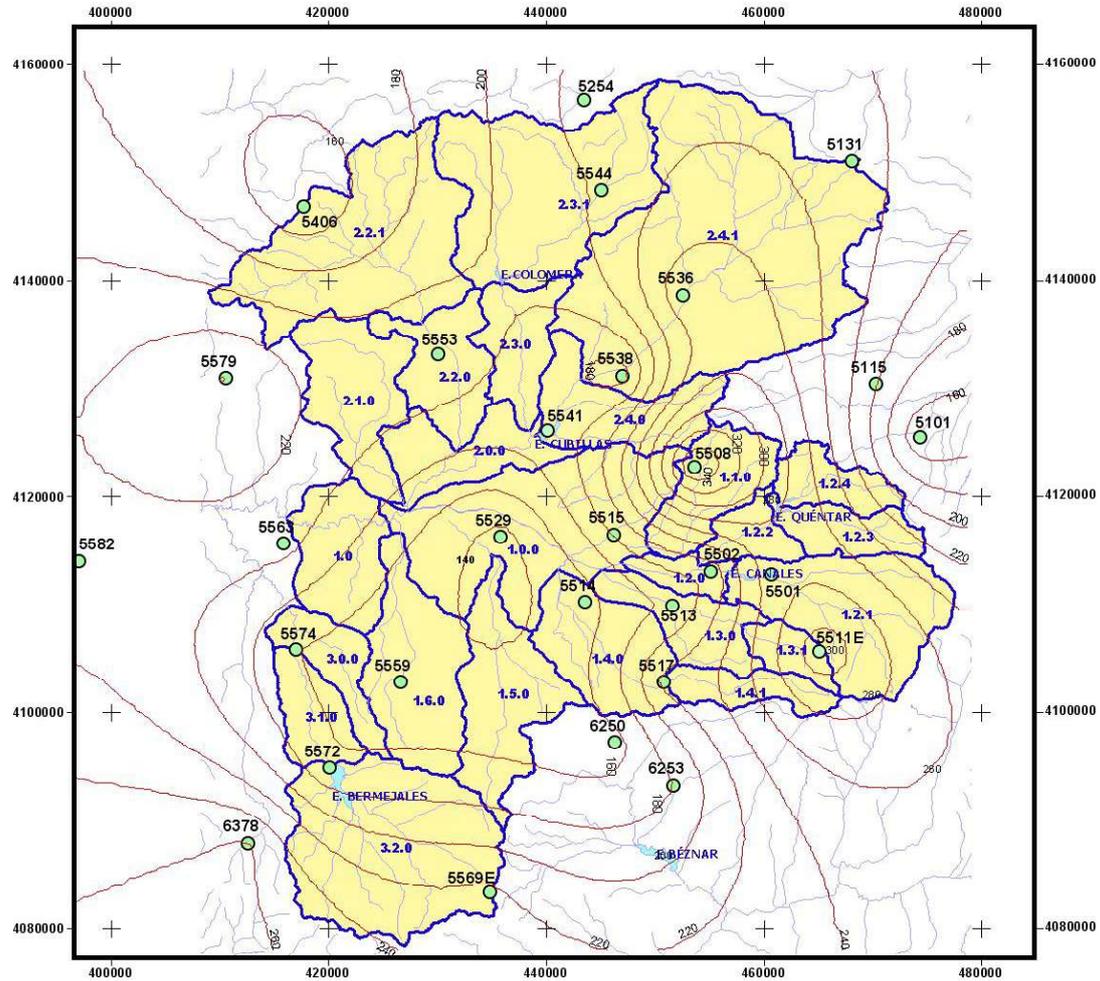


Figura 51. Isolíneas Precipitación año tipo SECO más probable (en mm)

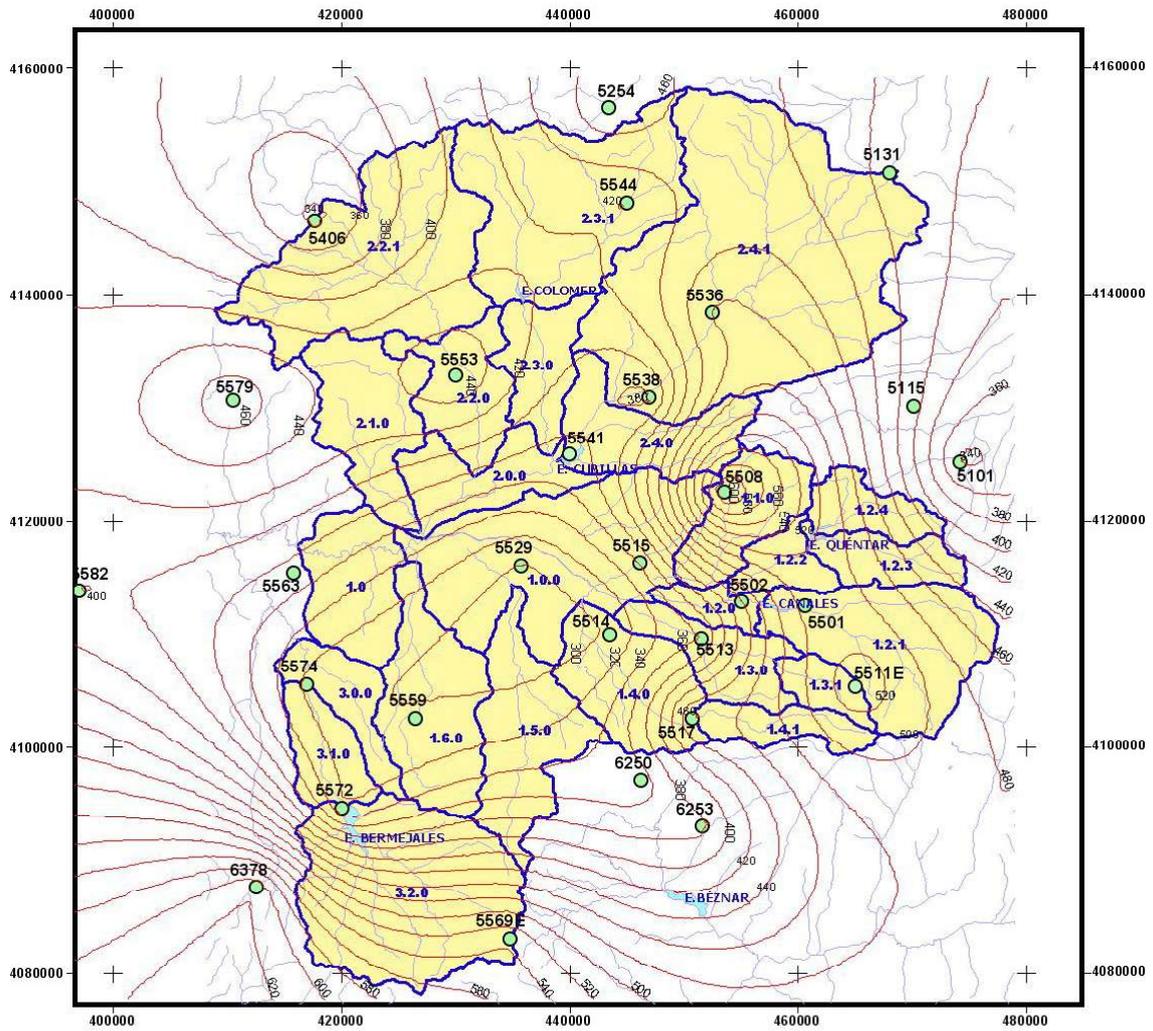


Figura 52. Isolíneas precipitación año tipo MEDIO más probable (mm)

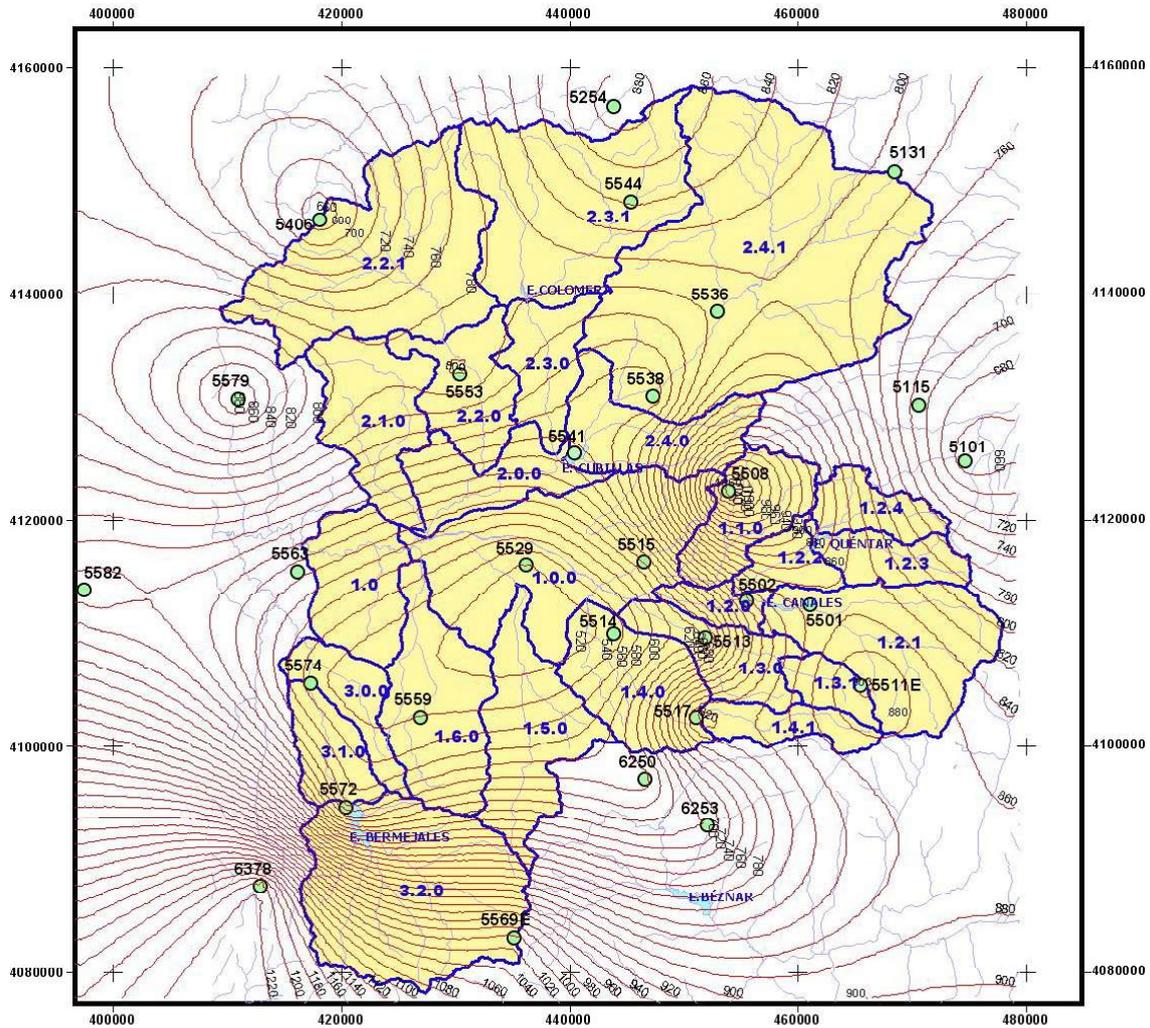


Figura 53. Isolíneas precipitación año tipo HÚMEDO más probable (en mm)

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).

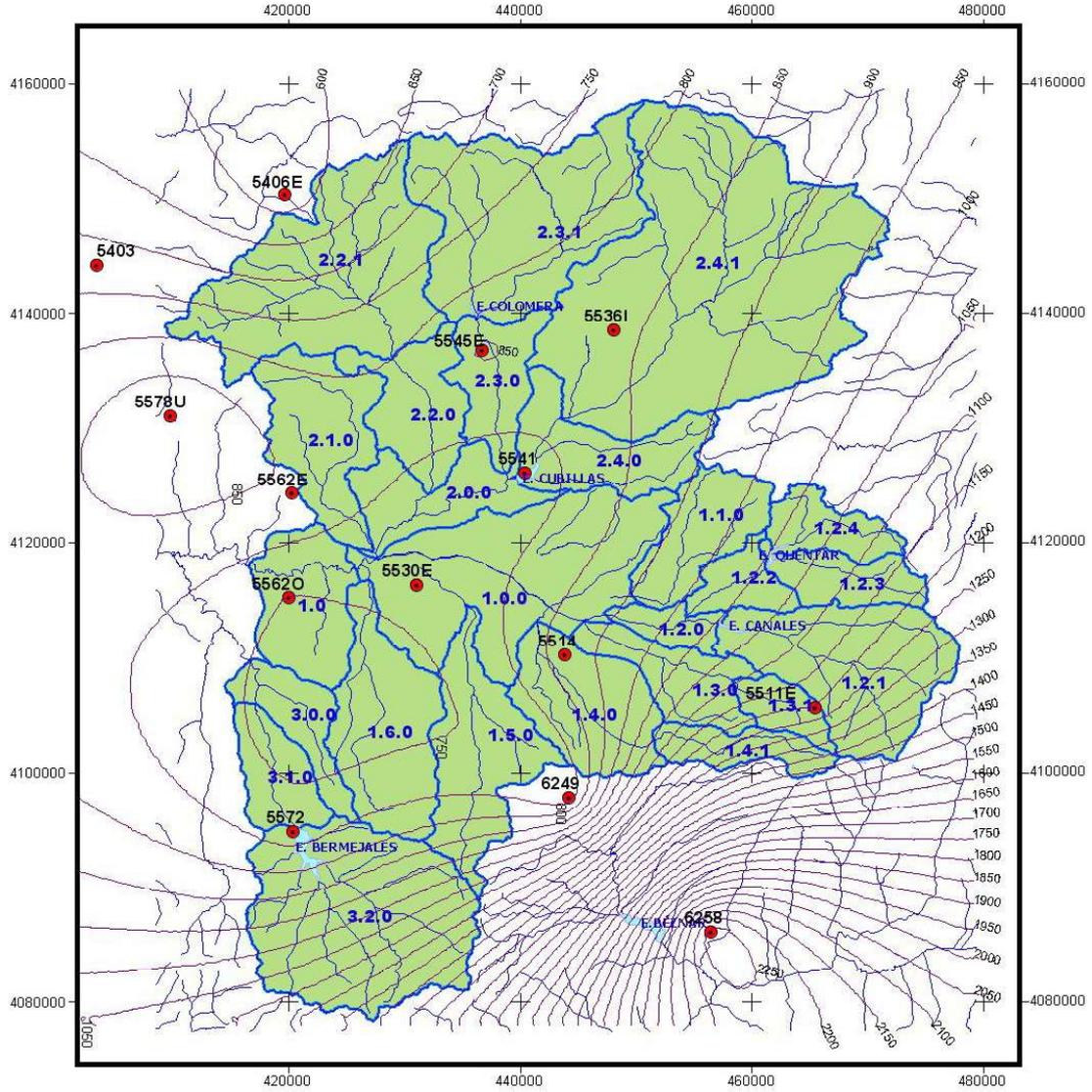


Figura 54. Mapa de isolíneas de ETP

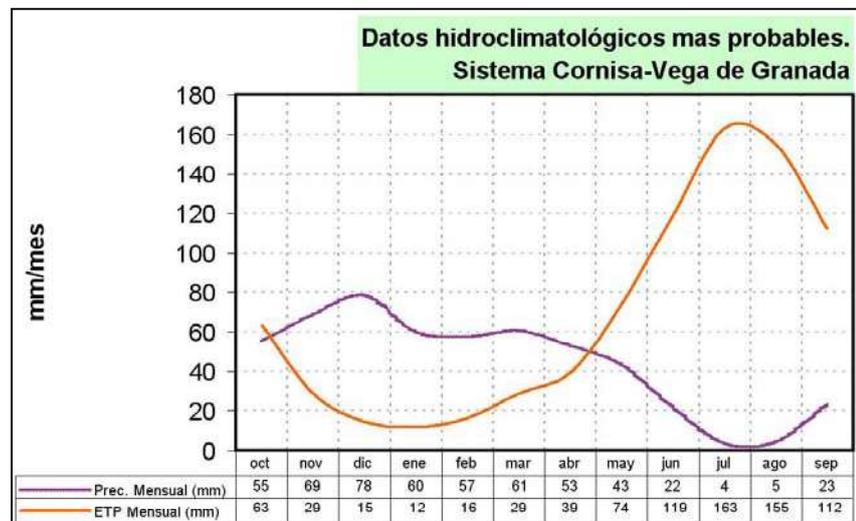


Figura 55. Comparativa de Precipitaciones y ETP en el Sistema Cornisa-Vega de Granada (valores más probables)

NOMBRE	NÚMERO	SUBCUENCA	Sup. (ha)	Centroide		Prec. anual Promedio (mm)	Aport. anual promedio (hm ³)	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 (S ^a 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)

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

$Q_{f_{i-1}}$, 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 $3,858 \cdot 10^{-7}$

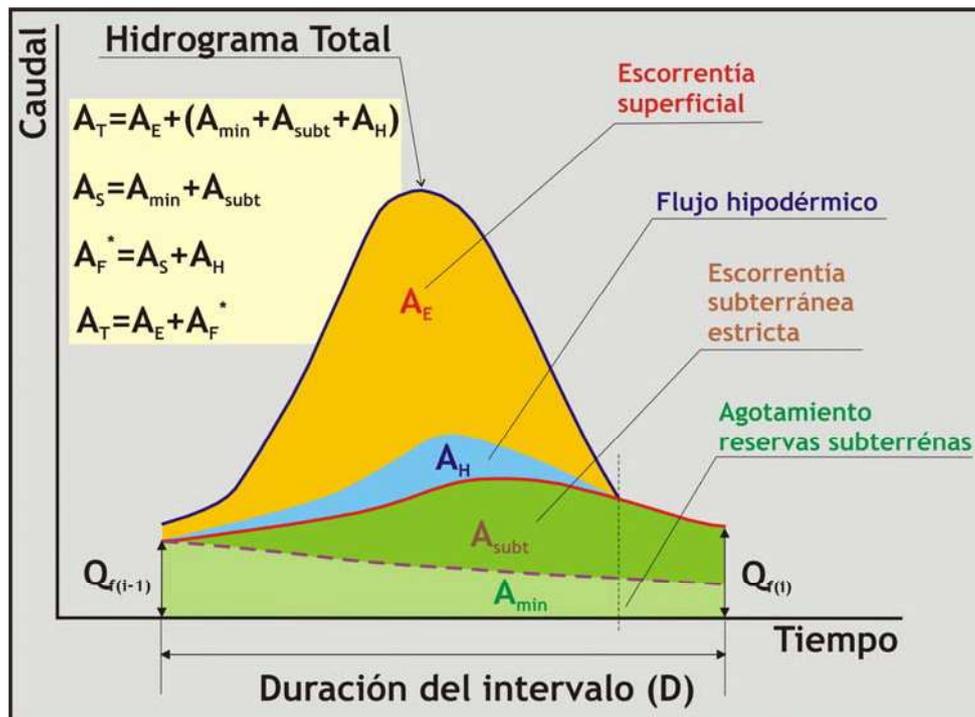


Figura 56. Componentes de la aportación en un intervalo de tiempo (modelo Temez modificado)

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 retención de humedad del suelo, aumentando de acuerdo con la coexistencia de circunstancias que facilitan la retención superficial del agua.
- $I_{m\acute{a}x}$ (mm), máxima infiltración posible, que no depende exclusivamente de las condiciones del terreno, sino de la intensidad y concentración de las precipitaciones. Respecto a este parámetro 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 concentración de las precipitaciones, se procedió a contabilizar de forma diferenciada las superficies de las formaciones que constituyen los acuíferos 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 infiltración máxima en los acuíferos (I_{aq}) y en los impermeables (I_{nq}), utilizando la siguiente expresión:

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

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).

Código	Subcuenca Nombre	Estaciones INM																			Sup (ha)									
		5101	5115	5501	5508	5511E	5517	6263	5406	5131	5264	5536	5544	5553	5579	5514	5502	5513	5515	5529		5538	5541	5569	5563	5574	5582	6250	5572	5569E
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	Diario			6.393													1.211	2	699										8.305	
1.2.0	Genil (St 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 (Queñtar)	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 Dilar					3.599									5.942		926										1.199		11.865	
1.4.1	Alto Dilar					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 Vellios													8.409									384						8.793	
2.2.1	Alto Vellios								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	Río 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			5.767	
3.2.0	Cacín (Bermejales)																					199							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	7.904	18.139	12.717	11.955	20.403	9.667	7.524	0	4.655	14.067	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%	2,44%	5,59%	3,92%	3,89%	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)

Subcuencas		Estaciones INM													Sup (ha)	
Código	Nombre	5514	5403	5406E	5511E	5530E	5536I	5541	5545E	5562E	5562D	5572	5578U	6249	6258	Sup (ha)
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 Pradules				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 Nomiles	0			5.375					1.174	7.109			525		14.182
2.0.0	Cubillas Bajo				2.539		3.672		1.654							8.264
2.1.0	Arroyo del Charcón					239			516	10.151			853			11.759
2.2.0	Bajo Veillios					66		1.774	6.037	916						8.793
2.2.1	Alto Veillios		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	Río 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-Delfontes					53.237	721	513								54.479
3.0.0	Bajo Cacin									3.028	2.567					5.595
3.1.0	Alto Cacin (emb. Bermejales)									259	5.528					5.787
3.2.0	Cacin (Bermejales)										24.278			2.411		26.693
	Suma	28.757	412	19.844	41.906	20.963	68.491	25.626	30.437	13.448	39.583	4.383	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%	12,21%	1,36%	5,09%	0,00%		

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

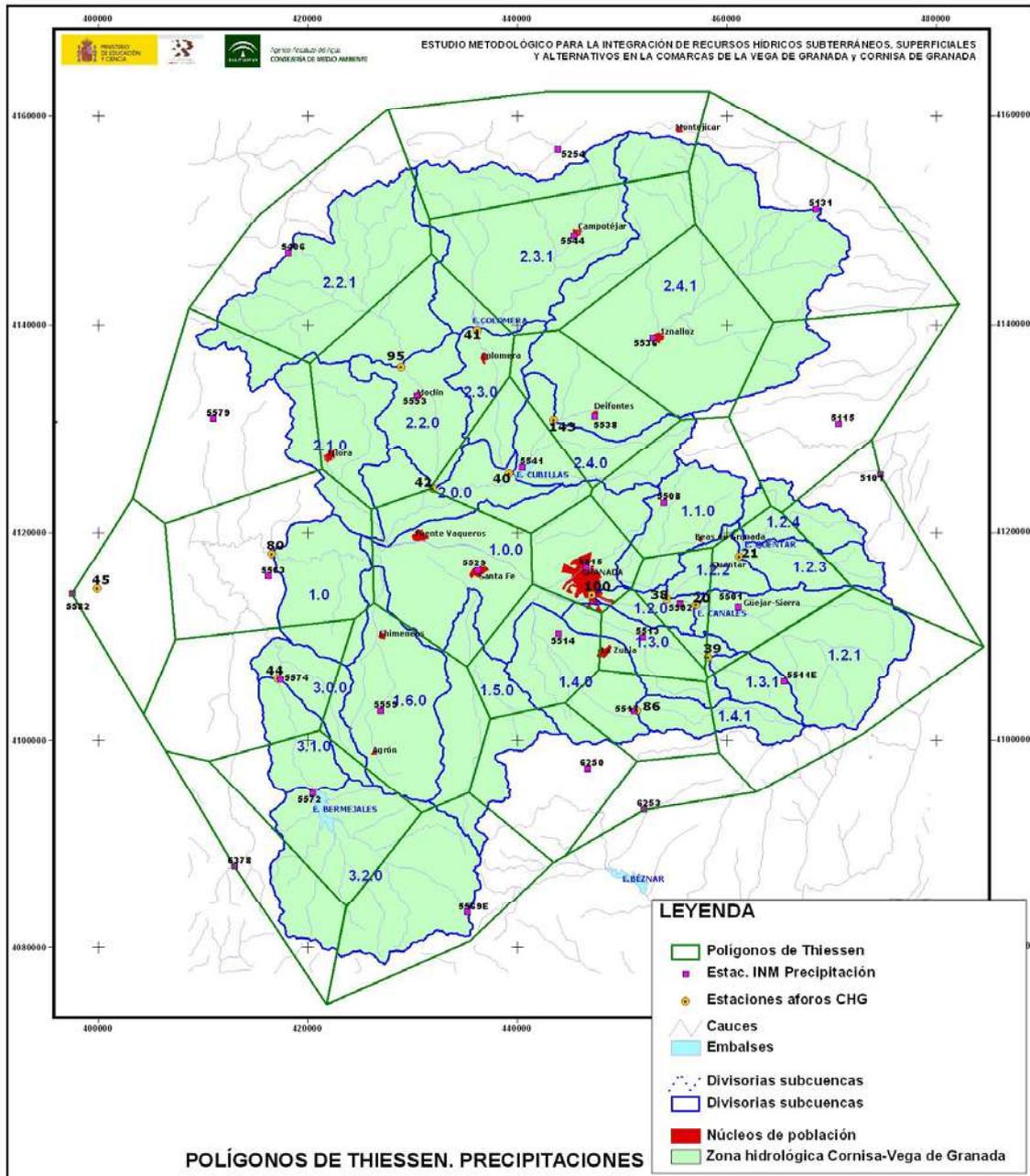


Figura 57. Polígonos de Thiessen utilizados para fijar las precipitaciones

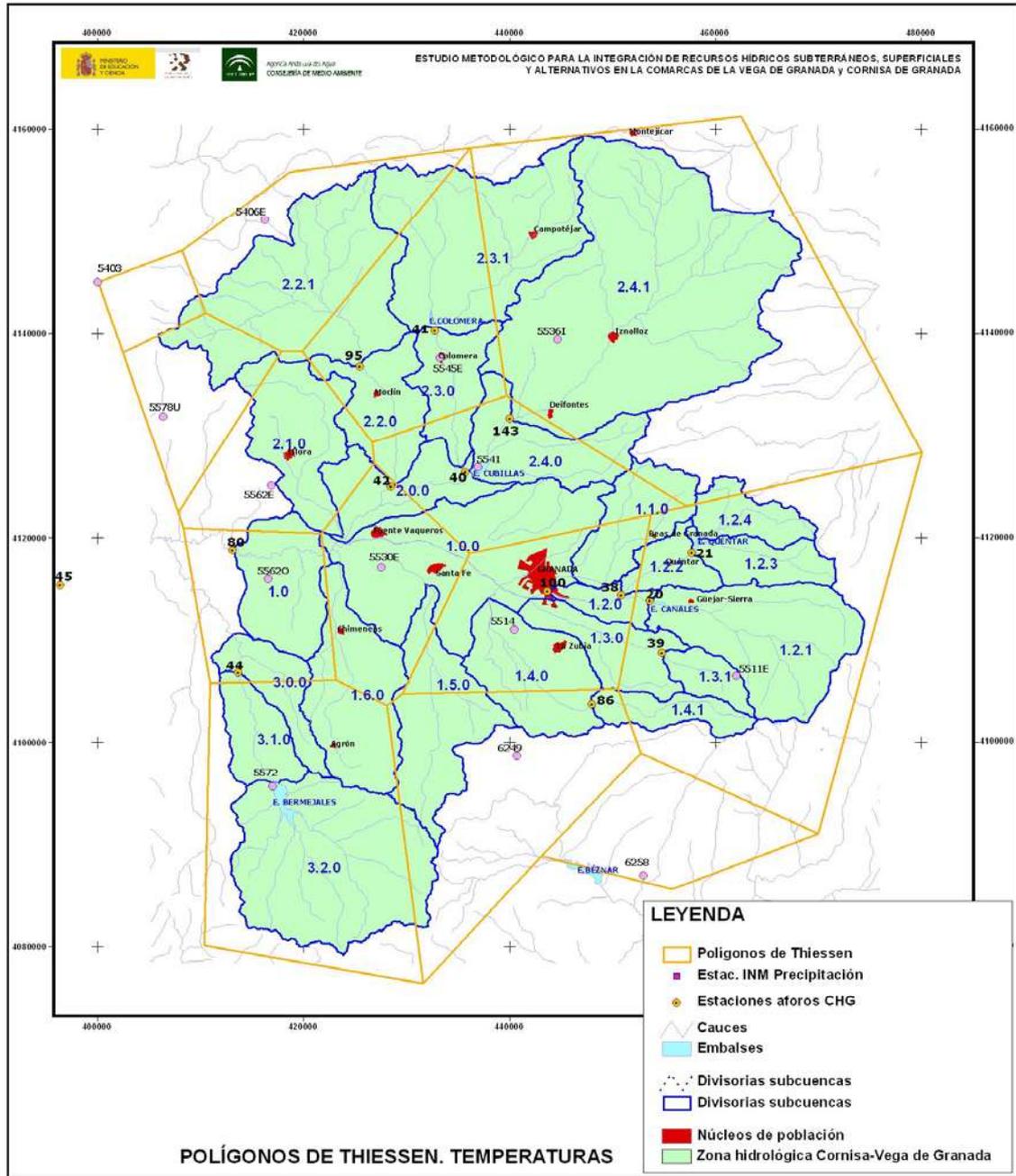


Figura 58. Polígonos de Thiessen utilizados para fijar las temperaturas

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.

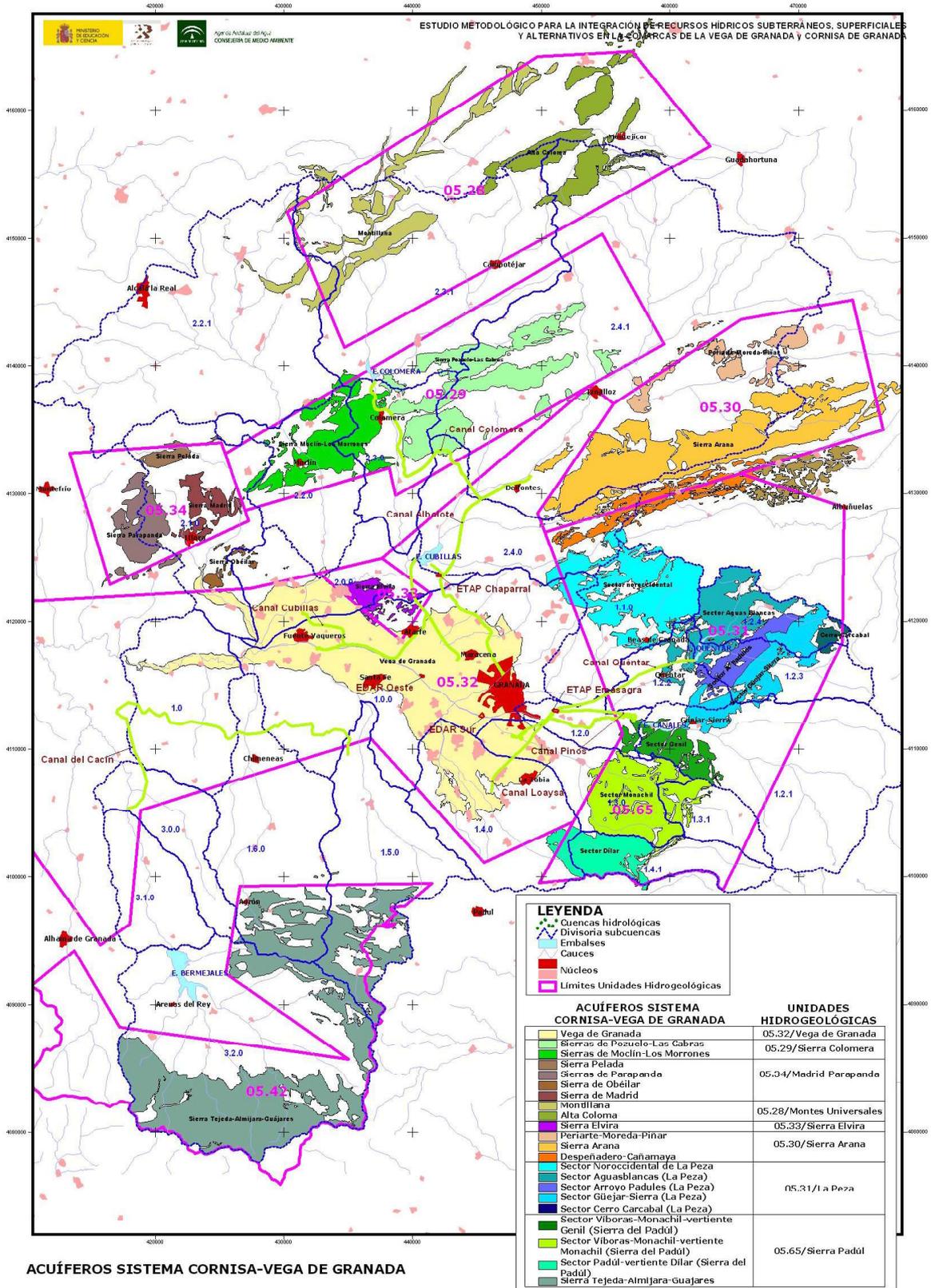


Figura 59. Acuíferos del Sistema Cornisa-Vega de Granada

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	Riód 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 Cacín	55,95	0,00	55,95	0,0085	200	100	0,30	0,00	0
3.1.0	Alto Cacín (emb. Bermejales)	57,87	0,00	57,87	0,0085	200	100	0,30	0,00	0
3.2.0	Cacín (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 (hm ³ /mes)												ANUAL (hm ³ /a)
	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	
1.0	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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 Veillios	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 Veillios	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 Cacín	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 Cacín (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	Cacín (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*

SUBBUENCAS		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	0,04	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 Veillios	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 Veillios	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

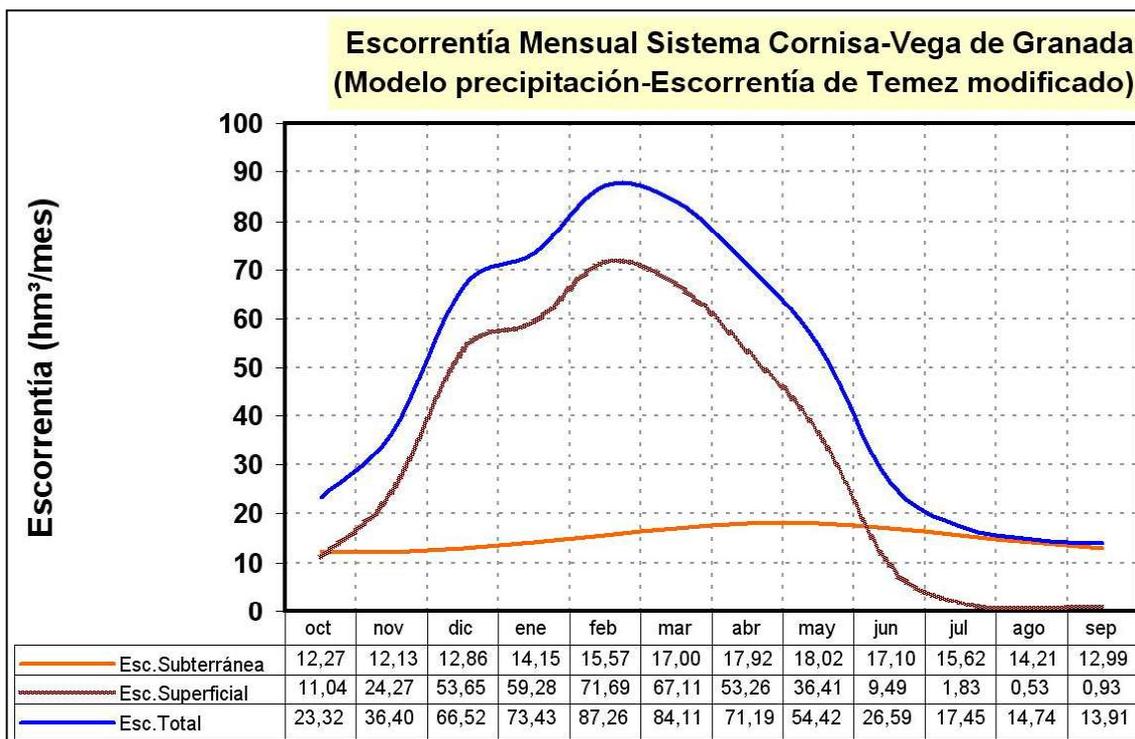


Figura 60. Escorrentía mensual promedio del Sistema Cornisa-Vega de Granada

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.

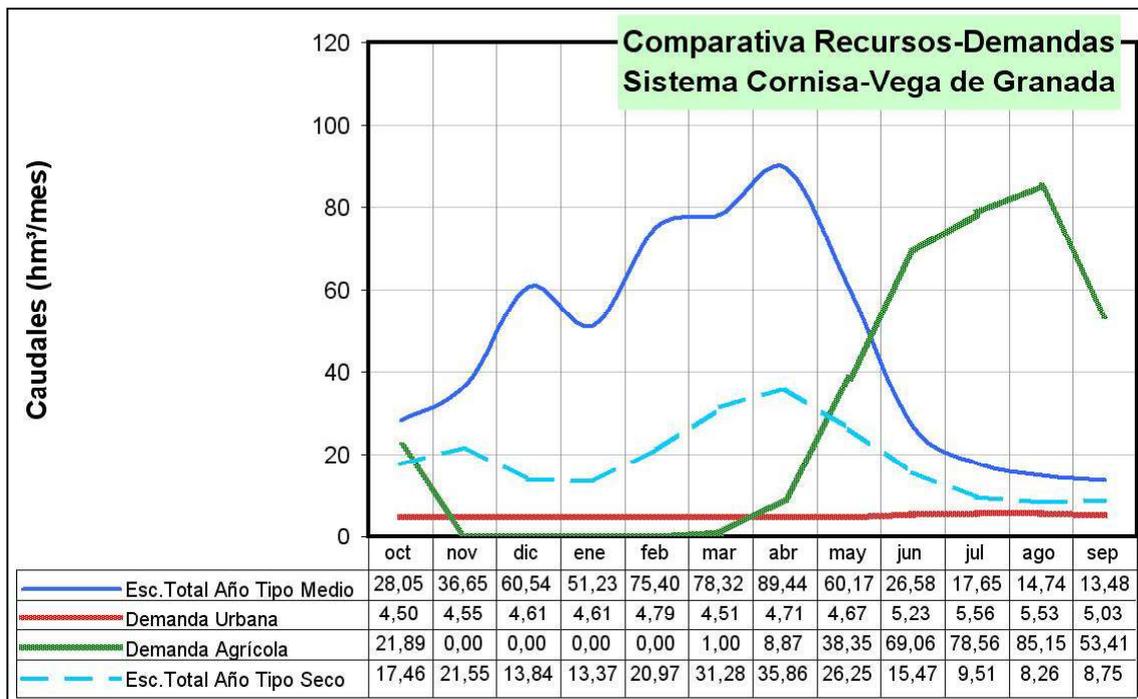


Figura 61. Comparativa escorrentía total (año tipo Seco) y demandas consuntivas. Sistema Cornisa-Vega de Granada

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)
Mínimo	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.

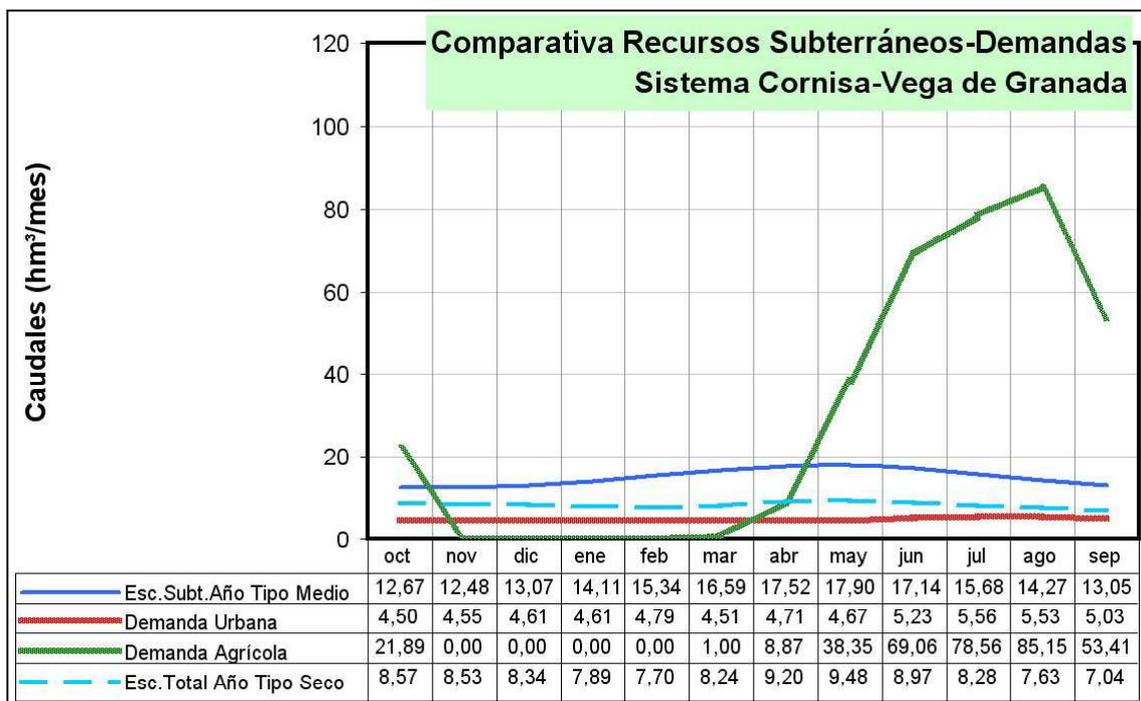


Figura 62. Comparativa escorrentía subterránea (año tipo Seco) y demandas consuntivas. Sistema Cornisa-Vega de Granada

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).

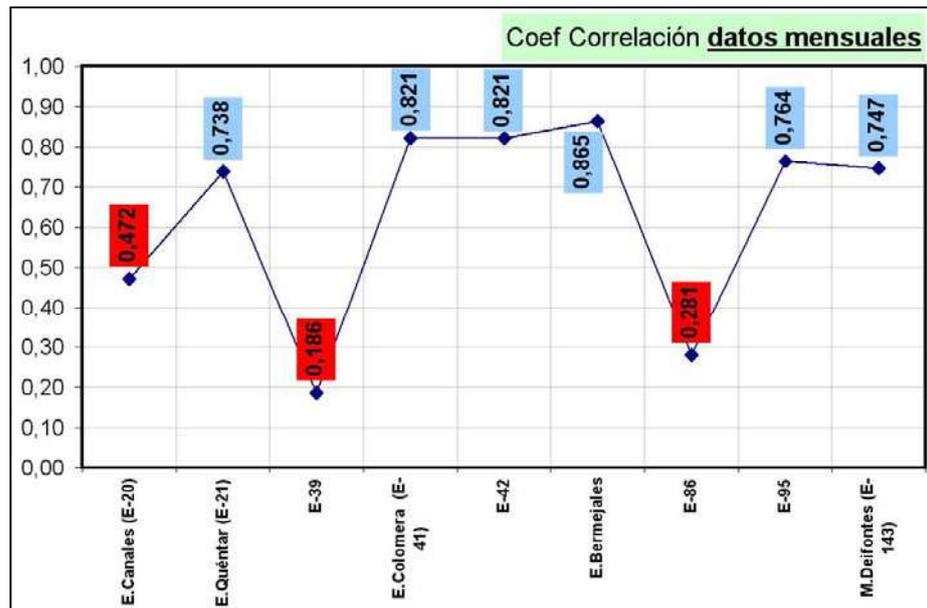


Figura 63. Comparativa series generadas modelo Temez y series reales. Coeficientes de correlación mensuales

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).

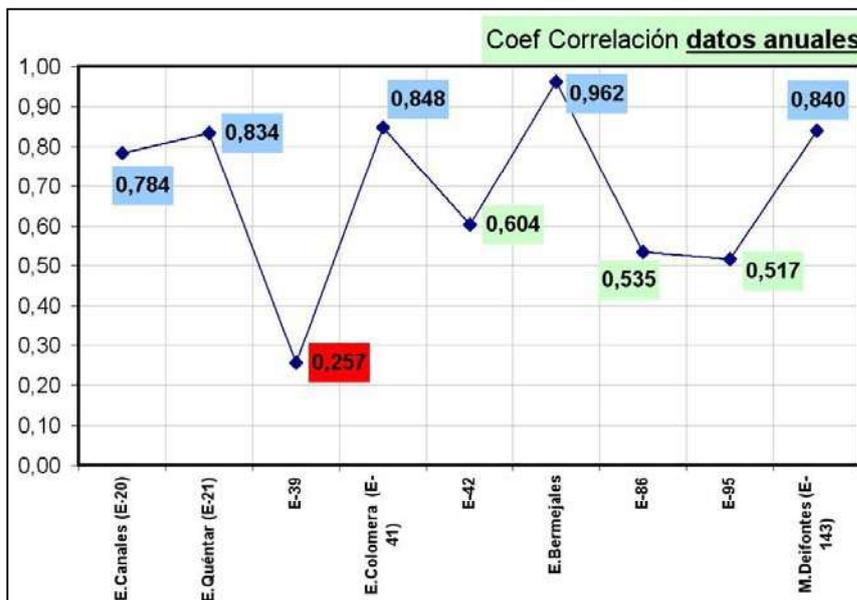


Figura 64. Comparativa series generadas modelo Temez y series reales. Coeficientes de correlación anuales

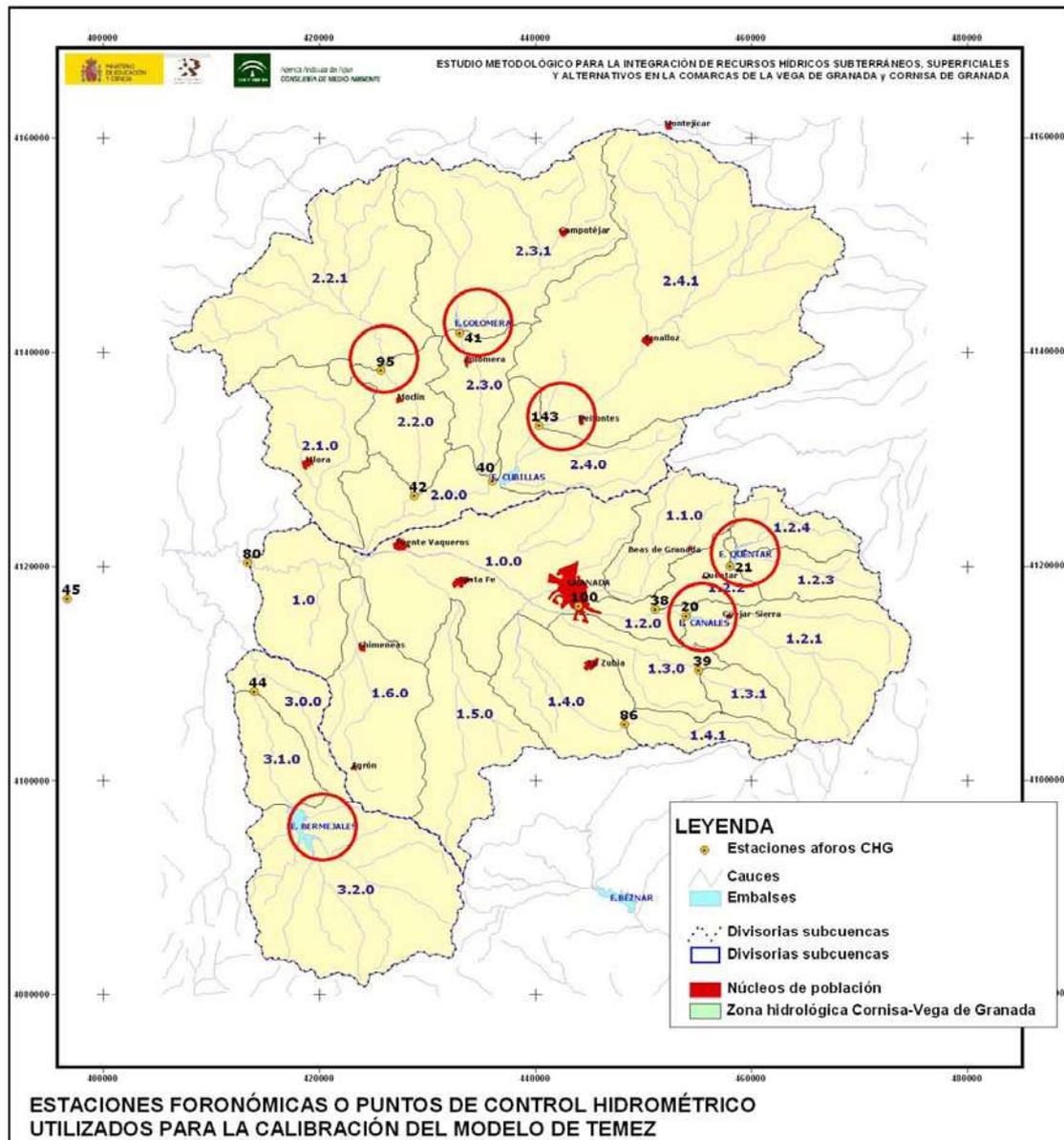


Figura 65. Estaciones foronómica de la CHG y puntos de control hidrométrico (embalses). Sistema Cornisa-Vega de Granada

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	1.2.3	Aguas Blancas-Los Padules	53,0	23,9	45,1%	73,8%	83,4%			
		1.2.4	Alto Aguas Blancas (Quéntar)	48,3	38,9	80,7%					
		Suma		101,3	62,9	62,1%					
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-).

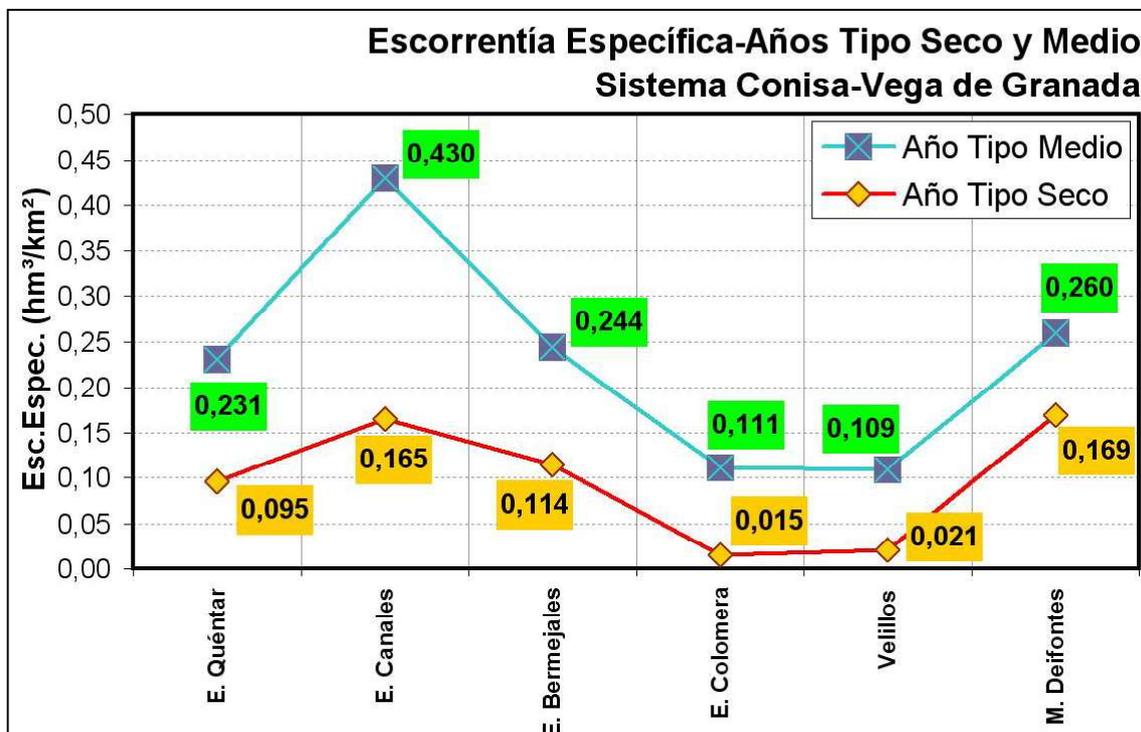


Figura 66. Escorrentía específica en las estaciones de control.
Aplicación del modelo P-E Temez

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).

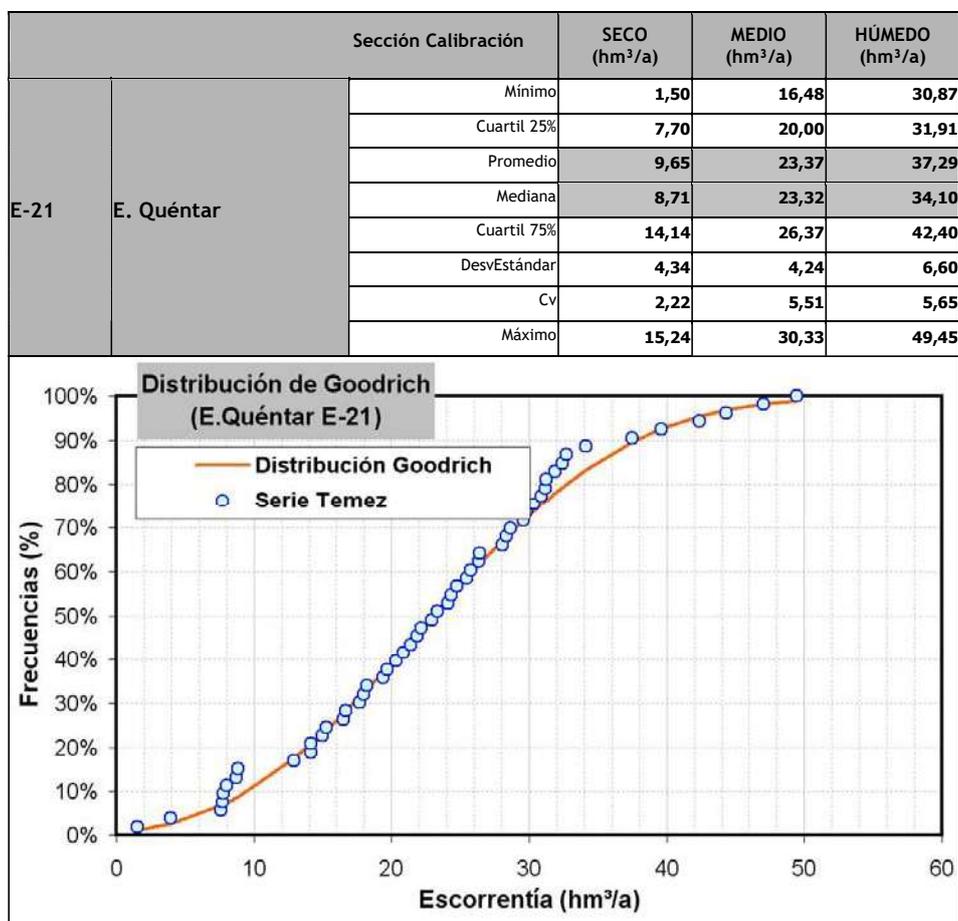


Figura 67. Escorrentía total E. Quéntar (E-21). Análisis serie 1951-2004 obtenida mediante el modelo P-E de Temez modificado

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.

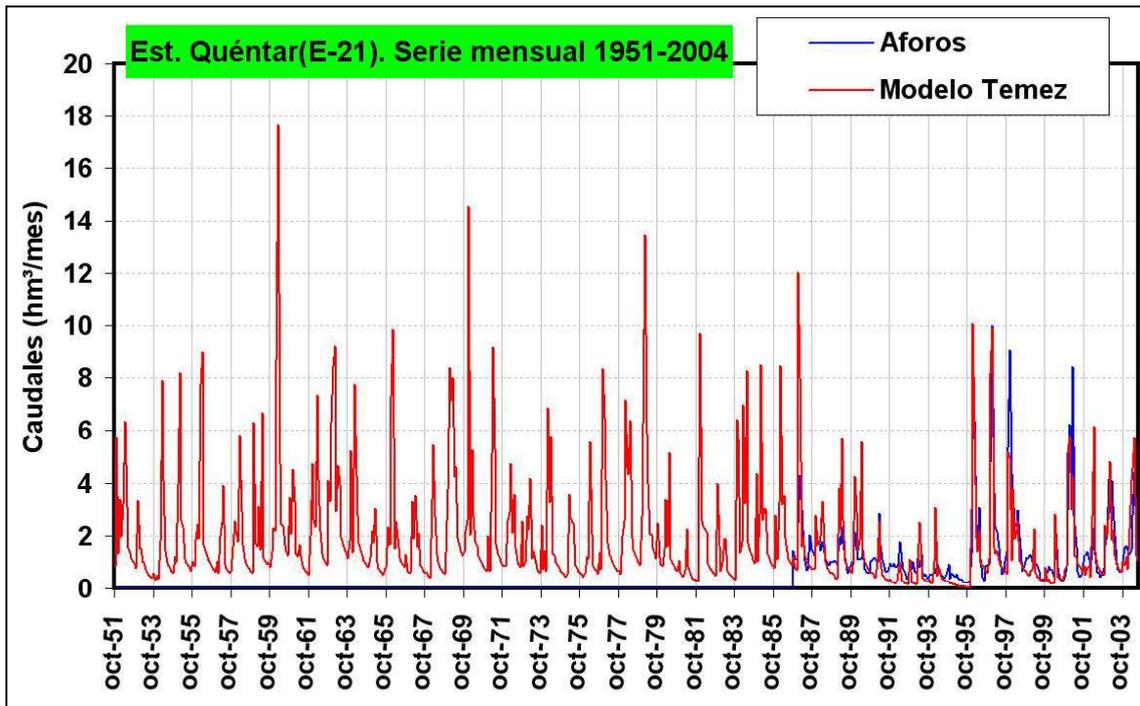


Figura 68. Calibración E-21 (E. Quéntar). Serie mensual 1951-2004

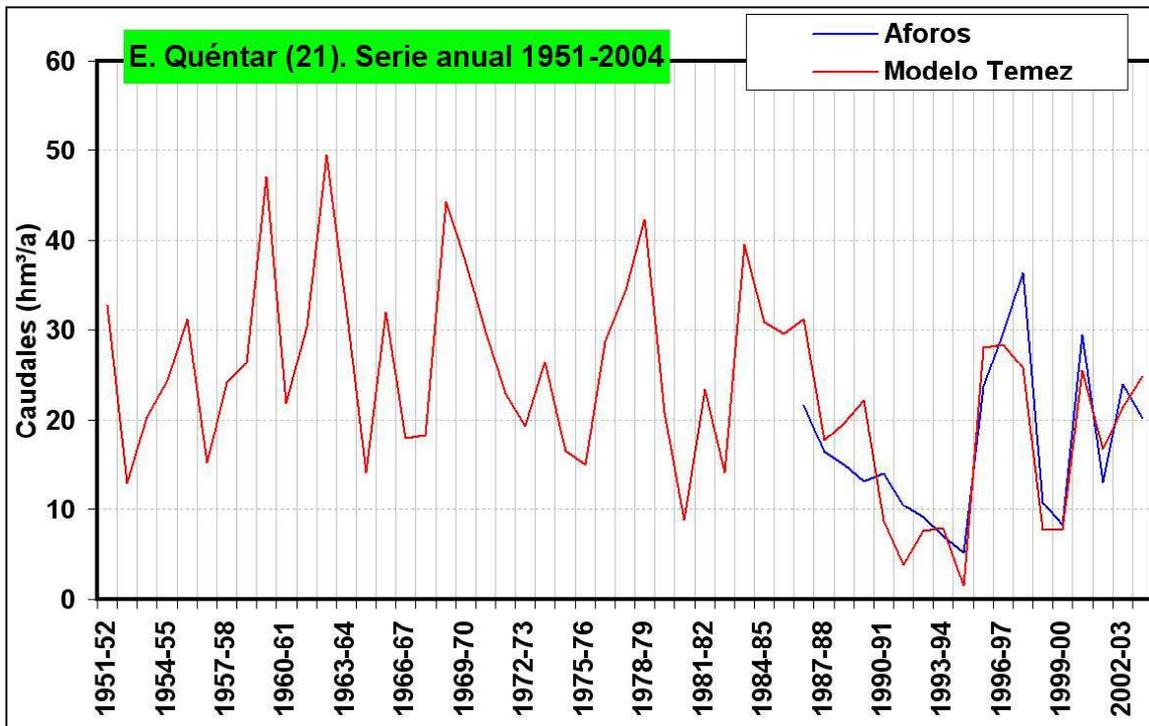


Figura 69. Calibración E-21 (E. Quéntar). Serie anual 1951-2004

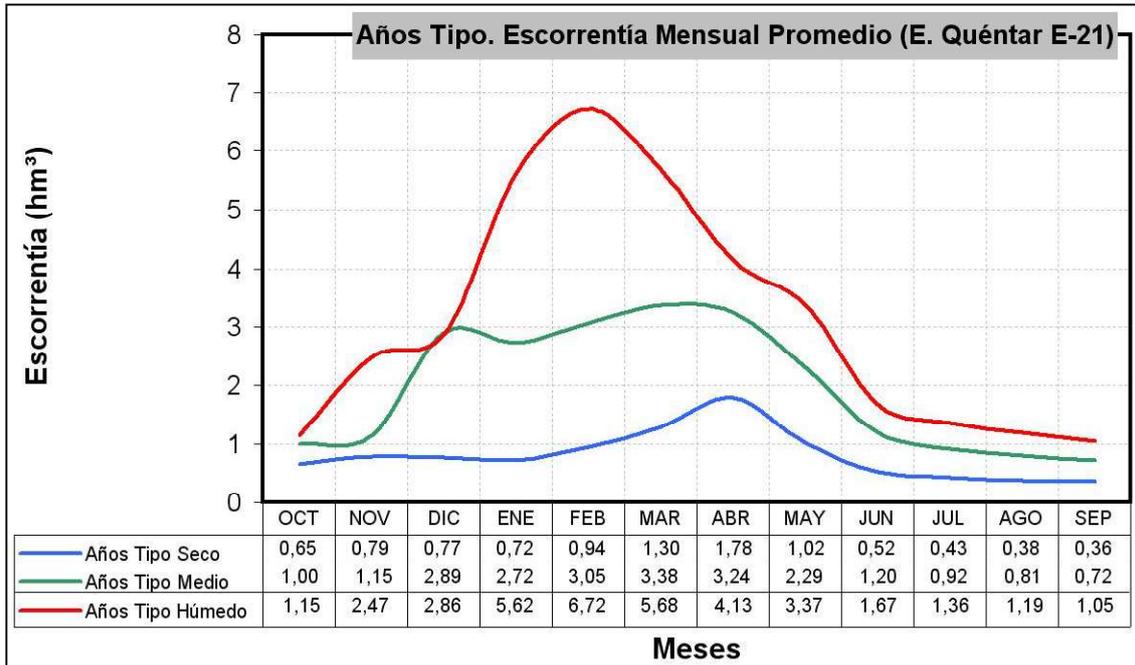


Figura 70. Escorrentía total mensual promedio E-21(E. Quéntar)

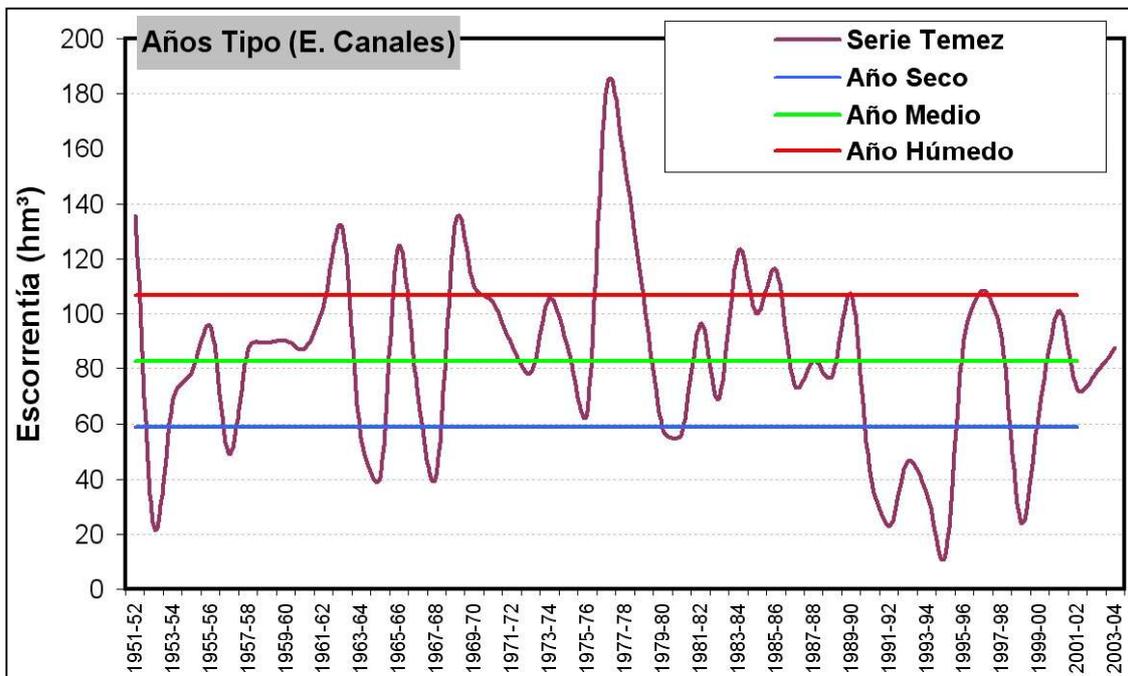


Figura 71. Años Tipo E-21 (E. Quéntar). Serie 1951-2004

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).

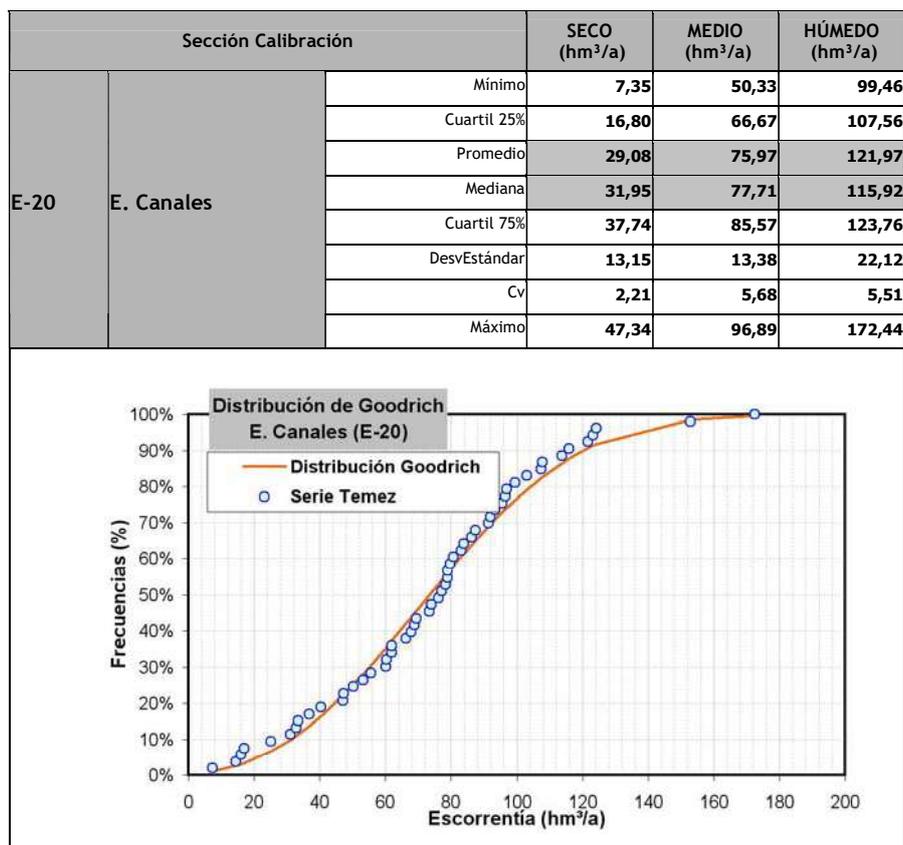


Figura 72. Escorrentía total E. Canales (E-20). Análisis serie 1951–2004 obtenida mediante el modelo P-E de Temez modificado

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 esorrentía 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.

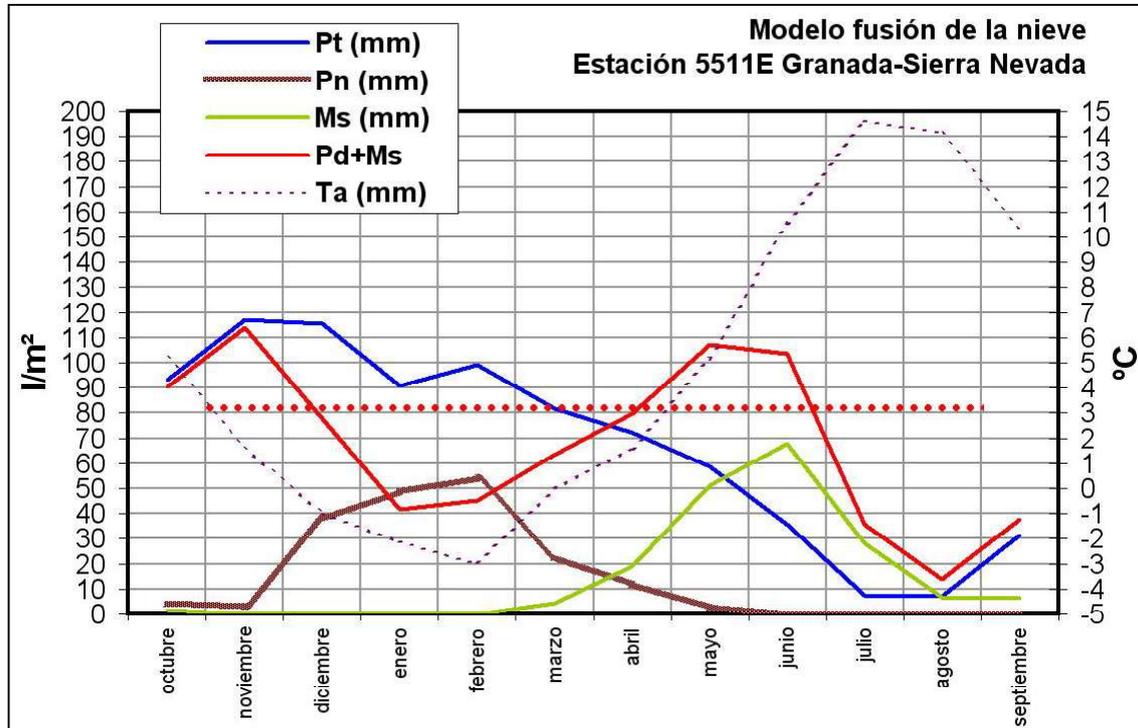


Figura 73. Modelo de fusión de la nieve empleado en Sierra Nevada (subcuenca del Alto Genil, Monachil y Dílar)

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.

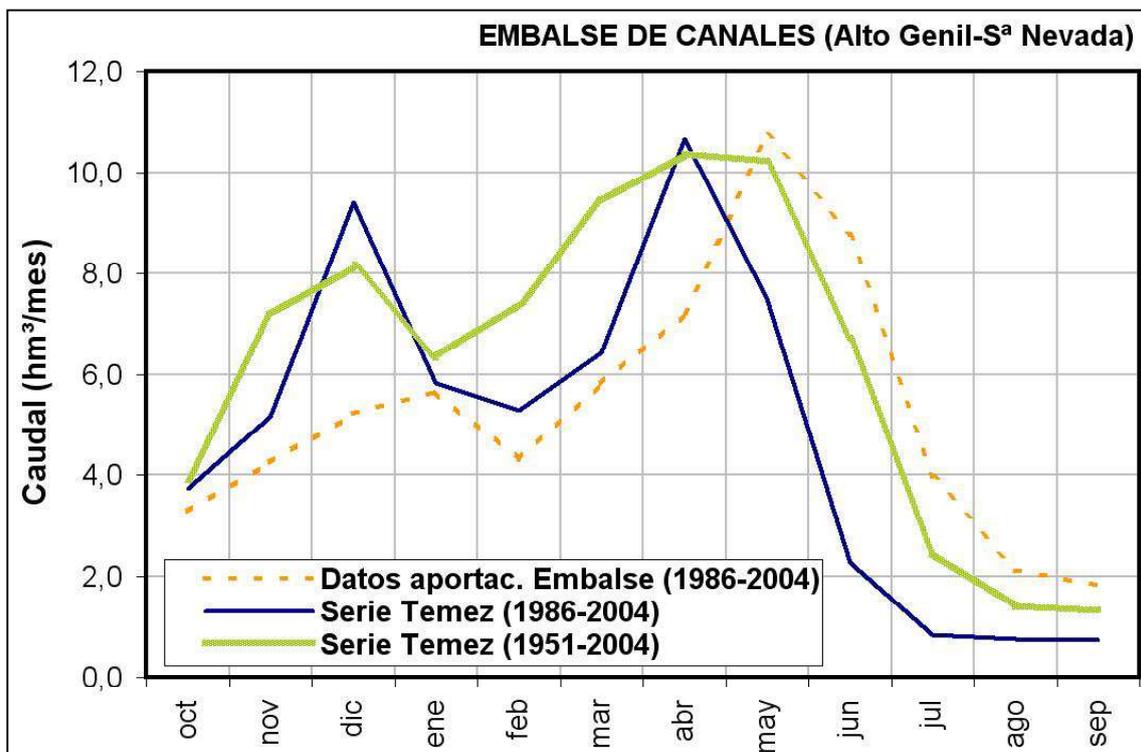


Figura 74. Comparativa de datos de escorrentía obtenidos con el modelo de Temez (considerando el deshielo) respecto a datos registrados en el embalse de Canales

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.

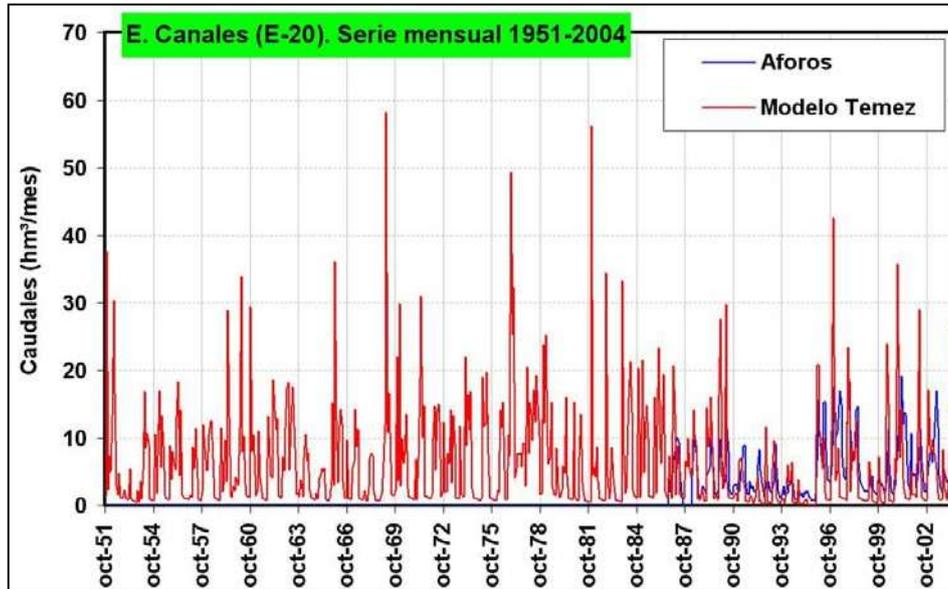


Figura 75. Calibración E-20 (E. Canales). Serie mensual 1951-2004

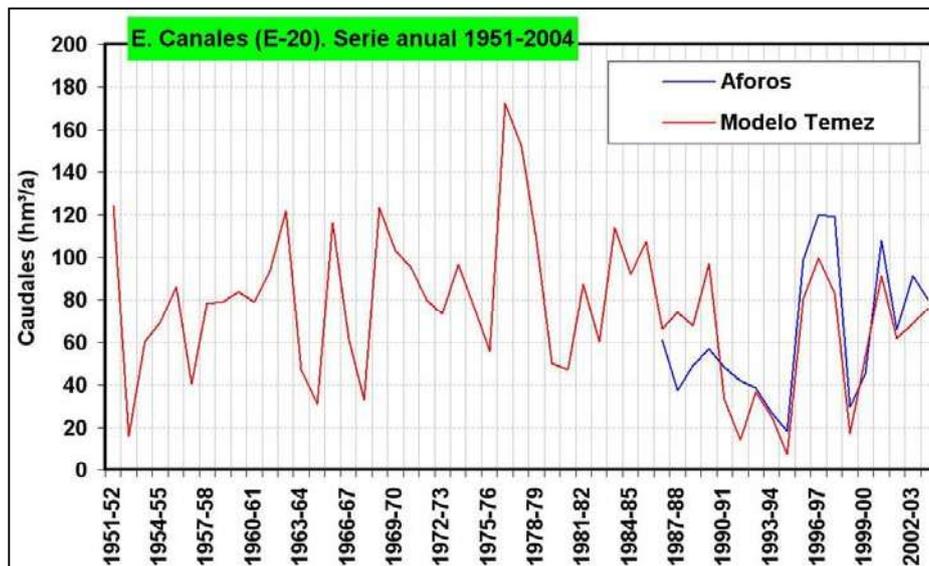


Figura 76. Calibración E-21 (E. Quéntar). Serie anual 1951-2004

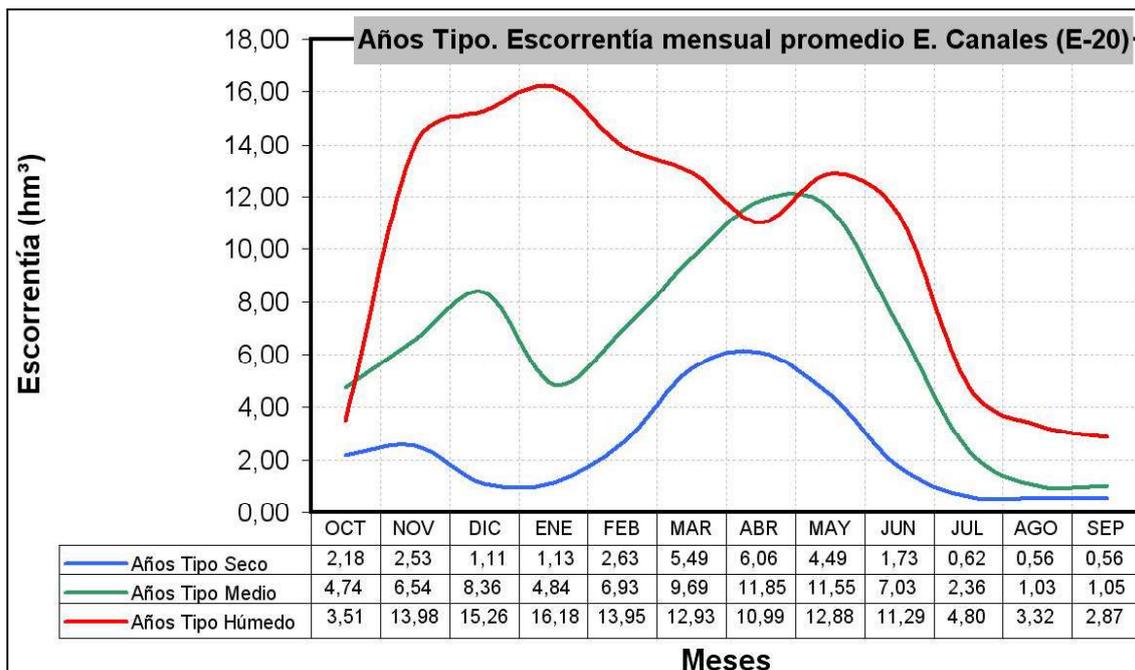


Figura 77. Escorrentía total mensual promedio E-20 (E. Canales)

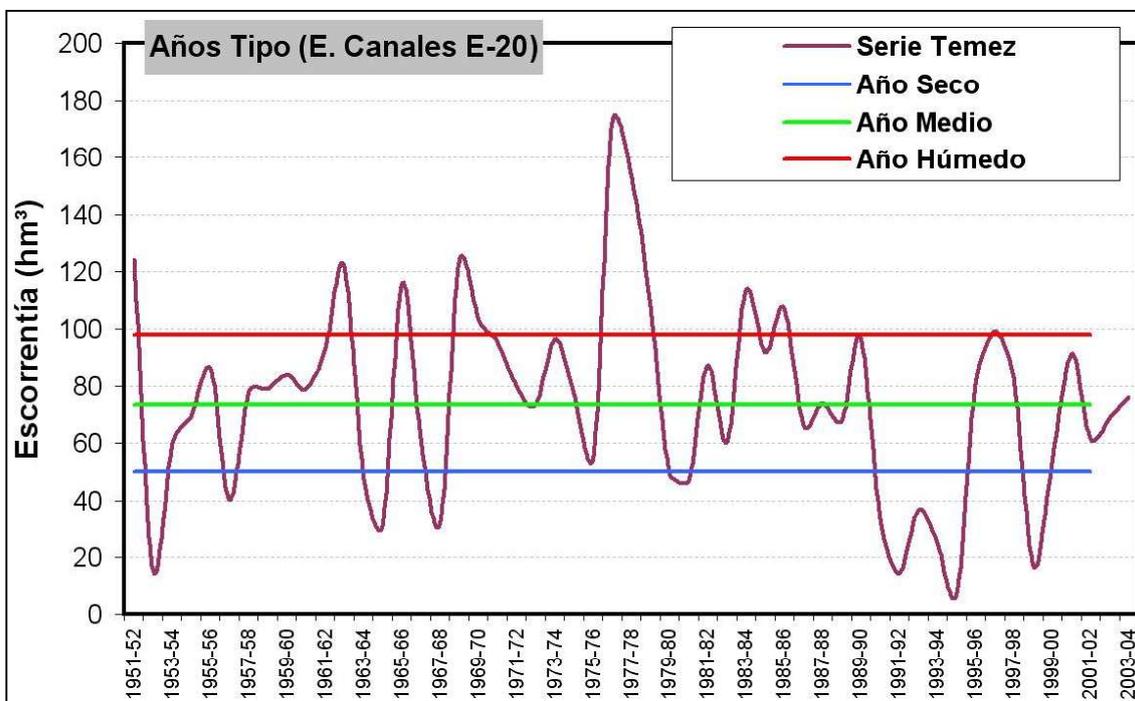


Figura 78. Años Tipo E-20 (E. Canales). Serie 1951-2004

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.

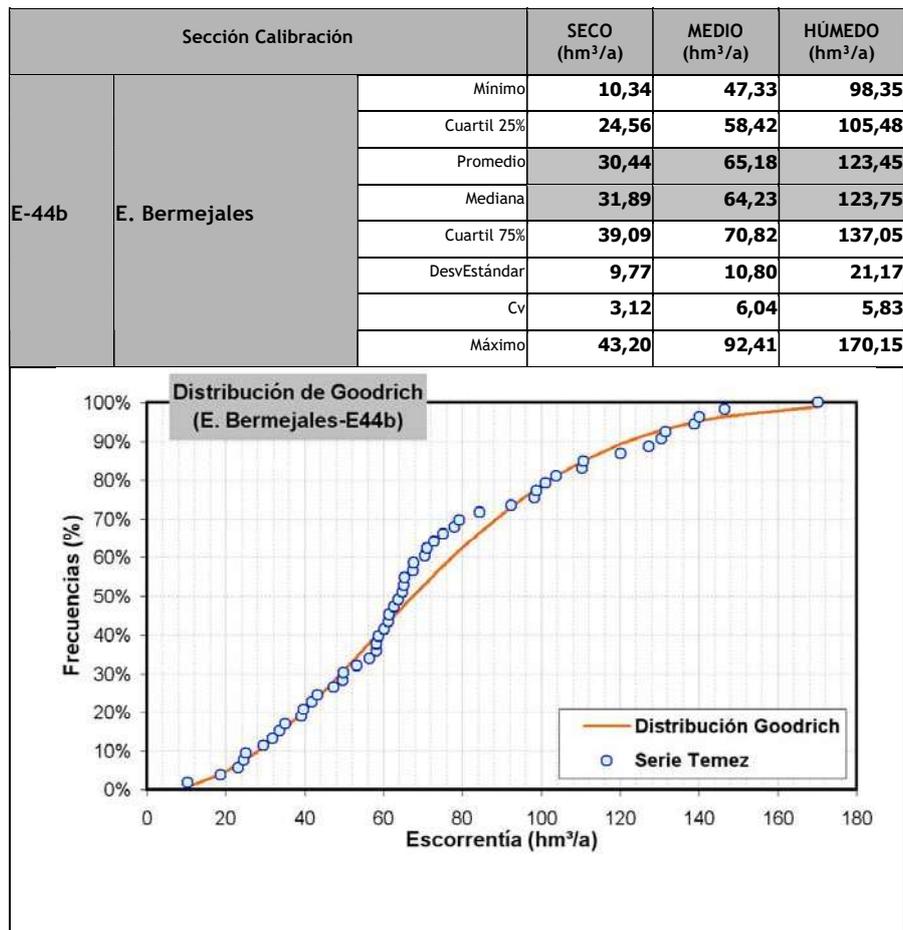


Figura 79. Escorrentía total E. Bermejales (E-44b). Análisis serie 1951–2004 obtenida mediante el modelo P–E de Temez modificado

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.

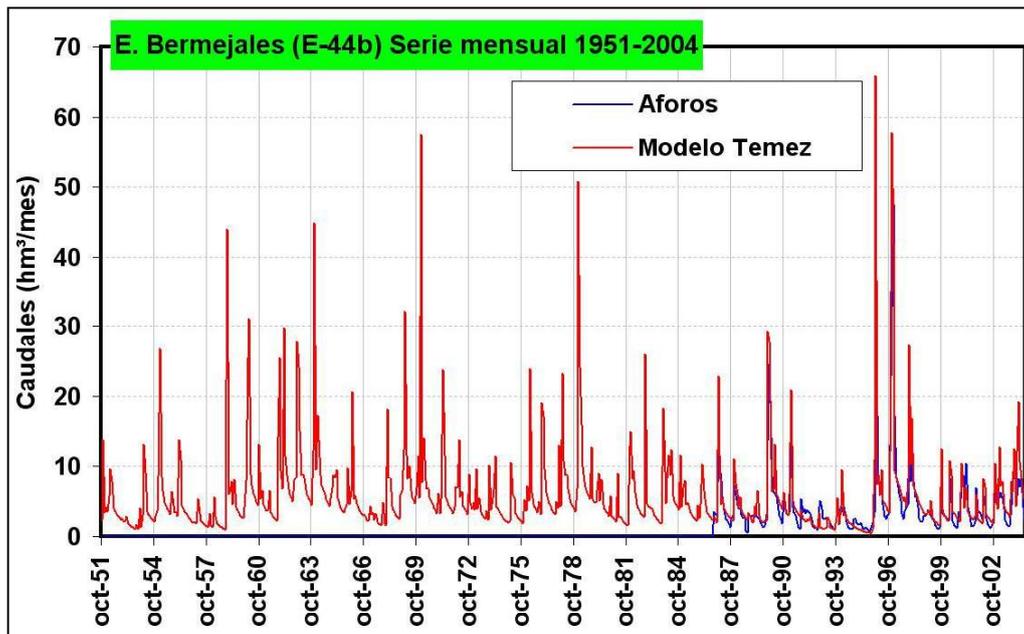


Figura 80. Calibración E-44b (E. Bermejales). Serie mensual 1951-2004

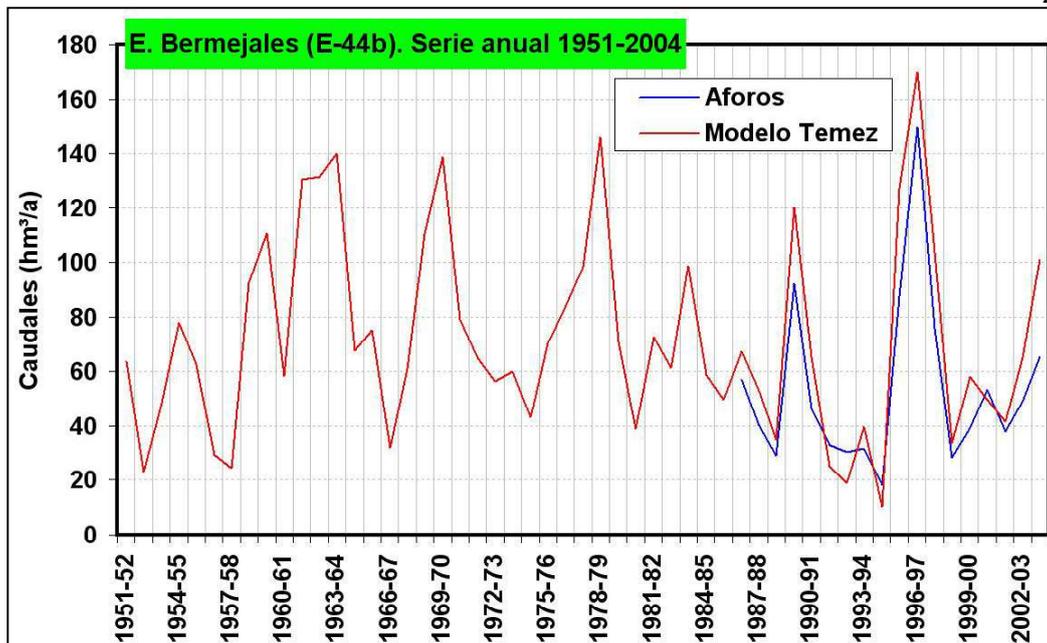


Figura 81. Calibración E-44b (E. Bermejales). Serie anual 1951-2004

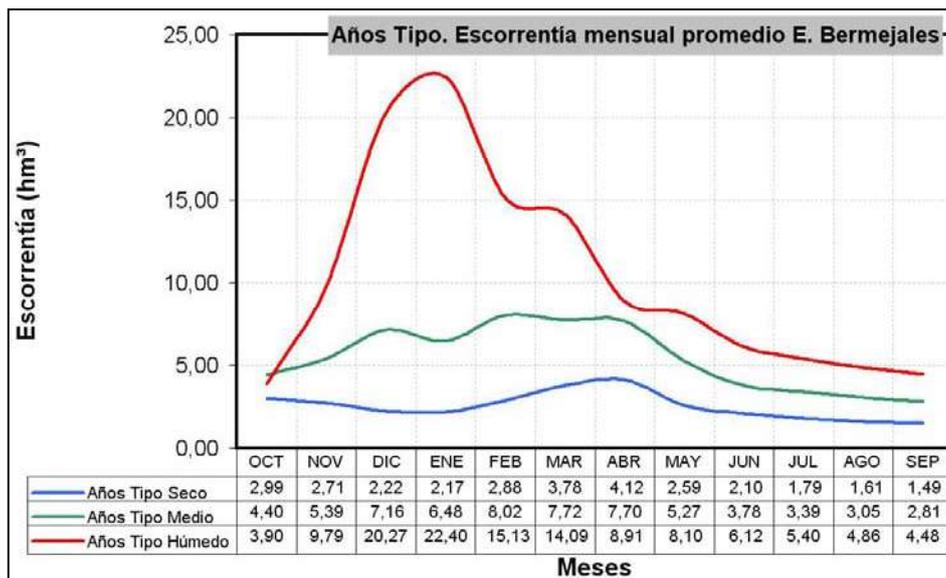


Figura 82. Escorrentía total mensual promedio E-44b (E. Bermejales)

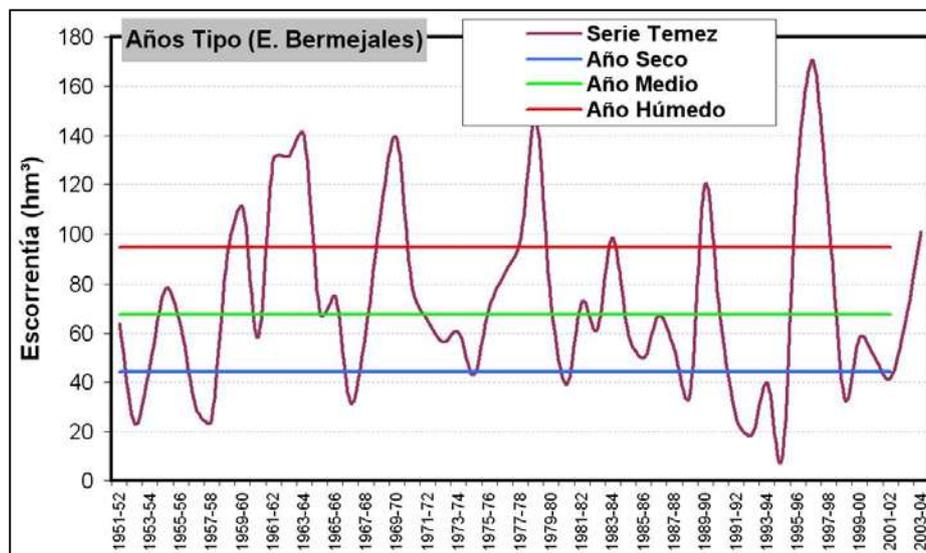


Figura 83. Años Tipo E-44b (E. Bermejales). Serie 1951-2004

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

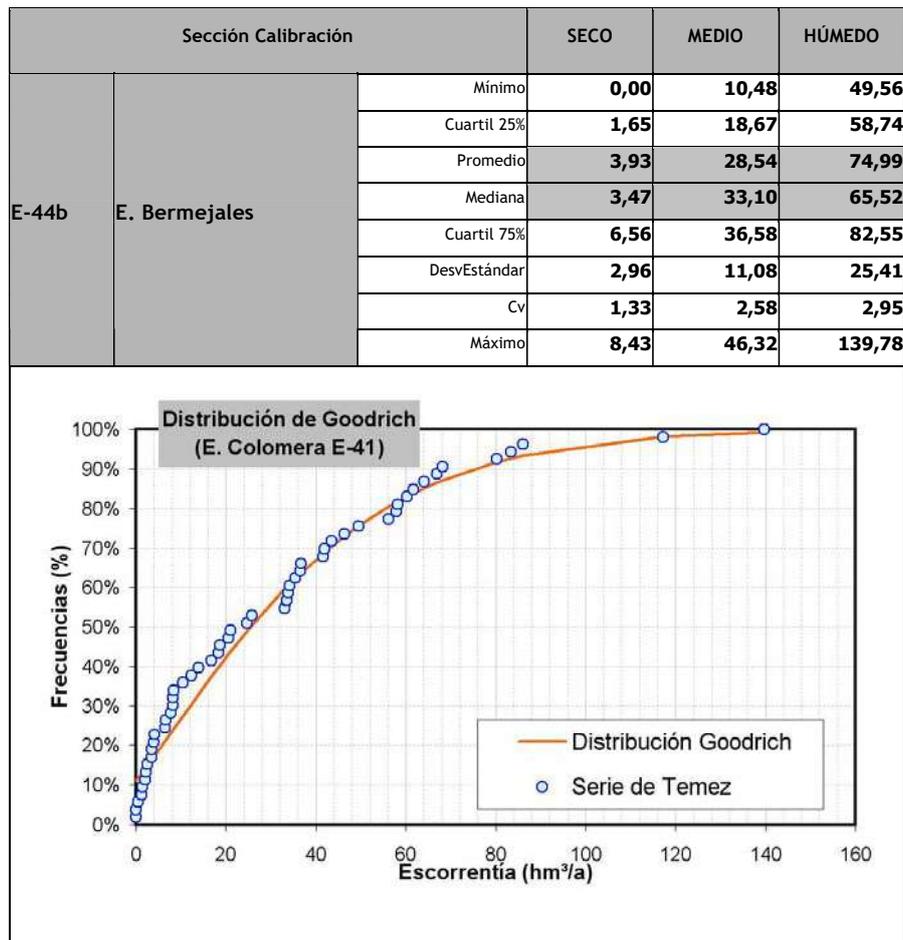


Figura 84. Escorrentía total E. Bermejales (E-44b). Análisis serie 1951-2004 obtenida mediante el modelo P-E de Temez modificado

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.

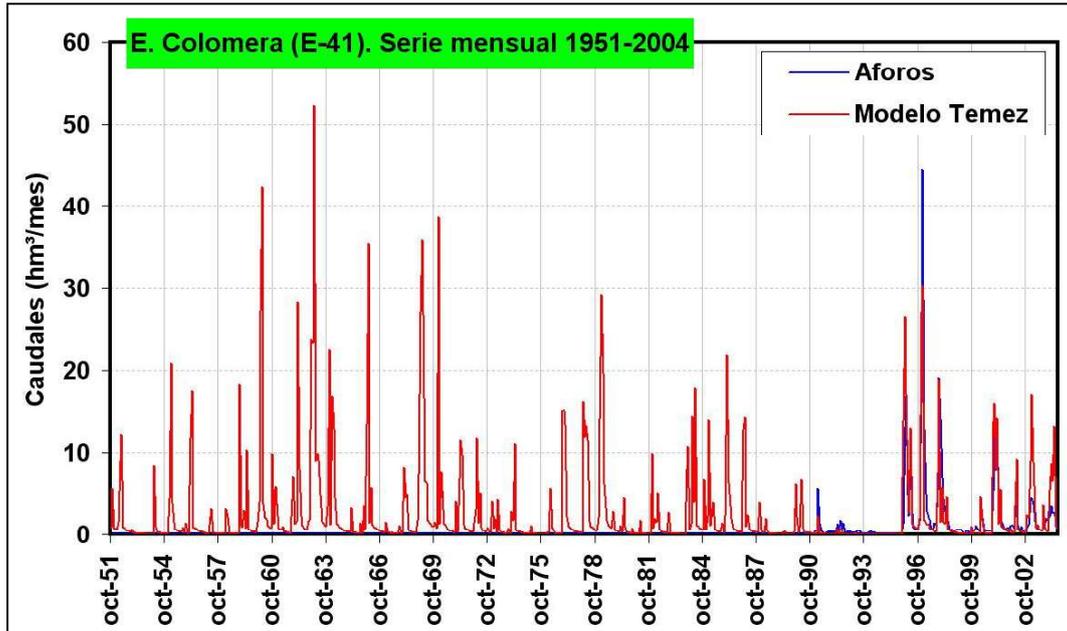


Figura 85. Calibración E-41 (E. Colomera). Serie mensual 1951-2004

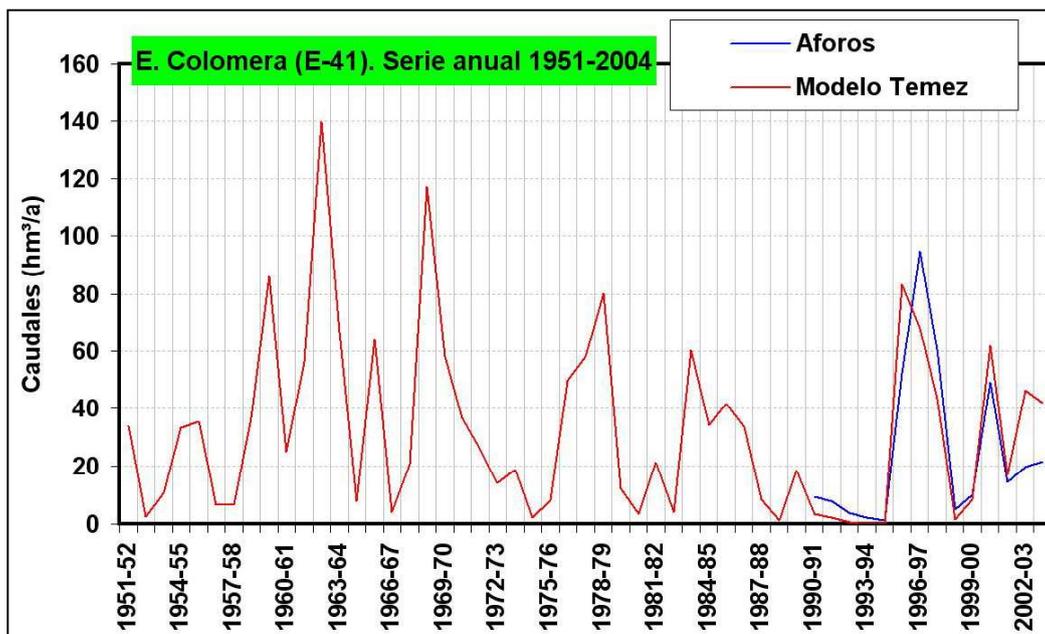


Figura 86. Calibración E-41 (E. Colomera). Serie anual 1951-2004

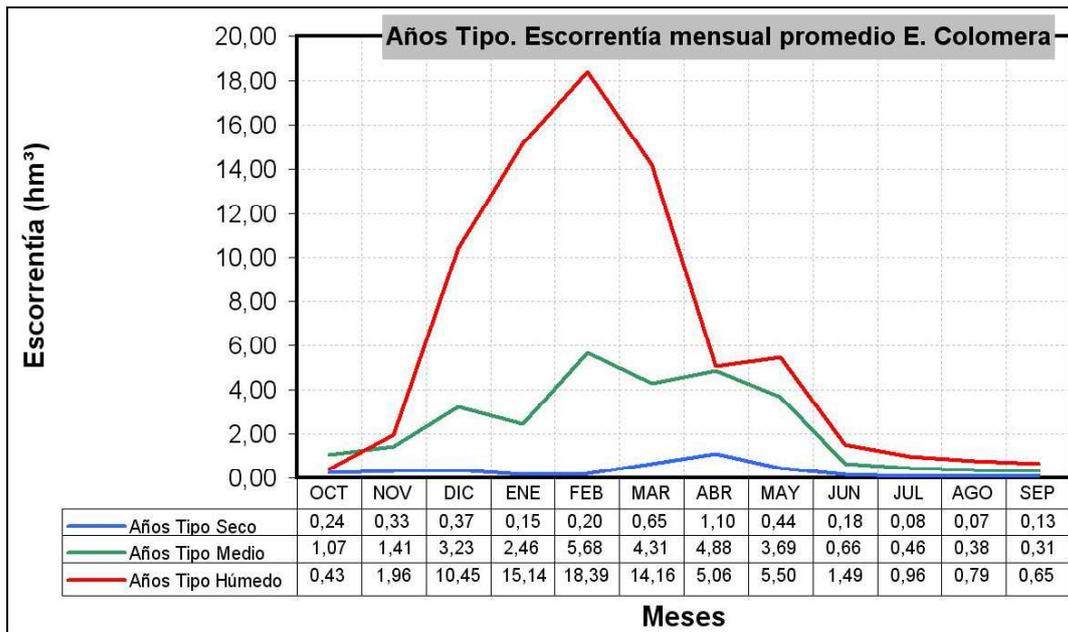


Figura 87. Escorrentía total mensual promedio E-41 (E. Colomera)

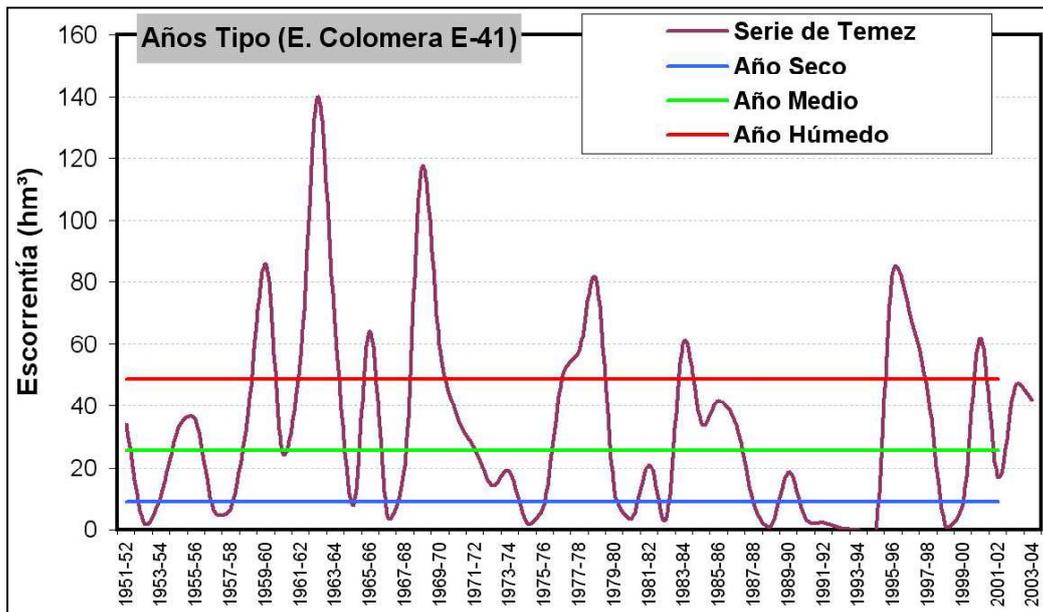


Figura 88. Años Tipo E-41 (E. Colomera). Serie 1951-2004

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.

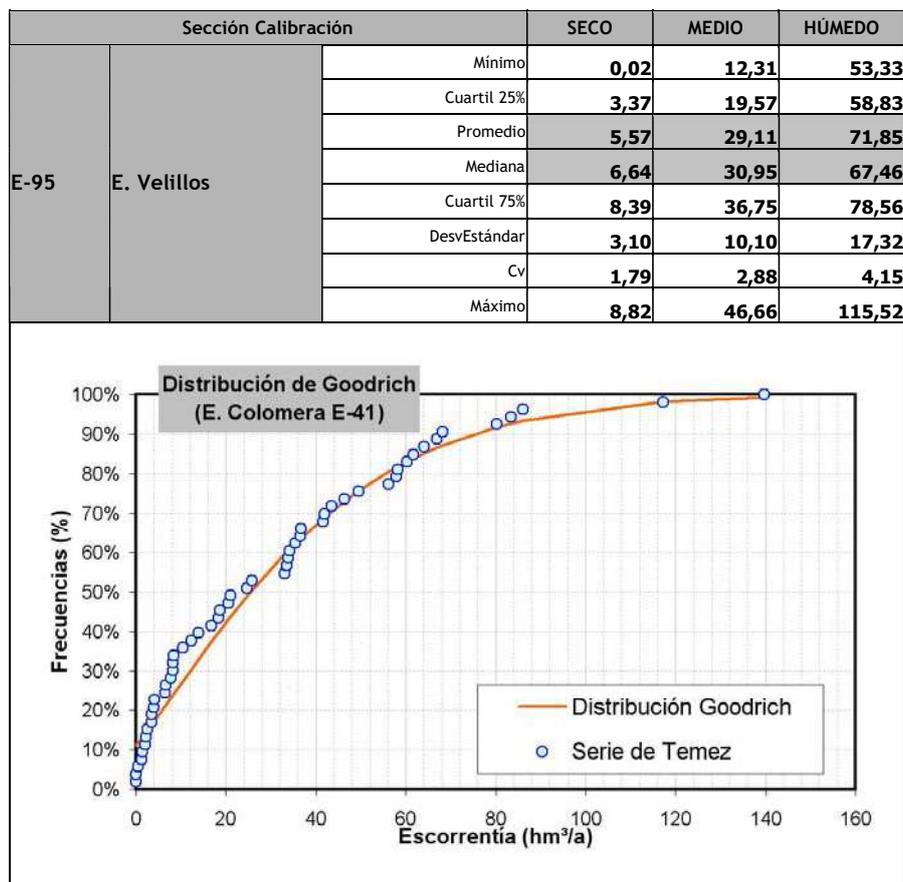


Figura 89. Escorrentía total e-95 (Velillos). Análisis serie 1951-2004 obtenida mediante el modelo P-E de Temez modificado

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.

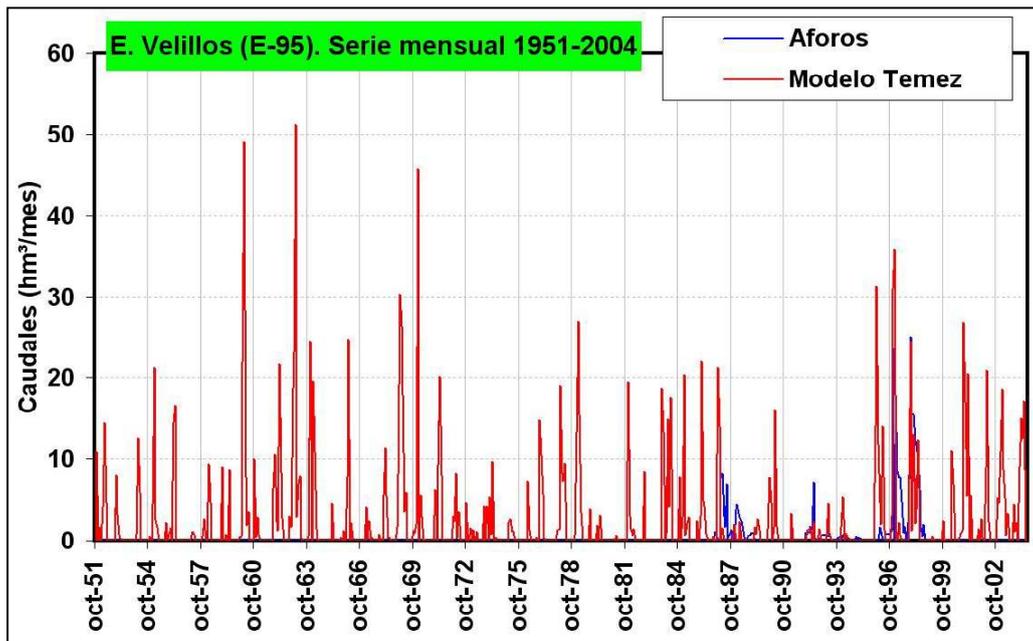


Figura 90. Calibración e-95 (Velillos). Serie mensual 1951-2004

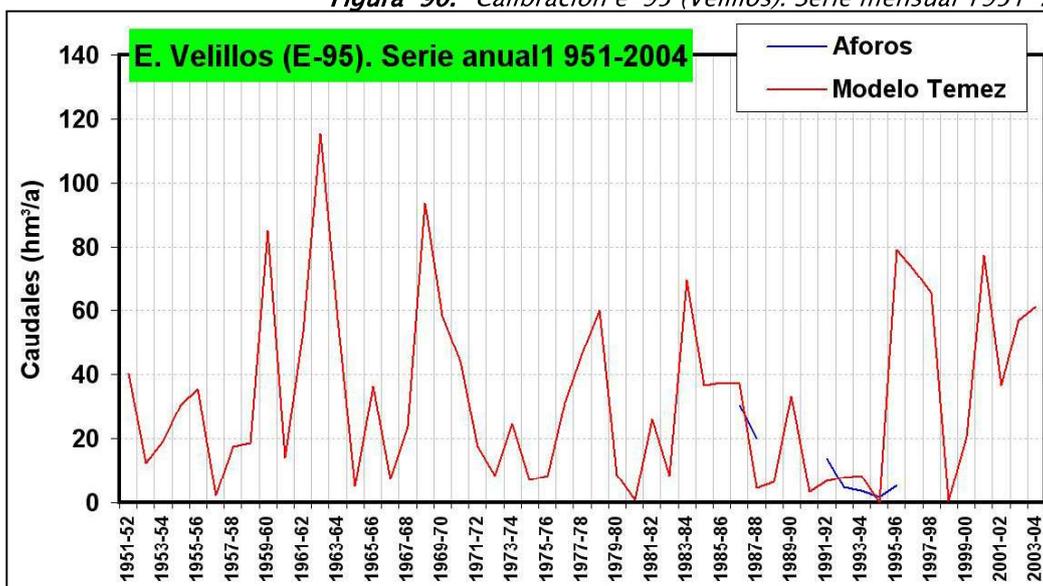


Figura 91. Calibración e-95 (Velillos). Serie anual 1951-2004

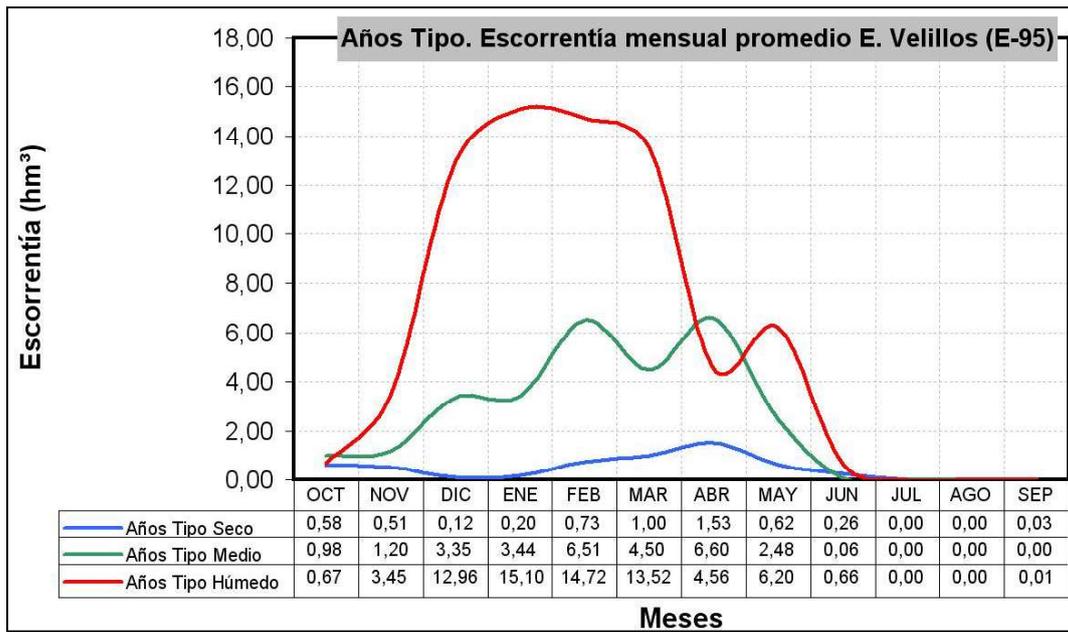


Figura 92. Escorrentía total mensual promedio e-95 (Velillos)

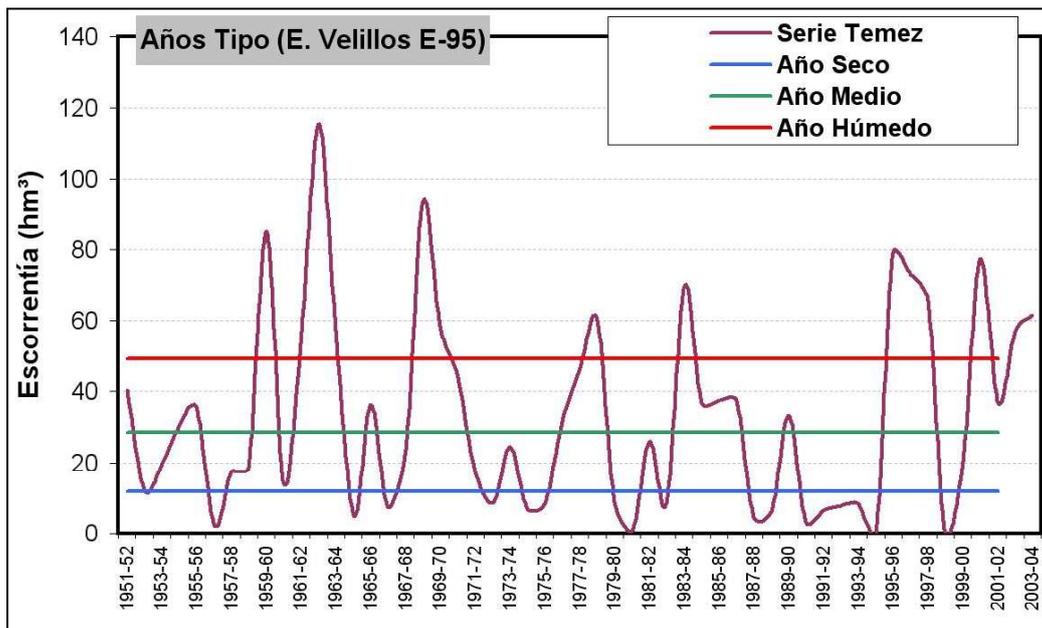


Figura 93. Años Tipo e-95 (Velillos). Serie 1951-2004

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.

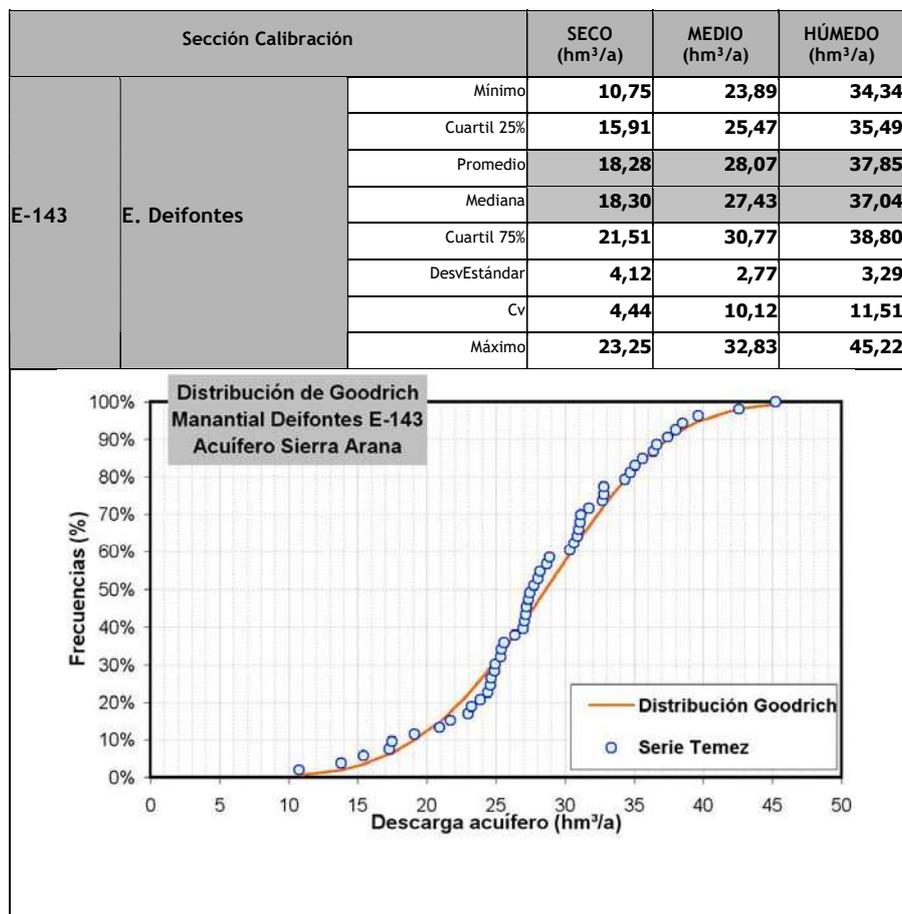


Figura 94. Escorrentía total e-143 (M. Deifontes). Análisis serie 1951-2004 obtenida mediante el modelo P-E de Temez modificado

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.

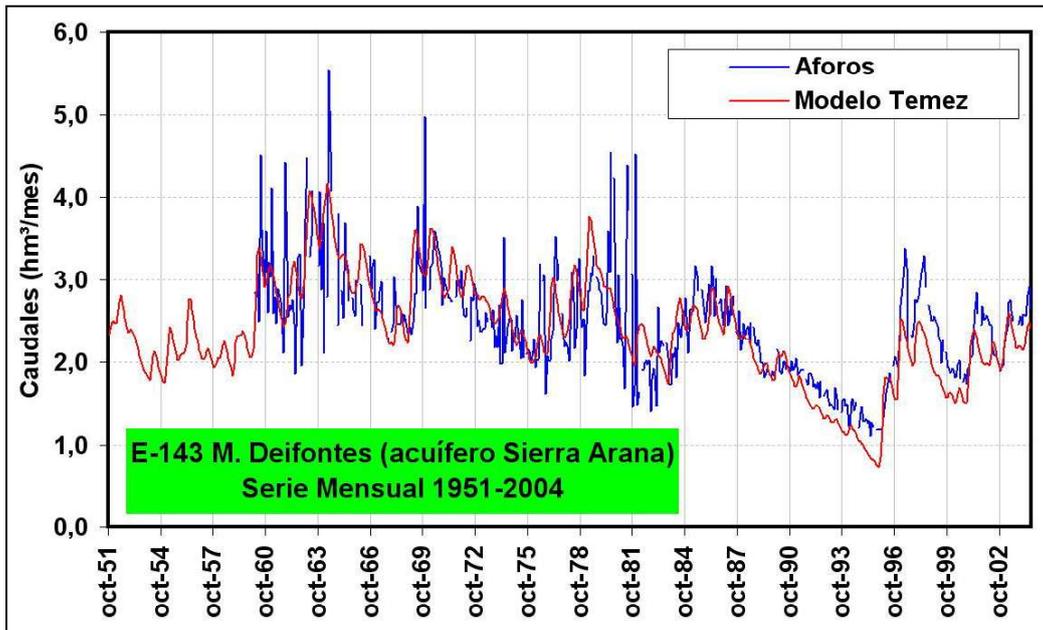


Figura 95. Calibración e-143 (M. Deifontes). Serie mensual 1951-2004

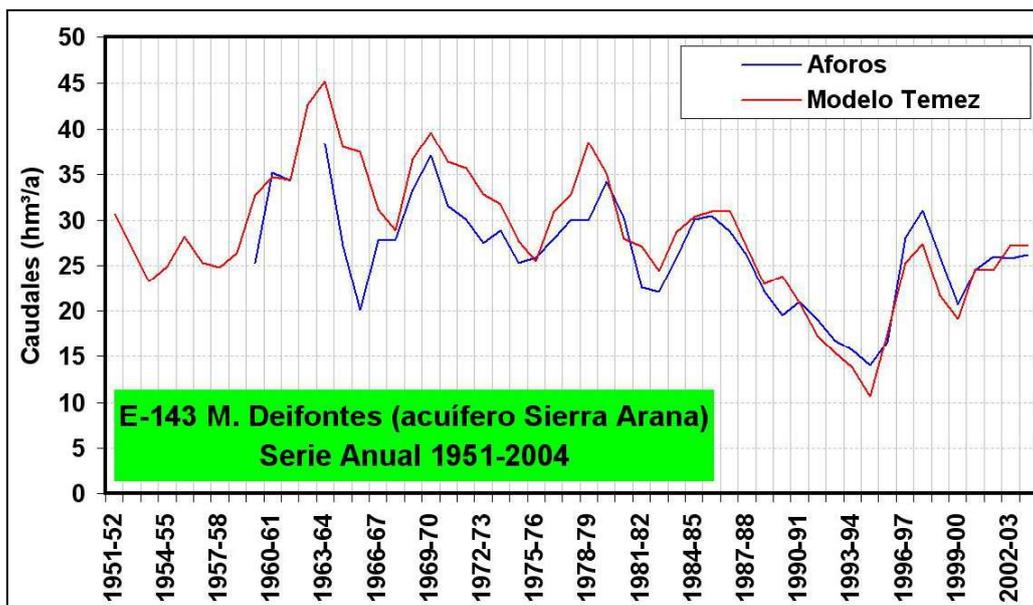


Figura 96. Calibración e-143 (M. Deifontes). Serie anual 1951-2004

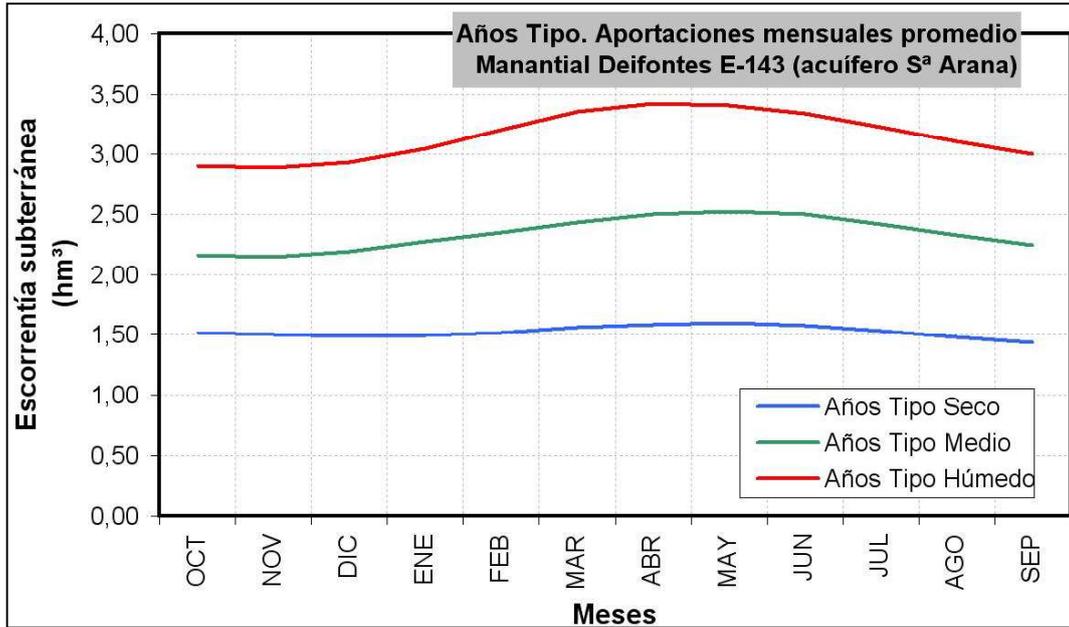


Figura 97. Escorrentía total mensual promedio e-143 (M. Deifontes)

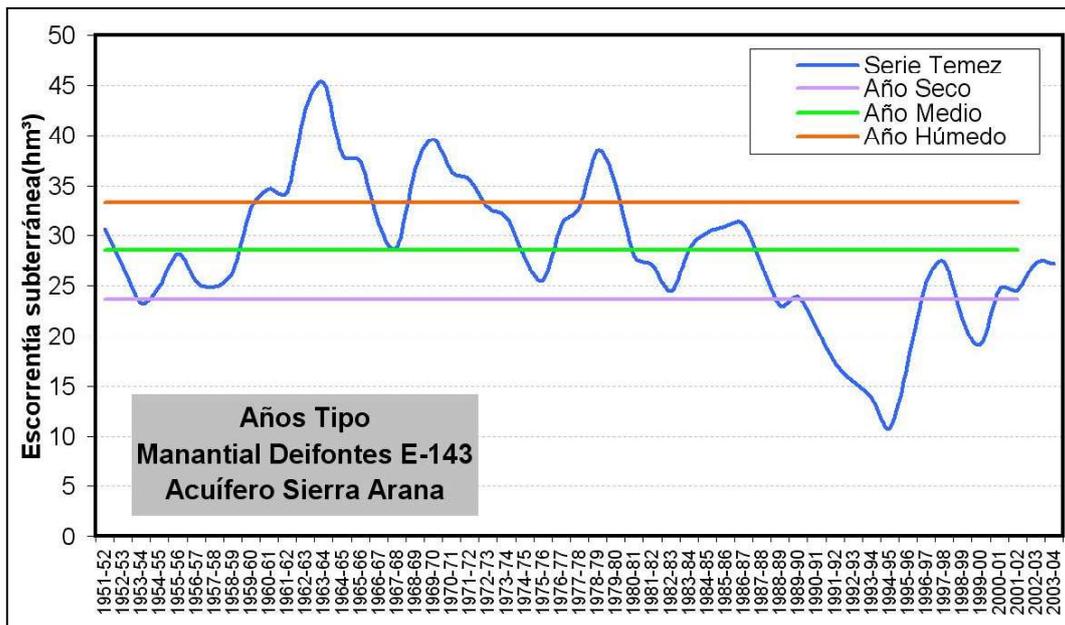


Figura 98. Años Tipo e-143 (Deifontes). Serie 1951-2004

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, movilizarse 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:

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

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

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

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 - $F(\Delta t)$ -:

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

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

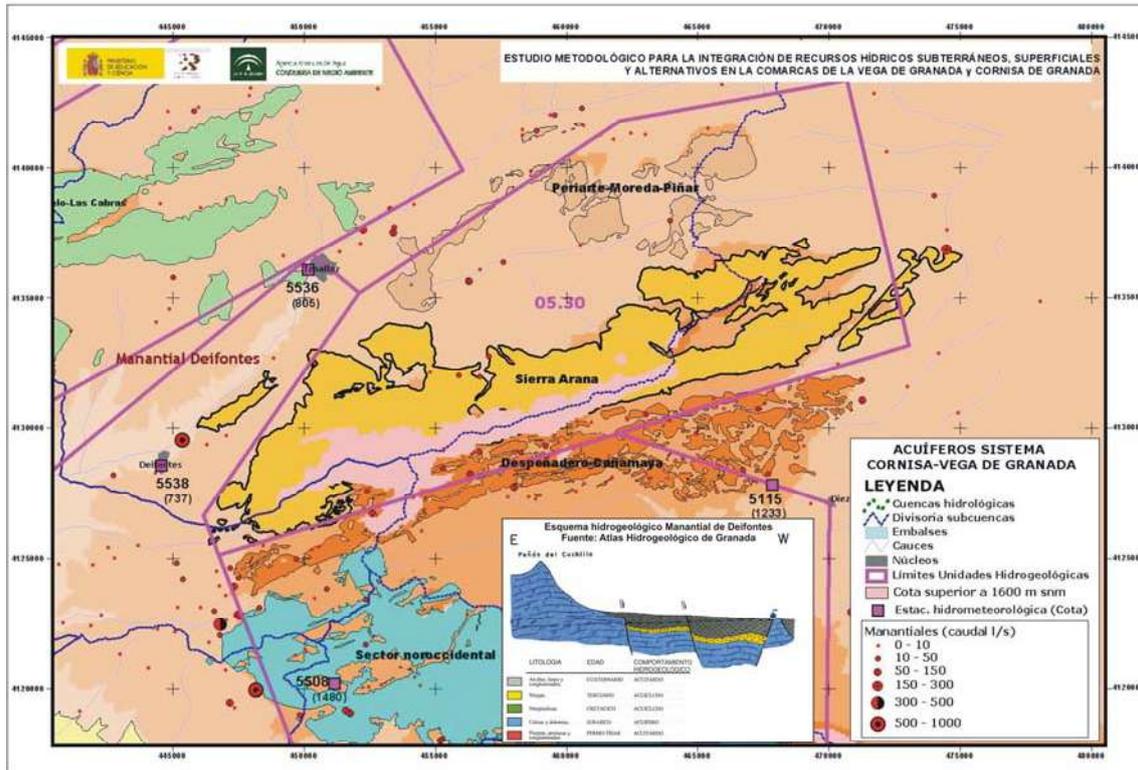


Figura 99. Embalse subterráneo Sierra Arana

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).

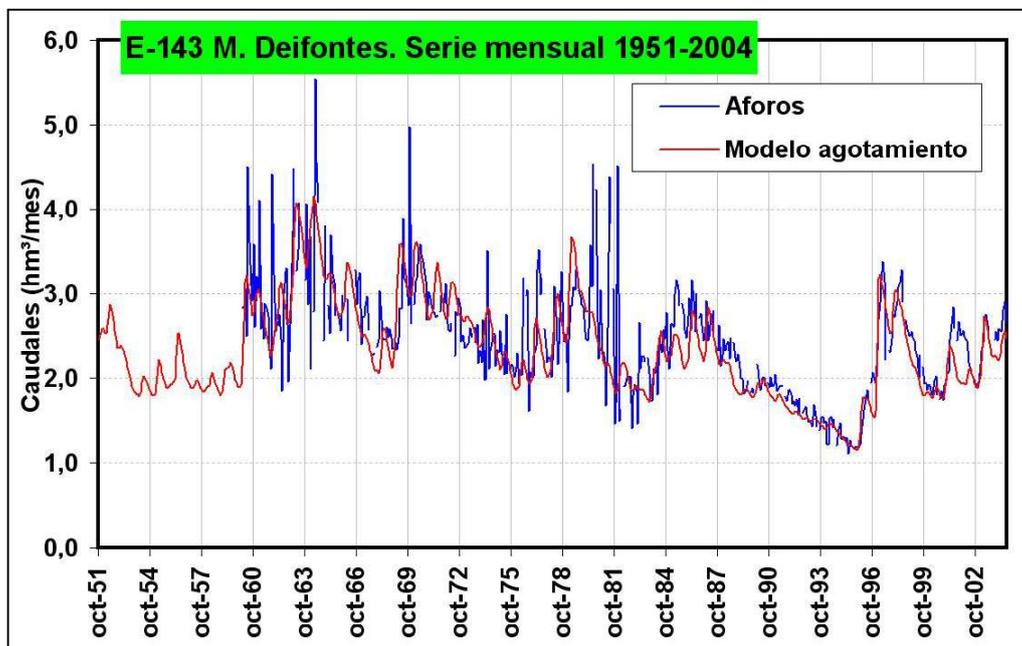


Figura 100. Calibración e-143 (M. Deifontes) modelo agotamiento. Serie mensual 1951-2004

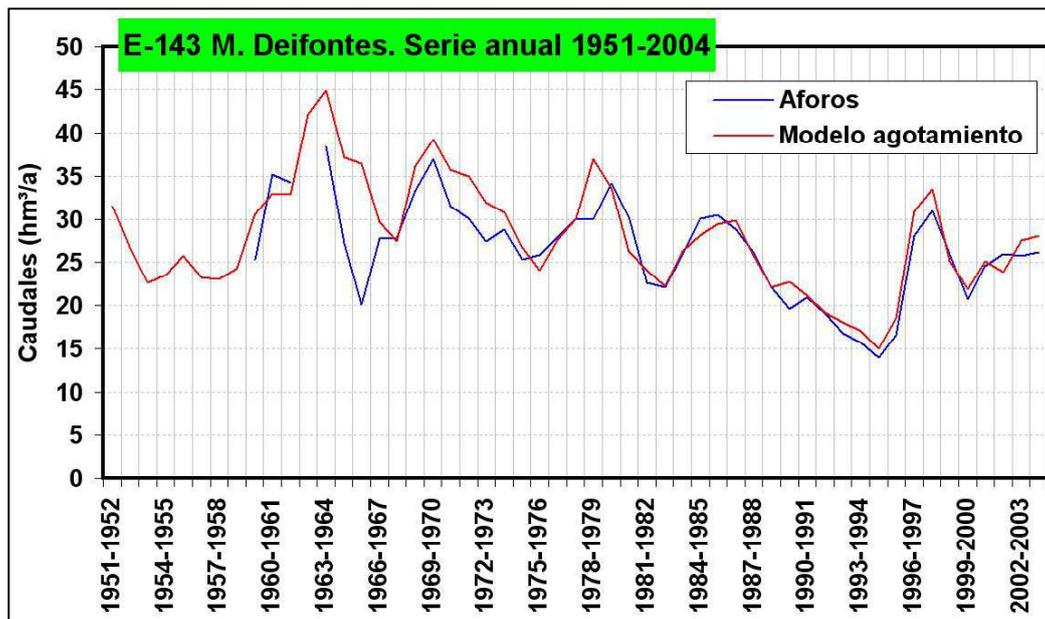


Figura 101. Calibración e-143 (M. Deifontes) modelo agotamiento. Serie anual 1951-2004

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).

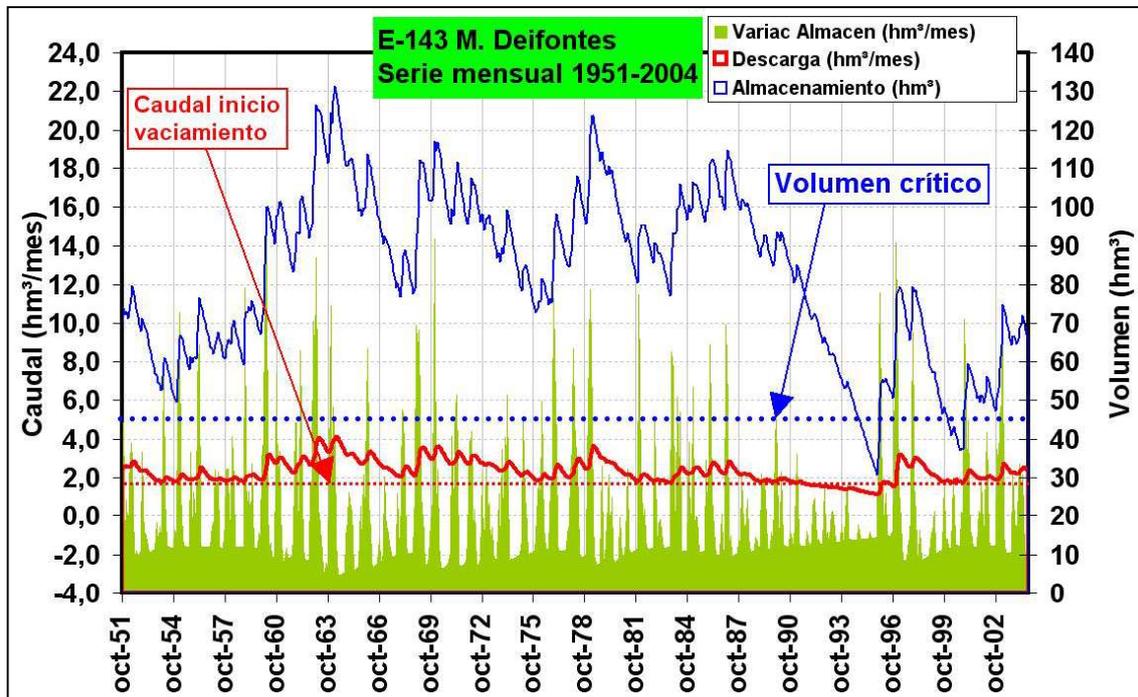


Figura 102. Variación de reservas en el embalse subterráneo de Sierra Arana

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.

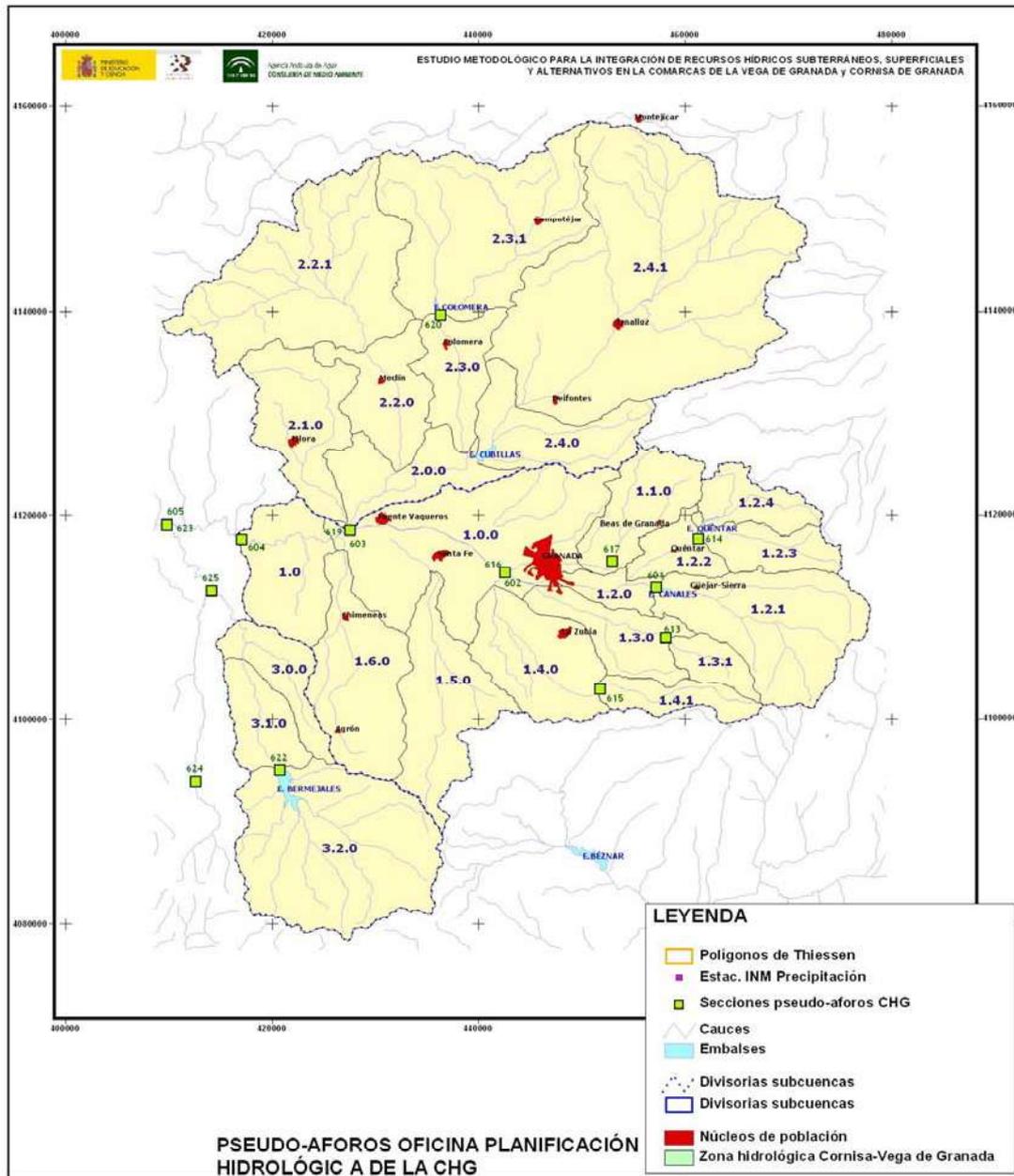


Figura 103. Ubicación de las secciones consideradas por la Oficina de Planificación Hidrológica de la CHG

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.

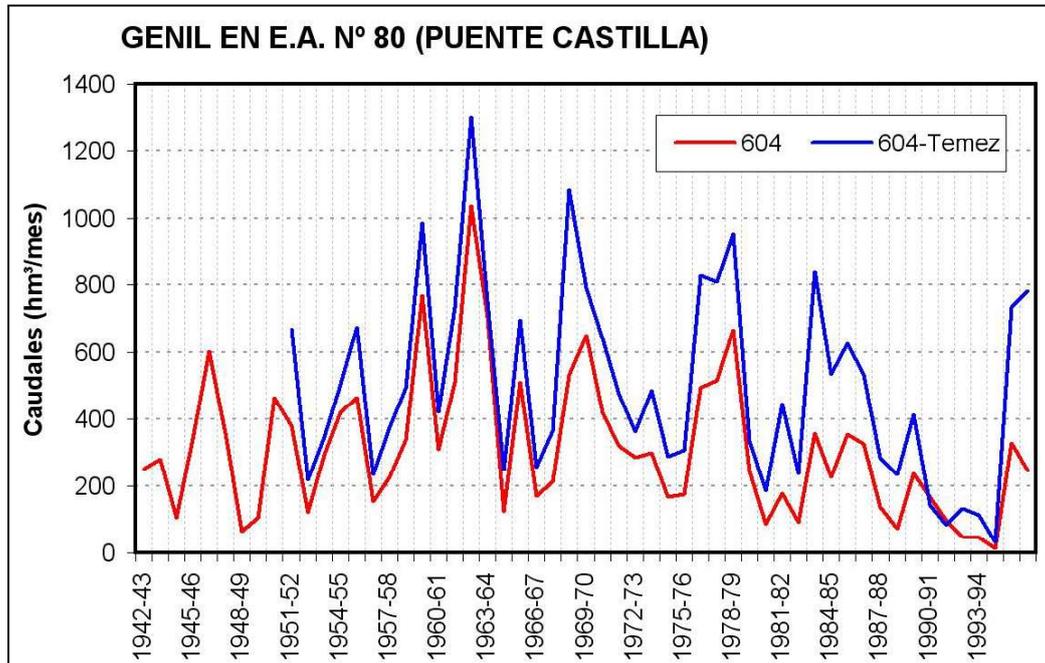


Figura 104. Comparativa series sintéticas anuales modelos P-E de Temez y P-E Sacramento (OP-CHG)

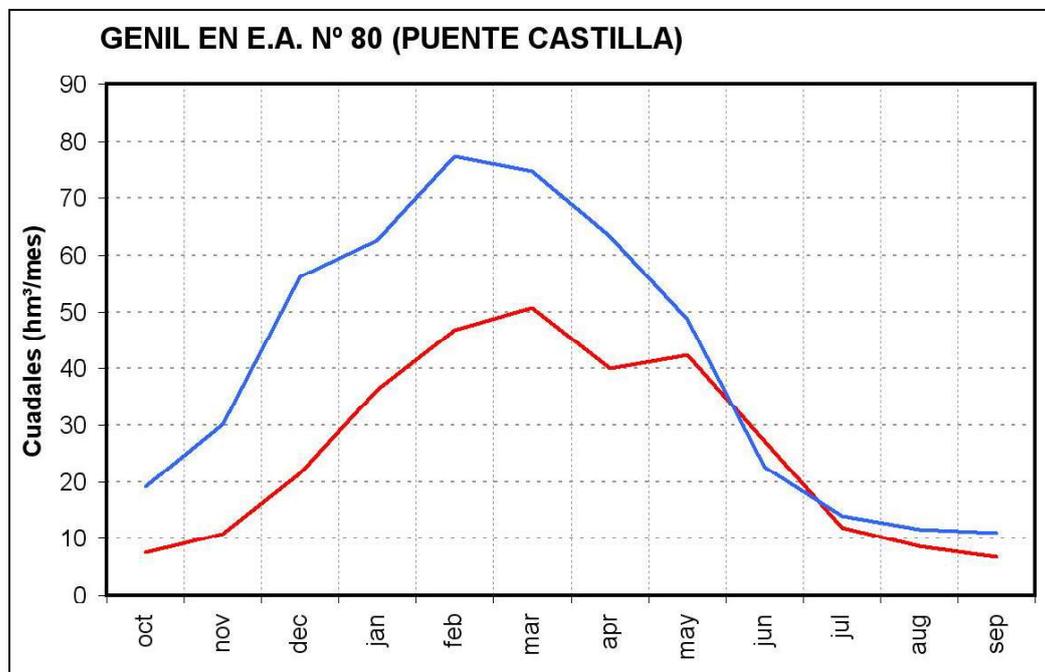


Figura 105. Comparativa series sintéticas anuales modelos P-E de Temez y P-E Sacramento (OP-CHG)

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 A° Padules	
	Cerro Carcabal	31e CerroCarcabal	19/La Peza-Canales
Güejar-Sierra	31d Güejar-Sierra		
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 Moclín-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	7/Albuñuelas
	Sierra de las Albuñuelas	42c Agrón	
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	Luvia útil (mm)	Subunidad Hidrogeológica	Sup. Afloran. (km ²)	Infiltrac. Luvia (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)	Bombes (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	47,8%	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 Mocín-Los Morrones	39,0	10,0	0,0	0,0	10,0	256	106,3%	7,0	13,5 (f)	4,5	25,0
		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
	247,0	Despeñadero-Cañamaya	30,0	7,5	0,0	0,0	7,5	250	101,2%	5,5	2,0 (g)	0,0	7,5
	301,0	Moreda-Periarte-Piñar	41,0	12,5	0,0	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
		Ermida Los Tres Juanes-Atalayá	2,0	1,0	0,0	0,0	1,0						
05.31 La Peza	448,0	Cerro Carcabal		14,0	0,0	0,0	14,0						
		Güejar-Sierra	181,5	13,0	0,0	0,0	13,0	275	61,5%	25,0	22,0 (j)	3,0	50,0
		Aguas Blancas		22,0	0,0	0,0	22,0						
		Beas de Granada-Cogollos Vega-Alfacar		200,0	30,0 (n)	47,0 (d)	155,0 (f)	232,0	150	39,5%	188,0	4,0 (k)	40,0
05.32 Depresión de Granada	379,5	Vega de Granada	800,0	50,0	2,0 (e)	0,0	50,0	63	16,5%	47,0	0,0	5,0	52,0
		Mio-Pioceno	16,0	4,50	0,0	0,0	4,50	281	93,4%	2,7 (o)	0,0		
05.34 Madrid-Parapanda		Sierra de Parapanda	8,0	2,00	0,0	0,0	2,00	250	83,1%	1,0	0,0		
	301,5	Sierra de Obelilar	3,0	0,50	0,0	0,0	0,50	167	55,4%	0,2	0,0	3,7	11,0
		Sierra de la Ermita-Sierra Pelada-Montefrío	5,5	3,00	0,0	0,0	3,00	545	181,2%	2,6	0,0		
05.42 Tejada-Almijara-Las Guájaras		Areniscas de Montefrío	4,5	1,00	0,0	0,0	1,00	222	73,8%	0,8	0,0		
		Sierra Tejada	33,0	12,50	0,0	0,0	12,50	379	169,9%	12,5	0,0	0,0	12,5
	223,0	Sierra de Almijara	118,0	35,00	0,0	0,0	35,00	297	133,0%	35,0	0,0	0,0	35,0
05.65 Sierra de Padúl		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
	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 UJHH 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 Granada

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

(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) Incluye la recarga en cauces (Genil, Monachil y Dilar)

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

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

 (p) Una significativa porción de esta descarga corresponde a los manantiales de Albuñuel (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.

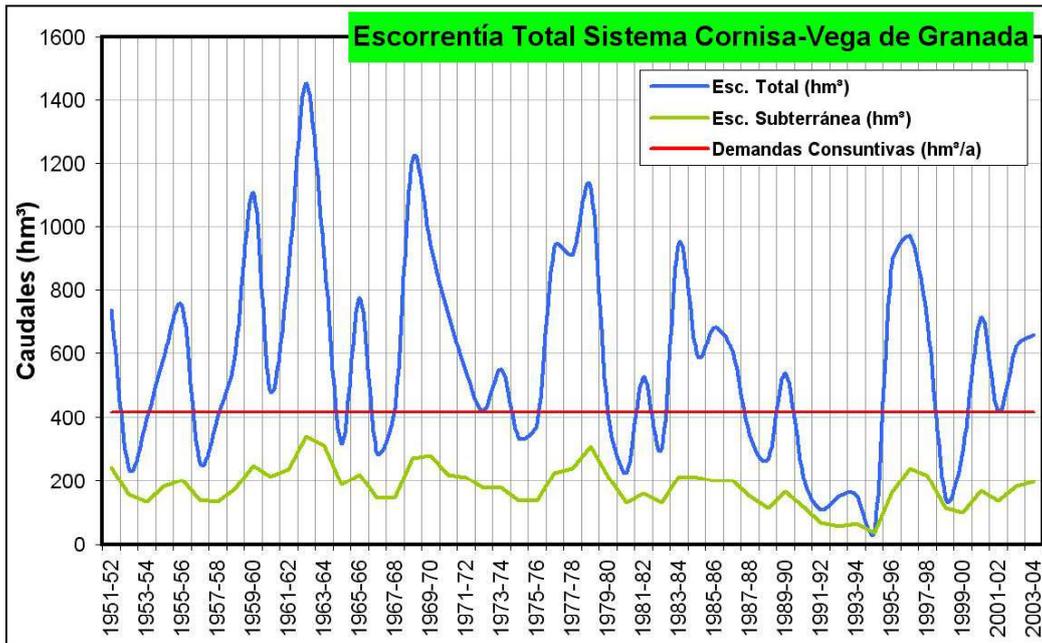


Figura 106. Distribución Anual de la Escorrentía Total y Subterránea del Sistema Cornisa-Vega de Granada. Periodo 1951-2004

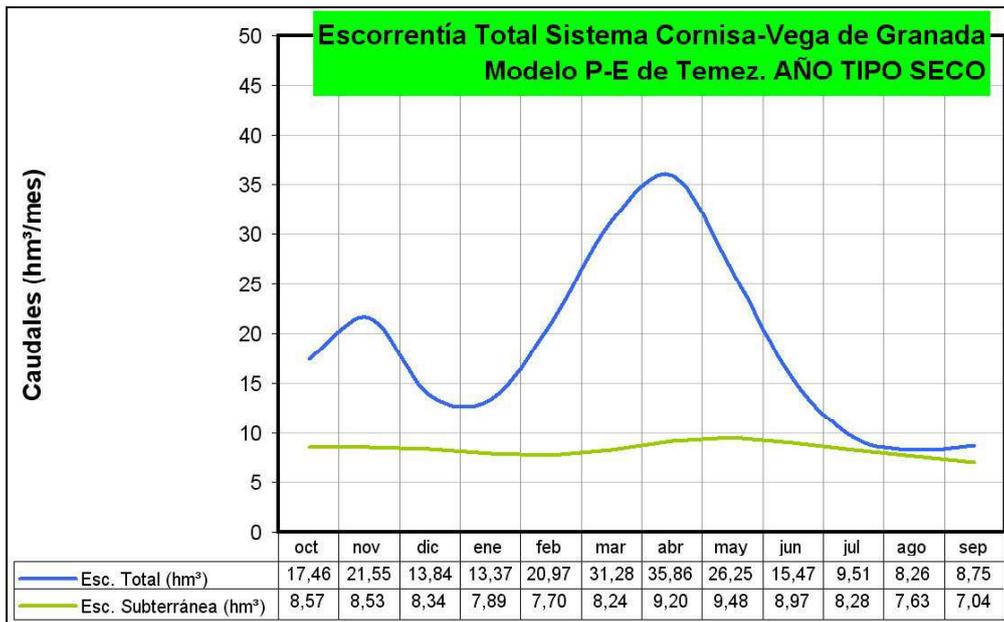


Figura 107. Distribución mensual de la Escorrentía Total y Subterránea (año Tipo Seco) del Sistema Cornisa-Vega de Granada

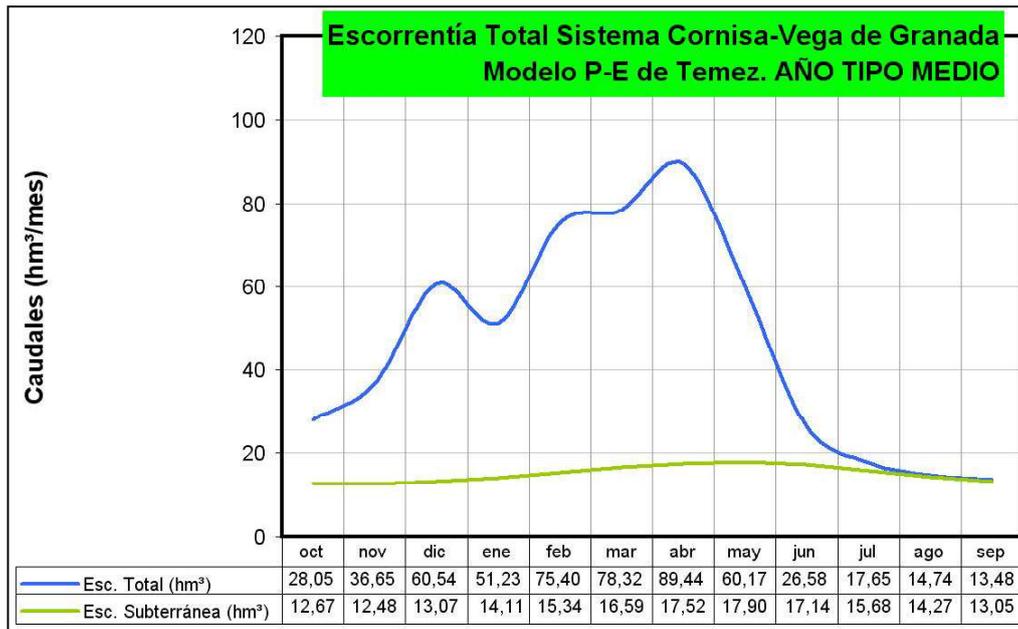


Figura 108. Distribución mensual de la Escorrentía Total y Subterránea (año Tipo Medio) del Sistema Cornisa-Vega de Granada

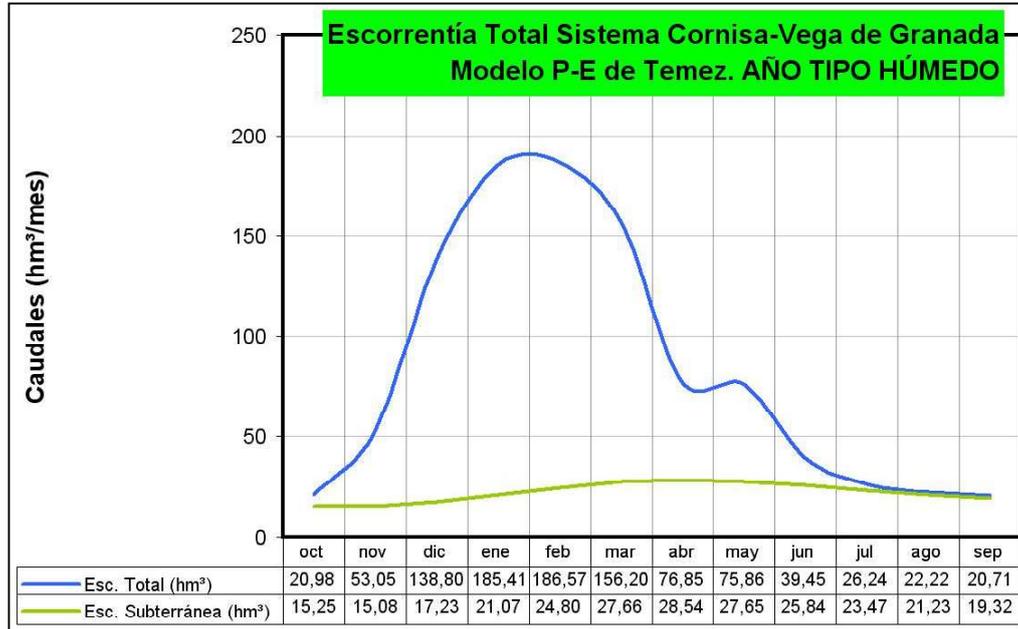


Figura 109. Distribución mensual de la Escorrentía Total y Subterránea (año Tipo Húmedo) del Sistema Cornisa-Vega de Granada

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 UHH 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 RÉG. 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

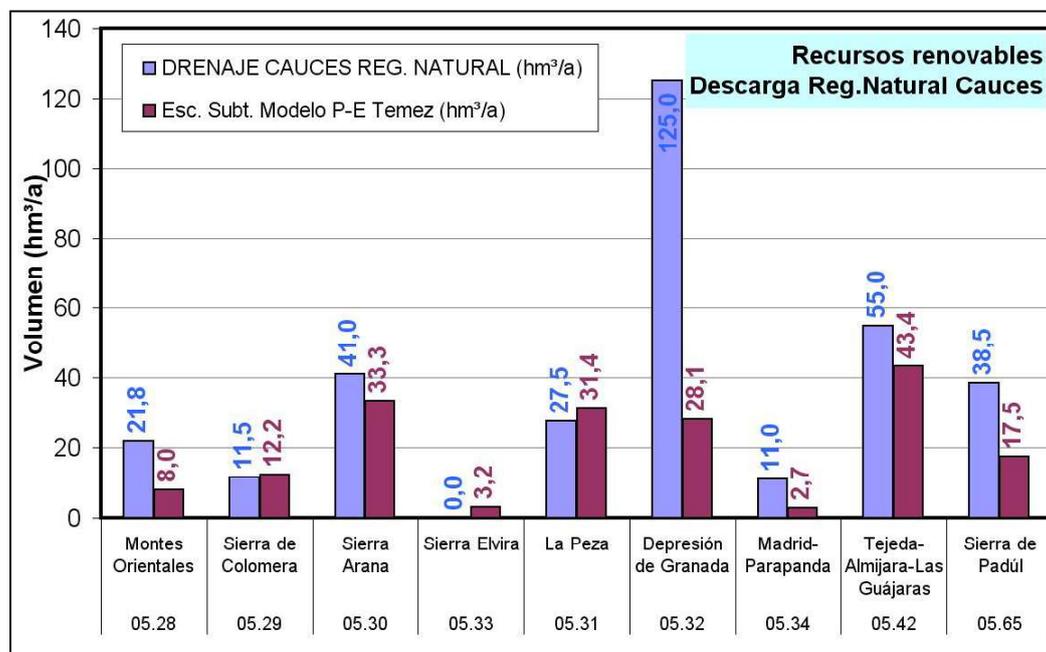


Figura 110. Comparativa descarga a cauces en régimen natural entre las cifras del modelo P-E de Temez y las cifras consideradas en las Normas de explotación CHG-IGME

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.

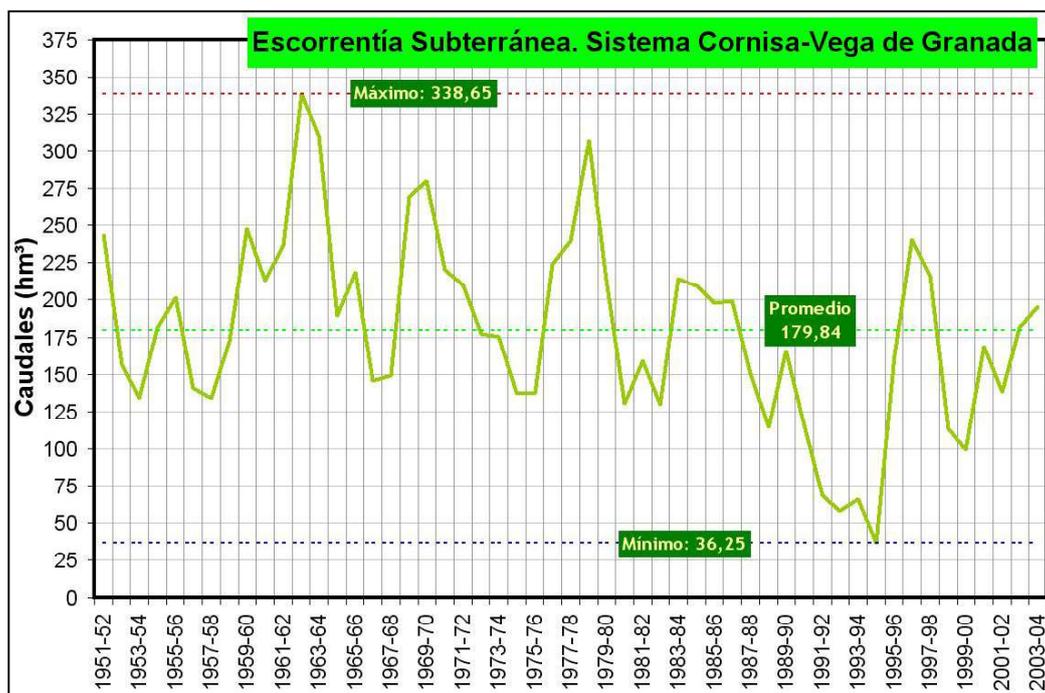
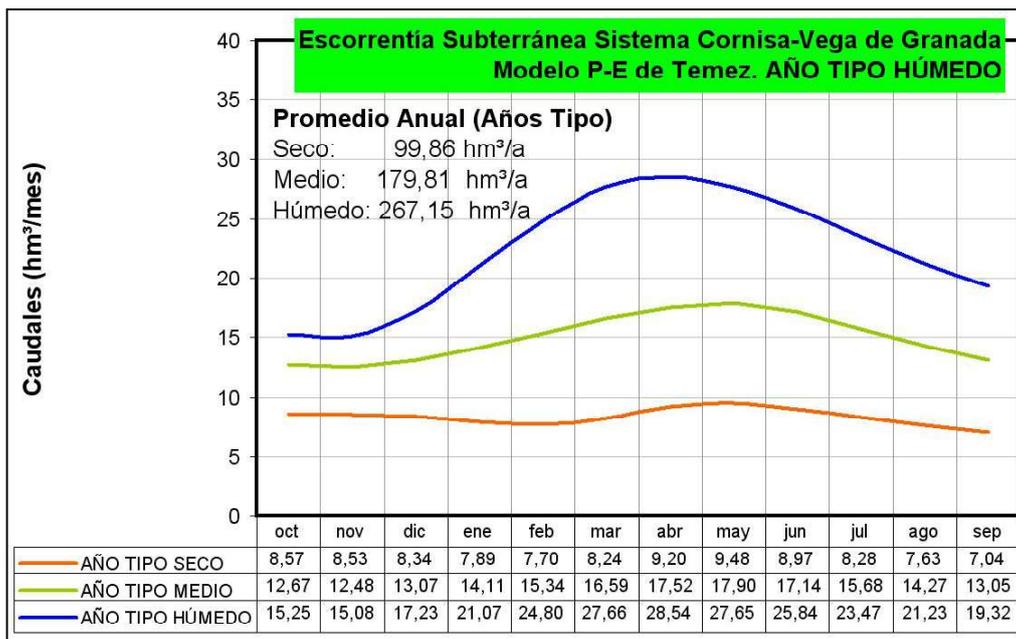


Figura 111. Escorrentía subterránea Sistema Cornisa-Vega de Granada
Distribución Anual en Régimen Natural (modelo P-E Temez
modificado)



*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 Montejícar ⁽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 Tejeda-Almijara	42a Sierra Tejeda ⁽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 (42abTejeda-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).

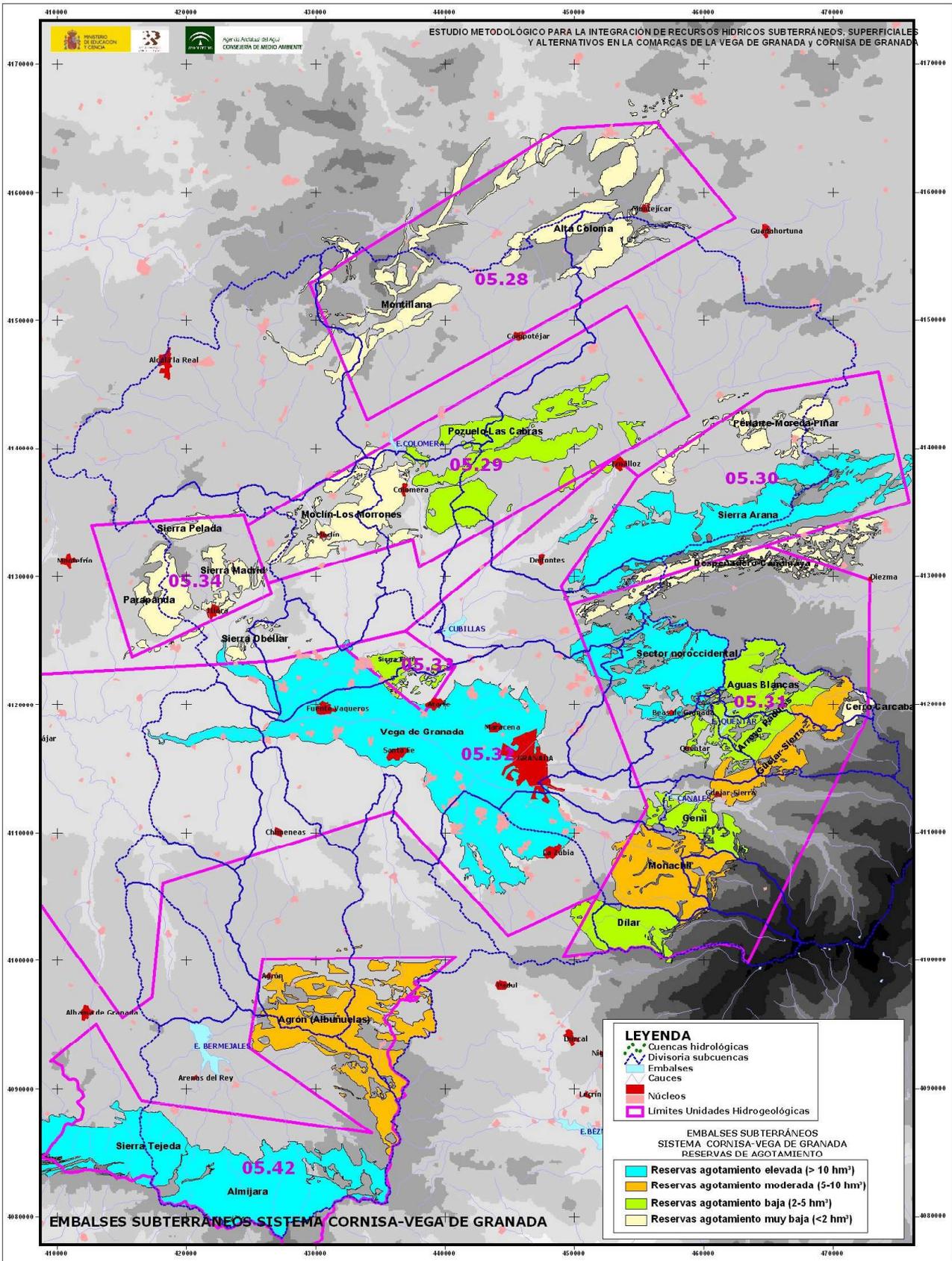


Figura 113. Reservas de agotamiento de los embalses subterráneos del Sistema Cornisa-Vega de Granada

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

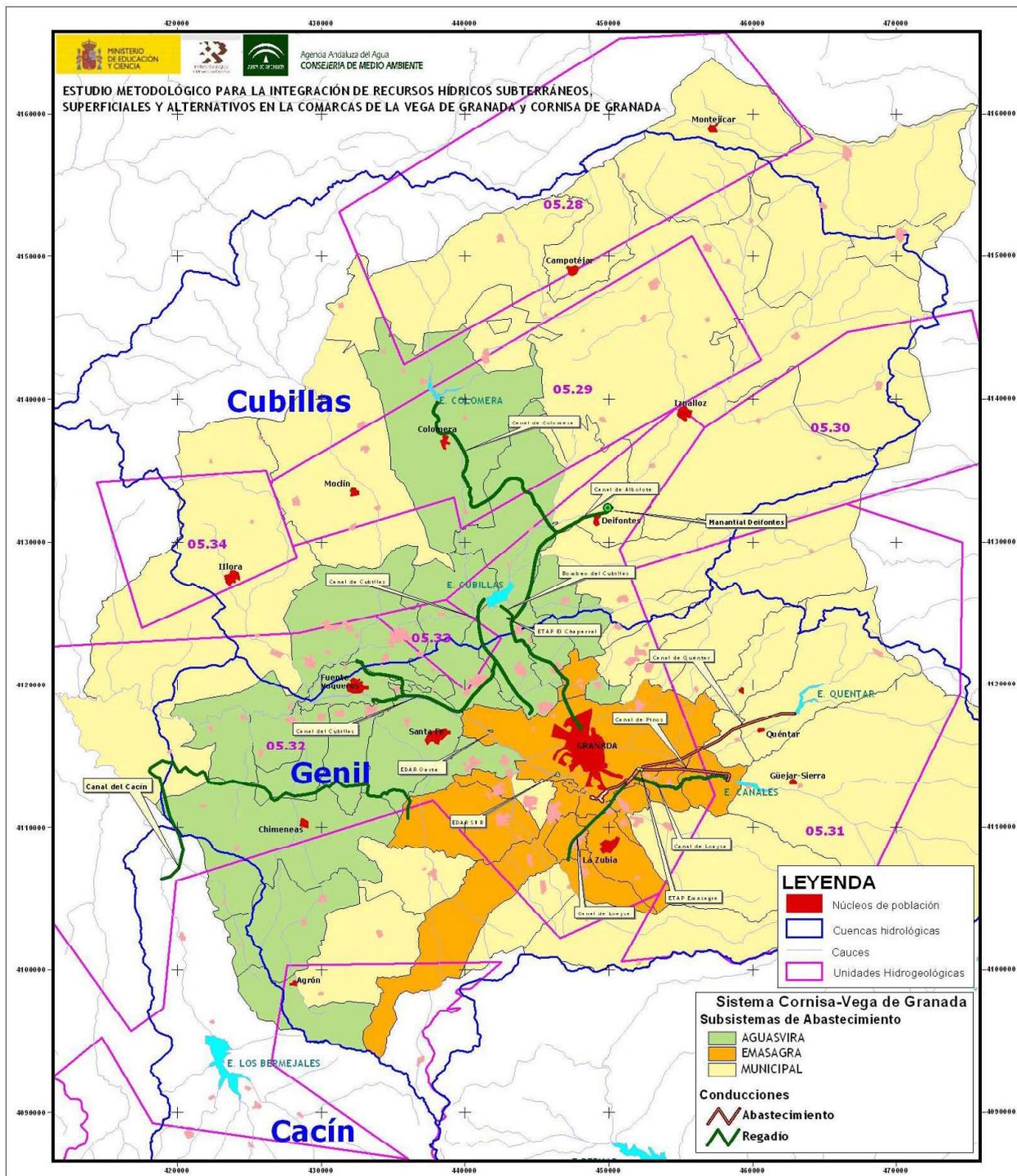


Figura 114. Infraestructuras hidráulicas Sistema Cornisa-Vega de Granada. Abastecimientos urbanos

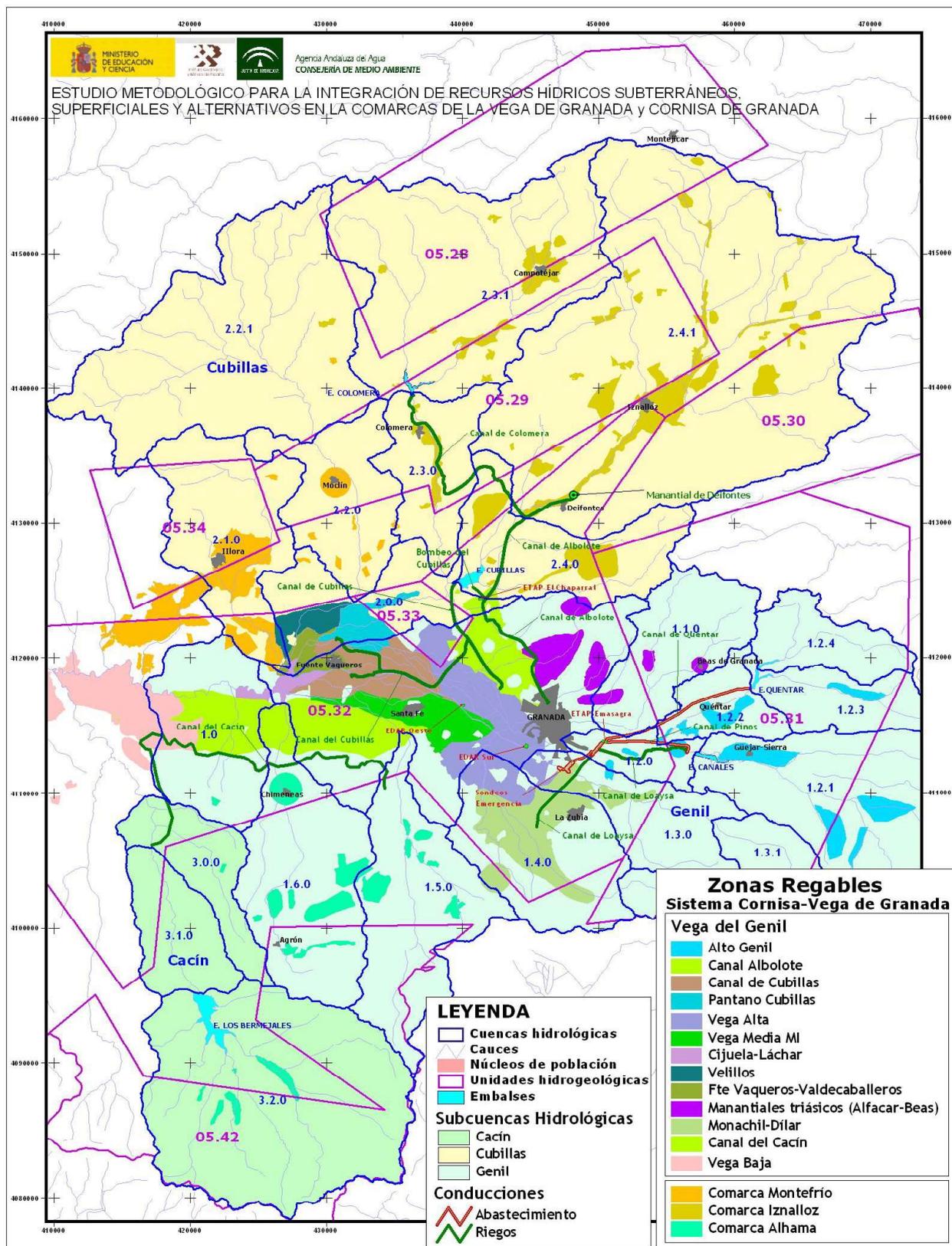


Figura 115. Infraestructuras hidráulicas Sistema Cornisa-Vega de Granada. Regadíos

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.

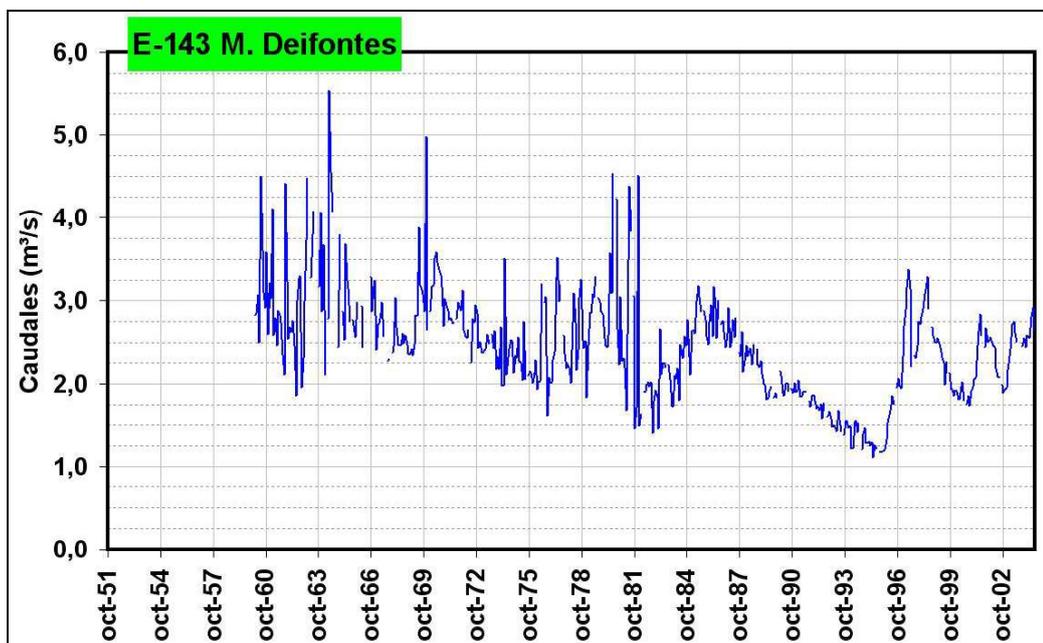


Figura 116. Hidrograma descarga manantial Deifontes (estac. aforos n°143 CHG)

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).

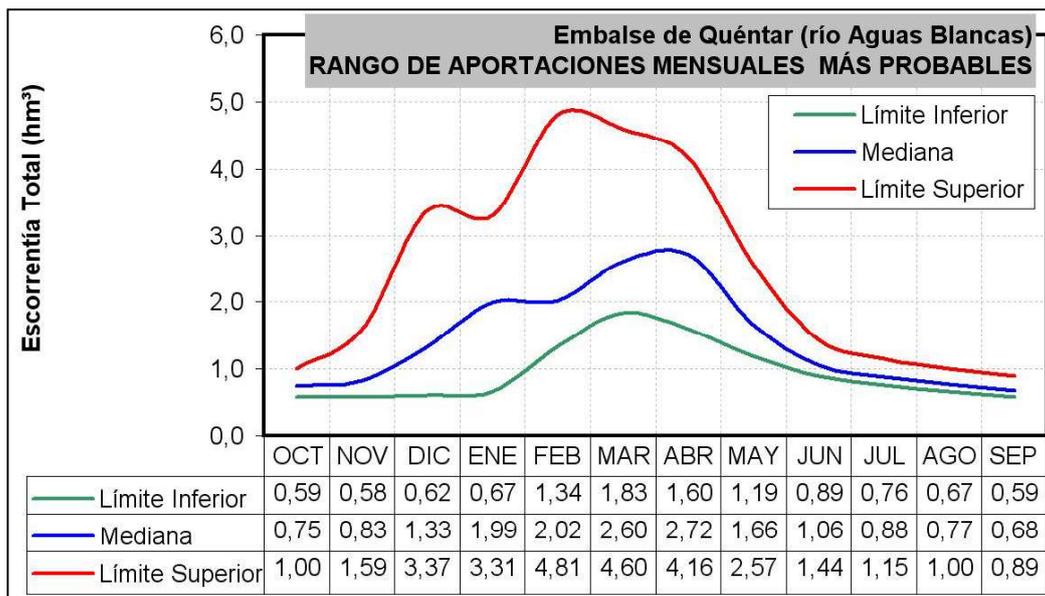


Figura 117. Rango de aportaciones más probables al embalse de Quéntar

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

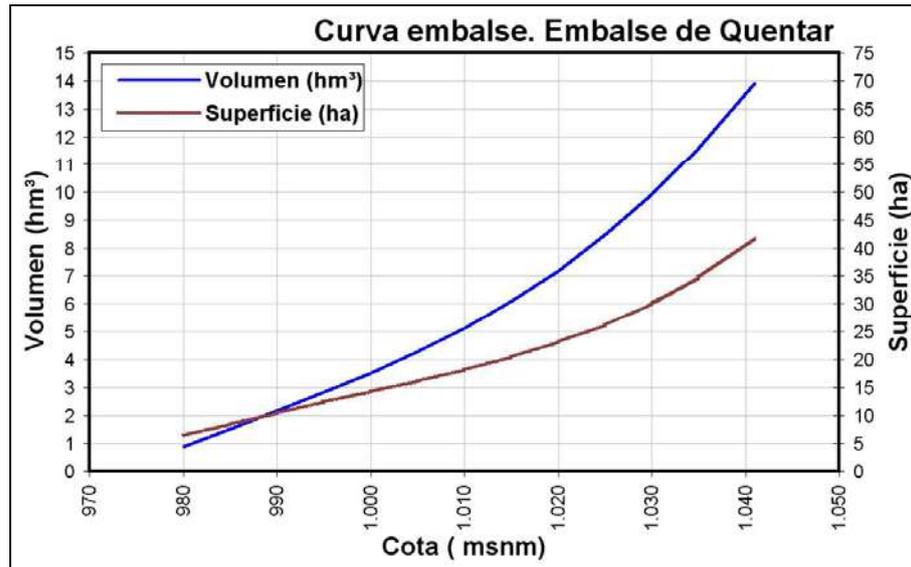


Figura 118. Curvas características del embalse de Quéntar

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).

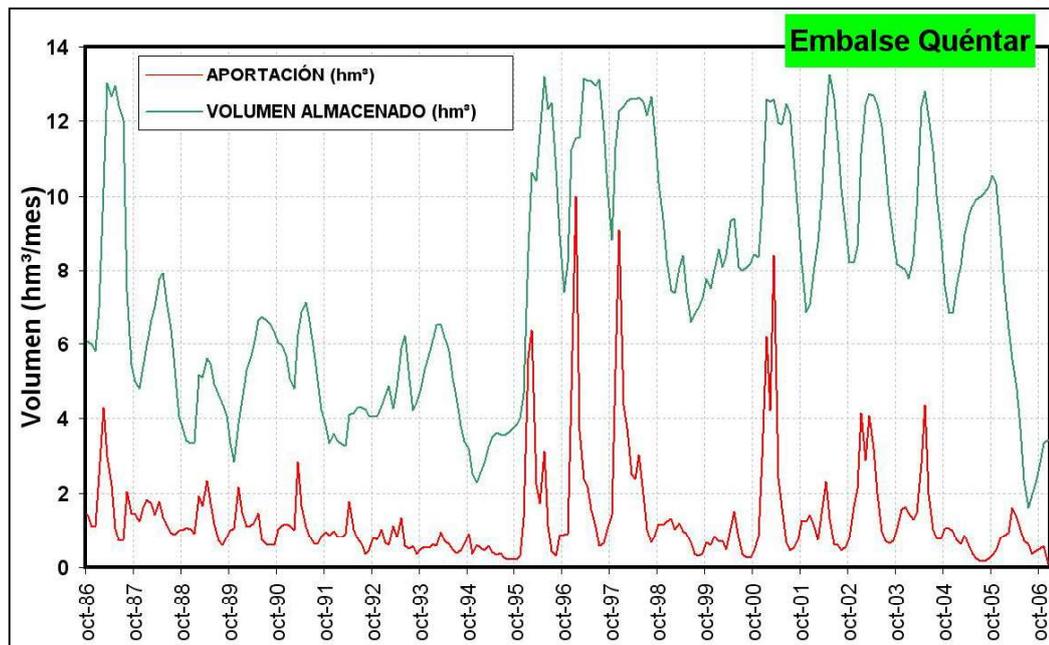


Figura 119. Evolución del embalse de Quéntar (periodo 1986–2006)

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

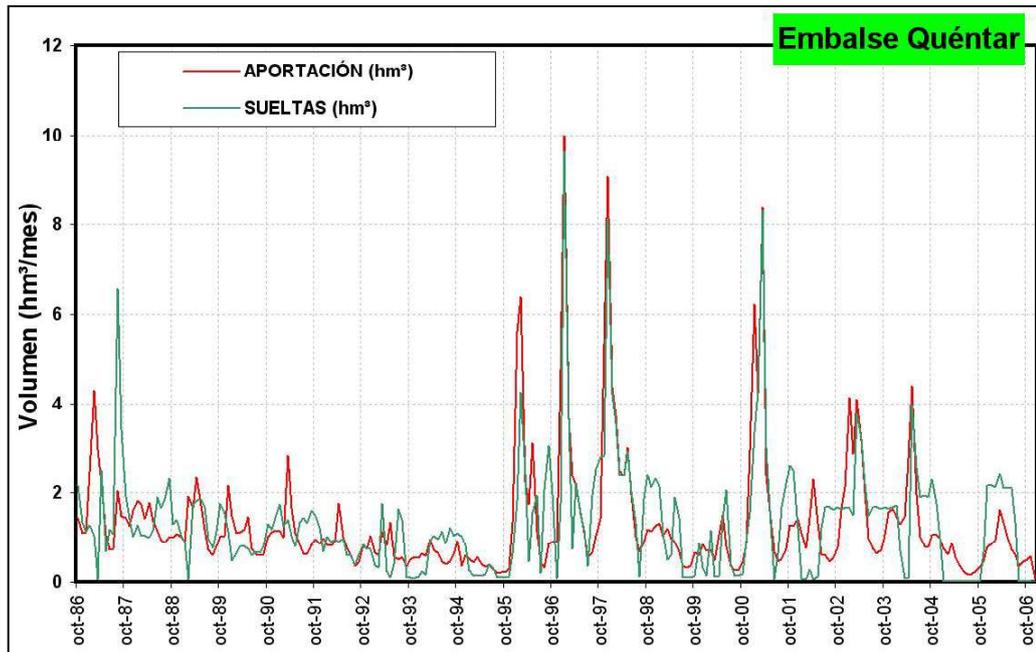


Figura 120. Datos de explotación del embalse de Quéntar. Fuente: CHG

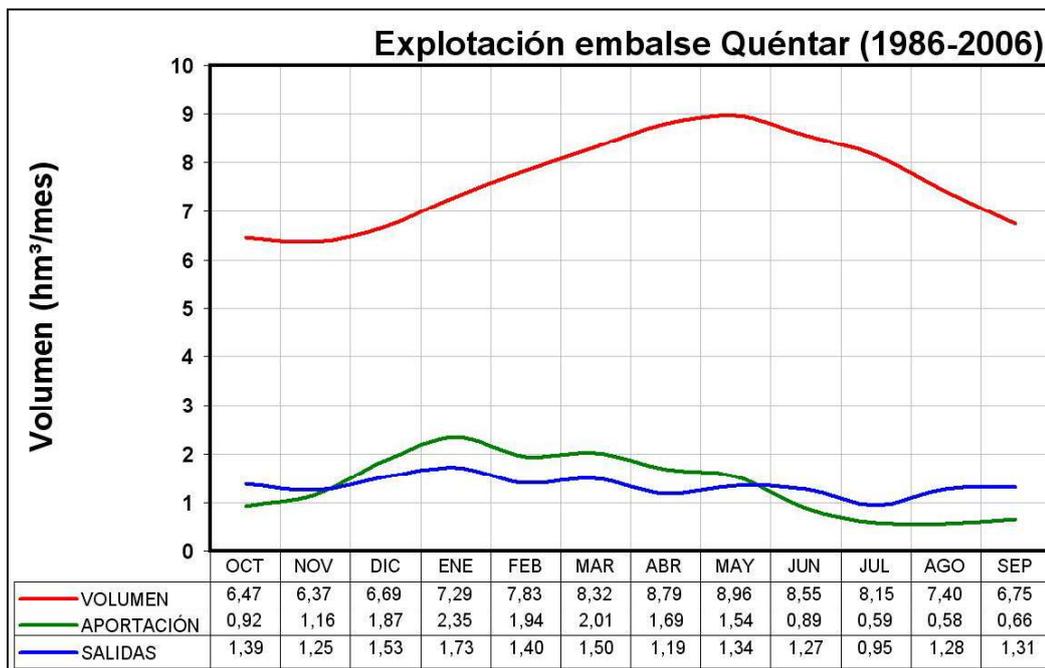


Figura 121. Explotación del embalse de Quéntar periodo 1986–2006. Comparativa entregas–aportación–almacenamiento

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	59,35 hm ³	
	Modelo Temez modificado	74,90 hm ³ /a	
	Aportación Subterránea	11,99 hm ³ /a	
	Aportación Superficial	62,92 hm ³ /a	
ESCORRENTÍA TOTAL MODELO TEMEZ MODIFICADO (hm³/a)			
	SECO (hm ³ /a)	MEDIO (hm ³ /a)	HÚMEDO (hm ³ /a)
Mínimo	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.

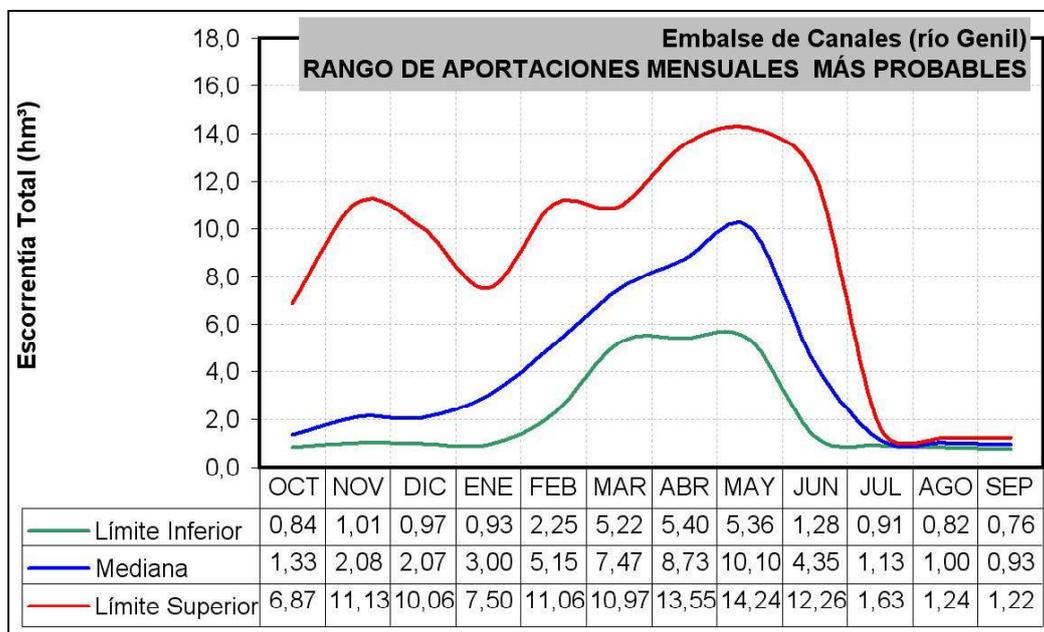


Figura 122. Rango de aportaciones más probables al embalse de Canales

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

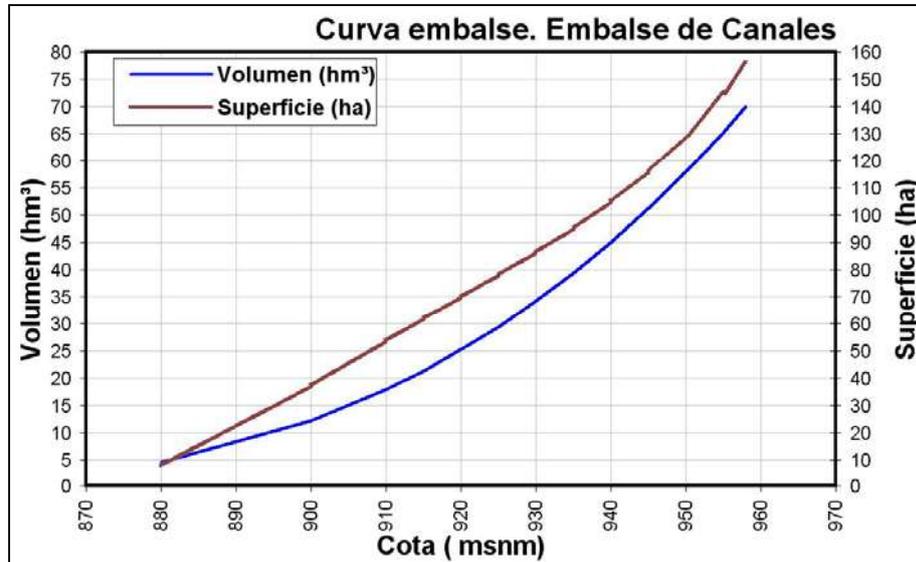


Figura 123. Curvas características del embalse de Canales

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).

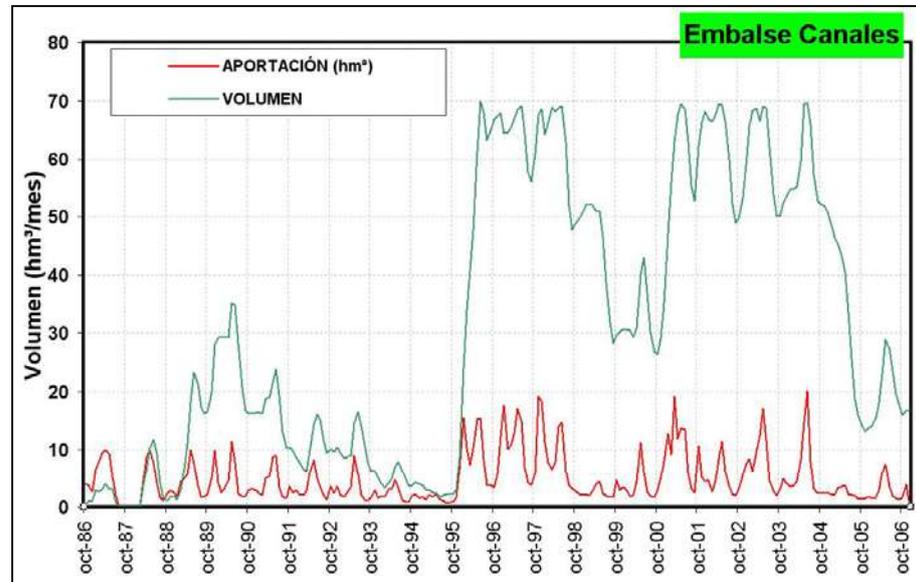


Figura 124. Evolución del embalse de Canales (periodo 1986–2006)

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

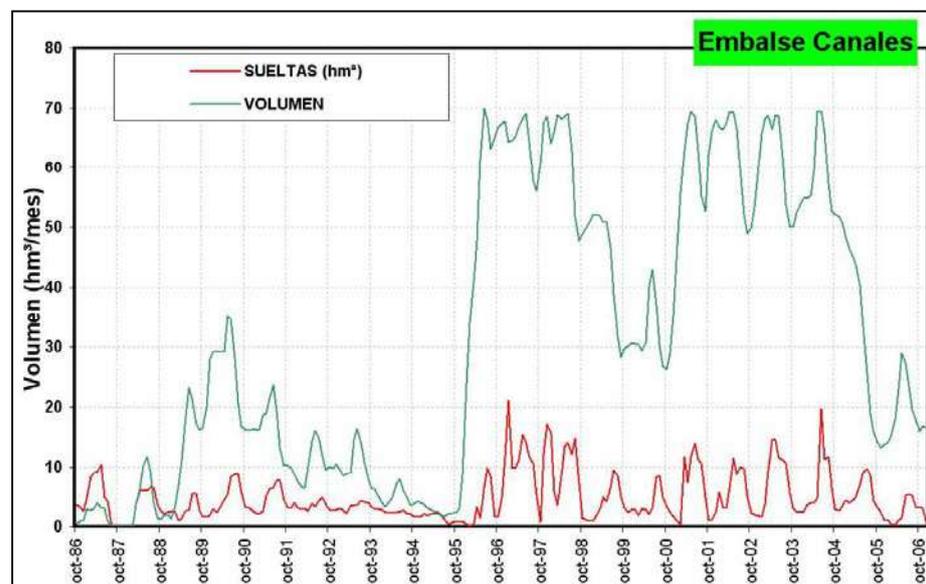


Figura 125. Datos de explotación del embalse de Canales. Fuente: CHG

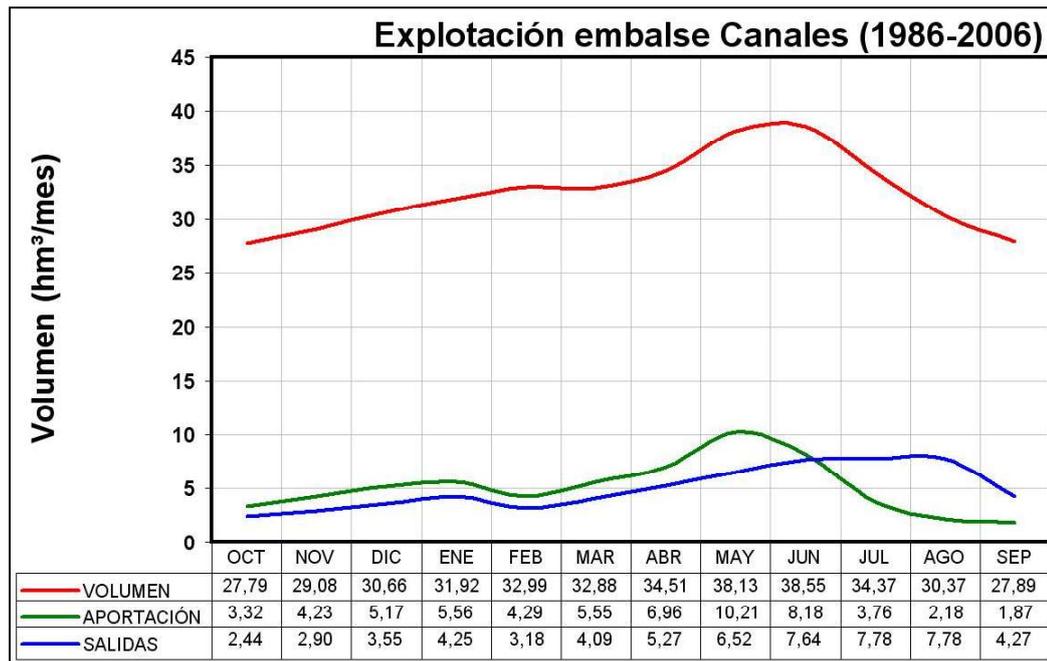


Figura 126. Explotación del embalse de Canales periodo 1986–2006. Comparativa entregas–aportación–almacenamiento

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.

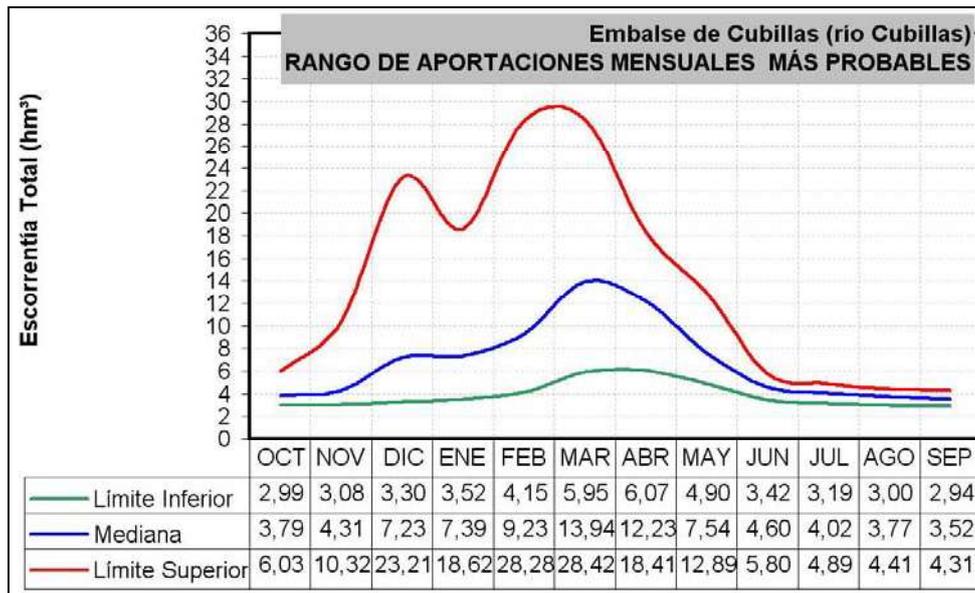


Figura 127. Rango de aportaciones más probables al embalse de Cubillas

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

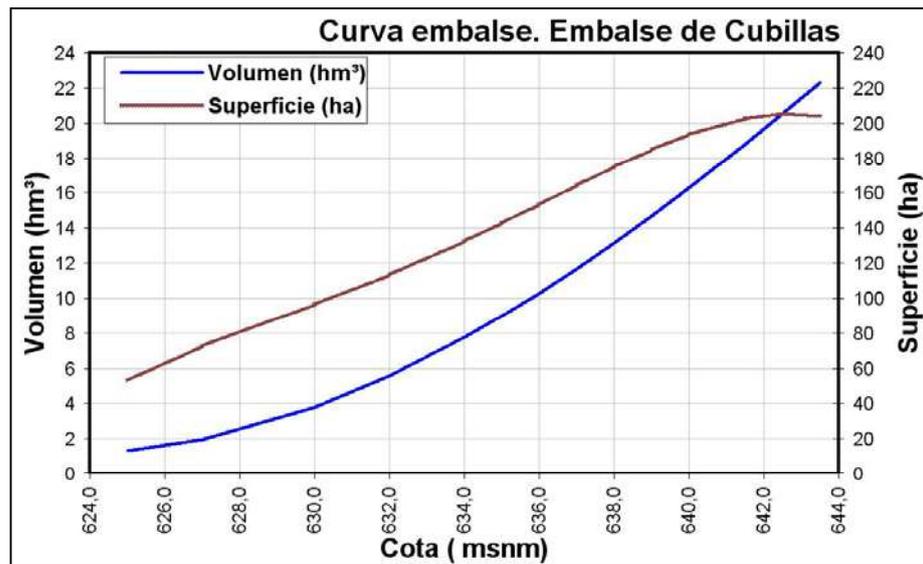


Figura 128. Curvas características del embalse de Cubillas

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).

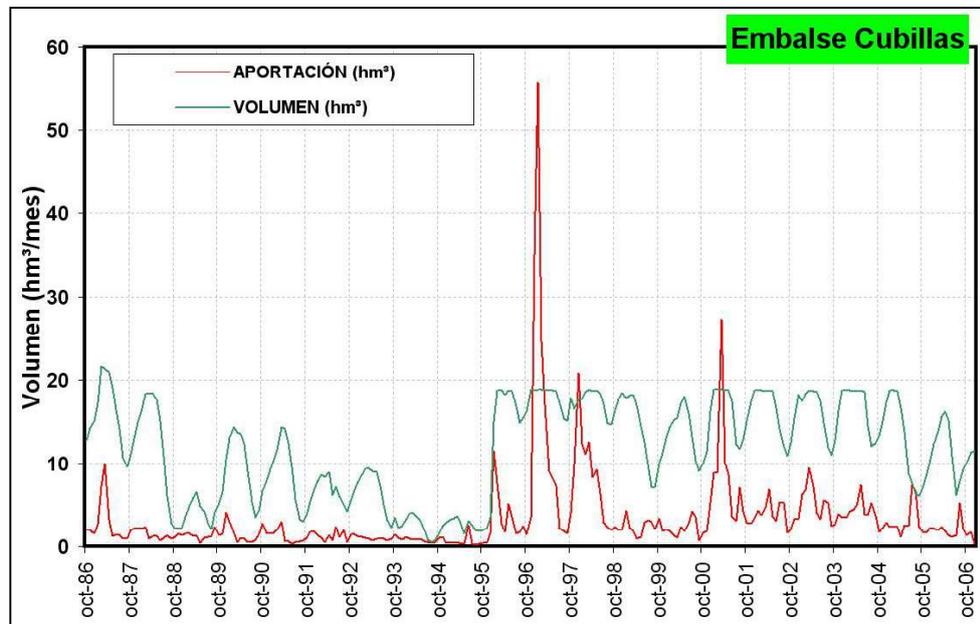


Figura 129. Evolución del embalse de Cubillas (periodo 1986–2006)

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 (m ³ /mes)	Evaporación (m ³ /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

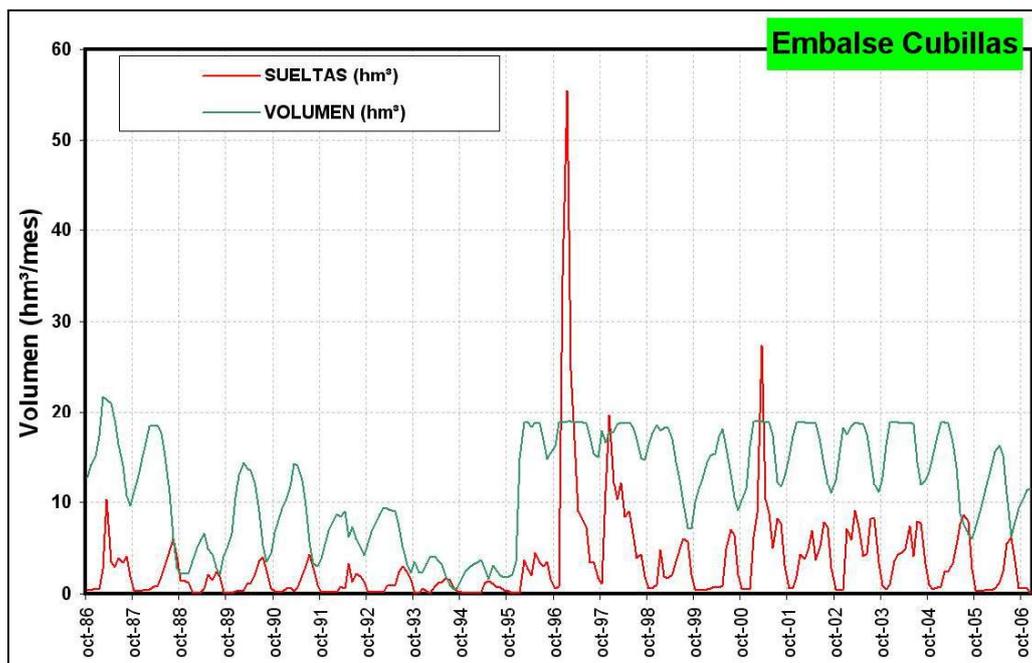


Figura 130. Datos de explotación del embalse de Cubillas. Fuente: CHG

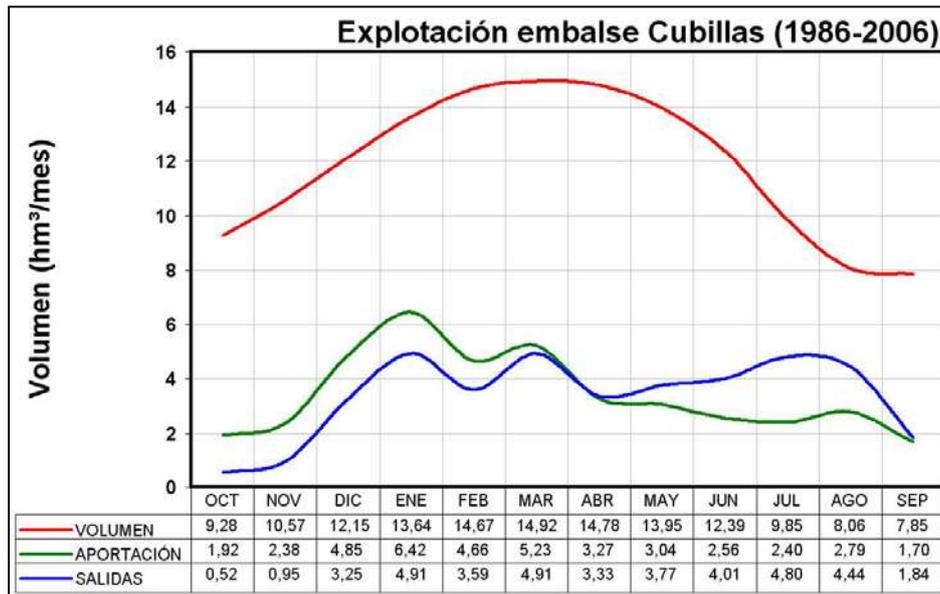


Figura 131. Explotación del embalse de Cubillas periodo 1986–2006. Comparativa entregas–aportación–almacenamiento

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 (hm ³ /a)	MEDIO (hm ³ /a)	HÚMEDO (hm ³ /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.

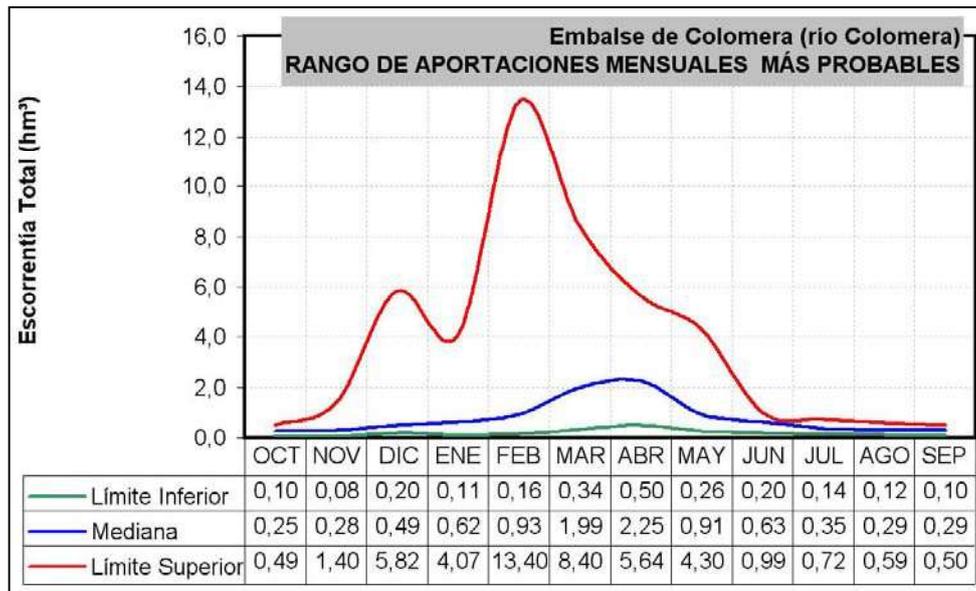


Figura 132. Rango de aportaciones más probables al embalse de Colomera

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

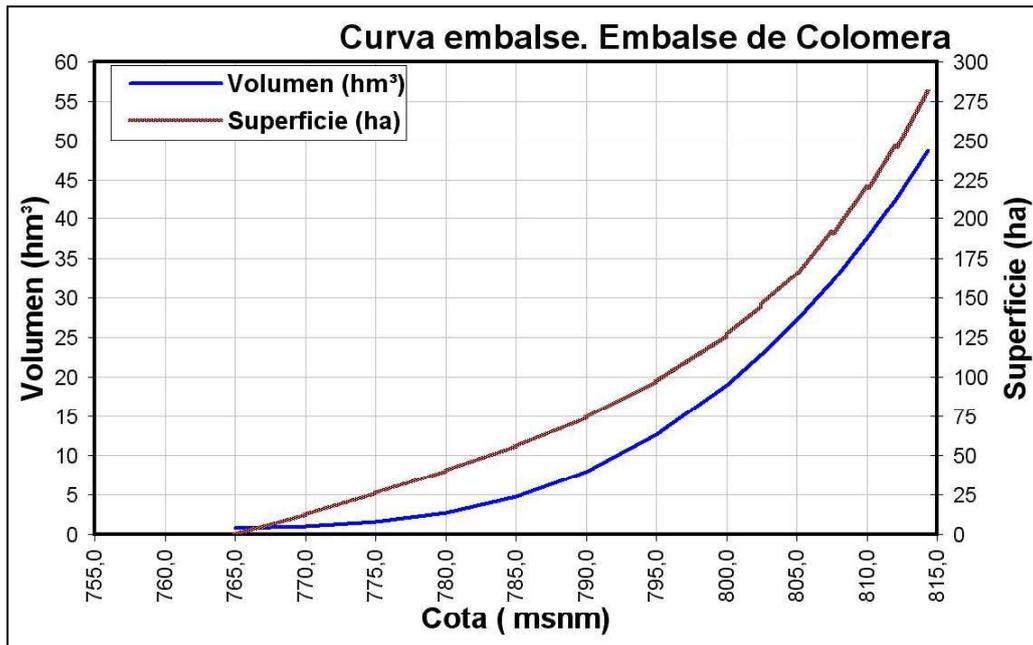


Figura 133. Curvas características del embalse de Cubillas

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).

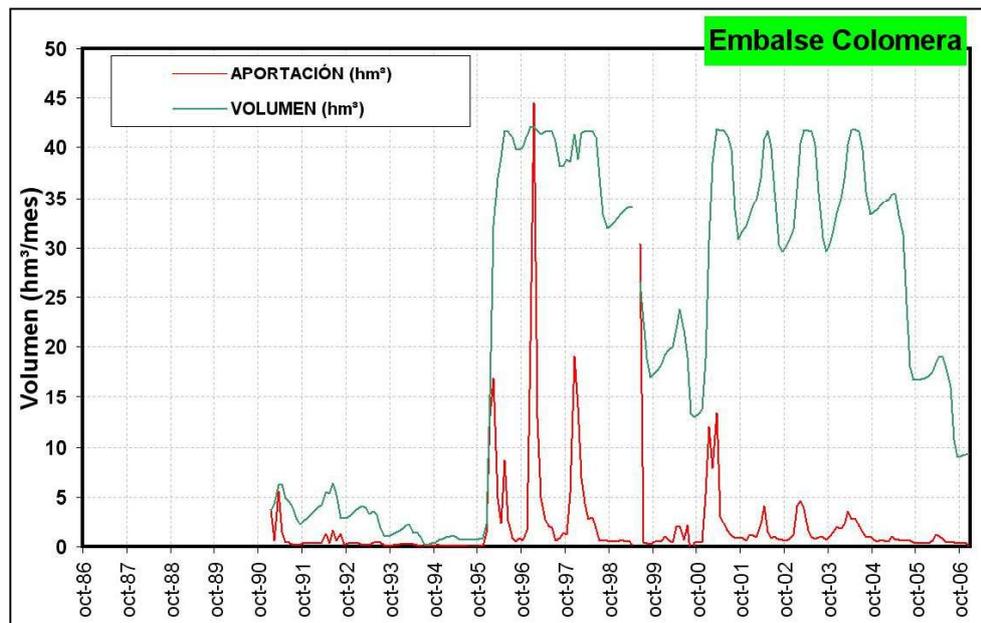


Figura 134. Evolución del embalse de Colomera (periodo 1992-2006)

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

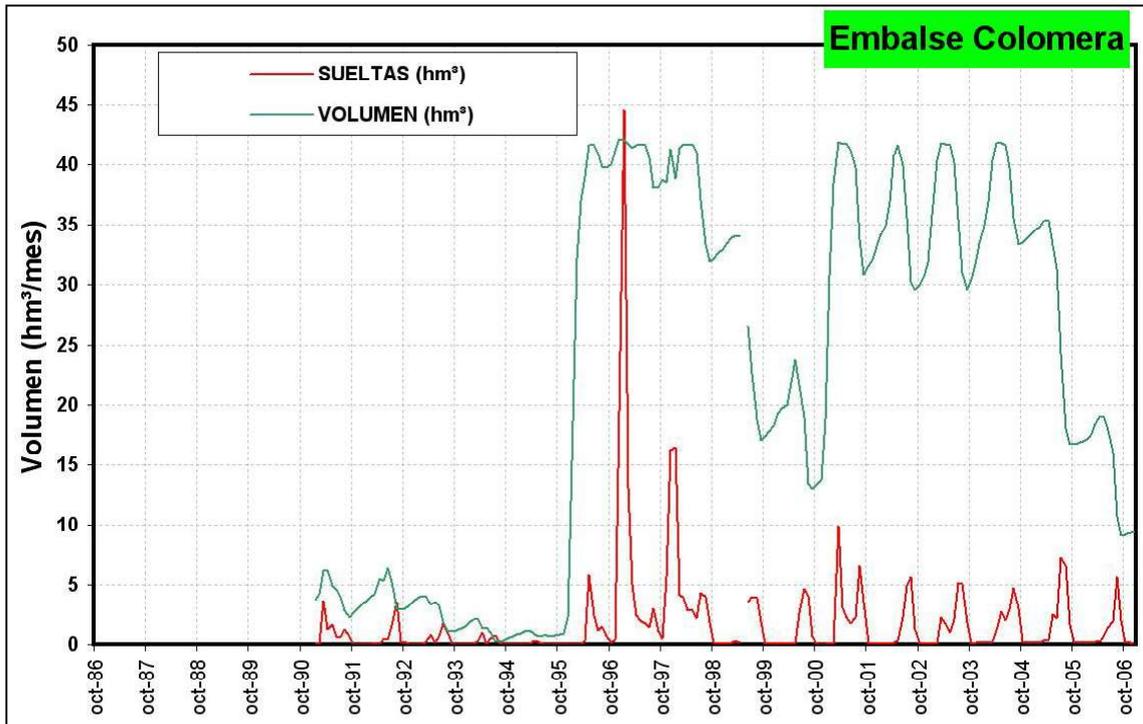


Figura 135. Datos de explotación del embalse de Colomera. Fuente: CHG

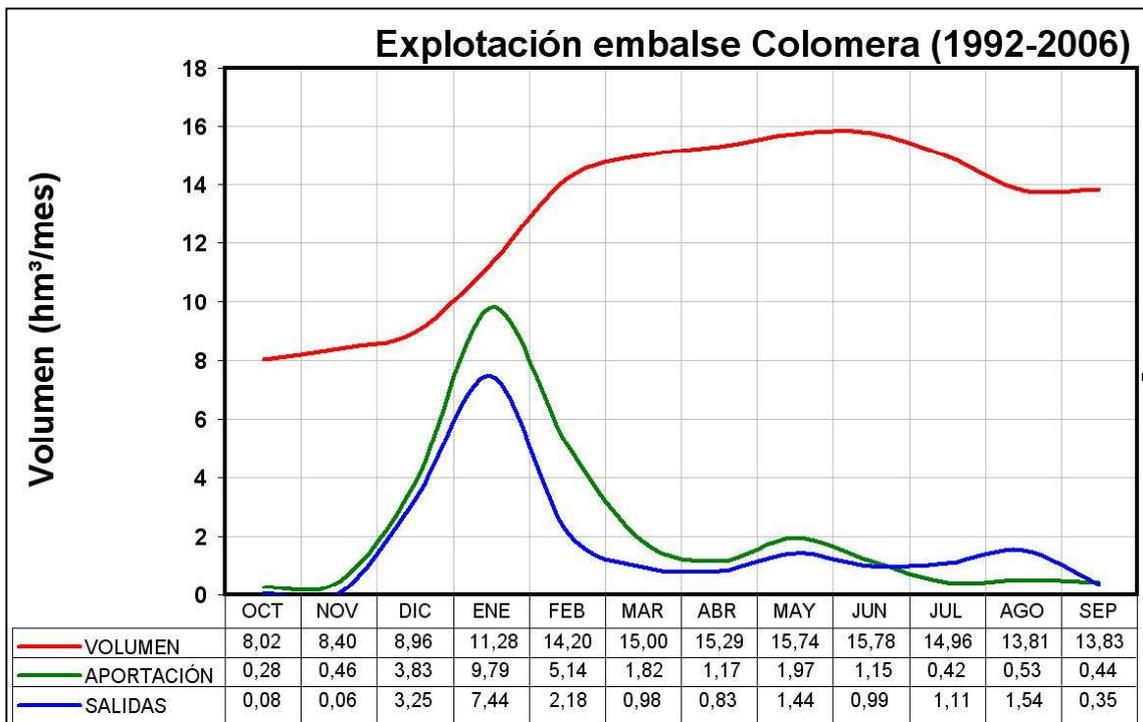


Figura 136. Explotación del embalse de Colomera periodo 1992-2006. Comparativa entregas-aportación-almacenamiento

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	98,35
Cuartil 25%	24,56	58,42	105,48
Promedio	30,44	65,18	123,45
Mediana	31,89	64,23	123,75
Cuartil 75%	39,09	70,82	137,05
Desv.Estándar	9,77	10,80	21,17
C _v	3,12	6,04	5,83
Máximo	43,20	92,41	170,15

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.

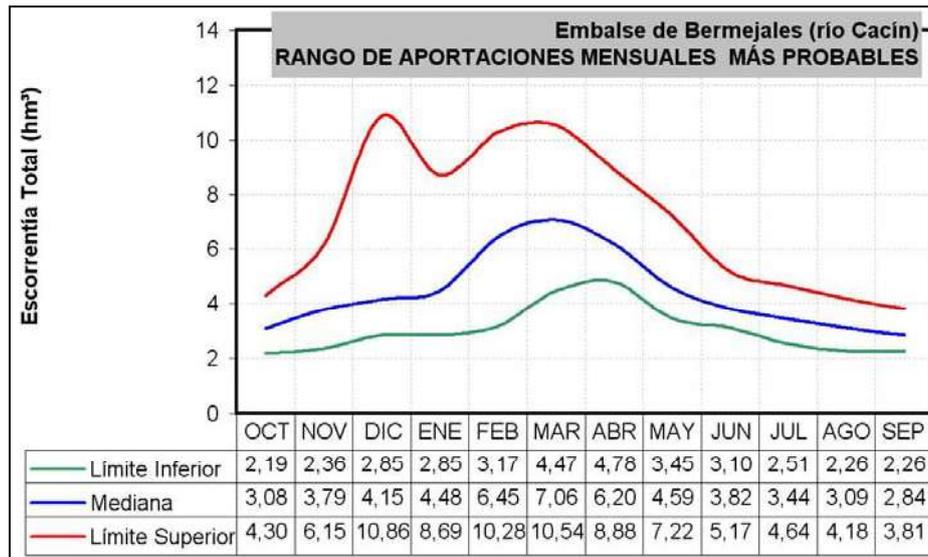


Figura 137. Rango de aportaciones más probables al embalse de Los Bermejales

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

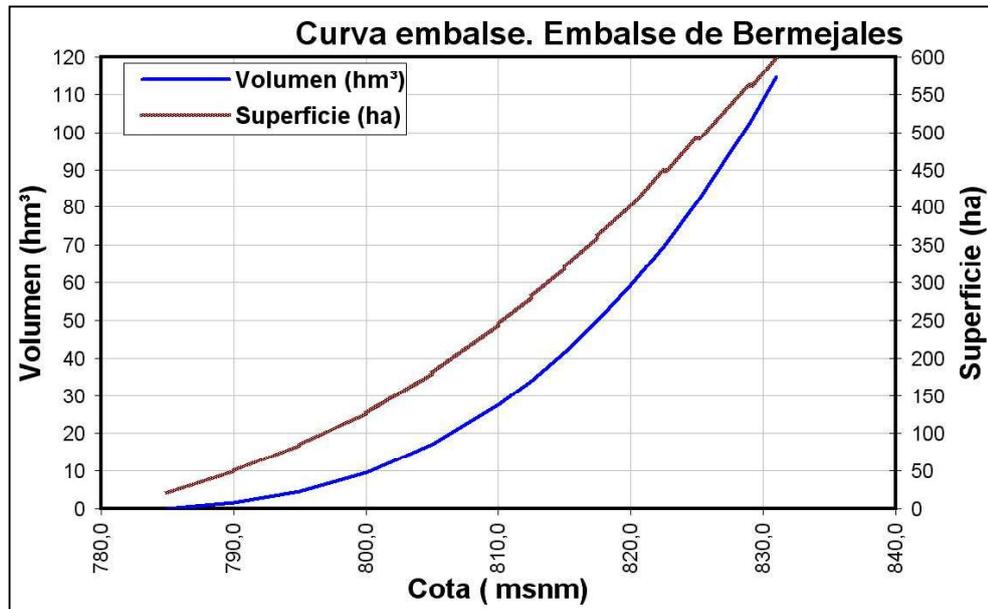


Figura 138. Curvas características del embalse de Los Bermejales

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).

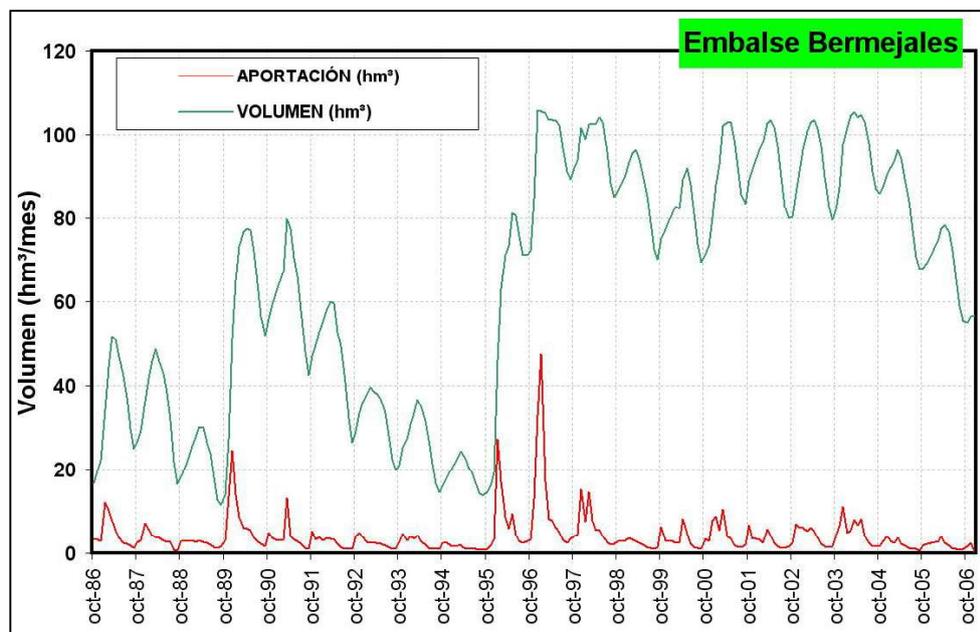


Figura 139. Evolución del embalse de Los Bermejales (periodo 1986-2006)

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

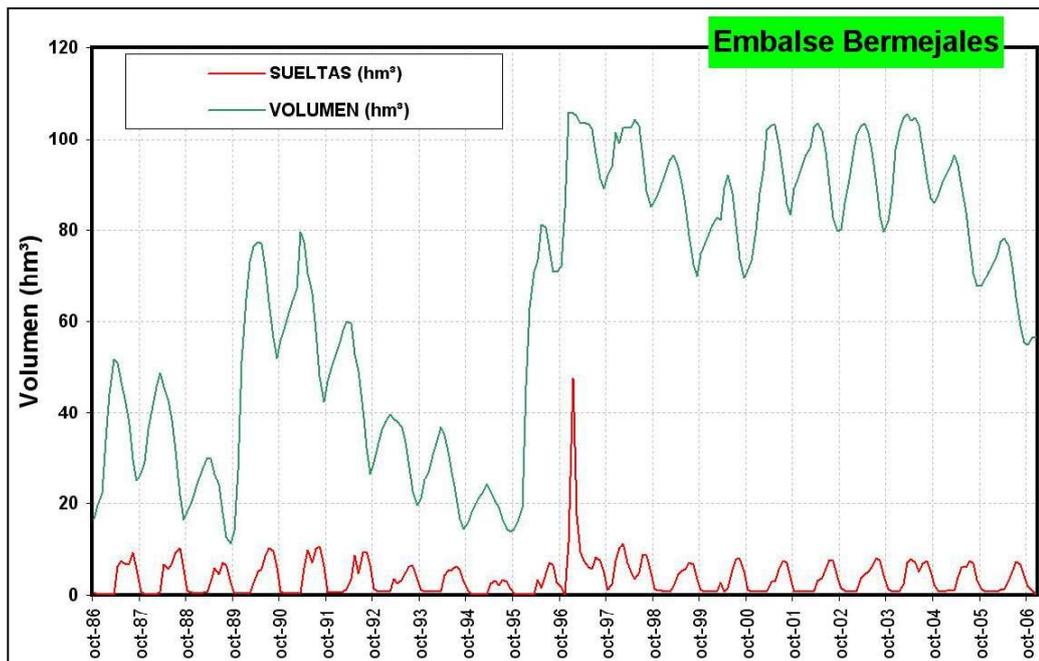


Figura 140. Datos de explotación del embalse de Los Bermejales. Fuente: CHG

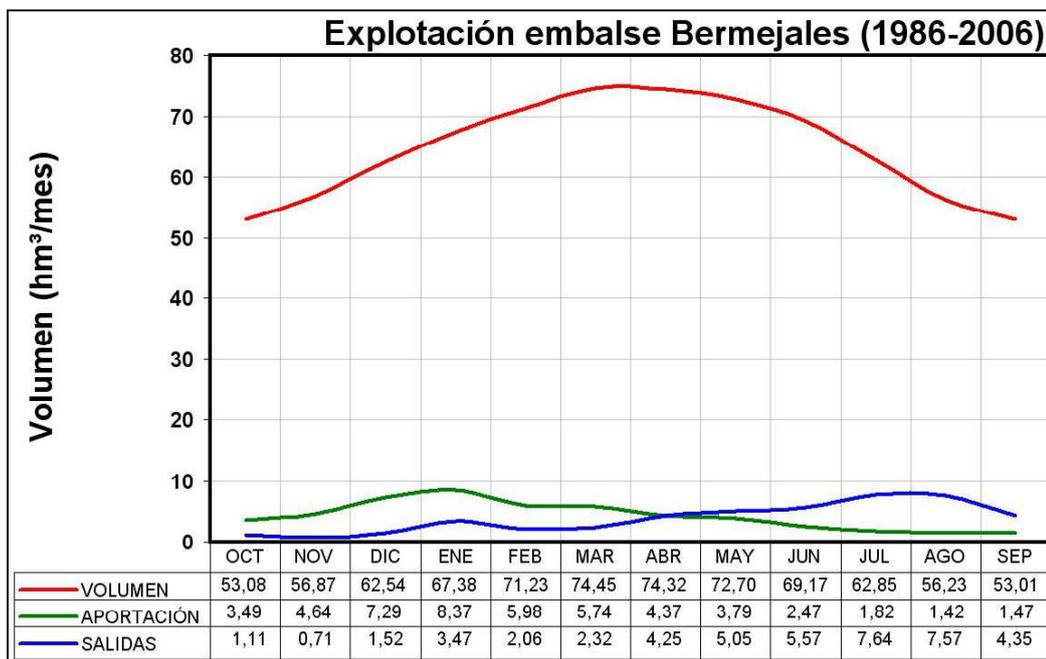


Figura 141. Explotación del embalse de Los Bermejales periodo 1986-2006. Comparativa entregas-aportación-almacenamiento

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)

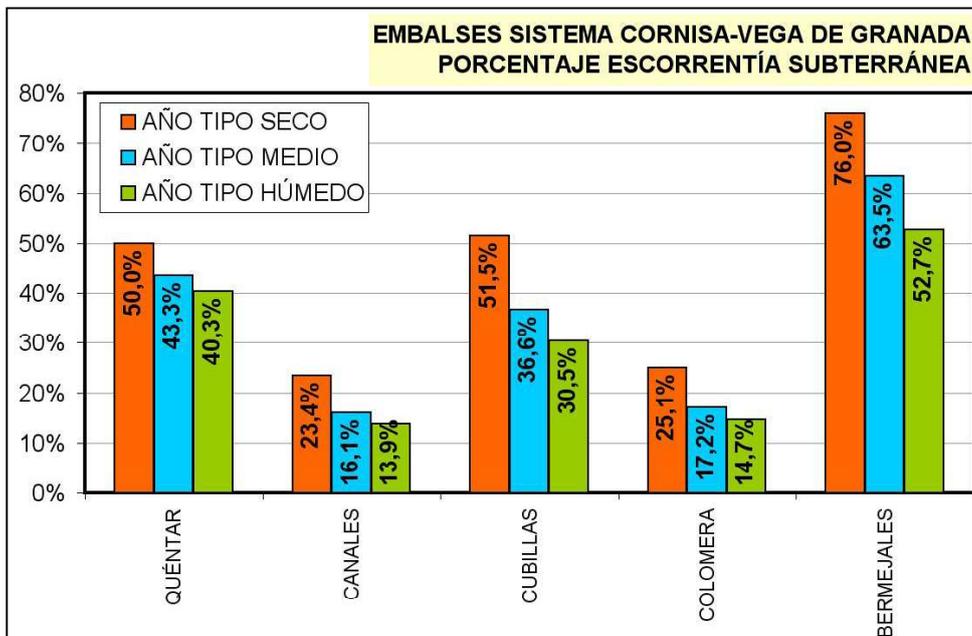


Figura 142. Porcentaje que representa la escorrentía subterránea en la aportación a los embalses del Sistema Cornisa-Vega de Granada según Años Tipo

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.

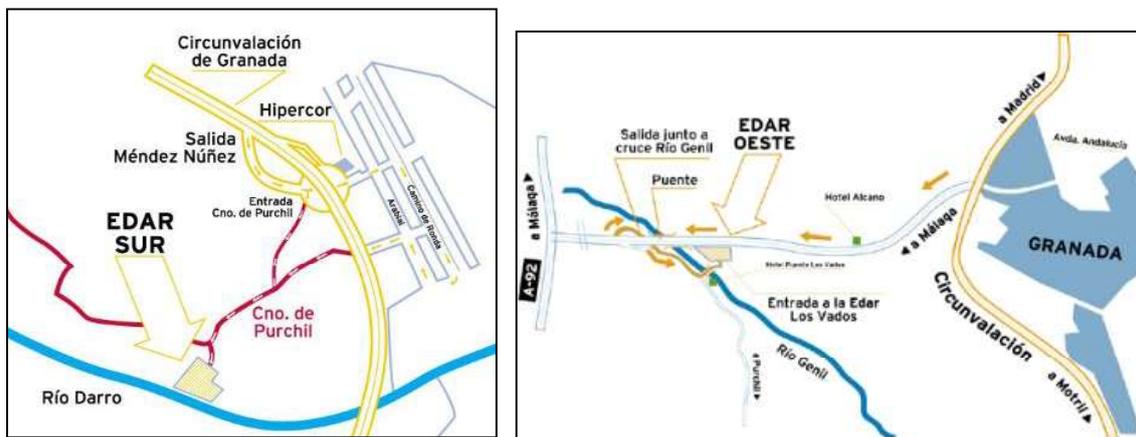


Figura 143. Ubicación de las EDARs del Sistema Cornisa–Vega de Granada

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 o no existe depuración o esta es gestionada por los propios ayuntamientos de forma precaria.